نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره۲، تابستان ۱۳۹۹

صفحات ۱۲۱ - ۱۳۶

مدل سازی آب‌دهی رودخانه‌های حوضه‌های منتخب استان گیلان در دوره تغییر اقلیم

نیما سهراب نیا[1]؛ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

بهلول علیجانی؛ استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

مهری اکبری؛ استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

دریافت مقاله : ۱۳۹۸/۰۶/۲۰ پذیرش نهایی:۱۳۹۸/۰۹/۱۸

چکیده

در این تحقیق به مطالعه چگونگی اثرات تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه‌های حوضه‌های منتخب استان گیلان، یکی از استان‌های شمالی کشور ایران برای دوره‌ی سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ و تحت سه سناریوی اقلیمی RCP۲٫۶، RCP۴٫۵، RCP۸٫۵ پرداخته شد. برای این منظور از داده‌های بارش و دمای ۴۵ ایستگاه داده‌های اقلیمی و ۲۰ ایستگاه آب‌سنجی در دوره‌ی ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۳ ستفاده شد. محاسبه متوسط بارش و دما در سطح حوضه‌ها از طریق ترسیم خطوط هم باران و هم دما با روش کریجینگ انجام گرفت. جهت تعیین معناداری روند داده‌های مورد مطالعه و مقدار شیب آنها به ترتیب از آزمون‌های من-کندال و شیب سنس کمک گرفته شد. نتایج نشان داد، دما طی دوره‌ی مورد مطالعه در همه‌ی حوضه‌های آبریز روند افزایشی داشته و این روند در اکثر آنها معنادار بوده است اما برای بارش‌ها روند معناداری مشاهده نشد. همچنین آبدهی در اکثر حوضه‌ها کاهشی بوده و در حوضه‌های شفارود، ناورود و چافرود این روند معنادار است. از سوی دیگر برای دوره‌های آینده، بارش‌ها در هیچ یک از سناریوهای اقلیمی روند معناداری ندارند اما دما در به غیر از سناریوی RCP۲٫۶ در سناریوهای دیگر دارای روند افزایشی است. آب‌دهی رودخانه‌ها نیز در سناریوی RCP۲٫۶ در هیچ‌یک از حوضه‌ها روند معناداری ندارد اما در سناریوی RCP۴٫۵ در دو حوضه‌ی آبریز شفارود و گشت رودخان روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد دیده می‌شود که این روند در سناریوی RCP۸٫۵ در حوضه‌های چافرود و شفارود در سطح اطمینان ۹۹ درصد نیز معنادار می‌باشد.

واژه های کلیدی: سناریوهای اقلیمی، آب‌دهی رودخانه‌ها، من-کندال، شیب سنس، استان گیلان.

[1] . نویسنده مسئول: Email: nima.sohrabnia@gmail.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

مقدمه

با افزایش جمعیت، رشد تکنولوژی، افزایش نرخ مصرف آب و همچنین به وجود آمدن چالش‌هایی در زمینه‌ی کمبود آب، محققان را در نقاط مختلف جهان بر این داشته که از زوایای مختلف به مطالعه‌ی وضعیت منابع آب بپردازند. در این راستا، این بررسی‌ها در دوره‌ی حاضر و همچنین دوره‌های آینده و با مد نظر قرار دادن آثار تغییر اقلیم می‌تواند اطلاعات بسیار سودمندی را در اختیار محققان قرار دهد. مدل سازی وضعیت منابع آب در یک منطقه از مجموعه اقداماتی است که می‌تواند در این راستا انجام گیرد. از مجموعه عواملی که بیانگر اهمیت این گونه مسائل می‌باشد، تعیین کننده بودن آب به عنوان یکی از عناصر اصلی حیات، در رشد و توسعه جوامع مختلف است. در واقع بهره‌برداری بهینه از منابع آب و جلوگیری از آلودگی آن و منابع تجدید شونده از ارکان اصلی رشد و توسعه می‌باشند (مکنون، ۱۳۸۲). اما به موازات موضوع بهره‌برداری از منابع آب، از دیگر مباحث و مسائل مهمی که در دهه‌ها و به ویژه سال‌های اخیر حول مسائل مربوط به پدیده‌های آب و هوایی در سراسر دنیا مطرح می‌باشد مسئله تغییرات اقلیمی، رخدادها و موضوعاتی است که متاثر از این پدیده ظهور می‌نمایند. در حقیقت تغییر اقلیم (Climate change) به معنای هرگونه تغییرات مهم در مولفه‌های آب و هوایی شامل بارش، دما و باد است که طی چندین دهه یا دوره‌های طولانی‌تر به وقوع بپیوندد (IPCC ، ۲۰۰۱). از نظر سازمان جهانی هواشناسی (WMO) تغییر اقلیم، تغییر میانگین، انحراف معیار و تغییرات کمیت‌های مختلف آب و هوایی طی سه دهه می‌باشد. از طرفی، رخداد-های هواشناسی در دهه‌های اخیر، نشان می‌دهد که یک تغییر اقلیم جهانی در جهت افزایش دما و تغییر در زمان، مکان و مقدار بارندگی‌ها در حال وقوع است (فرجزاده، ۱۳۹۰). همچنین کم شدن جمعیت توده‌های یخی قطبی نیز که از طریق بررسی تصاویر ماهواره‌ای قابل مشاهده است حاکی از بروز این تغییرات می‌باشد. (IPCC، ۲۰۱۳). وجود تغییر اقلیم و آثار احتمالی آن بر منابع آب، اعمال برنامه‌های مدیریتی و ایجاد طرح‌های دقیق آبخیزداری را طلب می‌نماید که جهت نیل به این هدف شناخت و آگاهی هر چه بیشتر مناطق از حیث چگونگی شرایط منابع آب و تاثیرپذیری آن از تغییرات اقلیمی لازم و ضروری است. اما از آنجا که در هر نقطه از کره زمین این پدیده به اشکال گوناگون خود را نشان می‌دهد، آثار آن نیز در نقاط مختلف متفاوت است. برای مثال ممکن است در مناطق ساحلی در تماس با آبهای آزاد این پدیده با بالا آمدن سطح آبها و به زیر آب رفتن بخشی از سواحل، در نتیجه‌ی ذوب یخ‌های قطبی تظاهر پیدا کند و در نقطه‌ای دیگر با درگیر شدن با خشکسالی و قحطی ناشی از کم شدن بارش‌ها ظاهر گردد. بنابراین در برخورد با این پدیده می‌بایست به فراخور شرایط جغرافیایی و اقلیمی همان منطقه به مطالعه و بررسی آثار آن پرداخت. در کشور ایران که بیشتر قسمت‌های آن در عرض‌هایی از کره‌ی زمین قرار گرفته که به کمربند خشک معروف است، بروز تغییرات اقلیمی و آثار ناشی از آن، تنش‌های موجود در زمینه‌ی میزان در دسترس بودن آب را با پیچیدگی‌های بیشتری همراه می‌نماید به طوری که ممکن است مناطق با بارش بیشتر، مانند سواحل جنوبی دریای خزر نیز از این تنش‌ها مصون نباشند. برای مثال بررسی آمار بارندگی و داده‌های مدیریت مصرف آب کشاورزی استان گیلان طی ۱۵ سال گذشته و تغییرات میزان ذخایر آب‌های در گردش و ورودی به استان در فصول کشاورزی و شش ماهه دوم سال نشان می‌دهد استان‌های پرآب و معتدل کشور نیز به اندازه استان‌های واقع در کمربند خشکی می‌توانند با وجود شرایط کاملا متفاوت حاکم از نظر بارندگی، درجه حرارت و میزان آب ورودی و خروجی در معرض خطر خشکسالی قرار گیرند (رشتچی و همکاران، ۱۳۹۵). در این تحقیق نیز محدوده‌ی مورد مطالعه یکی از این مناطق یعنی استان گیلان واقع در شمال ایران است که به آثار این پدیده بر منابع آب سطحی آن پرداخته می‌شود. اهمیت موضوع این

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

است که علاوه بر مورد تهدید بودن این منطقه از آثار مستقیم تغییرات اقلیمی، ممکن است با آثار ثانویه و غیر مستقیم آن نیز به دست به گریبان شود به طوری که کوچ ساکنین مناطق مرکزی ایران به دلیل مشکل کم آبی به این ناحیه و افزایش جمعیت آن، تامین آب این مناطق نیز با خطر روبه‌رو گردد (احمدی نوحدانی و شعبانی کوچصفهانی، ۱۳۹۵).

