

صص ۵۵-۸۱

## آشکار سازی روند تغییرات هیدرولوژیکی حوضه رودخانه ارمند

### داریوش سعیدی

دانشجوی گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

### امیر گندمکار\*

دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

### مسعود نصری

استادیار مرکز تحقیقات مطالعات آب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۳

### چکیده

پدیده تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهم قرن حاضر محسوب می‌گردد و به‌نوعی ابعاد تأثیرات آن فرا منطقه‌ای بوده و اکوسیستم کره زمین را تحت‌الشعاع خود قرار داده است از جمله این اثرات می‌توان به روند تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه‌ها اشاره کرد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبریز رودخانه ارمند در استان چهارمحال و بختیاری است. داده‌های مورد استفاده از اطلاعات ۴ ایستگاه هیدرومتری واقع در منطقه مورد مطالعه در یک دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) به دست آمده است. روش مورد استفاده در این تحقیق، آزمون آماری و گرافیکی من-کندال است. نتایج حاصله از بررسی روند و تغییرات رواناب (دبی) در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه ارمند (شامل ارمند، بهشت‌آباد، کوه سوخته و کره‌بس) نشانگر وجود روند کاهشی و معنی‌دار رواناب سالیانه، و فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز است. از طرفی مقایسه میانگین تغییرات دبی در فصل‌های مختلف نشان داد که فصل تابستان بیشترین تغییرات کاهشی رواناب را نسبت به سایر فصل‌ها داشته است. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد میانگین دبی سالیانه کل حوضه در طول دوره آماری برابر با  $۲۹/۳$  مترمکعب بر ثانیه بوده است. میانگین حداقل و حداکثر دبی سالیانه حوضه در همین مدت به ترتیب  $۰/۷$  و  $۸۴/۷۸۵$  مترمکعب بر ثانیه ثبت شده است. ایستگاه ارمند با متوسط  $۱۳۷/۷$  مترمکعب بر ثانیه در فصل بهار بیشترین دبی ایستگاهی و در همین فصل ایستگاه کوه سوخته با  $۶/۷۴$  مترمکعب بر ثانیه کمترین دبی را در بین ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه داشته‌اند.

واژگان کلیدی: آشکار سازی تغییر اقلیم، تغییرات هیدرولوژیکی، دبی، حوضه ارمند

### مقدمه

اقلیم برگرفته شده از واژه یونانی کلیما است و به‌طور کلی عبارت از: شرایط غالب هوا در دراز مدت است. در واقع اقلیم یک مکان، از مجموعه عناصر و عوامل تشکیل شده که نسبت تغییرات عناصر به عوامل اقلیمی بیشتر است که برآیند آن‌ها

شرایط خاصی را از لحاظ آب و هوا ایجاد می‌کند که معرف مکان خاص خود است (علیچانی، ۱۳۸۲). بررسی جزئیات اقلیم‌های گذشته نیز نشان می‌دهد که اقلیم در رده‌های زمانی اعم از دوره‌های چند دهه‌ای تا چند میلیون سالی تغییر نموده است. بنابراین اقلیم آینده احتمالاً متفاوت با اقلیم حال خواهد بود (عزیزی، ۱۳۸۳).

تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند تغییرات اقلیمی ارائه شده است. این روش‌ها به دودسته آزمون‌های پارامتری و نا پارامتری تقسیم می‌شوند.

مسئله تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آب تأثیر گذاشته و نیاز بخش‌های صنایع، کشاورزی و تأمین آب شرب را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد. هر تغییری در اقلیم کلیه عناصر هیدرولوژی را تغییر می‌دهد و عکس آن نیز اتفاق می‌افتد. روان آب، آبدهی رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، شدت سیلاب و خشکی همگی متأثر از میزان بارش-که یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی به شمار می‌آید- می‌باشند.

با توجه به ادامه روند تغییر اقلیم در سطح جهان، اثرات آن را بر روی منابع آب به هیچ‌وجه نمی‌توان نادیده گرفت. آسیب‌پذیری منابع آب و حساسیت آن‌ها در برابر تغییر اقلیم از جمله چالش‌های مهمی است که در سال‌های اخیر نظر دولتمردان و پژوهشگران علوم آب و ... را به خود جلب کرده پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده است.

سانتینی و پائول (۲۰۱۵) تغییرات دبی رودخانه Mad نیویورک را به کمک پهنه‌بندی شرایط اقلیمی زمان حال و آینده بررسی کردند. سپس به مقایسه نقشه‌ها تحت مدل CMCC-CM و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که آب و هوای مناطق سرد و قطبی با روند معتدل و افزایشی در حال تبدیل شدن به آب و هوای خشک و استوایی است.

در پژوهشی موسایو و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه‌های بالادست رودخانه زویا در کنیا پرداختند. در این پژوهش تغییرات اقلیمی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱، ۲۱۰۰-۲۰۷۱، مورد شبیه‌سازی هیدرولوژیکی واقع شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش تا ۲،۴، ۰/۹ تا ۴ و ۱ تا ۵،۹ درجه سانتی‌گرادی و افزایش ۴ تا ۶٫۶ درصد کاهش ۲،۲ تا ۱،۵- درصد و افزایش ۳،۳ تا ۷،۷ درصد به ترتیب برای دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بوده است که منجر به تغییرات شدید جریان رودخانه شده است.

بشیر و همکارانش (۲۰۱۶) آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه دیندر در سودان را بررسی کردند. آن‌ها از مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی چهار مدل گردش عمومی جو سری پنجم با دو سناریوی (RCP4.5 و RCP8.5) و دو روش ریز گردانی CF و QM استفاده کردند. مقایسه رواناب آبی با دوره خشک ۱۹۷۷-۱۹۸۸ میلادی نشان‌دهنده آثار مثبت تغییر اقلیم بر اکوسیستم پارک ملی دیندر دارد.

نتایج پژوهش پاپادیمتریو و همکارانش (۲۰۱۶) روی دبی میانگین در پنج حوضه آبخیز مهم در اروپا با استفاده از سناریوی RCP8.5 و روش ریز گردانی BC نشان داد چرخه آب تحت این سناریو به مرز هشدار می‌رسد. حتی در حوضه‌هایی که میانگین دبی تغییر زیادی نداشته باشد مقدار دبی حداقل کاهش می‌یابد و سبب افزایش روزهای خشک

می‌شود. در بررسی دیگری اثر تغییر اقلیم، افزایش دمای هوا و دبی بر کیفیت آب رودخانه پرایریه در ایالت میشیگان آمریکا ارزیابی شد).

در مطالعه دیگری (Brouziyne et al. 2018) به بررسی تأثیرات اقلیمی با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز مدیترانه در شمال غربی مراکش پرداخت. در این مطالعه از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی مدل گردش عمومی CNRM CM5 تحت سناریوهای انتشار PCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۰۵۰-۲۰۳۱ استفاده گردید که نتایج حاکی از کاهش بارش و افزایش دما بود.

رانتا و همکاران (۲۰۱۸) اثر تغییر اقلیم بر تعادل هیدرولوژیکی حوضه کالیندگی را با استفاده از مدل‌های CMIP5 تحت سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 با مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که تا پایان قرن حاضر دما برای سناریو بدبینانه تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

باهاتا و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه خود به ارزیابی عملکرد مدل SWAT و باندهای ارتفاعی و تعیین کمیت تأثیر تغییرات آب و هوا بر جریان‌های حوضه رودخانه tamor در هیمالیای شرقی در نپال پرداختند. نتیجه این مطالعه نشان داد که آب و هوای آینده می‌تواند مقدار جریان را در طول قرن بیست و یکم تحت سناریوهای RCP8.5 بیش از ۸٫۵ درصد کاهش دهد.

رادهایپاری و همکاران (Radhapyari et al., 2021) در پژوهشی نیز عنوان کردند که در سال‌های اخیر علاوه بر بحث کمیت و دسترسی به آب، موضوع کیفیت آب نیز در ارتباط با پدیده تغییر اقلیم به دلیل گرمایش جهانی و وقایع حدی اقلیمی مورد توجه قرار گرفته است. آن‌ها همچنین گزارش کردند که تغییر اقلیم اثر غیرقابل انکاری بر کمیت و به تبع آن کیفیت منابع آب دارد و نتیجه گرفتند که تأمین آب شرب تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت.

در رابطه با مطالعات داخلی موضوع اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی و نیز تحلیل روند تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه‌ها مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است.

اسکانی کزازی (۱۳۹۵) در پژوهشی تحت عنوان شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه آبریز کارون بزرگ و مدیریت بحران شهر اهواز با استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) تحت سناریوی گازهای گلخانه‌ای SRES تغییرات بارش و دما در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ برای ایستگاه اهواز که ایستگاه منتخب حوضه کارون بزرگ بوده شبیه‌سازی نموده است. نتایج این پژوهش افزایش دما برای هر دو مدل به ترتیب ۱٫۸ و ۲ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارندگی ۴ و ۶ درصدی برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را نشان داده است.

صفری شاد و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای تحت عنوان پتانسیل تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه در حوضه آبخیز همدان - بهار اثر تغییر اقلیم بر میزان بارش، دما و رواناب در سه زیر حوضه از حوضه آبخیز همدان - بهار مورد بررسی قرار دادند. از مدل WETSPASS جهت برآورد رواناب و از مدل LARS-WG به منظور پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در طی سال‌های ۲۰۴۳-۲۰۱۴ استفاده شد. نتایج بررسی تغییر اقلیم بر هیدرولوژی آینده حوضه نشان داد حجم رواناب برای هر

سه زیر حوضه تحت سناریوی ۲ A کاهش و تحت سناریوی B1 برای زیر حوضه شماره ۱ و ۲ کاهش و برای زیر حوضه ۳ افزایش خواهد یافت. نکته قابل توجه این مطالعه کاهش بارش‌ها در فصل زمستان و بهار و برهم خوردن توزیع زمانی بارش و افزایش دماست.

کاویان و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی هیدرولوژیکی اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان رودخانه هراز از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج مدل‌های اقلیمی نشان داد که متوسط حداقل و حداکثر دمای سالیانه برای دوره آتی به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و متوسط بارندگی سالیانه برای منطقه مورد مطالعه به میزان ۱۸٪ کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین نتایج مقایسه دبی جریان‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که میزان دبی اوج برای دوره آتی افزایش خواهد یافت.

زارع زاده مهریزی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی با عنوان تغییرات رژیم جریان رودخانه گاماسیاب تحت سناریوهای تغییر اقلیم از مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جریان رودخانه استفاده شده است. در پژوهش مزبور از شاخص‌های حداقل دبی هفت‌روزه و حداکثر دبی هفت‌روزه، تداوم سیلاب، ضریب تغییرات و میانگین دبی برای بررسی تغییرات جریان استفاده شده است. نتایج نشان داد که رژیم رودخانه تحت سناریوهای مختلف در دوره آتی تغییر خواهد کرد. شدت این تغییرات در آینده نزدیک کو و هرچه به سمت پایان قرن حاضر پیش رویم بیشتر خواهد شد.

شاکریان و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه کارون بزرگ را با استفاده از روش TFPW-MK در ۷۴ ایستگاه هواشناسی و ۴۶ ایستگاه هیدرومتری در سه بازه زمانی ماهانه، فصلی و سالیانه بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در مقیاس سالیانه ۸۲٪ ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی می‌باشند. در مقیاس ماهانه پربارش‌ترین ماه‌های سال (دی، بهمن و اسفند) دارای روند کاهشی بوده به‌گونه‌ای که در اسفند ماه بیش از ۹۹٪ ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی بوده‌اند. همچنین نتیجه دیگر این تحقیق مؤید این مطلب است که با توجه به روند کاهشی تغییرات بارندگی حوضه آبریز روند دبی رودخانه‌ها نیز کاهشی بوده است.

کاظم‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبخیز آجی چای را بررسی کردند. نتایج نشان داد که متغیرهای اقلیمی در طول چهار دهه گذشته دارای تغییرات نگرهانی و روند بوده است. آن‌ها تأکید داشتند مطالعه اثر تغییر اقلیم و استفاده از سناریوی تغییر اقلیم در منطقه مطالعاتی بر جریان آب رودخانه آجی چای ضروری است. باب الحکمی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی و پیش‌بینی رواناب حوضه رودخانه نکا طی دوره آتی پارامترهای اقلیمی دما و بارش را طی دوره آتی ۲۰۸۱-۲۰۱۹ تحت سه سناریوی اقلیمی شبیه‌سازی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که وقایع خشک‌سالی طی دوره‌های آتی تحت هر سه سناریوی اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه افزایش یافته و دوره‌های مرطوب و نرمال نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

کونانی و همکاران (۱۳۹۹) اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز سیلاخور رحیم‌آباد لرستان را با بهره‌گیری از دو مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG و پارامترهای اقلیمی برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در هر دو مدل بارش کاهش و دما افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده از هر دو مدل حاکی از کاهش رواناب حوضه مورد مطالعه در دوره آتی است.

نادری، مصطفی (۱۳۹۹) اثر تغییر اقلیم بر دبی ورودی و حجم مخزن سد درود زن شمال استان فارس با استفاده از مدل SWAT را پیش‌بینی کرد. این مطالعه نشان داد که متوسط بارش سالیانه حوضه آبریز از ۷۵۱ میلی‌متر به ۶۵۳،۶۳۰ و ۶۲۴ میلی‌متر تحت سه سناریوی RCP4.5, RCP2.5, RCP8.5 کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی دبی ورودی به سد نیز تحت سه سناریو مورد مطالعه نشان می‌دهد که متوسط سالیانه دبی ورودی سد از ۲۸،۶ مترمکعب به ۱۴،۲ و ۱۴،۳ مترمکعب کاهش خواهد داشت. این تحقیق همچنین نشان داد که این کاهش چشمگیر به دلیل کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق بر روی حوضه آبریز سد بوده و باعث افزایش کمبود منابع آب و تشدید بحران آن در مناطق پایین دست سد خواهد شد.

نیک مهر و همکار (۱۳۹۹) اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی و اقتصادی زیر حوضه کرخه جنوبی با استفاده از مدل WEAP ارزیابی کردند. نتیجه این پژوهش نشان داد که تغییر اقلیم موجب کاهش آب در دسترس در مناطق مختلف زیر حوضه کرخه جنوبی می‌شود اما اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف متفاوت است. آنه همچنین به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم در این حوضه موجب تغییر در عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی شده است. به طوری که محصولات برنج و چغندر قند دارای تغییر عملکرد منفی بوده‌اند.

میرشکاران، یحیی و همکاران (۱۴۰۰) اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای حوضه آبخیز قره‌سو در استان کرمانشاه را با استفاده از مدل‌های AR4 در دوره‌های سی‌ساله (۲۰۴۴-۲۰۱۵) و (۲۰۷۵-۲۰۴۵) مورد بررسی قرار دادند. بر اساس وزن دهی مدل‌ها نتایج نشان داد که مدل IPCLCM4.0 بیشترین دقت را در برآورد دما و مدل GISS-ER بیشترین دقت را در برآورد بارش در کل حوضه قره‌سو از خود نشان داد. نتایج تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش نشان داد که فصل‌های تابستان و بهار بیشترین مقدار افزایش دما و فصل زمستان بیشترین مقدار کاهش بارندگی را دارد.

معمد وزیری و همکاران (۱۴۰۰) اثرات تغییر اقلیم بر میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز کرج را با استفاده از داده‌های دو مدل جهانی Hadcm3 و CGCM1 و با کاربرد مدل‌های ریزمقیاس SDSM متغیرهای اقلیمی را طی سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۹۸، ۲۰۴۰-۲۰۷۰ شبیه‌سازی نمودند. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی تحت سناریوی منتخب A2 تغییر اقلیم نشان داد که در سه دوره آتی نسبت به دوره پایه مقدار دما افزایش، مقدار بارش کاهش و تشعشعات خورشیدی افزایش خواهد یافت. همین‌طور نتایج حاصل از شبیه‌سازی میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل HELP تحت سناریوی منتخب A2 تغییر اقلیم حاکی از این بود که میزان تغذیه در سه دوره آتی نسبت به دوره پایه به ترتیب ۹،۶، ۱۵،۱ و ۱۵،۶٪ کاهش پیدا می‌کند.

نگهبان و مکرم (۱۴۰۱) در تحقیقی اثرات خشک‌سالی بر تغییرات دریاچه مهارلو و کاربری‌های اطراف آن با استفاده از سنجش از دور و شاخص‌های VCI، NDVI، EVI مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ اراضی بیشتری در کلاس‌های شور و بایر قرار گرفته‌اند. همچنین مقایسه طبقات این شاخص‌ها و مقادیر آن‌ها در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ احتمال کاهش مقادیر این شاخص و در نتیجه افزایش بیشتر خشک‌سالی در منطقه وجود دارد.

رجایی (۱۴۰۲) در پژوهشی وضعیت تغییرات اقلیم آینده در حوضه آبخیز تجن را پیش‌بینی نمود. وی در این تحقیق، آمار دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه و ۱۴ مدل از مجموعه مدل‌های گردش عمومی جو تحت دو سناریو در دو بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۴ به‌عنوان دوره آینده و بازه ۱۹۹۳-۲۰۱۳ به‌عنوان دوره پایه استخراج نمود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین افزایش دمای حداقل سالیانه به میزان ۱/۶ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه سفید چاه و بیشترین دمای حداکثر در ایستگاه پشرت ۲/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس این مطالعه بیشترین افزایش میانگین دمای ماهانه در ماه می و کمترین افزایش در ماه مارس پیش‌بینی می‌شود. نتایج فصلی کاهش بارندگی در بهار، پاییز و زمستان و افزایش بارندگی در تابستان را نشان داد. تغییر الگوی بارش از فصل پاییز به تابستان پیش‌بینی شد. این تغییرات با طبع بر رژیم جریان رودخانه و زمان دبی پیک، تشدید چرخه آب، سیلاب‌های بزرگ، تعداد و شدت وقایع حدی سیل و خشک‌سالی بر عملکرد محصولات کشاورزی و .... تأثیرگذار خواهد بود.

سلمان زاده یزدی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان مدل‌سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز (حسین‌آباد، راین، تلنگوم استان کرمان) متأثر از تغییر بارش در آینده به این مهم دست یافتند که اثر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه‌ها نشان می‌دهد که آبدهی حوضه آبخیز حسین‌آباد در آینده نسبت به دوره حال تغییر خواهد داشت. نتایج کلی این تحقیق حاکی است که در اکوسیستم‌های خشک به دنبال تغییر رژیم بارش حاصل از گرمایش زمین رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها تغییر خواهد کرد و وقوع رخداد‌های حدی نظیر بارش و سیل در فصول زمستان و بهار محتمل خواهد بود.

نوروز ولاشیدی و همکار (۱۴۰۲) پژوهشی را با عنوان آشکارسازی اثر تغییر اقلیم بر پهنه‌های برفی آبخیز البرز شمالی به روش CPA انجام دادند و دریافتند که تغییرات ناگهانی گرمایش جهانی و خشک‌سالی هواشناسی طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ موجب تغییر ناگهانی در پهنه پوشیده از برف و دما در این مهر و موم‌ها شده است. آن‌ها همچنین دریافتند که با افزایش دما و تغییر شرایط اقلیمی بارش‌ها زمستانه که به انباشت برف تبدیل خواهد شد کاهش یافته است و بر رواناب ناشی از بارش‌ها در فصل بهار تأثیرگذار خواهد بود.

رجایی (۱۴۰۲) در پژوهشی وضعیت تغییرات اقلیم آینده در حوضه آبخیز تجن را پیش‌بینی نمود. وی در این تحقیق، آمار دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه و ۱۴ مدل از مجموعه مدل‌های گردش عمومی جو تحت دو سناریو در دو بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۴ به‌عنوان دوره آینده و بازه ۱۹۹۳-۲۰۱۳ به‌عنوان دوره پایه استخراج نمود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین افزایش دمای حداقل سالیانه به میزان ۱/۶ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه سفید

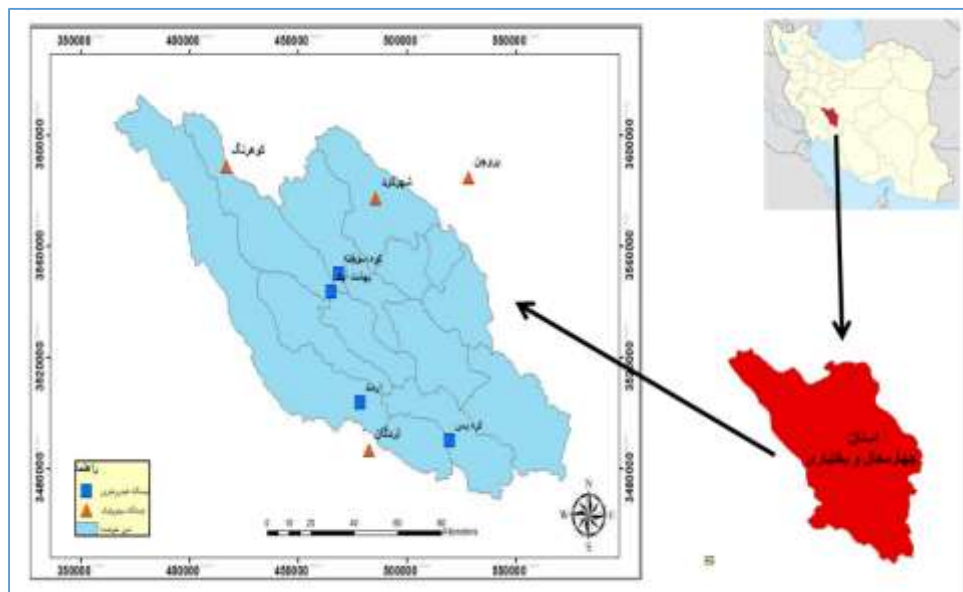
چاه و بیشترین دمای حداکثر در ایستگاه پشرت ۲/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر اساس این مطالعه بیشترین افزایش میانگین دمای ماهانه در ماه می و کمترین افزایش در ماه مارس پیش‌بینی می‌شود. نتایج فصلی کاهش بارندگی در بهار، پاییز و زمستان و افزایش بارندگی در تابستان را نشان داد. تغییر الگوی بارش از فصل پاییز به تابستان پیش‌بینی شد. این تغییرات با طبع بر رژیم جریان رودخانه و زمان دبی پیک، تشدید چرخه آب، سیلاب‌های بزرگ، تعداد و شدت وقایع حدی سیل و خشک‌سالی بر عملکرد محصولات کشاورزی و .... تأثیرگذار خواهد بود.

## داده‌ها و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر حوضه آبریز رودخانه ارمند که بخشی از حوضه آبخیز بزرگ کارون می‌باشد را در برمی‌گیرد این حوضه از نظر جغرافیایی در محدوده طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی قرار دارد. مساحت حوضه آبریز رودخانه ارمند ۹۹۶۱ کیلومترمربع بوده که بخش قابل توجهی از سطح حوضه آبریز کارون بزرگ را شامل می‌شود. این حوضه از نظر تقسیمات اداری در استان‌های چهارمحال و بختیاری شامل زیر حوضه‌های بهشت‌آباد، کوه‌رنگ، لردگان، بازفت و بخشی از زیر حوضه ونک در استان اصفهان است.