بدین واسطه و بنابر اهمیت این موضوع، مطالعات بسیاری در نقاط مختلف جهان و از زوایای گوناگون و روش‌های متفاوت انجام گرفته است. یکی از شاخص‌هایی که محققان به دنبال درک آن هستند، وجود یا عدم وجود روند در سری زمانی داده‌های مختلف است. در این راستا بررسی روند حداکثر دبی روزانه ۲۰ رودخانه ایالت انتاریو آمریکا نشان داد که جریان آب در این رودخانه‌ها دارای روند کاهشی می‌باشند (Yue and Pilon, ۲۰۰۲). در کشور ترکیه نیز مطالعات برروی ۲۶ رودخانه نشان دهنده‌ی کاهش در حوضه‌های غربی بوده ولی حوضه‌های شرقی فاقد روند بوده‌اند (Kahya and Kalayci ,۲۰۰٤). در این کشور و در ارتباط با داده‌های بلند مدت بارش نتایج نشان داد که یک روند کاهشی در همه‌ی ایستگاه‌ها قابل مشاهده است (Partal and Kucuk, ۲۰۰٦). در سال ۲۰۰۹ مطالعه برروی دبی رودخانه‌ها در ۳۱ ایستگاه آبسنجی کشور هند در یک دوره ۵۰ ساله حاکی از افزایش در روند جریان رودخانه‌ها با دبی متوسط و کم بوده است (Kumar and Merwade, ۲۰۰۹). اما در حوضه رودخانه اسنیک یک روند قوی در کاهش میزان منابع آبهای سطحی به صورت سالانه دیده شد (Hoekema and Sridhar, ۲۰۱۱). بررسی روند منابع آب سطحی و زیر سطحی در انگلستان برای دوره‌های آتی نشان داد منابع آب در جنوب شرقی آن در طول قرن بیست و یکم کاهش می‌یابد (Sanderson et al, ۲۰۱۲). با همین نگرش و با کمک مدلهای اقلیم منطقه‌ای (CCLM) که توسط مدل گردش جهانی (MPI-ESM-LR) هدایت شده است مطالعات برروی رودخانه ایندوس نشان داد، برای دوره‌های آتی دمای متوسط سالانه در کل حوضه افزایش می‌یابد و احتمال روی دادن امواج گرمایی بیشتر گردیده و متعاقب آن ذوب بیشتر یخ‌ها محتمل‌تر می‌باشد. از طرف دیگر بارش‌ها نیز در این حوضه روند کاهشی را نشان می‌دهند (Huang, ۲۰۱٦). در ایتالیا بررسی روند داده‌های هیدرولوژیکی ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی نشان دهنده یک روند کاهشی در تمامی پارامترهای مورد نظر در دوره زمانی مورد مطالعه است که می‌توان آن را در نتیجه تغییرات جهانی یعنی بارش، تغییر کاربری زمین و افزایش مصرف آب به حساب آورد (Billi and Fazzini, ۲۰۱۷). در مطالعاتی که در زمینه‌ی منابع آب انجام می‌گیرد، یکی دیگر از مسائلی که مورد توجه است، چگونگی روابط موجود بین داده‌های آب و هوایی و تغییرات منابع آب است. در این راستا، با در نظر گرفتن توام اثر تغییرات بارش و دما بر جریان رواناب سالانه، شاخص انعطاف پذیری بارش، یک پارامتر واحد است که می‌تواند در برخی موارد رابطه‌ای بین بارش و جریان را بیان نماید اما نمی‌تواند رابطه غیر خطی پیچیده‌ای را بین جریان، بارش و دما برآورد نماید (Fu et al, ۲۰۰۷). در کشور چین بررسی‌ها در مورد آثار تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زرد نشان داد رابطه تبخیر و تعرق پتانسیل و دبی جریان رودخانه‌ها غیر خطی می‌باشد (Qiang et al, ۲۰۰۹). اما با پررنگ‌تر شدن آثار تغییر اقلیم در سال‌های اخیر و به وجود آمدن سناریوهای اقلیمی تحقیق‌ها و پژوهش‌ها به سمت استفاده از این سناریوها و بررسی آثار احتمالی تغییر اقلیم در دوره‌های آتی گرایش پیدا نمودند. بر این اساس، بررسی‌ها برروی چگونگی تاثیر تغییرات آب و هوایی بر رژیم جریان رودخانه‌ها در منطقه ولز انگلستان نشان داد که براساس سناریوی تغییرات آب و هوایی یک آشفتگی قابل مشاهده می‌باشد به طوری که مناطق مرکزی و شرقی انگلستان از کاهش شدید جریان رودخانه‌ها رنج می‌برند، در حالی که وقوع سیل در شمال و غرب آن روند افزایشی دارد (Sefton and Boorman,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

۱۹۹۷). در اروپا برای سال ۲۱۰۰ تحت سناریوی A۱B، برای حوضه‌های شمال آن که رژیم هیدرولوژیکی آنها بر اساس الگوهای برفی است، در طبقه‌بندی با حساسیت شدید قرار می‌گیرند. اما در حوضه‌های جنوبی و مرکزی اروپا این وضعیت به دلیل جریان‌های ضعیف‌تر و آستانه حساسیت بالاتر به شکل بارزتری به چشم می‌خورد (Weiß and Alcamo, ۲۰۱۱). در جزایر مناطق گرمسیری اقیانوس آرام نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که توزیع فضایی این اثرپذیری در سناریوهای مختلف آب و هوایی متفاوت بوده و مناطق با حساسیت بالا به تغییرات اقلیمی، جزء مناطق با طبقه‌بندی بسیار مرطوب و یا بسیار خشک قرار می‌گیرند (Freitas et al, ۲۰۱۳). از طرفی در حوضه رودخانه پینیوس با استفاده از مدل‌های (RCM-GCM) نشان داده شد، روند کلی، کاهش بارش و افزایش دما برای دوره‌های آتی (۲۱۰۰-۲۰۲۱) می‌باشد به طوری که مقادیر بارش به طور متوسط حدود ۸۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد و دما به طور متوسط به میزان حدود ۲/۸۱ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که این خود بیانگر تحت استرس بودن منابع آب این مناطق در آینده است (Arampatzis et al, ۲۰۱۸). با توجه به شرایط خاص اقلیمی ایران این موضوع در کشور بسیار مورد توجه بوده است. در حوضه آبریز خررود قزوین مشاهده گردید، ارتفاع رواناب و همچنین نسبت رواناب به بارش سالانه روندی فزاینده و معنادار داشته است (رهبر و همکاران، ۱۳۸۴). اما در مناطق حاشیه جنوبی دریای خزر برای سالهای ۱۹۵۵ تا ۱۹۹۴ در بیشتر ایستگاه‌ها، دمای حداقل دارای روند مثبت و دبی حداکثر دارای روند منفی بوده است (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۶). در شمال غرب کشور به منظور بررسی روند آبدهی سالانه به عنوان یک عامل مهم اقلیمی- هیدرولوژیکی با استفاده از روش آزمون من-کندال مطالعاتی به انجام رسید که در آن، روند کاهشی آبدهی سالانه در غالب ایستگاه‌ها مشاهده شد (قرمزچشمه و همکاران، ۱۳۹۱). اما این تغییرات در آینده، برروی حوضه رودخانه سرباز استان سیستان و بلوچستان که با استفاده از مدل (SDSM) مورد بررسی قرار گرفت، نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره‌های آتی بوده و میزان آبدهی سالانه و دبی حداکثر به‌دلیل داشتن رابطه نزدیک و مستقیم با بارش، نسبت به شرایط تاریخی کاهش می‌یابند (سارانی باعطا، ۱۳۹۲). در حوضه‌ی آبریز رودخانه اعلا در استان خوزستان طی سناریوهای انتشار A۲ و B۲ روند افزایشی دما و روند کاهشی دبی حداکثر و آبدهی سالیانه برای دوره‌های آتی نسبت به دوره تاریخی برآورد شد (کرمی و فرید، ۱۳۹۲). با همین روش و در پژوهشی دیگر در مازندران برای داده‌های بارش و در سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۰ میلادی نتایج نشان داد، علاوه بر مناسب بودن مدل (HADCM۳) برای شبیه سازی، در فاصله سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بیشترین تغییرات بارش مربوط به فصل بهار با ۶/۱۴ میلیمتر کاهش تحت سناریو A۲ بوده است. (خدیر و همکاران، ۱۳۹۳). نقی‌پوربرج (۱۳۹۶) با هدف بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای دما و بارش در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM۲-CC تحت دو سناریو RCP۴,۵ و RCP۸,۵ برای سال های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰، به این نتیجه دست یافت که میانگین سالانه دما و بارش تحت تمامی سناریوها و سال‌های مورد بررسی دارای روند افزایشی می‌باشند. در همین راستا در منطقه کوهرنگ، افزایش معنا دار دما در ۳۰ سال اخیر و به ویژه با شیب تندتر در ۱۵ سال پایانی آن و همچنین کاهش تعداد روزهای برفی نشان دهنده‌ی بروز تغییرات اقلیمی در این منطقه است (حسینی بروجنی وهمکاران، ۱۳۹۶). در شمال ایران و سواحل ناحیه‌ی خزری در دوره‌ی مشاهده‌ای (۲۰۰۱-۱۹۶۱) و با استفاده از خروجی مدل (HadCM۳) و (SDSM) مجموع بارش سالانه برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ در ایستگاه‌های انزلی، بابلسر، گرگان، و نوشهر کاهش و در ایستگاه های آستار، رامسر و رشت افزایش نشان می‌دهد (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۹۶). در همین راستا و در استان گیلان تغییرات دما و پیش‌بینی دمای حدی که با کمک مدل آماری- دینامیکی (SDSM) انجام گرفت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