این حوضه به دلیل توپوگرافی شدید و وجود مناطق برف‌گیر از پرآب‌ترین مناطق کشور به شمار می‌رود و سرچشمه مهم‌ترین رودخانه ایران یعنی کارون می‌باشد، لذا این حوضه در مدیریت منابع آبی کشور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۶۷، مرکز تحقیقات منابع طبیعی، ۱۳۷۸). (شکل ۱)



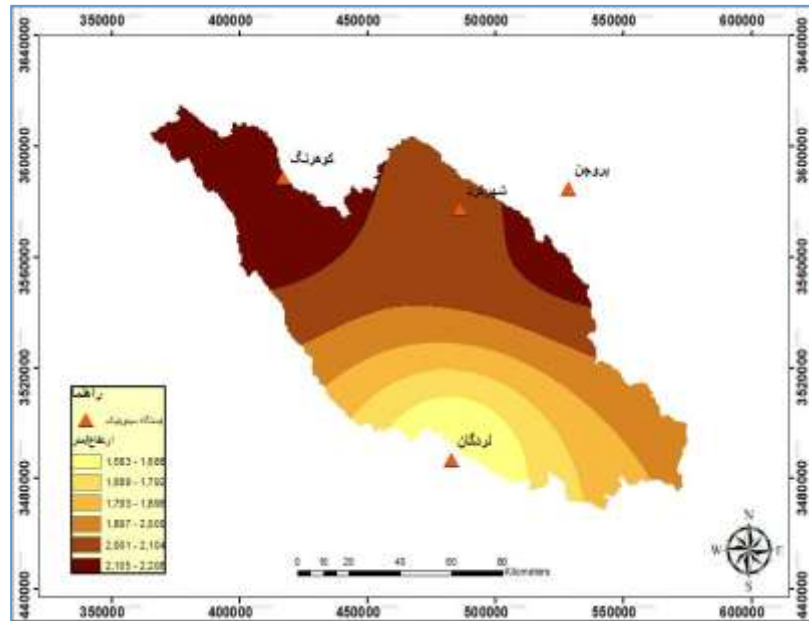
شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری و کشور

حوضه رودخانه ارمند دارای چند سرشاخه مهم است که مهم‌ترین آن‌ها رودخانه بهشت آباد و رودخانه سبزکوه می‌باشند. این حوضه با متوسط آبدهی سالانه حدود ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه به‌عنوان اصلی‌ترین پتانسیل آبی استان چهارمحال و بختیاری مطرح است. ارتفاع متوسط حوضه مورد مطالعه ۱۰۳۹ متر از سطح دریا بوده و رژیم بارندگی آن به صورت برفی، بارانی و متوسط بارش سالیانه بالغ بر ۶۰۰ میلی‌متر است.

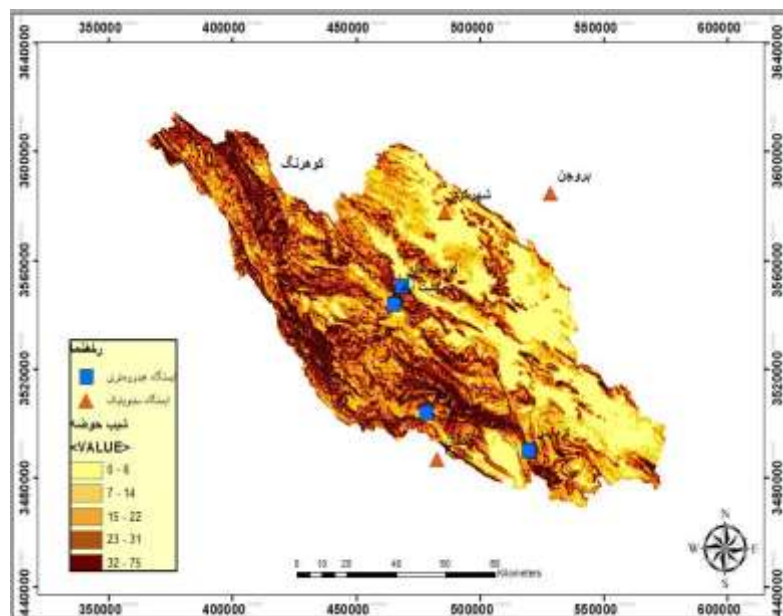
حوضه آبریز ارمند به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی دارای تنوع بوده و اقلیم‌های متفاوتی در آن وجود دارد. بارش‌های منطقه غالباً تحت تأثیر جریان‌های جوی مدیترانه و عمدتاً کم فشار سودانی قرار دارد که از غرب و جنوب غرب وارد منطقه شده و به مدت ۸ ماه (مهر تا اردیبهشت) این حوضه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وجود رشته کوه زاگرس که عمود بر مسیر حرکت این جریان‌ها است، باعث تشدید خاصیت سیکلونی آن‌ها شده و باران‌های شدید و سنگینی را در منطقه باعث می‌شود. ریزش‌های جوی در این حوضه از مهر ماه آغاز تا اردیبهشت ادامه دارد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲، داستار و همکاران، ۱۳۹۲). پربارش‌ترین بخش حوضه ارتفاعات غرب (ارتفاعات زردکوه) با متوسط بارش سالانه ۱۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد. سایر مناطق پربارش حوضه ارتفاعات سبزکوه با متوسط ۱۴۰۰ میلی‌متر، و ارتفاعات جنوب غرب (در شهرستان لردگان) با بارش ۹۰۰ میلی‌متر می‌باشند. کم بارش‌ترین نواحی حوضه، بخش‌های شرقی (ایستگاه‌های شهرکرد و بروجن) با متوسط بارش سالانه ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشند (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲، داستار و همکاران، ۱۳۹۲).

این حوضه در مجموع منطقه‌ای است کوهستانی در امتداد سلسله جبال زاگرس که از شمال غربی به طرف جنوب شرقی امتداد دارد. از مهم‌ترین ارتفاعات منطقه که بیش از ۳۵۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارند می‌توان به زرد کوه، هفت‌تان، کوه میلی، کلار، سبز کوه، سفیدکوه، اشاره کرد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). گستره ارتفاعی نقاط این حوضه از ۸۶۱ متر تا ۴۱۷۴ متر متغیر بوده و میانگین ارتفاع آن برابر ۲۳۴۵ متر است بیشترین مساحت حوزه آبریز ارمند را طبقات ارتفاعی ۲۲۰۰ تا ۲۴۰۰ متری به خود اختصاص داده که بیش از ۲۸ درصد حوضه مورد پژوهش را در برمی‌گیرد. و حدود ۷۰ درصد از مساحت حوضه را سطوح ارتفاعی کمتر از ۲۶۰۰ متر در برمی‌گیرد. (شکل ۲، ۳ و ۵)





شکل ۲: نقشه هم ارتفاع حوضه مورد مطالعه



شکل ۳: نقشه شیب حوضه مورد مطالعه

براساس تقسیم‌بندی کوپن می‌توان اقلیم‌های زیر را در این حوضه مشاهده کرد:  
 اقلیم معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک: که عمدتاً در نواحی شرقی منطقه وجود دارد و از نمونه ایستگاه‌های آن شهرکرد، بروجرد، می‌توان نام برد.  
 اقلیم معتدل سرد و تابستان‌های خشک: ارتفاعات ۳۰۰۰ - ۲۵۰۰ متری منطقه، دارای این اقلیم هستند که نمونه ایستگاه آن چلگرد است.

اقلیم نیمه گرمسیری با تابستان‌های گرم و خشک: در نواحی غربی و جنوبی منطقه دیده می‌شود که پوشیده از جنگل‌های بلوط است. ایستگاه لردگان، در این اقلیم واقع شده‌اند.

اقلیم ارتفاعات: ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متری منطقه دارای این اقلیم می‌باشند که پوشیده از برف‌های دائمی هستند

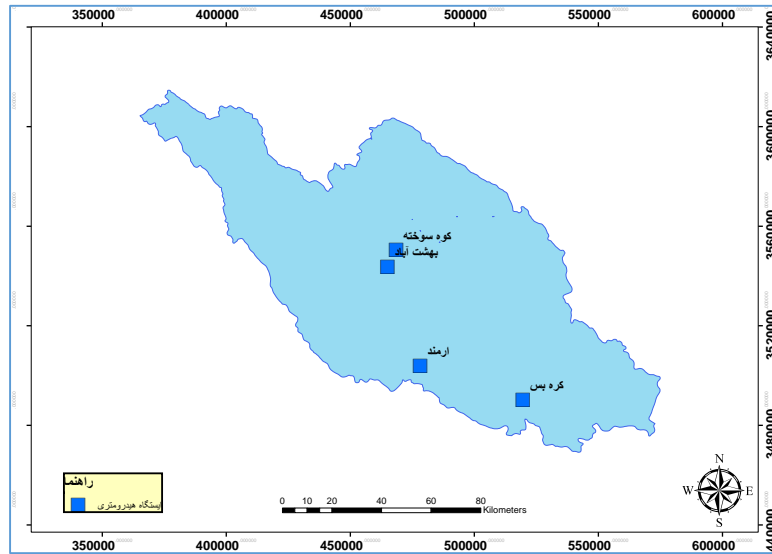
#### – ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد پژوهش:

از آنجا که در بررسی تغییرات اقلیمی آمارهای دراز مدت نتایج بهتری را عرضه می‌کند در این پژوهش سعی شده است ایستگاه‌هایی انتخاب شوند که این ویژگی را داشته باشند. بنابراین ایستگاه‌های هیدرومتری درون حوضه که واجد حداقل ۳۵ سال داده آماری بودند مورد استفاده قرار گرفتند. اگرچه برخی از ایستگاه‌های دارای آمار و اطلاعات بیش از ۳۵ سال بودند ولی برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر دوره آماری ۳۵ ساله مشترک بین آن‌ها از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۲۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفت.

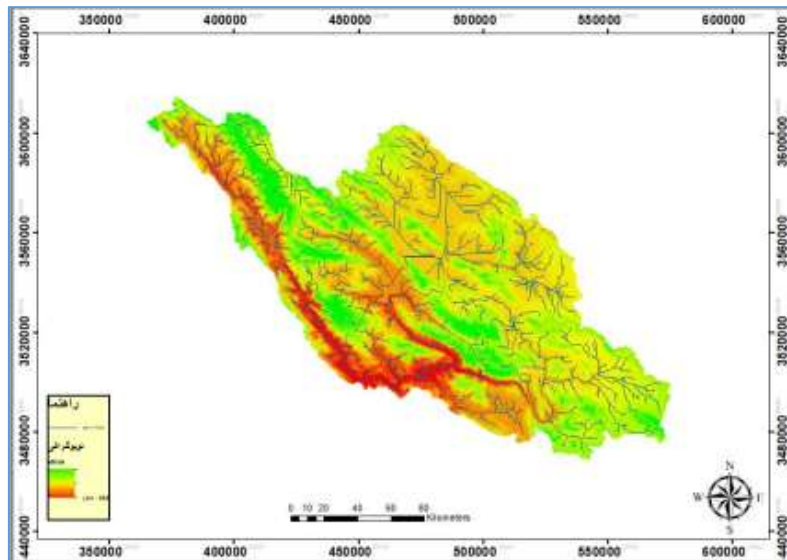
داده‌های مربوط به متغیرهای هیدرولوژیکی از ۴ ایستگاه هیدرومتری واقع در داخل حوضه شامل ارمند، بهشت‌آباد، کره بس و کوه سوخته جمع‌آوری شد. مشخصات و موقعیت این ایستگاه‌ها در جدول (۱) و شکل (۴) آمده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه

نوع ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره آماری
هیدرومتری	ارمند	۵۰ ۴۶ ۱۴	۳۱ ۴۰ ۱۴	۱۰۳۹ متر	۱۹۸۶-۲۰۲۰
	بهشت‌آباد	۵۰ ۳۷ ۴۵	۳۲ ۰۱ ۵۰	۱۶۹۵ متر	۱۹۸۶-۲۰۲۰
	کره بس	۵۱ ۱۲ ۲۲	۳۱ ۳۲ ۵۱	۱۷۹۰ متر	۱۹۸۶-۲۰۲۰
	کوه سوخته	۵۰ ۴۰ ۰۰	۳۲ ۵۲ ۲۲	۱۹۷۷ متر	۱۹۸۶-۲۰۲۰



شکل ۴: موقعیت جغرافیایی و نحوه پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه مورد مطالعه



شکل ۵: شبکه آبراهه‌های حوزه مورد مطالعه

## تجزیه و تحلیل آماری

مشاهدات اقلیمی به دلیل وجود روندها، تغییرات و سایر اجزای غیر تصادفی ممکن است مستقل از یکدیگر نباشند و تعیین چگونگی پارامترهای فوق‌الذکر و بیان طبیعت واقعی غیر تصادفی‌ها، در سری‌های زمانی لازم است. بدین منظور ابتدا برای بررسی وجود یا عدم وجود روندها، تغییرات و نوسانات باید بررسی شود که آیا سری‌های زمانی موجود تصادفی هستند یا غیر تصادفی؟ و اگر داده‌ها تصادفی باشند پس مسئله تغییر یا روند اقلیمی منتفی است ولی اگر داده‌ها غیر تصادفی باشند باید متوجه روندها یا تغییرات شد.

تکنیک‌های مختلف نظیر آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک به منظور تعیین روندهای آماری معنی‌دار در سری‌های زمانی اقلیمی مورد استفاده واقع می‌شوند که تکنیک‌ها و روش‌های پارامتریک بر اساس مشاهدات مستقل و گسسته فرض

شده و بنابراین جهت مشاهدات و داده‌های پیوسته و مربوط به هم نمی‌توانند چندان مؤثر باشند. همچنین روش‌های پارامتریک نیازمند اتخاذ یک توزیع نرمال هستند، در صورتی که در یک آزمون نا پارامتریک نظیر آزمون رتبه‌ای من کندال انحراف از توزیع نرمال چندان مهم نیست. به عبارتی دیگر روش‌های نا پارامتری برخلاف روش‌های پارامتریک برای آزمون توزیع‌ها به کار برده نمی‌شوند، بلکه برای مواردی که هیچ فرضی درباره شکل توزیع جامعه لازم نیست (وحدیدی اصل، ۱۳۸۴) و اجرای آزمون‌ها بدون فرض نرمال بودن صورت می‌گیرد، مناسب است (به همین دلیل این‌گونه آزمون‌ها را آزمون‌های آزاد از توزیع یا نا پارامتری می‌نامند). در کاربرد این روش‌ها بدون در نظر گرفتن فرض خاص به استنباط آماری پرداخته می‌شود و از طرفی ساده‌تر از آزمون‌های پارامتریک هستند.

دو آزمون عمده نا پارامتریک که جهت شرح و توضیح روند و تغییرات احتمالی ممکن در سری‌ها مفید هستند و می‌توانند مورد استفاده واقع شوند عبارت‌اند از: ضریب همبستگی (Spriman) و آزمون رتبه‌ای من - کندال (Mann - Kendall) اگر چه هر دو آزمون کارآمد و مؤثر هستند و مخصوصاً در مقایسه با روش‌های پارامتریک از قدرت بیشتری جهت بیان روندها برخوردارند، اما جهت تعیین محل تغییرات و روندهای احتمالی موجود در سری‌ها، آزمون من - کندال از توانایی بهتری برخوردار است.

در این پژوهش پس از بازسازی داده‌های گمشده، جهت تجزیه و تحلیل آماری ابتدا دوره مورد بررسی (۱۹۸۶-۲۰۲۰) پس از تحلیل واریانس، جهت آشکارسازی روند تغییرات سی و پنج ساله رواناب از دو روش آزمون نا پارامتریک من - کندال و روش رگرسیون خطی استفاده گردید.

در پاره‌ای موارد به دلایلی از جمله اشتباه در اندازه‌گیری، خرابی ادوات، بی‌دقتی در اندازه‌گیری، جابه‌جایی ایستگاه و ... ممکن است که داده موجود نباشد. در این صورت لازم است داده‌ها قبل از تجزیه و تحلیل تکمیل شوند. برای این منظور نیز روش‌های گرافیکی و غیر گرافیکی متعددی وجود دارند. در این مطالعه برای بازسازی داده‌ها از روش تفاضل و نسبت‌ها (علیزاده، ۱۳۸۴) و با استفاده از آمار ایستگاه‌های مبنا (ایستگاه‌های دارای آمار کامل و مورد اطمینان در منطقه) به شرح زیر بهره گرفته شد:

**الف: روش نسبت‌ها جهت بازسازی داده‌ها:**

**بازسازی داده‌های هیدرولوژیکی**

جهت بازسازی داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری، از آمار ایستگاه بالادست آن استفاده شده است. روش آماری مورد استفاده روش نسبت‌ها بود:

$$Q = qb \frac{\bar{qa}}{\bar{qb}} \quad (۱)$$

**Q:** میزان دبی در ماه فاقد آمار؛

**qa:** میانگین دبی در ماه مورد نظر و در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه فاقد آمار؛

**qb:** میانگین دبی در ماه مورد نظر در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه مینا؛

**qb:** دبی در ماه مورد نظر و در سال مورد نظر در ایستگاه مینا.

## روند یابی

از دو روش آزمون نا پارامتری من‌کندال و روش رگرسیون خطی جهت آشکارسازی روند متغیرهای هیدرو اقلیم استفاده شد.

### آزمون رتبه‌ای من-کندال (Mann - Kendall)

این آزمون ابتدا به وسیله Mann (۱۹۴۵) به کار برده شد و به وسیله کندال (Kendall) (۱۹۷۵) تکمیل و اصلاح شده است که به صورت رتبه‌بندی و ارزیابی از هر گروه با گروه‌های دیگر به کار برده می‌شود و از سال ۱۹۸۸ توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) جهت بررسی سری‌های زمانی اقلیمی پیشنهاد و به طور مکرر مورد استفاده واقع شده است. این آزمون اساساً یک آزمون نا پارامتریک است که به دو پارامتر (متغیر) وابسته است که یکی از این متغیرها زمان است که جهت ارزیابی روندها در سری‌های اقلیمی به کار برده می‌شود و به نظر می‌رسد که مناسب‌ترین و قوی‌ترین روش جهت تجزیه و تحلیل نوسانات، تغییرات و روندها در سری‌های زمانی اقلیمی باشد. این آزمون هم در صورت تصادفی بودن و هم در صورت غیر تصادفی بودن سری‌ها، به منظور بررسی نوع و زمان تغییرات مورد استفاده واقع می‌شود. آزمون غیر پارامتری من-کندال بر مبنای روش رتبه‌ای بوده که مناسب داده‌های توزیعی غیر نرمال، داده‌های حذف شده و داده‌های پرت است. این آزمون در بسیاری نقاط دنیا به ویژه آمریکا و کانادا جهت بررسی اثرات اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. این آزمون به دو روش آزمون آماره (T) من-کندال و آزمون نموداری من-کندال محاسبه می‌شود. تعیین میزان آماره من-کندال: جهت تعیین تصادفی یا غیر تصادفی بودن سری‌ها و تشخیص وجود یا عدم وجود روند در سری‌ها از آزمون آماره کندال (T) استفاده شد:

$$T = \left[ \frac{4P}{n(n-1)} \right] - 1 \quad (2)$$

$$P = \sum_{i=1}^n ni \quad (3)$$

در روابط فوق T آماره کندال و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف ni که بعد از آن قرار می‌گیرند. n نیز تعداد کل سال‌های آماری مورد استفاده است که در این پژوهش ۳۵ سال در نظر گرفته شد. به منظور سنجش معنی‌دار بودن آماره T از رابطه زیر استفاده شد:

$$(T)t = \pm tg \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \quad (4)$$

که tg برابر مقدار بحرانی نمره نرمال یا استاندارد (Z) با سطح احتمال آزمون است که در سطح احتمال ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ است. در صورت قرار دادن مقدار آن در رابطه (۴)، مقدار (T)t برابر ۰/۲۵ می‌باشد. با توجه به مقدار بحرانی به دست

آمده حالت‌های زیر را خواهیم داشت: اگر  $(T)t < T < +(T)t$  باشد، نشان‌دهنده عدم وجود روند در سری داده‌ها است. اگر  $(T)t > +(T)t$  باشد نشان‌دهنده روند مثبت و اگر  $T < -(T)t$  باشد نشان‌دهنده روند منفی در سری داده‌ها می‌باشد. آماره (S) من کندانال به صورت زیر محاسبه شد که در آن  $T_j$  و  $T_i$  مقادیر مختلف دما، بارش و رواناب در زمان‌های  $i$  و  $j$  بودند:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_j^n = i + \text{sig} (T_j - T_i) \quad (5)$$

$$\text{sig} (T_j - T_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } T_j - T_i > 0 \\ 0 & \text{if } T_j - T_i = 0 \\ -1 & \text{if } T_j - T_i < 0 \end{cases} \quad (6)$$

آماره ( $Z_s$ ) برای اندازه گیری معنی‌داری روند استفاده گردید. چنانچه  $|Z_s|$  از  $Z_{\alpha/2}$  بیشتر باشد (با فرض سطح معنی‌دار ۵ درصد و  $Z_{0.025} = 1.96$  در آن صورت فرض صفر رد می‌شود و سری دارای روند است

### روش گرافیکی (آزمون نوع و زمان تغییر من-کندانال):

پس از انجام آزمون آماره (T) و تعیین وجود روند در سری‌ها، به کمک ترسیم گرافیکی U و U' حاصله از آزمون من-کندانال و با استفاده از نرم‌افزار Excel جهت روند، زمان و نوع تغییرات تعیین گردید. در این آزمون آماره U نشان‌دهنده مقدار و جهت روند است. برای بررسی معنی‌دار بودن روند، آماره U' نیز محاسبه گردید. نقطه برخورد دو نمودار نقطه جهش بوده و رفتار U بعد از محل تلاقی نشانگر جهت روند است.

مراحل مختلف آزمون گرافیکی من-کندانال به شرح زیر (جدول ۲) انجام شد:

- ۱- ابتدا مقدار متغیرها جهت رتبه‌بندی به صورت صعودی ( $y_i$ ) مرتب شدند.
- ۲- با توجه به ستون دوم، ردیف سال‌های آماری و ترتیب صعودی اعداد، به هر کدام از متغیرها رتبه داده شد ( $\text{rank-ki}$ ).
- ۳- محاسبه  $t_i$  که تعداد رتبه‌های کوچک‌تر از هر ردیف ( $ki$ ) از ابتدای داده‌ها است.
- ۴- محاسبه  $\text{sum } t_i$  که فراوانی تجمعی داده‌ها  $t_i$  از بالا به پایین است.
- ۵- محاسبه  $t'_i$  که تعداد رتبه‌های کوچک‌تر از هر ردیف ( $ki$ ) از انتهای داده‌ها می‌باشد.
- ۶- محاسبه  $\text{sum } t'_i$  که فراوانی تجمعی داده‌ها  $t'_i$  از پایین به بالا است.

$$E = ni(ni - 1) / 4 \quad (9-3) - 7$$

$$V = ni(ni - 1)(2ni + 5) / 72 \quad (10-3) - 8$$

$$u = (\sum ti - E) / \sqrt{V} \quad (11-3) - 9$$

$$E' = [N - (ni - 1)](N - ni) / 4 \quad (12-3) - 10$$

$$V' = (N - (ni - 1))(N - ni)(2(N - (ni - 1)) + 5) / 72 \quad (13-3) - 11$$

$$u' = -(\sum t'_i - E') / \sqrt{V'} \quad (14-3) - 12$$

**توجه:**

**N:** تعداد کل سال‌های آماری است.

**ni:** شماره هر ردیف می‌باشد.

آزمون معنی‌دار بودن نتایج روند: برای تعیین ارتباط و همبستگی بین نتایج مشاهده شده و نتایج پیش‌بینی شده از آزمون کای اسکور و کالماگورف-اسمیرنوف استفاده گردید.