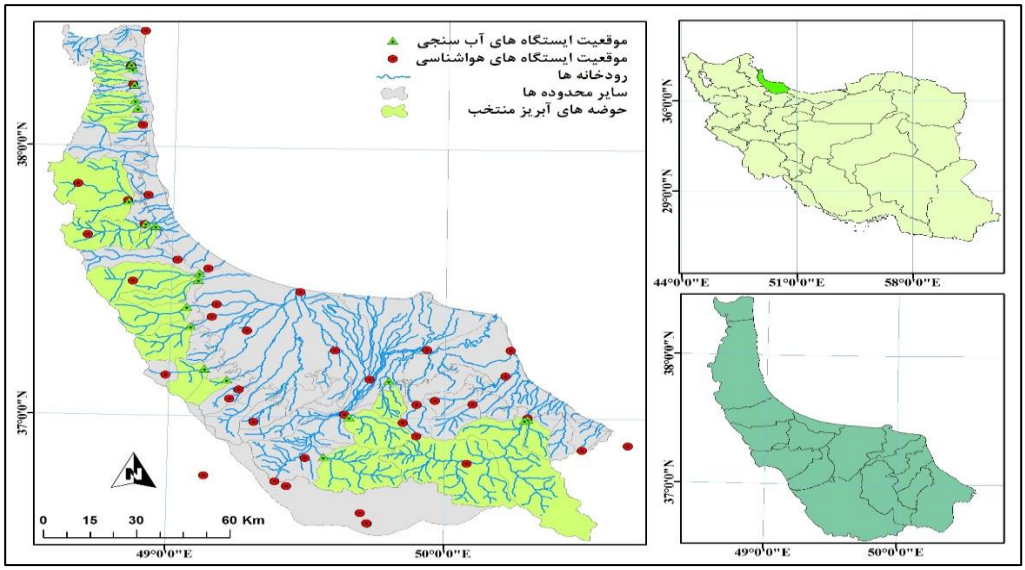
نشان داد، دما برای دوره‌های آتی روند افزایشی داشته و دمای شبانه نیز افزایش یافته است. تفاوت دمای فصل سرد و گرم نیز کاهش می‌یابد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷).

با تکیه بر حقیقت وقوع تغییرات اقلیمی، مطالعات از این دست و بررسی آثار احتمالی آن از زوایای مختلف، در هر نقطه‌ای از جهان ضروری به نظر می‌رسد، به ویژه در ایران و مناطق مختلف آن که با تنش‌های آبی فراوان رو به رو است. هدف از انجام تحقیق حاضر که در محدوده‌ی استان گیلان انجام گرفت این است که با کسب اطلاعات و آگاهی از وضعیت آینده‌ی منابع آب سطحی و بالا بردن سطح آمادگی دستگاه‌ها و سازمانهای ذی‌ربط، برای روبه‌رو شدن با ناهنجاری‌ها و چالشهای احتمالی در بهره‌برداری از این منابع در دوره‌های آتی، ابزار لازم جهت سازگاری با آنها در دست باشد.

داده‌ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی**

استان گیلان بین مدارات° ۳۶ و ۳۴' تا °۳۸ و۲۷' شمالی و نصف‌النهارات °۴۸ و ۵۳' تا °۵۰ و۳۴' شرقی بوده و رشته کوه‌های البرز در حاشیه غربی و جنوبی آن قرار گرفته است. در این تحقیق از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده‌ی استان گیلان (ایستگاه‌های وزارت نیرو و سازمان هواشناسی) به‌مدت ۳۰ سال (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۲) استفاده شده است. برای این منظور از ۴۵ ایستگاه سینوپتیک، تبخیرسنجی و بارانسنجی و همینطور از اطلاعات ۲۰ ایستگاه آب‌سنجی واقع درحوضه‌های آبریز که از آمار کافی برخوردار بودند استفاده گردید. (شکل ۱).



شکل ۱ . نقشه موقعیت حوضه‌های آبریز منتخب، رودخانه‌ها و ایستگاه‌های هواشناسی و آبسجین

- **روش کار**

- **متوسط بارش و دمای حوضه‌ها:**

از بین روش‌های میانگین حسابی، تیسن و منحنی‌های هم ارزش، روشی که در این تحقیق جهت محاسبه‌ی متوسط بارش و دمای هر حوضه استفاده شد، روش سوم یعنی روش ترسیم خطوط هم باران و هم دما است که برای ترسیم این منحنی‌ها، از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

میان‌یابی به روش کریجینگ یونیورسال مرتبه‌ی دوم بهره گرفته شد. دلیل استفاده از آن نیز کمتر بودن خطای محاسباتی (MSE[۱]) در این روش است. سپس با استفاده از رابطه $\bar{P} = \sum_{i=۰}^{n} \frac{a_i \times P_i}{A}$ متوسط سالانه‌ی بارش و دما برای هر حوضه محاسبه گردید که در آن P_i میانگین ارزش دو منحنی متوالی، a_i مساحت بین دو منحنی و A نیز مساحت کل حوضه می‌باشد. بنابراین جهت محاسبه‌ی متوسط دما و بارش حوضه‌ها در هر سال از دوره‌ی آماری یک نقشه‌ی هم باران و هم دما مربوط به همان سال تهیه گردید.

- **رابطه‌ی بارش، دما و دبی:**

در ادامه جهت تعیین رابطه‌ی بین بارش، دما و دبی در حوضه‌های منتخب از رگرسیون چند متغیره استفاده شد، به این ترتیب که متغیرهای متوسط سالانه‌ی دما و بارش حوضه‌ها به عنوان داده‌های مستقل و متغیر متوسط سالانه‌ی دبی جریان به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. در این مدل رابطه‌ی بین متغیرهای مستقل و وابسته به صورت رابطه‌ی ۱ تنظیم می‌گردد.

$$Y = a_۰ + a_۱x_۱ + a_۲x_۲ + \cdots + a_n x_n + \varepsilon \qquad (۱)$$

که در آن $a_۰$ عرض از مبدا و $a_۱ . a_۲ \ldots a_n$ ضرایب رگرسیونی هستند. Y متغیر وابسته، x_n ها متغیرهای مستقل و ε نیز خطای برازش می‌باشد. محاسبات فوق از طریق نرم‌افزار Spss انجام گرفت.

- **تولید داده‌های آینده:**

در این تحقیق به منظور ریزمقیاس نمایی از مدل (SDSM)[۲] استفاده گردید. این مدل با استفاده از روش‌های آماری، ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی را در منطقه یا محل مورد نظر انجام می‌دهد. داده‌های مورد نیاز در آن به صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک مجموعه از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی، دمای حداقل و حداکثر و یا سایر پارامترهای جوی است. این مدل توسط (Wilby and Dawson) در سال ۲۰۰۸ برای ارزیابی اثرات محلی تغییر اقلیم توسعه داده شد که در آن براساس ترکیبی از دو رویکرد، یکی مبتنی بر استفاده از روش‌های تصادفی، و دیگری استوار بر بهره‌گیری از الگوهای رگرسیونی یا تابع انتقال عمل می‌نماید که در آن با استفاده از برقراری رابطه‌ی بین مؤلفه‌های مختلف جوی و همدیدی که تحت عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده شناخته می‌شوند و متغیرهای اقلیمی یا به عبارتی متغیرهای پیش‌بینی شونده، توابعی ارائه می‌گردد که به عنوان تابع انتقال شناخته می‌شوند. در این تحقیق از خروجی گزارش پنجم (AR۵) که آخرین گزارش از گزارش‌های IPCC است، استفاده گردیده، که نسل جدیدی است از مدلهای گردش عمومی جو، که با عنوان پروژه‌ی درون مقایسه‌ای مدلهای جفت‌شده (CMIP۵) معرفی شده است. سناریوهای جدید نیز با نام (RCP)[۳] است که به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت های گوناگون گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شوند و حاصل مجموعه‌ای از تلاش‌های مشتمل بر شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در قرن بیستم و مطالعات به انجام رسیده در زمینه پدیده‌های آب و هوایی در قرن ۲۱ می‌باشد. RCPها دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP۲٫۶، RCP۴٫۵، RCP۶ و RCP۸٫۵ هستند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها تا سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. ویژگی هریک از این سناریوها به این صورت است که به ترتیب، میزان واداشت تابشی و غلظت گاز دی اکسر کربن در آنها در سناریوی RCP۲٫۶، حداکثر ۳ وات بر متر مربع و سپس کاهش می‌یابد، ۴۹۰ ppm قبل از سال ۲۱۰۰

۱ - Mean Squared Error

۲ - Statistical Downscaling Model

۳ - Representative Concentration Pathways

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

و سپس کاهش می‌یابد، در RCP۴،۵ ۴/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند، ۶۵۰ ppm و بعد از ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند، در RCP۶ ۶/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند، ۸۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند و در RCP۸،۵ بیش از ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰، ۱۳۷۰ ppm تا سال ۲۱۰۰ می‌باشد. داده‌های مورد استفاده نیز داده‌های مدل (CanESM۲) می‌باشد که دومین مدل تولید شده مربوط به مدل سیستم زمینی کانادا بوده و متشکل از مدل فیزیکی زوجی اقیانوس - آتمسفر است. با استفاده از عمل ریزمقیاس نمایی، ایستگاه‌هایی که دارای داده‌های روزانه کافی برای انجام این امر بوده‌اند انتخاب گردیده و داده‌های آینده‌ی دو پارامتر دما و بارش تحت سناریوهای مذکور برای دوره‌ی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ میلادی تولید گردید که از این دوره زمانی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ میلادی جهت پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها مد نظر قرار گرفت. برای انجام این امر نقشه‌های هم باران و هم دمای داده‌های تولید شده برای سه سناریو، جمعا به تعداد ۱۸۰ نقشه تهیه گردید و توسط آنها متوسط بارش و دمای سالانه‌ی دوره‌ی آتی حوضه‌های آبریز محاسبه شد. در نهایت با قرار دادن این مقادیر در معادلات رگرسیونی به دست آمده، مقدار دبی حوضه‌های آبریز منتخب، برای دوره‌ی آینده برآورد گردید.

- **تحلیل روند:**

پس از آزمون Run-Test و اطمینان از همگنی داده‌ها تحلیل روند برروی داده‌های مشاهداتی و تولید شده بارش، دما و دبی جریان انجام گرفت. بدین منظور ابتدا پارامتر (S) به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(X_j - X_i) \qquad (۲)$$

در این رابطه (n) طول، (X_j) و (X_i) توالی داده‌های سری زمانی هستند $(j \neq i)$. تابع علامت (sgn) نیز براساس رابطه ۳ قابل تعریف است.

$$sgn(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \qquad (۳)$$

واریانس پارامتر (S) از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید که (t) بیانگر اندازه بازه زمانی است.

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum t(t-1)(2t+5)}{18} \qquad (۴)$$

در صورتی‌که تعداد داده‌های سری زمانی بیشتر از ۱۰ باشد از رابطه ۵ ستفاده می‌شود.

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

مقدار (Z) به دست آمده مرجع تشخیص رد فرضیه (H_0) و یا پذیرش آن قرار می‌گیرد. فرضیه (H_0) در این آزمون به معنای پذیرش تصادفی بودن داده‌ها و یا به عبارت دیگر عدم وجود روند در داده‌ها است. پذیرش و یا رد فرض صفر از طریق بررسی رابطه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ تعیین می‌گردد. چنانچه این رابطه برقرار باشد فرض صفر رد می‌شود. در این پژوهش به منظور تحلیل روند

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

سری‌های زمانی دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد در نظر گرفته شده است که مقادیر ($Z_{\alpha/۲}$) آنها به ترتیب برابر ۱/۹۶ و ۲/۵۷۵ می‌باشد.

شیب روند: با هدف تعیین شیب روند تغییرات و آزمون آن از روش شیب سنس بهره گرفته شد. در این روش (X_j) و (X_k) نشان دهنده‌ی مقادیر داده‌های سری زمانی در مرتبه‌ی (j) و (k) است که با یکدیگر یک واحد زمانی فاصله دارند. (Q_i) مقدار میانه (n) برآورد شده شیب سن است که برای تعداد فرد و زوج دو رابطه جداگانه ارائه گردیده است.

$$Q_{med} = \left(Q_{(n)/۲} + Q_{(n+۲)/۲}\right)/۲ \qquad Q_{med} = Q_{(n+۲)/۲} \qquad (۶)$$

مقدار Q_{med} باید آزمون گردد تا معناداری یا عدم معناداری شیب مشخص شود. این آزمون یک آزمون دوطرفه است که در سطح اطمینان $۱۰۰(۱-\alpha)\%$، شیب سری داده‌ها را سنجش می‌کند. چنانچه Q_{min} و Q_{max} هردو علامت‌های مثبت یا منفی بگیرند، یا به عبارت دیگر عدد صفر بین این دو قرار نگیرد، فرض صفر رد و فرض خلاف آن پذیرفته می شود. به‌عبارتی شیب موجود در سری زمانی داده‌های مورد نظر در سطح اطمینان مورد نظر معنادار می‌باشد.

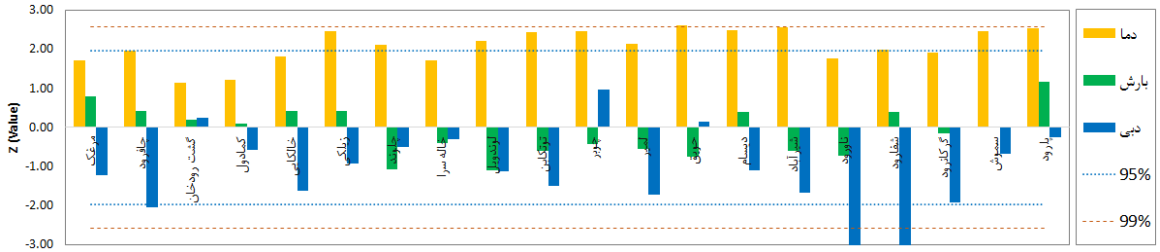
$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j-k} \quad for\ i = ۱.۲.\dots.n \qquad (۷)$$

شرح و تفسیر نتایج

در این بخش از پژوهش به چگونگی تغییرات سری زمانی داده‌های متوسط سالانه‌ی بارش، دما و دبی رودخانه‌ها در سطح حوضه‌های آبریز در طی دوره‌ی مورد مطالعه پرداخته می‌شود. برای درک بهتر از چگونگی تغییرات متغیرهای اشاره شده در سطح حوضه‌های آبریز، سری زمانی میانگین سالانه‌ی آنها در پهنه‌ی هر حوضه از طریق آزمون‌های شیب سنس و من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ مربوط به آماره‌ی (z) به دست آمده از آزمون من-کندال می‌باشد که نشان می‌دهد هر یک از پارامترهای بارش، دما و دبی طی دوره‌ی مورد مطالعه در کدام حوضه‌ی آبریز دارای روند معنادار هستند. همچنین در جدول ۱ نیز مقادیر مربوط به شیب واقعی روند داده‌ها در حوضه‌های مختلف نشان داده شده است. مطابق ارقام شکل ۲ روند آبدهی رودخانه‌ها در اکثر حوضه‌های آبریز از نوع کاهشی است به جز در حوضه‌های گشترودخان، چوبر و حویق که روند آنها با وجود عدم معناداری، به صورت جزئی افزایشی است. تنها در سه حوضه‌ی آبریز چافرود، ناورود و شفارود، با استناد به مقادیر آماره (z)، روند کاهشی معنادار مشاهده می‌گردد، که این روند در هر سه حوضه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. همچنین در رودخانه‌های ناورود و شفارود، با توجه به مقدار بالای آماره‌ی (z)، این روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد نیز معنادار می‌باشد. همچنین بر اساس اطلاعات جدول ۱، متوسط آب‌دهی سالانه رودخانه چافرود طی دوره‌ی مورد مطالعه، به مقدار ۰/۰۲ متر مکعب در ثانیه به ازای هر سال کاهش یافته است که این کاهش می‌تواند بین حدود صفر تا ۰/۰۴ مترمکعب در ثانیه در سطح اطمینان ۹۵ درصد متغیر باشد. برای رودخانه ناورود این کاهش به میزان ۰/۰۶ مترمکعب در ثانیه در سال تخمین زده شده است که در سطح اطمینان ۹۹ درصد از مقدار ۰/۰۱ تا ۰/۱ متر مکعب در ثانیه می‌تواند تغییر کند. در رودخانه شفارود میزان کاهش سالانه ۰/۰۹ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است که بازه احتمالاتی آن در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین مقادیر ۰/۰۳ تا ۰/۱۶ مترمکعب در ثانیه محاسبه گردیده است. در مورد بارش‌ها، تحلیل روند در حوضه‌ها نشان-دهنده عدم وجود روند در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد است. اما پارامتر دمای حوضه‌های زیلکی، چلوند، لوندویل، توتکابن، چوبر، لیسار، حویق، دیسام، شیرآباد، شفارود، سموش و پلرود در سطح معناداری ۹۵ درصد روند افزایشی نشان می‌دهند که سطح معناداری در حوضه‌های حویق و شیرآباد به بالاتر از ۹۹ درصد هم رسیده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]



شکل ۲. نمودار آماره (z) داده‌های بارش، دما و دبی برای سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ میلادی

به طور کلی نتایج برآمده از این بررسی حاکی از گرایش کلی منطقه به سمت روند افزایشی دما است. همچنین شیب تغییرات در حوضه‌های دارای روند معنادار که توسط مقدار (Q) در جدول ۱ نشان داده شده، بیانگر افزایش دما به میزان ۰/۰۲ تا ۰/۰۳ درجه سانتی‌گراد به ازای هر سال در حوضه‌های مختلف است.