**بحث و یافته‌ها**

مقایسه دبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه (دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۲۰) تجزیه و تحلیل آماری میانگین دبی سالیانه و فصلی در ۴ ایستگاه هیدرومتری در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده ایستگاه ارمند با میانگین دبی سالیانه ۸۴/۸ مترمکعب بر ساعت در طول دوره آماری ۳۵ ساله پرآب‌ترین ایستگاه هیدرومتری در حوضه مورد مطالعه بوده است. در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی فصل بهار پرآب‌ترین و تابستان کم‌آب‌ترین فصل بود. همچنین در بین ماه‌های مختلف سال، ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب پرآب‌ترین و کم‌آب‌ترین ماه‌های سال بوده‌اند. نتایج مربوط به بررسی و مقایسه میانگین دبی سالیانه و فصلی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه به شرح زیر است:

**ایستگاه ارمند:** این ایستگاه پرآب‌ترین ایستگاه هیدرومتری حوضه مورد مطالعه است. میانگین دبی سالیانه از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۲۰ در این ایستگاه ۸۴/۸۵ مترمکعب بر ثانیه بوده است. حداکثر دبی سالیانه رودخانه ارمند بر اساس تجزیه و تحلیل به دست آمده برابر با ۱۹۳/۵۷ و حداقل آن ۳۴/۰۸ مترمکعب بر ثانیه در طول دوره آماری مورد بررسی برآورده شده است. سال ۱۹۹۳ پرآب‌ترین و سال ۲۰۱۸ کم‌آب‌ترین دبی را این رودخانه داشته و میانگین دبی فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز برای دوره مورد بررسی به ترتیب ۱۱۰/۲، ۱۳۷/۷، ۴۱/۶ و ۴۹/۸ مترمکعب بر ثانیه در طول بازه ۳۵ ساله بود. ماه‌های آوریل و سپتامبر از جمله پرآب‌ترین و کم‌آب‌ترین ماه‌های سال در بازه زمانی مورد بررسی مشاهده شدند.

**ایستگاه بهشت‌آباد:** دومین ایستگاه هیدرومتری در حوضه مورد مطالعه ایستگاه بهشت‌آباد است. میانگین دبی سالیانه از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۲۰ در این ایستگاه برابر با ۱۵/۹۰ مترمکعب بر ثانیه بوده است. حداکثر دبی سالیانه این رودخانه بر اساس تجزیه و تحلیل به دست آمده برابر با ۳۴۸/۷۸ و حداقل آن ۵/۵۳ مترمکعب در طول دوره آماری مورد بررسی برآورد گردید. سال ۲۰۰۶ بیش‌ترین و سال ۲۰۰۰ پایین‌ترین دبی رودخانه در این ایستگاه ثبت شده است. میانگین دبی فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز برای دوره مورد بررسی به ترتیب ۲۶/۹، ۲۵/۴، ۳/۲ و ۸/۲ مترمکعب بر ثانیه در طول بازه ۳۵ ساله بوده است. پرآب‌ترین و کم‌آب‌ترین ماه‌های سال در این ایستگاه ماه‌های آوریل و سپتامبر ثبت گردید. **ایستگاه کره بس:** بر اساس تحلیل دوره آماری ۳۵ ساله، میانگین دبی این ایستگاه برابر با ۱۱/۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردید. حداکثر دبی سالیانه این رودخانه بر اساس تجزیه و تحلیل به دست آمده برابر با ۲۶/۱ مکعب و حداقل آن ۲/۳ مترمکعب بر ثانیه در طول دوره آماری مورد بررسی بوده است. سال ۲۰۰۶ بیش‌ترین و سال ۲۰۱۸ کمترین دبی در

این ایستگاه به ثبت رسید. میانگین دبی فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز برای دوره مورد بررسی به ترتیب ۲۰/۵، ۱۵/۳، ۲/۹ و ۷/۵ مترمکعب بر ثانیه در طول دوره آماری ایستگاه هیدرومتری کره بس برآورد شده است. پرآب‌ترین و کم‌آب‌ترین ماه‌های سال در این ایستگاه نیز ماه‌های آوریل و سپتامبر مشاهده شدند. در میان فصول سال فصل زمستان سال ۲۰۰۶ بیشترین دبی این ایستگاه با حجم ۴۷/۴۸ مترمکعب بر ثانیه و پایین‌ترین حجم دبی در همین فصل را با ۲/۱ مترمکعب بر ثانیه در سال ۲۰۱۸ به خود اختصاص داده است.

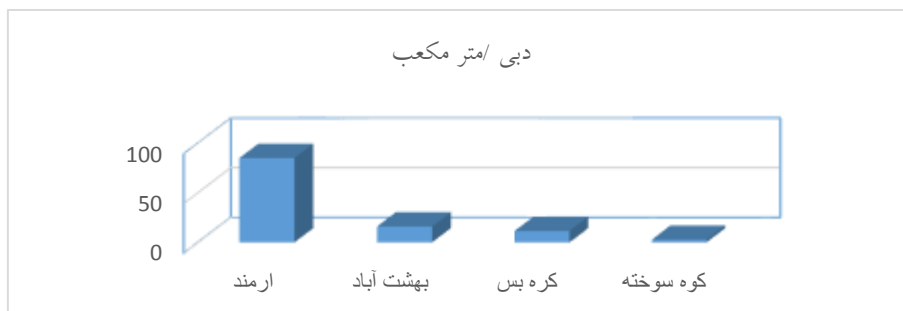
**ایستگاه کوه سوخته:** بر اساس تجزیه و تحلیل دوره آماری ۳۵ ساله، میانگین دبی این ایستگاه برابر با ۲/۷۷ مترمکعب بر ثانیه بوده است. حداکثر دبی سالیانه این رودخانه بر اساس تجزیه و تحلیل به دست آمده برابر با ۱۷/۴ مترمکعب در سال ۱۹۹۳ و حداقل آن ۷/۷ مترمکعب بر ثانیه در سال ۲۰۱۸ در طول دوره آماری مورد بررسی بوده است. سال ۱۹۹۳ بیش‌ترین و سال ۲۰۱۸ کمترین دبی در این ایستگاه به ثبت رسیده است. میانگین دبی فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز برای دوره مورد بررسی به ترتیب ۹/۵، ۶/۷، ۱/۲ و ۳/۷ مترمکعب بر ساعت در طول بازه ۳۵ ساله ایستگاه مزبور برآورد شده است. پرآب‌ترین و کم‌آب‌ترین ماه‌های سال در این ایستگاه نیز آوریل و سپتامبر مشاهده شدند. در میان فصول سال فصل زمستان سال ۱۹۹۳ بیشترین دبی با حجم ۳۰/۷۵ مترمکعب بر ثانیه و سال ۲۰۱۸ پایین‌ترین حجم دبی را با ۱/۲ مترمکعب بر ثانیه خود اختصاص دادند.

تحلیل نمودارهای ایستگاه‌های هیدرومتری فوق نشان می‌دهد که سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ ایستگاه‌های مورد مطالعه پایین‌ترین میزان دبی را داشته‌اند. بررسی وضعیت بارش حوضه مورد مطالعه نیز مؤید این مطلب است که کمترین میزان بارش‌ها را طی این یک دهه اتفاق افتاده است. بنابراین بین میزان بارش و دبی رودخانه ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

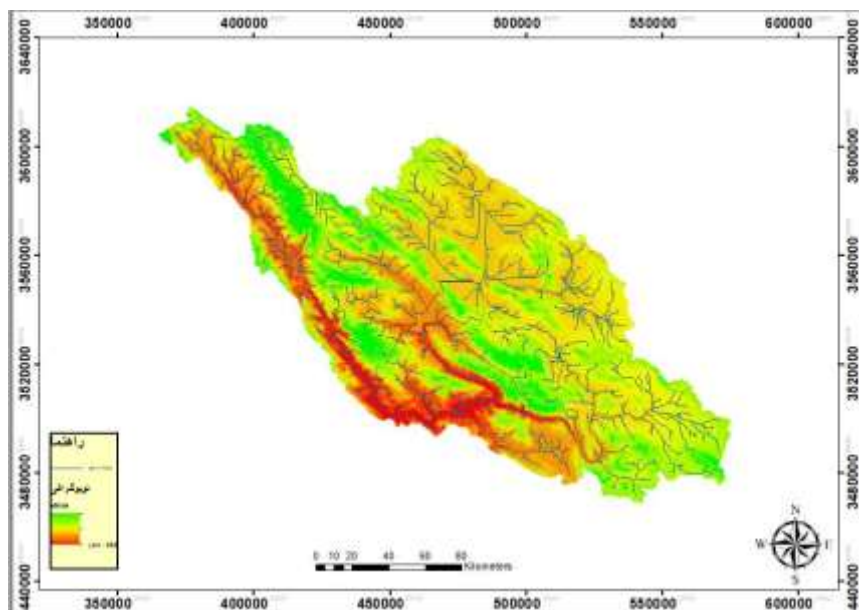
کل حوضه: میانگین دبی سالیانه کل حوضه رودخانه ارمند در طول دوره آماری ۳۵ ساله برابر با ۲۹/۳ مترمکعب بر ثانیه محاسبه شد. میانگین کمینه و بیشینه دبی سالیانه حوضه مورد مطالعه در همین مدت به ترتیب ۰/۷ و ۸۴/۷۸۵ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده است. میانگین دبی فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز برای دوره مورد بررسی ۴۱/۷۹، ۴۶/۲۸، ۱۲/۲۱ و ۱۷/۳ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد. ایستگاه ارمند با متوسط ۱۳۷/۷ مترمکعب بر ثانیه در فصل بهار بیشترین دبی ایستگاهی را در طول دوره آماری به خود اختصاص داده و در همین فصل ایستگاه کوه سوخته با ۶/۷۴ مترمکعب بر ثانیه کمترین دبی را در بین ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده است (جدول ۵).

همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد ماه‌های آوریل و مارس پرآب‌ترین و ماه‌های اکتبر و سپتامبر کم‌آب‌ترین ماه‌های سال در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه طی دوره آماری بوده‌اند. ایستگاه ارمند در ماه آوریل پرآب‌ترین و ایستگاه کوه سوخته در همین ماه کم‌آب‌ترین ایستگاه هیدرومتری به حساب می‌آید.





شکل ۶: نمودار میزان دبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه



شکل ۷: شبکه آبراهه‌های حوضه آبریز ارمند

جدول ۲: نتایج آمار توصیفی میانگین دبی سالیانه و فصلی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه ارمند

ایستگاه	سالیانه / فصلی	تعداد سال	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد (SE)	انحراف معیار SD	واریانس
ایستگاه ارمند	سالیانه	۳۵	۳۴	۱۹۳٫۵	۸۴٫۸	۵٫۸۵	۳۴۶۴	۱۲۰۰٫۳۶
	زمستان	۳۵	۳۲٫۹	۲۵۰٫۶	۱۱۰٫۲	۸٫۸۵	۵۲٫۳۸	۲۷۴۴٫۴۰
	بهار	۳۵	۴۷٫۹	۳۵۰٫۳	۱۳۷٫۷	۱۱٫۲۴	۶۶٫۵۱	۴۴۲۴٫۳۰
	تابستان	۳۵	۱۸٫۴	۱۰۱٫۷	۴۱٫۶	۲٫۹۰	۱۷٫۲۰	۲۹۶٫۱۱
	پاییز	۳۵	۲۵٫۲	۱۳۰٫۷	۴۹٫۸	۳٫۵۸	۲۱٫۱۸	۴۴۸٫۸۴
ایستگاه بهشت آباد	سالیانه	۳۵	۵٫۵۳	۳۴٫۷	۱۵٫۹۰	۱٫۳۴	۷٫۹۳	۶۳۰٫۱
	زمستان	۳۵	۷	۷۷٫۵	۲۶٫۹	۲٫۶۷	۱۵٫۸۲	۲۵۰٫۴۴
	بهار	۳۵	۵٫۸	۵۸٫۷	۲۵٫۴	۲٫۳۵	۱۳٫۹۴	۱۹۴٫۳۸
	تابستان	۳۵	۱٫۱	۸٫۵	۳٫۲	۰٫۳۱	۱٫۸۵	۳٫۴۲
	پاییز	۳۵	۲٫۸	۲۲٫۳	۸٫۲	۰٫۷۲	۴٫۳۰	۱۸٫۵۴
ایستگاه پل کره بس	سالیانه	۳۵	۲٫۳	۲۶٫۱	۱۱٫۵	۱٫۰۱	۵٫۹۹	۳۵٫۹۹
	زمستان	۳۵	۲٫۱	۴۷٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۱	۱۱۰٫۹۱	۱۴۱۰٫۸۹

۸۷.۵۸	۹.۳۵	۱.۵۸	۱۵.۳	۳۷.۲	۲	۳۵	بهار	
۲.۷۳	۱.۶۵	.۲۷	۲.۹	۷.۷	۰.۷	۳۵	تابستان	
۲۴.۱۹	۴.۹۱	.۸۳	۷.۵	۲۹	۱.۶	۳۵	پاییز	
۱۳.۱۸	۳.۶۳	.۶۱	۲.۷۷	۱۷.۴	.۷	۳۵	سالیانه	ایستگاه کوه سوخته
۴۷.۳۹	.۶۸	۱.۱۶	۹.۵	۳۰.۷	۱.۲۰	۳۵	زمستان	
۲۹.۰۸۲	۵.۳۹	.۹۱	۶.۷	۲۸.۶	۱.۲	۳۵	بهار	
۱.۱۷	۱.۰۸	.۱۸	۱.۲	۴	۰	۳۵	تابستان	
۹.۳۲	۳.۰۵	.۵۱	۳.۷	۱۴.۳	۰.۵	۳۵	پاییز	
۱۶۳.۸۳	۱۲.۷۹	۲.۱۶	۲۹.۳۹	۸۴.۸۵	۵.۲۸	۳۵	سالیانه	کل حوضه
۴۵.۰۸۸	۲۱.۲۳	۳.۵۸	۴۱.۷۹	۲۵۰.۶	۱.۱۹	۳۵	زمستان	
۵۴۵.۸۳	۲۳.۳۶	۳.۹۴	۴۶.۲۸	۳۵۰.۳	۱.۱۷	۳۵	بهار	
۲۸.۵۸	۵.۳۴	.۹۰	۱۲.۲۱	۱۰۱.۷	۰.۲۲	۳۵	تابستان	
۶۲.۸۱	۷.۹۲	۱.۳۳	۱۷.۳	۲۵.۲۱	۰.۵۴	۳۵	پاییز	

جدول ۳: مقایسه میانگین دبی ماه‌های پرآب و کم‌آب ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه ارمند

ایستگاه	آوریل	مارس	اکتبر	سپتامبر
ارمند	۱۸۸/۲ مترمکعب بر ثانیه	۱۵۸/۲۱ مترمکعب بر ثانیه	۳۶/۹۳ مترمکعب بر ثانیه	۷۴/۳۴ مترمکعب بر ثانیه
بهشت آباد	۴۱/۶۸ مترمکعب بر ثانیه	۳۸/۳۸ مترمکعب بر ثانیه	۳/۷۴ مترمکعب بر ثانیه	۲/۵۱ مترمکعب بر ثانیه
پل کره بس	۲۶/۷۷ مترمکعب بر ثانیه	۲۷/۹۴ مترمکعب بر ثانیه	۴/۱۰ مترمکعب بر ثانیه	۲/۷۷ مترمکعب بر ثانیه
کوه سوخته	۱۲/۱۴ مترمکعب بر ثانیه	۱۱/۳۵ مترمکعب بر ثانیه	۱/۷۲ مترمکعب بر ثانیه	۱/۱۰ کتر مکعب بر ثانیه
کل حوضه	۶۷/۰۲ مترمکعب بر ثانیه	۵۹/۱۶ مترمکعب بر ثانیه	۱۱/۶۲ مترمکعب بر ثانیه	۱۰/۲۷ مترمکعب بر ثانیه

جدول ۴: ضرایب محاسبه شده آزمون کالماگورف- اسمیرنوف جهت سنجش بهنجاری داده‌های دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه

ایستگاه	سالیانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	آوریل	سپتامبر
ارمند	۰/۱۵۱	۰/۱۰۹	۰/۱۶۱	۰/۱۲۹	۰/۲۲۱	۰/۱۳۹	۰/۱۳۳
بهشت آباد	۰/۱۵۲	۰/۱۴۵	۰/۱۶۱	۰/۱۵۵	۰/۲۰۵	۰/۱۵۱	۰/۱۳۶
کره بس	۰/۱۳۹	۰/۱۴۹	۱/۳۰	۱/۴۰	۰/۱۳۷	۱/۳۰	۰/۱۴۹
کوه سوخته	۰/۱۴۲	۰/۱۷۲	۰/۱۷۹	۰/۱۵۶	۰/۲۴۶	۰/۱۵۱	۰/۱۶۸
کل حوضه	۰/۱۷۲	۰/۱۲۴	۰/۱۶۲	۰/۱۴۴	۰/۱۷۴	۰/۱۵۳	۰/۱۳۶

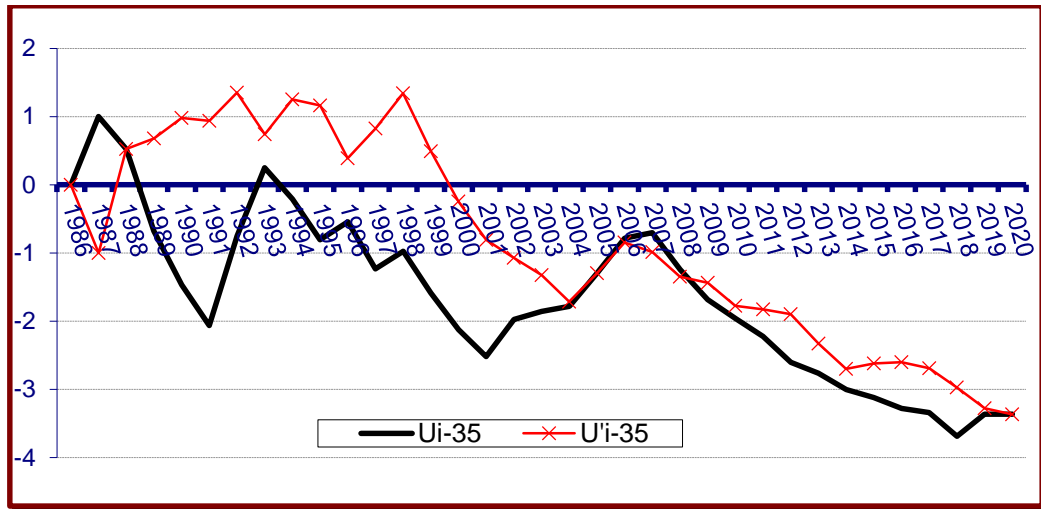
### روند یابی در عناصر اقلیمی و هیدرولوژیکی

پس از بررسی و مقایسه میانگین تغییرات هیدرولوژیکی، روند تغییرات ایجاد شده در کل دوره مورد بررسی (۱۹۸۶-۲۰۲۰) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا سنجش بهنجاری سری‌ها به کمک آزمون کالماگورف-اسمیرنوف انجام و سپس روند یابی هیدرولوژیکی (دبی رودخانه) از دو روش آزمون نا پارامتری من‌کندال و روش رگرسیون خطی استفاده گردید. روند یابی بر اساس آزمون من-کندال و در سطح آماری ۵٪ صورت گرفت.

#### - بررسی روند تغییرات سری‌های دبی (رواناب) در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه ارمند

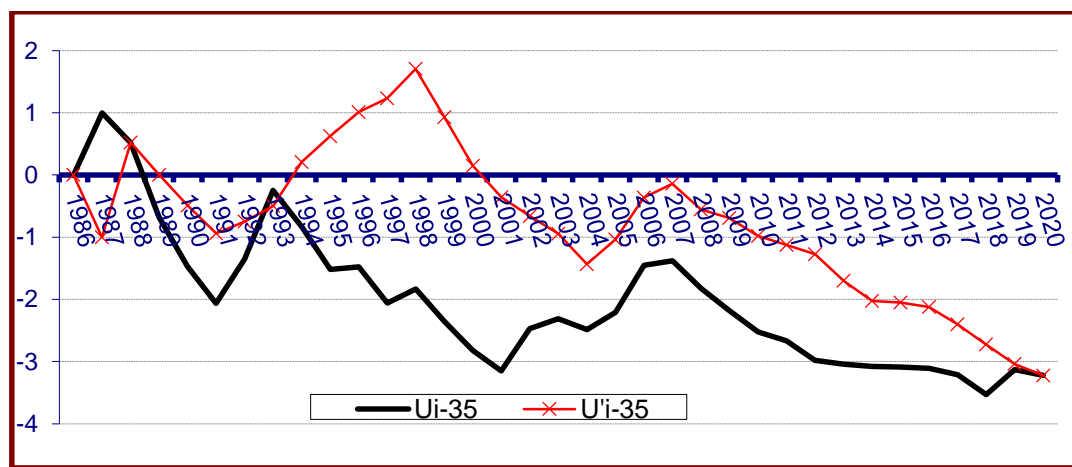
نتایج حاصله از بررسی روند دبی (رواناب) با استفاده از آزمون Z و آزمون گرافیکی من‌کندال در ایستگاه‌های مختلف هیدرومتری حوضه ارمند نشانگر روند کاهشی و معنی‌دار رواناب در تمام ایستگاه‌ها می‌باشد. نتایج حاصله از بررسی روند سری‌های سالیانه و فصلی رواناب بر اساس آزمون Z در چهار ایستگاه ارمند، بهشت آباد، کره بس، کوه سوخته در دوره زمانی (۱۹۸۶-۲۰۲۰) در جدول (۱۵) نشان داده شده است و نتایج حاصله از آزمون گرافیکی من-کندال در شکل‌های ۷ و ۸ آمده و خلاصه آن‌ها در جدول (۲۰) نمایش داده شده است.

ایستگاه ارمند: میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) دارای روند کاهشی می‌باشد. آماره‌های Z در ایستگاه ارمند برای میانگین دبی سالیانه و فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۳/۳۵-، ۲/۹۰-، ۳/۱۸-، ۴/۳۲- و ۴/۱۸- بوده است لذا در بین فصل‌ها بیشترین کاهش دبی در فصل تابستان ( $Z = -4.32$ ) اتفاق افتاده است (جدول ۴-۱۵). بررسی دبی در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب سال (سپتامبر) نیز نشان می‌دهد که دبی رودخانه در ماه‌های یاد شده دارای روند کاهشی بوده است. آماره‌های Z در ایستگاه ارمند برای میانگین دبی ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب ۲/۷۶- و ۴/۵۴- بوده است (جدول ۱۶) که میزان کاهش دبی در ماه سپتامبر نسبت به سایر ماه‌ها بیشترین مقدار بود. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد میزان رواناب رودخانه در کلیه ماه‌های سال روند کاهشی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد داشته است. نتایج آزمون گرافیکی و بررسی تغییرات مولفه‌های U و U' نیز نشان می‌دهد که روند منفی معنی‌دار در میزان رواناب سالیانه در دوره مورد بررسی (۱۹۸۶-۲۰۱۵) اتفاق افتاده است که نقطه شروع آن در سال ۱۹۸۸ اتفاق افتاد و تا سال ۲۰۲۰ ادامه داشت. آزمون گرافیکی من-کندال برای رواناب (دبی) فصل‌های مختلف (زمستان، تابستان و پاییز) نیز نشانگر روند منفی و معنی‌دار در طول دوره مورد بررسی می‌باشد که نقطه شروع آن‌ها به ترتیب سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ می‌باشد. فصل بهار نیز جهش کاهشی و معنی‌داری در سال ۱۹۹۱ نشان داد.