جدول ۱ . شیب خط روند داده‌های بارش، دما و دبی برای دوره‌ی بین سالهای ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۲ شمسی

ردیف	نام حوضه	نام ایستگاه	شیب خط روند			محدوده ی معناداری شیب دبی			
			دما (Q)	بارش (Q)	دبی (Q)	Qmin۹۹	Qmax۹۹	Qmin۹۵	Qmax۹۵
۱	مرغک	امامزاده شفیع	۰/۰۲	۲	-۰/۰۳	-۰/۱	۰/۰۴	-۰/۰۸	۰/۰۲
۲	چافرود	رودبارسرا	۰/۰۲	۱/۳۶	-۰/۰۲	-۰/۰۵	۰/۰۱	-۰/۰۴	۰
۳	گشت رودخان	پیرسرا	۰/۰۱	۱/۴۴	۰	-۰/۰۴	۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۳
۴	کمادول	کمادول	۰/۰۱	۰/۳	-۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۰۶	-۰/۰۷	۰/۰۴
۵	خالکایی	طاسکوه	۰/۰۲	۱/۲۱	-۰/۰۳	-۰/۰۹	۰/۰۳	-۰/۰۸	۰/۰۱
۶	زیلکی	شهربیجار	۰/۰۳	۰/۹۶	-۰/۰۵	-۰/۱۶	۰/۰۶	-۰/۱۳	۰/۰۴
۷	چلوند	خان حیاطی	۰/۰۳	-۴/۲۱	-۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۲
۸	خاله سرا	کله سرا	۰/۰۳	-۰/۹۳	۰	-۰/۰۲	۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۰۲
۹	لوندویل	باش محله	۰/۰۳	-۴/۱۶	-۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۰۱
۱۰	توتکابن	چله بر	۰/۰۳	-۱/۵۶	-۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۰۳	-۰/۱	۰/۰۱
۱۱	چوبر	چوبر بالا	۰/۰۳	-۲/۳۴	۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۰۲
۱۲	لمیر	قربانعلی محله	۰/۰۳	-۲/۷۶	-۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۳	۰
۱۳	حویق	صفر محله	۰/۰۳	-۲/۰۲	۰	-۰/۰۴	۰/۰۴	-۰/۰۳	۰/۰۳
۱۴	دیسام	پاشاکی	۰/۰۴	۱/۴۷	-۰/۰۳	-۰/۱۱	۰/۰۵	-۰/۰۹	۰/۰۳
۱۵	شیرآباد	اوستاقاسم محله	۰/۰۳	-۱/۸۹	-۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۳	۰
۱۶	ناورود	خرجگیل	۰/۰۳	-۲/۳۵	-۰/۰۶	-۰/۱	-۰/۰۱	-۰/۰۹	-۰/۰۲
۱۷	پونل	شفارود	۰/۰۳	۱/۲	-۰/۰۹	-۰/۱۶	-۰/۰۳	-۰/۱۴	-۰/۰۵
۱۸	گرکانرود	ماشین خانه	۰/۰۳	-۰/۷۸	-۰/۰۷	-۰/۱۹	۰/۰۳	-۰/۱۵	۰
۱۹	سموش	هراتبر	۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۵	۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۰۲
۲۰	پلرود	درازلات	۰/۰۳	۳/۵۷	-۰/۰۱	-۰/۳۳	۰/۲۲	-۰/۲۴	۰/۱۷

پس از محاسبه‌ی متوسط سالانه‌ی بارش، دما و آبدهی رودخانه‌ها در سطح حوضه‌های منتخب، این امکان فراهم می‌گردد که با داشتن این سه پارامتر برای هر حوضه، از طریق برقراری روابط رگرسیونی چند متغیره، اثر پذیری آب‌دهی رودخانه‌ها به عنوان متغیر وابسته نسبت به تغییرات بارش و دما به عنوان متغیرهای مستقل، مورد بررسی قرار گرفته و معادلات آن ارائه گردد. در جدول ۲ چگونگی این روابط و معادلات آن قابل مشاهده می‌باشد. در این جدول مقدار دبی رودخانه (Q) بر اساس روابط مندرج، با استفاده از مقادیر بارش (P) و دما (T) برآورد می‌شود. در ستون آخر نیز مقدار ضریب همبستگی (R) میزان قابل اعتماد بودن رابطه را نشان می‌دهد که در حوضه‌های ماسوله رودخان، زیلکی، چلوند، لوندویل، دیسام، شیرآباد، کرگانرود و سموش بیشترین همبستگی با مقدار (R) بالای ۰/۷ دیده می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

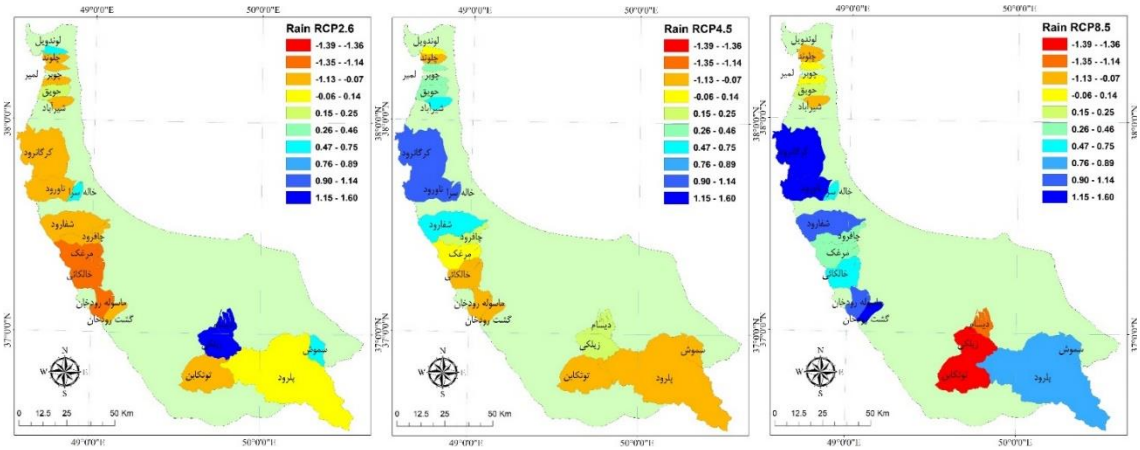
جدول ۲. روابط بین دبی جریان با متغیرهای بارش و دما در حوضه‌های منتخب

ردیف	رودخانه	ایستگاه	روابط رگرسیونی	ضریب R
۱	مرغک	امامزاده شفیع	Q = ۱٦۷۲,۰۷ + ۰,۲۸ (P) - ۷۹,۸۳	۰/۴۵۶
۲	چافرود	رودبارسرا	Q = ۱۵۷٤,۰٦ + ۰,۳۰ (P) - ۸٤,۹۰	۰/۴۵۴
۳	گشت رودخان	پیرسرا	Q = ۲۰۵۱,۵۵ + ۰,۵۲ (P) -۱۰۷,۸۰	۰/۵۹۷
۴	ماسوله رودخان	کمادول	Q = ۱۹٦۲,۹٤ + ۱,۰۳ (P) - ۱۱۸,۱٤	۰/۷۵۸
۵	خالکایی	طاسکوه	Q = ۱۷۱۷,٤٤ + ۰,۵۰ (P) - ۹۱,۰۷	۰/۶۰۶
۶	زیلکی	شهربیجار	Q = ۱٤۲۸,۸۹ + ۰,۹۳ (P) - ۸۹,۹۲	۰/۸۱۴
۷	چلوند	خان حیاطی	Q = ۱۰۱۰,٦۷ + ۱,۳۱ (P) - ۸٦۳۸ (T)	۰/۷۸۷
۸	خاله سرا	کله سرا	Q = -۱۰۰۸,٤۸ + ۱,۱۷ (P) + ۳۲,۱۵	۰/۵۸۸
۹	لوندویل	باش محله	Q = ۱۱۷٦,۷۱ + ۱,۲۹ (P) - ۱۰۷,٤۷	۰/۸۱۱
۱۰	توتکابن	چله بر	Q = ۱۱۳۹,۱۲ - ۰,٤۰ (P) - ۳۸,۵۷ (T)	۰/۴۱۳
۱۱	چوبر	بالامحله	Q = ۱٤۰۱,۵۲ + ۰,۳۹ (P) - ٦۵,۵۸	۰/۴۵۶
۱۲	لمیر	قرباتعلی محله	Q = ۲۸۰۵,٤۷ + ۰,۵۸ (P) - ۱۳٦,۳	۰/۶۷۲
۱۳	حویق	صفرمحله	Q = ۲٦۳۸,۷۵ + ۰,۳۷ (P) - ۱۳۹,۰۲	۰/۶۱۵
۱۴	دیسام	پاشاکی	Q = ۱٦۷۲,۰۷ + ۰,۲۸ (P) - ۷۹,۸۳	۰/۷۶
۱۵	شیرآباد	اوستاقاسم محله	Q = ۱٦۷۲,۰۷ + ۰,۲۸ (P) - ۷۹,۸۳	۰/۷۶۴
۱۶	ناورود	خرجگیل	Q = ۱٤۹۱,٦۵ + ۰,۲۲ (P) - ۷۰,۱۳	۰/۵۸۸
۱۷	شفارود	پونل	Q = ۲٦۳۵,۷۳ + ۰,۱٤ (P) - ۱٤۰,۵۵	۰/۶۶۳
۱۸	کرگانرود	ماشین خانه	Q = ۱۰۱۵,۱۳ + ۰,٤٤ (P) - ٦۰,٦۹	۰/۷۸۸
۱۹	سموش	هراتبر	Q = ۱۲٦۹,۱۰ + ۰,٦۳ (P) - ۷۰,۹۸	۰/۷۳۹
۲۰	پلرود	درازات	Q = ۱٦٤۸,۷۳ + ۰,٦۳ (P) - ۸۹,۹۸	۰/۶۵۵