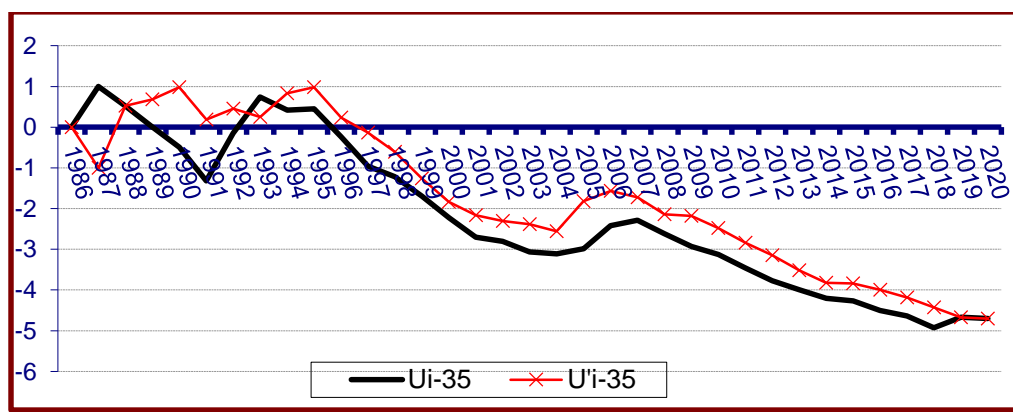
شکل ۸: تعیین نقاط جهش میانگین سالیانه دبی آب ایستگاه ارمند

ایستگاه بهشت آباد: میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) دارای روند کاهشی می‌باشد. آماره‌های  $Z$  در این ایستگاه برای میانگین دبی سالیانه و فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۳/۲۱$ ،  $-۲/۶۷$ ،  $-۲/۹۵$ ،  $-۴/۳۵$  و  $-۳/۳۸$  بوده است، بنابراین بیشترین کاهش دبی در فصل تابستان ( $Z = -4.35$ ) و سپس پاییز به وقوع پیوسته است (جدول ۱۵). بررسی میزان رواناب در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب سال (سپتامبر) نیز نشان می‌دهد که دبی رودخانه در این ماه‌های روند کاهشی معنی‌داری را داشته است. آماره‌های  $Z$  در ایستگاه بهشت‌آباد برای میانگین رواناب ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب  $-۲/۶۱$  و  $-۴/۷۴$  بوده است (جدول ۴-۱۷). بنابراین بیشترین میزان کاهش دبی در ماه سپتامبر اتفاق افتاده است. همان‌طور که جدول نیز نشان می‌دهد میزان رواناب رودخانه در کلیه ماه‌های سال دارای روند کاهشی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بوده است. نتایج آزمون گرافیکی و بررسی تغییرات مولفه‌های  $U$  و  $U'$  در ایستگاه بهشت‌آباد نشانگر روند منفی و معنی‌دار در میزان رواناب سالیانه است که در دوره مورد مطالعه ( $۱۹۸۶-۲۰۱۵$ ) به وقوع پیوسته است. زمان شروع این روند در سال  $۱۹۹۳$  بوده است. آزمون گرافیکی من-کندال برای میزان رواناب (دبی) فصل‌های زمستان، بهار و تابستان نیز نشانگر جهش‌های منفی و معنی‌دار به ترتیب در سال‌های  $۱۹۹۱$ ،  $۱۹۹۲$  و  $۱۹۸۸$  می‌باشد. فصل پاییز نیز دارای روند معنی‌دار کاهشی از  $۱۹۹۱$  می‌باشد.



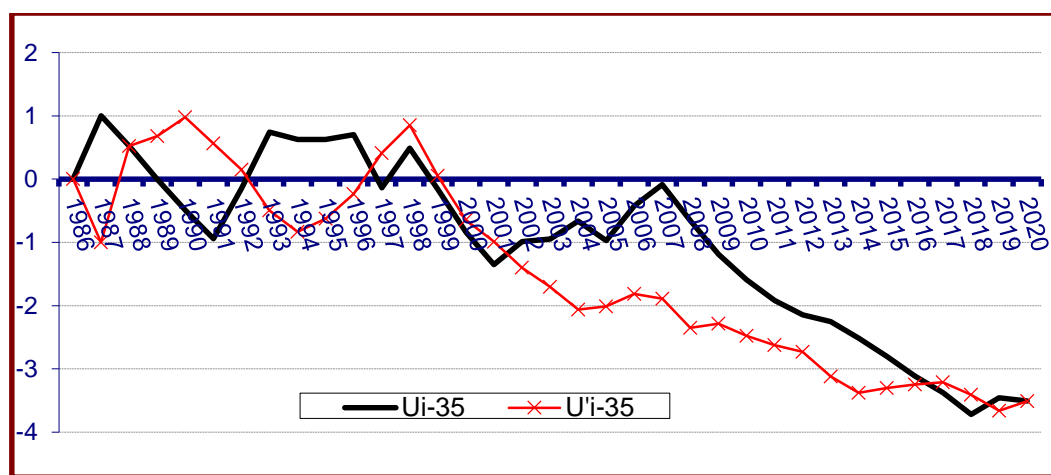
شکل ۹: تعیین نقاط جهش میانگین سالیانه دبی آب ایستگاه بهشت آباد

ایستگاه کوه سوخته: میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) دارای روند کاهشی می‌باشد. آماره‌های Z در ایستگاه کوه سوخته برای میانگین دبی سالیانه و فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-4/69$ ،  $-4/18$ ،  $-3/78$ ،  $-5/20$  و  $-3/79$  بوده است لذا در بین فصل‌ها بیشترین کاهش دبی در فصل تابستان ( $Z = -$ ) (5.29) اتفاق افتاده است که بالاترین میزان کاهش در بین ایستگاه‌های حوضه ارمند نیز می‌باشد (جدول ۴-۱۵). بررسی دبی در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب سال (سپتامبر) نیز نشان می‌دهد که دبی رودخانه در این ماه‌های روند کاهشی معنی‌داری را طی کرده است. آماره‌های Z در ایستگاه ارمند برای میانگین دبی ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب  $-3/64$  و  $-5/20$  بوده است (جدول ۱۸). همان‌طور که جدول نیز نشان می‌دهد میزان رواناب رودخانه در کلیه ماه‌های سال دارای روند کاهشی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بوده است. نتایج آزمون گرافیکی و بررسی تغییرات مولفه‌های U و U' نیز نشان می‌دهد که روند منفی معنی‌دار در میزان رواناب سالیانه در دوره مورد مطالعه (۱۹۸۶-۲۰۱۵) رخ داده است که نقطه شروع آن در سال ۱۹۹۲ بوده و تا سال ۲۰۲۰ ادامه یافته است. آزمون گرافیکی من-کندال برای رواناب (دبی) فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز نیز نشانگر روند منفی و معنی‌دار در طول دوره مورد بررسی می‌باشد که نقطه شروع آن‌ها به ترتیب سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۰ می‌باشد.



شکل ۱۰: تعیین نقاط جهش میانگین سالیانه دبی آب ایستگاه کوه سوخته

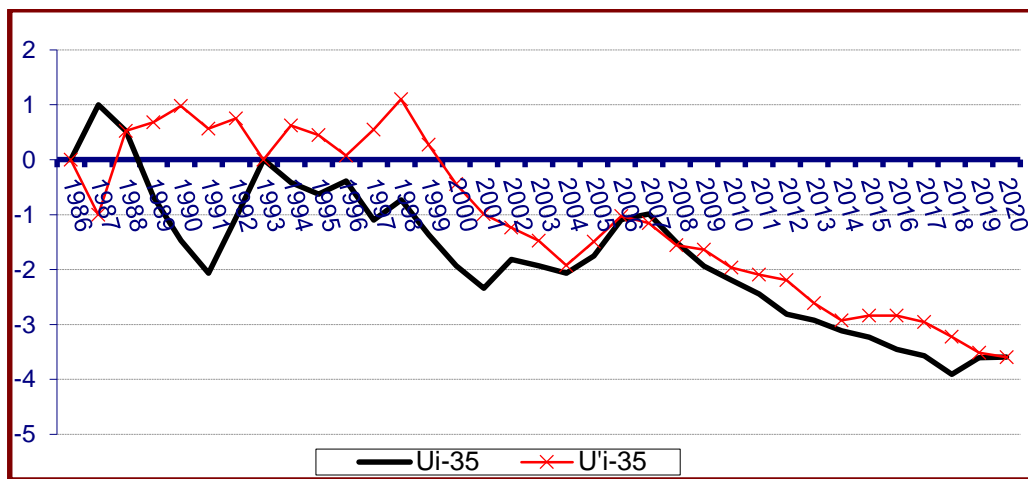
ایستگاه کره‌بس: در این ایستگاه همانند سایر ایستگاه‌های حوضه، میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) روند کاهشی معنی‌داری را داشته است. آماره‌های  $Z$  برای میانگین دبی سالیانه و فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۳/۴۹$ ،  $-۳/۲۴$ ،  $-۳/۱۸$ ،  $-۳/۶۴$  و  $-۴/۵۷$  برآورد شده است، بنابراین بیشترین کاهش دبی در فصل پاییز ( $Z = -4.57$ ) و سپس تابستان اتفاق افتاده است (جدول ۱۵). بررسی میزان رواناب در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب سال (سپتامبر) نیز نشانگر روند کاهشی معنی‌دار دبی رودخانه در این ماه‌ها می‌باشد. آماره‌های  $Z$  در ایستگاه کره بس برای میانگین رواناب ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب  $-۳/۰۴$  و  $-۴/۱۲$  برآورد شده است (جدول ۱۹). بررسی میزان رواناب رودخانه در سایر ماه‌های سال نیز نشان‌دهنده روند کاهشی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بوده است. نتایج آزمون گرافیکی و بررسی تغییرات مولفه‌های  $U$  و  $U'$  در ایستگاه کره‌بس روند منفی و معنی‌داری را در میزان رواناب سالیانه در دوره مورد مطالعه (۱۹۸۶-۲۰۱۵) نشان داده است. زمان شروع این روند در سال ۱۹۹۱ تعیین شده است. آزمون گرافیکی من- کندال برای میزان رواناب (دبی) فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز نیز نشانگر روند معنی‌دار و کاهشی به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۲، ۱۹۹۳، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۱ می‌باشد.



شکل ۱۱: تعیین نقاط جهش میانگین سالیانه دبی آب ایستگاه پل کره بس

۲۰۲۰۲

کل حوضه: در کل حوضه نیز همانند ایستگاه‌های مورد مطالعه، میانگین رواناب سالیانه، و رواناب فصل‌های مختلف روند کاهشی و معنی‌داری را نشان داده است. آماره‌های  $Z$  برای میانگین دبی سالیانه و فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۳/۶۸$ ،  $-۳/۲۴$ ،  $-۳/۲۷$ ،  $-۴/۳۷$  و  $-۳/۹۸$  برآورد شده است، بنابراین بیشترین کاهش دبی مربوط به فصل تابستان ( $Z = -4.37$ ) و سپس پاییز بوده است (جدول ۴-۱۵). بررسی تغییرات مولفه‌های  $U$  و  $U'$  برای میانگین رواناب سالیانه در دوره مورد بررسی (۱۹۸۶-۲۰۲۰) نشان داد که روند کاهشی و معنی‌داری در میزان رواناب اتفاق افتاده است. همین وضعیت برای فصل‌های مختلف سال (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) نیز صادق است.