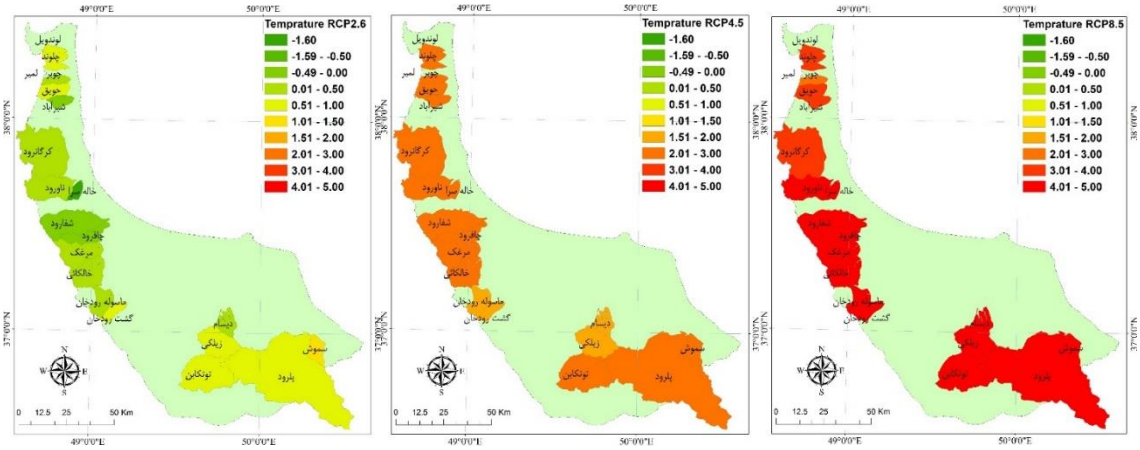
از معادلات به دست آمده در گام‌های بعدی این تحقیق برای برآورد دبی رودخانه‌های حوضه‌های منتخب در دوره‌ی آینده استفاده خواهد شد. اما قبل از آن، پس از ریزمقیاس نمایی و محاسبه بارش و دمای سالانه‌ی دوره‌ی آینده هر حوضه نتایج مربوطه برروی نقشه به نمایش درآمد. در شکل ۳ نتایج مربوط به روند بارش دوره‌ی آینده‌ی حوضه‌های آبریز آورده شده است. بر اساس این نقشه‌ها دامنهٔ تغییرات آماره‌ی (z) روند بارش سالانه‌ی دوره‌ی آینده‌ی حوضه‌ها به ترتیب در سناریوهای RCP۲,٦، RCP٤,۵ و RCP۸,۵ از حدود ۱/۳۵- تا ۱/۶، ۱/۱۳- تا ۱/۶ و ۱/۳۹- تا ۱/۶ در حوضه‌های مختلف متغیر است. در همین راستا، بیشترین بی نظمی در سناریوی RCP۸,۵ با داشتن بالاترین میزان از دامنه‌ی تغییرات و پراکندگی حوضه‌ها از نظر میزان و نوع روند به چشم می‌خورد. اما نکته اصلی این است که در هیچ یک از سناریوها، بارش حوضه‌ها دارای روند معناداری در سطوح اطمینان ۹۵ و۹۹ درصد نمی‌باشد. اما مطابق شکل ۴ که نشان دهنده‌ی روند دمای سالانه‌ی دوره‌ی آینده‌ی حوضه‌های آبریز است، دامنه‌ی تغییرات آماره‌ی (z) به ترتیب در سناریوهای RCP۲,٦، RCP٤,۵ و RCP۸,۵ حدود ۱/۶- تا ۱، ۱/۵ تا ۳ و ۲ تا ۵ است. به جز در سناریوی RCP۲,٦ در بقیه‌ی سناریوها روند افزایشی معنادار دما دیده می‌شود که این روند در هر سناریو نسبت به سناریو قبل با شیب تندتری برآورد شده است. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که در سناریوی RCP۲,٦ با کنترل انتشار گازهای گل‌خانه‌ای کل حوضه‌های آبریز از شرایط وجود روند افزایشی معنادار خارج شده‌اند و این در حالی است که در دو سناریوی دیگر و به‌ویژه در سناریوی RCP۸,۵ روند افزایشی معنادار دیده می‌شود به طوری که در سناریوی RCP٤,۵ اکثر حوضه‌های آبریز و در سناریوی RCP۸,۵ تمامی حوضه‌های آبریز با روند افزایشی دما روبه‌رو هستند که این روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]



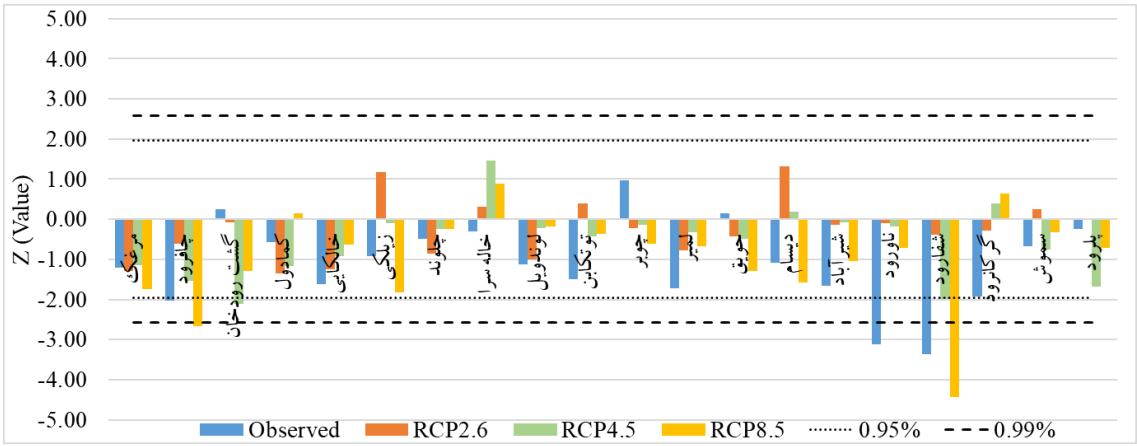
شکل ۳. نقشه روند (براساس آمارهٔ z) بارش حوضه‌های منتخب برای دوره بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ میلادی



شکل ۴. نقشه روند (براساس آمارهٔ z) دمای حوضه‌های منتخب برای دوره بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ میلادی

با در دست بودن مقادیر بارش و دما برای دوره‌های آتی و معادلاتی که در جدول ۲ ارائه گردید، مقدار آبدهی رودخانه‌ها برای دوره‌های آینده پیش‌بینی شد. با استفاده از ارقام برآورد شده‌ی دبی رودخانه‌ها برای دوره‌های آینده که در واقع از حل معادلات جدول ۲ به دست آمده تحلیل روند داده‌ها انجام گرفت. شکل ۵ مربوط به روند آبدهی رودخانه‌ها طی دوره‌ی ۳۰ ساله‌ی بین سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ میلادی تحت سه سناریوی انتشار داده‌های اقلیمی است. همانگونه که مشاهده می‌شود بر اساس مقدار آماره (z)، روند معناداری برای آبدهی رودخانه‌ها طی سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ میلادی تحت سناریوی RCP۲،۶، قابل پیش‌بینی نیست، اما نتایج سناریوی RCP۴،۵ نشان داد، روند کاهشی دبی رودخانه‌ها در حوضه‌های آبریز گشت رودخان و شفارود با معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد همراه است و در سایر حوضه‌ها روند معناداری وجود ندارد. همچنین براساس سناریوی RCP۸،۵، حوضه‌های چافرود و شفارود با کاهش دبی مواجه خواهند شد که این کاهش در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار می‌باشد. در سایر حوضه‌ها روند معناداری بر اساس این سناریو بدست نیامد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

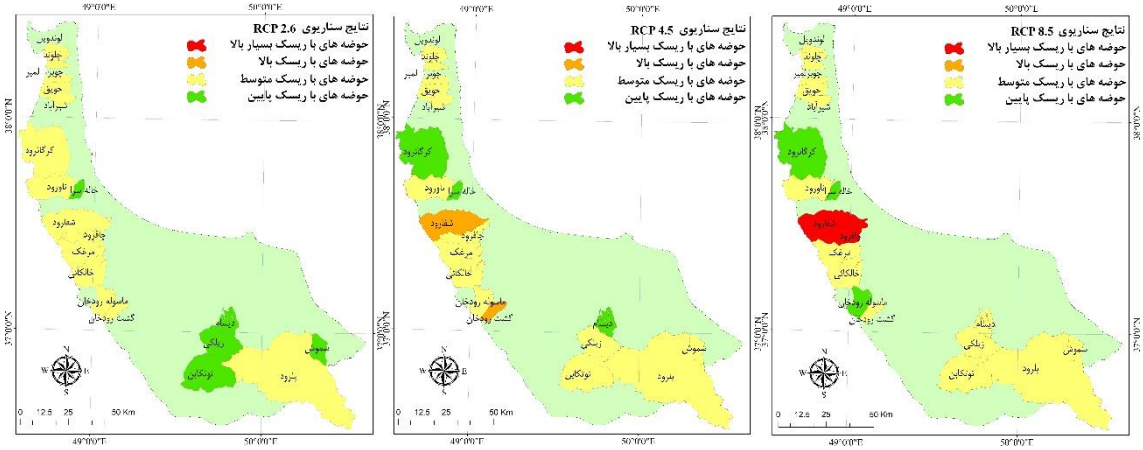


شکل ۵. مقادیر (z) داده‌های مشاهداتی و مدل شده‌ی دبی جریان رودخانه‌ها با سناریوهای RCP۲,۶، RCP۴,۵ و RCP۸,۵

به منظور تحلیل بهتر وضعیت دبی جریان رودخانه‌های حوضه‌های آبریز در سال‌های آینده، طبقه‌بندی و گروه‌بندی برروی آنها انجام گرفت که به واسطه‌ی آن تعیین شود که هر حوضه در سناریوهای اقلیمی در کدام یک از گروه‌ها، از نظر ریسک درگیری با کم شدن میزان آب‌دهی قرار خواهد گرفت. معیار تهیه‌ی نقشه‌های طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز، مقدار آماره‌ی (z) در نظر گرفته شد. به طوری‌که حوضه‌هایی که دارای آماره‌ی (z) مابین مقدار صفر تا ۱/۹۶ بودند در دسته‌ی حوضه‌های با ریسک پایین، حوضه‌های با آماره‌ی (z) بین ۱/۹۶- تا صفر در دسته‌ی حوضه‌های با ریسک متوسط و آماره‌ی (z)های بین ۲/۵۷۵- تا ۱/۹۶- در دسته‌ی حوضه‌های با ریسک بالا قرار گرفته و در آخر حوضه‌های با آماره‌ی (z)های بیش از مقدار ۲/۵۷۵- در گروه حوضه‌های با ریسک بسیار بالا قرار می‌گیرند. شکل شماره‌ی ۶ طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز را تحت سه سناریوی RCP۲,۶، RCP۴,۵ و RCP۸,۵ نشان می‌دهد. طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز براساس وضعیت آب‌دهی آنها بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ میلادی در سه سناریوی مذکور به این صورت است که در سناریوی اقلیمی RCP۲,۶ حوضه‌های آبریز خاله سرا، دیسام، پاشاکی، توتکابن و سموش در گروه حوضه‌های با ریسک پایین و حوضه‌های لوندویل، چلوند، لمیر، چوبر، حویق، شیرآباد، کرگانرود، ناورود، شفارود، چافرود، مرغک، خالکایی، ماسوله رودخان، گشترودخان و پلرود در گروه حوضه‌های با ریسک متوسط قرار گرفتند. اما در سناریوی RCP۴,۵ حوضه‌های آبریز کرگانرود، خاله‌سرا و دیسام در طبقه‌ی حوضه‌های با ریسک پایین و حوضه‌های لوندویل، چلوند، لمیر، چوبر، حویق، شیرآباد، ناورود، چافرود، مرغک، خالکایی، ماسوله رودخان، پاشاکی، توتکابن و پلرود در دسته‌ی حوضه‌های با ریسک متوسط قرار گرفتند. حوضه‌های آبریز شفارود و گشت رودخان نیز در دسته‌ی حوضه‌های با ریسک بالا واقع شدند. برای سناریوی اقلیمی RCP۸,۵ حوضه‌های آبریز کرگانرود، خاله‌سرا و ماسوله رودخان در گروه حوضه‌های با ریسک پایین و حوضه‌های لوندویل، چلوند، لمیر، چوبر، حویق، شیرآباد، ناورود، مرغک، خالکایی، پاشاکی، گشت رودخان، توتکابن، دیسام و پلرود در حوضه‌های با ریسک متوسط قرار گرفتند. حوضه‌های آبریز شفارود و چافرود در این سناریو در دسته‌ی حوضه‌های با ریسک بسیار بالا قرار گرفتند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]



شکل ۶. نقشه‌های گروه‌بندی حوضه‌های آبریز در استان گیلان

نتیجه‌گیری

بررسی روند بارش سالانه‌ی حوضه‌های آبریز منتخب طی دوره‌ی مورد مطالعه نشان داد، تمامی حوضه‌های مورد مطالعه در هیچ یک از سطوح اطمینان (۹۵ و ۹۹ درصد) از روند معنادار برخوردار نیستند. از سوی دیگر چگونگی روند متغیر دمای متوسط سالانه‌ی حوضه‌های آبریز منتخب در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه حاکی از آن است که در تمامی حوضه‌ها روند افزایشی قابل مشاهده است. این روند در حوضه‌های آبریز گشت رودخان، ماسوله رودخان، مرغک، خالکایی، خاله‌سرا، ناورود و کرگانرود در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار نمی‌باشد اما در حوضه‌های چافرود، زیلکی، چلوند، لوندویل، توتکابن، چوبر، لمیر، حویق، دیسام، شیرآباد، پونل، سموش و پلرود در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است. از طرفی در حوضه‌ی رودخانه حویق این روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد نیز معنادار می‌باشد. در اکثر حوضه‌های آبریز روند کاهشی آبدهی رودخانه‌ها وجود دارد به جز در حوضه‌های گشترودخان، چوبر و حویق که با وجود عدم معناداری، به صورت جزئی است. همچنین در سه حوضه‌ی آبریز چافرود، ناورود و شفارود روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد دیده می‌شود که در مورد رودخانه‌های ناورود و شفارود، این روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد نیز معنادار می‌باشد. پس از تولید داده‌های آینده‌ی بارش و دما (۲۰۲۰-۲۰۵۰) به کمک مدل ریز مقیاس نمایی SDSM متوسط بارش و دمای آینده‌ی هر حوضه محاسبه شد. بررسی روند آنها نشان داد بارش‌ها همچنان در هیچ یک از سناریوهای اقلیمی روند معناداری ندارند اما دما در به غیر از سناریوی RCP۲،۶ در سناریوهای دیگر دارای روند افزایشی است. سپس بعد از جایگذاری داده‌های بارش و دمای محاسبه شده در روابط رگرسیونی به دست آمده، مقدار دبی حوضه‌های آبریز برای دوره‌های آینده تحت سه سناریوی اقلیمی RCP۲،۶، RCP۴،۵ و RCP۸،۵ مورد تخمین قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سناریوی RCP۲،۶ در هیچ‌یک ازحوضه‌های آبریز منتخب روند معناداری در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد وجود ندارد اما در سناریوی RCP۴،۵ در دو حوضه‌ی آبریز شفارود و گشت رودخان روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد دیده می‌شود. همچنین در سناریوی RCP۸،۵ برای حوضه‌های آبریز چافرود و شفارود روند کاهشی معنادار دبی جریان در سطح اطمینان ۹۹ درصد قابل مشاهده می‌باشد. در نهایت حوضه‌های آبریز از نظر میزان ریسک درگیر شدن با کاهش آب‌دهی مورد گروه‌بندی قرار گرفتند. نتایج گروه‌بندی نشان داد که اکثر حوضه‌ها در سه سناریو، در گروه حوضه‌های با ریسک متوسط قرار گرفتند ولی به ترتیب حوضه‌های شفارود، چافرود و گشت رودخان دارای ریسک بالاتری نسبت به سایر حوضه‌ها از نظر کم شدن آب‌دهی در دوره‌های آتی هستند. بنابراین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

حساس‌ترین حوضه‌های آبریز به تغییرات اقلیمی را می‌توان این سه حوضه در نظر گرفت. ضمن این که با توجه به کاهشی بودن روند دبی جریان در اکثر حوضه‌ها در دوره‌های آتی خطر ورود این حوضه‌ها به کاهش آبدهی با روندهای معنادار نیز وجود دارد. به خصوص که ممکن است عوامل تاثیرگذار غیر اقلیمی دیگر مانند عوامل انسانی نیز بر عملکرد حوضه‌های آبریز اثر بگذارند. به اضافه‌ی این موارد، مورد تایید قرار گرفتن یافته‌های این تحقیق در مقایسه با مطالعات پیشین نیز می‌تواند به عنوان پشتوانه‌ای در بیان ریسک‌ها و بحران‌های احتمالی با اهمیت باشد. مقایسه‌ی یافته‌های این تحقیق در ارتباط با روند دمای دوره‌ی مورد مطالعه و دوره‌های آتی در ایران و منطقه‌ی مورد مطالعه با مطالعات پیشین، نشان می‌دهد که در یک راستا می‌باشند به طوری که روند افزایشی دما در تمامی این مطالعات دیده شده است. همچنین در این تحقیق، بارش‌ها برای دوره‌های آتی در برخی از حوضه‌ها افزایشی بوده و در برخی دیگر کاهشی، اما در همه‌ی حوضه‌ها بدون روند معنادار بوده است. در مطالعات دیگر که در برخی از سایر مناطق ایران انجام گرفته روند کاهشی برای دوره‌های آتی برآورد شده است. اما در شمال ایران و سواحل نواحی خزری مطالعات خورشیددوست و همکاران در سال ۱۳۹۶ نشان داد در دوره‌ی آینده در ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه هردو روند کاهشی و افزایشی دیده می‌شود. در مورد دبی رودخانه‌ها طی دوره‌ی مورد مطالعه در ایستگاه‌های غرب کشور روند کاهشی مشاهده شد (قرمزچشمه و همکاران، ۱۳۹۱). در این تحقیق نیز در اکثر حوضه‌های مورد مطالعه روند کاهشی مشاهده شد که این روند در برخی از حوضه‌ها معنادار بوده است. برای داده‌های آینده به غیر از سناریوی RCP۲،۶ در بقیه سناریوها در برخی از حوضه‌ها روند کاهشی معنادار دیده شد. سایر مطالعات در این زمینه در حوضه رودخانه‌ی سرباز استان سیستان و بلوچستان (سارانی باعطا، ۱۳۹۲) و رودخانه اعلا در استان خوزستان (کرمی و فرید، ۱۳۹۲) برای دوره‌های آتی روند کاهشی را برآورد نموده‌اند. در مجموع تشدید روند افزایشی دما و بی نظمی‌های بارش طی دوره‌های آتی می‌تواند موجب فراهم شدن شرایطی با پیچیدگی‌های به مراتب بیشتر از وضعیت حال حاضر شود که این خود ممکن است، میزان در دسترس بودن منابع آب و استفاده از آن را تحت تاثیر قرارداده و دست‌خوش تغییراتی نماید. بنابراین می‌بایست با انجام مطالعات دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر برروی حوضه‌ها و به ویژه حوضه‌هایی که در این پژوهش با ریسک بالا شناسایی شدند، طرح‌ها و برنامه‌های خاص آب‌خیزداری را تهیه و تدوین نموده به طوری که بیشترین سازگاری را با شرایط این منابع در آینده داشته باشند.

منابع

احمدی نوحدانی, سیروس؛ آیه شعبانی کوچصفهانی. ۱۳۹۵. تحلیل ژئوپلیتیکی تغییرات اقلیمی و اثرات و تهدیدات آن بر آینده استان گیلان. *همایش آمایش سرزمین، جایگاه خزر و چشم انداز توسعه گیلان*، بندر انزلی، انجمن ژئوپلیتیک ایران، سازمان منطقه آزاد انزلی.

حسینی بروجنی, بهروز؛ مهران حیدری بنی و شاهرخ پارسا. ۱۳۹۶. شواهد تغییر اقلیم در دومین قطب پربارش کشور. *دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد*، دانشگاه شهرکرد - انجمن هیدرولوژی ایران.

خدیر, محمدحسین؛ سعید گلیان، منصور رستمی کلور و مرتضی اقتطاف. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات بارش در دوره های آتی تحت سناریوهای تغییر اقلیم (مورد مطالعاتی حوضه تالار، مازندران). *دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)*، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.

خورشید دوست، علی محمد؛ بهروز صراف، باقر قرمز چشمه و فاطمه جعفرزاده. ۱۳۹۶. برآورد و تحلیل مقادیر آتی بارش‌های نواحی خزری با بکارگیری مدل‌های گردش عمومی جو. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. **۱۷**: ۲۲۶-۲۱۳.

رشتچی, لیدا؛ مهدی پژوهش. ۱۳۹۵. مدیریت خشکسالی در گیلان با نگاهی به تفاوتهای خاص منطقه و راهکارهای غلبه و کاهش اثرات. *اولین همایش ملی مدیریت آب با رویکرد مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی*، همدان، دبیرخانه دائمی همایش.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

رهبر، اسماعیل؛ مجتبی پاک پرور، مسعود مسعودی و لادن جوکار. ۱۳۸۴. روند تغییرات رواناب در آبخیز خررود. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، **۱۲**: ۱۷۳-۱۶۱.

سارانی باعطا, خدارحم؛ عباسعلی قادری و میثم ابراهیم پور قهفرخی. ۱۳۹۲. بررسی آبدهی و دبی حداکثر سالانه در دوره گذشته و آینده محتمل متاثر از تغییراقلیم (مطالعه موردی: رودخانه سرباز، سیستان و بلوچستان). پنجمین *کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، تهران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

عزیزی، قاسم؛ محمود روشنی. ۱۳۸۶. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من – کندال. *پژوهشهای جغرافیایی*، **۶۴**: ۱۳-۲۸.

فرجزاده، منوچهر. ۱۳۹۰. تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه مطالعه موردی: رودخانه ششپیر. *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، **۱**: ۲۳-۱۷.

قرمزچشمه, باقر؛ مجید رضایی بنفشه و مجتبی نساجی. ۱۳۹۱. بررسی مکانی روند آبدهی سالانه با استفاده از روش من-کندال در شمال غرب کشور. *اولین همایش ملی بیابان*، تهران، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان دانشگاه تهران.

کرمی گرزی, فرید. ۱۳۹۲. تحلیل آبدهی رودخانه اعلاء تحت اثر پدیده تغییر اقلیم. *کنفرانس ملی مخاطرات محیط زیست زاگرس*، خرم آباد، اداره کل مدیریت بحران استانداری لرستان، انجمن مهندسی محیط زیست زاگرس.

کریمی، مصطفی؛ فاطمه ستوده و سمیه رفعتی. ۱۳۹۷. تحلیل روند تغییرات و پیش بینی پارامترهای حدی دمای ناحیه جنوبی دریای خزر. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. **۱۸**: ۹۳-۷۹.

پوربرج، نقی ؛ علی اصغر. ۱۳۹۶. ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان چهارمحال و بختیاری در دهه‌های آینده، *چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست*، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

Arampatzis, G., A. Panagopoulos, V. Pisinaras, E. Tziritis, & F. Wendland, ۲۰۱۸. Identifying potential effects of climate change on the development of water resources in Pinios River Basin, Central Greece. *Applied Water Science*, **۸(۲)**: ۱-۱۷, Doi: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۳۲۰۱-۰۱۸-۰۶۹۰-۱.

Billi, P., & M. Fazzini, ۲۰۱۷. Global change and river flow in Italy. *Global and Planetary Change*, **۱۵۵**: ۲۳٤-۲٤٦. **doi**: ۱۰,۱۰۱٦/j.gloplacha.۲۰۱۷,۰۷,۰۰۸.

Freitas, C. R., M. Helbig, & A. Matzarakis, ۲۰۱۳. Hydroclimatic assessment of water resources of low Pacific islands: Evaluating sensitivity to climatic change and variability. *International Journal of Climatology*, **۳٤(۳)**: ۸۸۱-۸۹۲. **doi**:۱۰,۱۰۰۲/joc.۳۷۳۱.

Fu, G., S. P. Charles, & F. H. Chiew. ۲۰۰۷. A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow. *Water Resources Research*, **٤۳(۱۱)**. doi:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۷wr۰۰۵۸۹۰.

Hoekema, D. J., & V. Sridhar. ۲۰۱۱. Relating climatic attributes and water resources allocation: A study using surface water supply and soil moisture indices in the Snake River basin, Idaho. *Water Resources Research*, **٤۷(۷)**. doi:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۰wr۰۰۹٦۹۷

Huang, J., Y. Wang, T. Fischer, B. Su, X. Li, & T. Jiang. ۲۰۱٦. Simulation and projection of climatic changes in the Indus River Basin, using the regional climate model COSMO-CLM. *International Journal of Climatology*, **۳۷(٥)**: ۲٥٤٥-۲٥٦۲. doi:۱۰,۱۰۰۲/joc.٤۸٦٤.

IPCC, ۲۰۱۳, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on limate Change, Climate Change ۲۰۱۳ The Physical Science Basis.

IPCC,۲۰۰۱, The Scientific Basis of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ۰۲۲۱. Cambridge University Press.

Kahya, E., S. Kalayci. ۲۰۰٤. Trend analysis of stream flow in Turkey. *Journal of Hydrology*, **۲۸۹**: ۱۲۸-۱٤٤.

Kumar, S., V. Merwade. ۲۰۰۹. Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, **۳۷٤**: ۱۷۱-۱۸۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]

Lin. qiang, E.T.۲۰۰۹. Impact of climate change /variability on the stream flow in the yellow river basin ,"china ecological modeling.

Partal, T., M. Kucuk. ۲۰۰٦. Long-term trend analysis using discrete wavelet components of annual precipitations measurements in Marmara region (Turkey). *Physics and Chemistry of the earth* **۳۱**: ۱۱۸۹-۱۲۰۰.

Sanderson, M. G; A. J. Wiltshire, & R. A. Betts. ۲۰۱۲. Projected changes in water availability in the United Kingdom. *Water Resources Research*, **٤۸(۸)**. **doi**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۲wr۰۱۱۸۸۱.

Sefton, C; D. Boorman. ۱۹۹۷. A regional investigation of climate change impacts on UK stream flows. *Journal of Hydrology*, **۱۹۵(۱-٤)**: ۲٦-٤٤. Doi: ۱۰,۱۰۱٦/s۰۰۲۲-۱٦۹٤(۹٦)۰۳۲۵۷-x.

Weiß, M.; J. Alcamo, ۲۰۱۱. A systematic approach to assessing the sensitivity and vulnerability of water availability to climate change in Europe. *Water Resources Research*, **٤۷(۲)**: ۱-۱۹, **doi**: ۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۹wr۰۰۸۵۱٦.

Yue, S.; P, Pilon. ۲۰۰۲. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, **۲۵۹**: ۲۵٤-۲۷۱.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.121]