شکل ۱۲: تعیین نقاط جهش میانگین دبی کل حوضه مورد مطالعه

جدول ۵: نتایج آزمون من کندال برای میانگین دبی سالیانه و فصلی رودخانه ارمند در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه

Sen's slope	Test interpretation	Alpha	Kendall's tau	سالیانه/فصل	ایستگاه
-۱.۸۵۰	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۳۵	سالیانه	ارمند
-۲.۲۸۹	روند کاهشی	-/۰.۵	-۲.۹۰	زمستان	
-۳.۱۵۹	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۱۸	بهار	
-۱.۰۳۹	روند کاهشی	-/۰.۵	-۴.۳۲	تابستان	
-۱.۰۶۲	روند کاهشی	-/۰.۵	-۴.۱۸	پاییز	
-۰/۳۹۹	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۲۱	سالیانه	بهشت آباد
-۰/۵۷۲	روند کاهشی	-/۰.۵	-۲.۶۷	زمستان	
-۰.۷۰۷	روند کاهشی	-/۰.۵	-۲.۹۵	بهار	
-۰.۱۰۶	روند کاهشی	-/۰.۵	-۴.۳۵	تابستان	
-۰/۲۱۷	بدون روند	-/۰.۵	-۳.۳۸	پاییز	
-۰.۲۰۲	روند کاهشی	-/۰.۵	-۴.۶۹	سالیانه	کوه سوخته
-۰.۳۴۲	روند کاهشی	-/۰.۵	-۴.۱۸	زمستان	
-۰.۲۱۰	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۷۸	بهار	
-۰.۰۶۷	روند کاهشی	-/۰.۵	-۵.۲۰	تابستان	
-۰.۱۳۲	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۷۹	پاییز	
-۰.۳۲۵	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۴۹	سالیانه	کره بس
-۰.۵۳۹	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۲۴	زمستان	
-۰.۴۴۵	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۱۸	بهار	
-۰.۰۹۷	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۶۴	تابستان	
-۰.۲۳۷	روند کاهشی	-/۰.۵	-۴.۵۷	پاییز	
-۰.۶۹۳	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۶۸	سالیانه	کل حوضه
-۰.۹۳۵	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۲۴	زمستان	
-۱.۱۲۰	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۲۷	بهار	
-۰.۳۲۷	روند کاهشی	-/۰.۵	-۴.۳۷	تابستان	
-۰.۴۱۲	روند کاهشی	-/۰.۵	-۳.۹۸	پاییز	

**جدول ۶:** نوع و زمان تغییر دبی سالیانه و فصل‌های مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه ارمند بر اساس آزمون گرافیکی من-کندال

ایستگاه	سال آبی	سالیانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
ارمند	TD-۱۹۸۸	TD-۱۹۹۴	AI۱۹۹۱	TD-۱۹۹۳	TD-۱۹۹۴	TD-۱۹۹۴
بهشت اباد	AD-۱۹۹۳	AD۱۹۹۱	AI-۱۹۹۲	AD-۱۹۸۸	---	---
کره بس	TD-۱۹۹۲	TD-۱۹۹۲	TD-۱۹۹۳	TD-۱۹۹۳	TD-۱۹۹۱	TD-۱۹۹۱
کوه سوخته	TD-۱۹۹۲	AD-۱۹۹۱	AI-۱۹۹۱	TD-۱۹۹۲	TD-۱۹۹۰	TD-۱۹۹۰
کل حوضه						

TD- روند کاهشی، TI- روند افزایشی، AD- جهش افزایشی و AI- جهش کاهشی

### نتیجه گیری

نتایج حاصله از بررسی روند دبی (رواناب) با استفاده از آزمون (Z) (جدول ۴-۱۵) و آزمون گرافیکی من-کندال نیز نشانگر روند کاهشی و معنی‌دار رواناب در ایستگاه‌های مختلف هیدرومتری حوضه ارمند می‌باشد. گزارش‌های متعددی در مورد تغییرات مقدار بارش و رواناب رودخانه‌های جهان و ایران طی سال‌های اخیر ارائه شده است. که از آن جمله می‌توان به تغییرات در روند بارش‌های سنگین ایالات متحده و کانادا در دوره‌های ده ساله از ۱۹۳۰ تا ۱۹۹۰ (کونکل و همکاران، ۱۹۹۹)، روند کاهشی بارش در غرب افریقا از سال ۱۹۵۰ و خشک‌سالی شدید بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۰ در این منطقه (نیکلسون و پلاو، ۱۹۹۳)، کاهش معنی‌دار بارش سالانه در بسیاری از ایستگاه‌های اسپانیا (گونزالس هیدالگو و همکاران، ۲۰۰۱، پیکارتا و همکاران، ۲۰۰۴)، کاهش بارش در حوضه آبریز سرخس (فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۱)، کاهش بارش سالیانه و بارش ماکزیمم روزانه در حوضه نکا رود (خوش‌روش و همکاران، ۱۹۹۴) و ... اشاره کرد. از مهم‌ترین گزارش‌های مربوط به کاهش دبی رودخانه‌ها نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: روند کاهشی جریان رودخانه‌های غرب ترکیه (کهنیا و کلیسی، ۲۰۰۴)، روند کاهشی دبی رودخانه مک‌کنزی (Mackenzie) در شمال کانادا در فصل‌های تابستان و پاییز (عبدالعزیز و برن، ۲۰۰۶)، کاهش ۲۰ درصدی مقدار رواناب تابستانه در رودخانه‌های هونزا و شایوک از حوضه سند بالا برای دوره زمانی ۱۹۶۱-۲۰۰۰ (آرچر و فولر، ۲۰۰۶)، روند کاهشی بارش و رواناب طی دوره ۱۹۳۸-۲۰۰۵ در پنج ایالت جنوب شرقی امریکا (رز، ۲۰۰۷)، روند کاهشی و معنی‌دار رواناب سالیانه، فصلی و ماهیانه در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه دز در استان لرستان در ۴۰ سال گذشته (ترابی پوده و امامقلی زاده، ۱۳۹۳)، روند کاهشی و معنی‌دار دبی رودخانه قره‌سو در اردبیل (جاهدی و قربانی، ۱۳۹۴).

در کل حوضه مورد مطالعه، میانگین رواناب سالیانه، و رواناب فصل‌های مختلف روند کاهشی و معنی‌داری را نشان داده است. آماره‌های Z برای میانگین دبی سالیانه و فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۳/۶۸$ ،  $-۳/۲۴$ ،  $-۳/۲۷$ ،  $-۴/۳۷$  و  $-۳/۹۸$  برآورد شده است، بنابراین بیشترین کاهش دبی مربوط به فصل تابستان ( $Z = -4.37$ ) و سپس پاییز بوده است. بررسی تغییرات مولفه‌های U و U' برای میانگین رواناب سالیانه در دوره مورد بررسی (۱۹۸۶-۲۰۲۰) نشان داد که



روند کاهش و معنی داری در میزان رواناب اتفاق افتاده است. همین وضعیت برای فصل‌های مختلف سال (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) نیز صادق است.

میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) ایستگاه ارمنند دارای روند کاهش بوده است. آماره‌های  $Z$  در ایستگاه ارمنند برای میانگین دبی سالیانه و فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۳/۳۵$ ،  $-۲/۹۰$ ،  $-۳/۱۸$ ،  $-۴/۳۲$  و  $-۴/۱۸$  است لذا در بین فصل‌ها بیشترین کاهش دبی در فصل تابستان ( $Z = -4.32$ ) اتفاق افتاده است. بررسی دبی در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب سال (سپتامبر) نیز نشان می‌دهد که دبی رودخانه در ماه‌های یاد شده دارای روند کاهش بوده است. آماره‌های  $Z$  در ایستگاه ارمنند برای میانگین دبی ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب  $-۲/۷۶$  و  $-۴/۵۴$  بوده است.

میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) ایستگاه بهشت آباد دارای روند کاهش می‌باشد. آماره‌های  $Z$  در این ایستگاه برای میانگین دبی سالیانه و فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۳/۲۱$ ،  $-۲/۶۷$ ،  $-۲/۹۵$ ،  $-۴/۳۵$  و  $-۳/۳۸$  بوده است، بنابراین بیشترین کاهش دبی در فصل تابستان ( $Z = -4.35$ ) و سپس پاییز به وقوع پیوسته است. بررسی میزان رواناب در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب سال (سپتامبر) نیز نشان داد که دبی رودخانه در این ماه‌های روند کاهش معنی‌داری را داشته است. آماره‌های  $Z$  در ایستگاه بهشت‌آباد برای میانگین رواناب ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب  $-۲/۶۱$  و  $-۴/۷۴$  بوده است. بنابراین بیشترین میزان کاهش دبی در ماه سپتامبر اتفاق افتاده است. میزان رواناب رودخانه در کلیه ماه‌های سال دارای روند کاهش معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بوده است.

میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) ایستگاه کوه سوخته دارای روند کاهش می‌باشد. آماره‌های  $Z$  در ایستگاه کوه سوخته برای میانگین دبی سالیانه و فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۴/۶۹$ ،  $-۴/۱۸$ ،  $-۳/۷۸$ ،  $-۵/۲۰$  و  $-۳/۷۹$  بوده است لذا در بین فصل‌ها بیشترین کاهش دبی در فصل تابستان ( $Z = -5.29$ ) اتفاق افتاده است که بالاترین میزان کاهش در بین ایستگاه‌های حوضه ارمنند نیز می‌باشد (جدول ۴-۱۵). بررسی دبی در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب سال (سپتامبر) نیز نشان می‌دهد که دبی رودخانه در این ماه‌های روند کاهش معنی‌داری را طی کرده است. آماره‌های  $Z$  در ایستگاه ارمنند برای میانگین دبی ماه‌های آوریل و سپتامبر به ترتیب  $-۳/۶۴$  و  $-۵/۲۰$  بوده است (جدول ۴-۱۸). همان‌طور که جدول نیز نشان می‌دهد میزان رواناب رودخانه در کلیه ماه‌های سال دارای روند کاهش معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بوده است.

در ایستگاه کره بس همانند سایر ایستگاه‌های حوضه، میانگین دبی سالیانه و دبی فصل‌های مختلف (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) روند کاهش معنی‌داری را داشته است. آماره‌های  $Z$  برای میانگین دبی سالیانه و فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب  $-۳/۴۹$ ،  $-۳/۲۴$ ،  $-۳/۱۸$ ،  $-۳/۶۴$  و  $-۴/۵۷$  برآورد شده است، بنابراین بیشترین کاهش دبی در فصل پاییز ( $Z = -4.57$ ) و سپس تابستان اتفاق افتاده است. بررسی میزان رواناب در ماه پرآب سال (آوریل) و ماه کم‌آب

سال (سپتامبر) نیز نشانگر روند کاهشی معنی دار دبی رودخانه در این ماهها می باشد. آماره های Z در ایستگاه کره بس برای میانگین رواناب ماه های آوریل و سپتامبر به ترتیب  $3/04$  و  $4/12$  - برآورد شده است (جدول ۴-۱۹). بررسی میزان رواناب رودخانه در سایر ماه های سال نیز نشان دهنده روند کاهشی معنی داری در سطح آماری یک درصد بوده است. در مجموع نتایج حاصله از بررسی روند و تغییرات رواناب (دبی) در ایستگاه های هیدرومتری حوضه ارمند (شامل ارمند، بهشت آباد، کوه سوخته و کره بس) نشانگر وجود روند کاهشی و معنی دار رواناب سالیانه، و فصل های زمستان، بهار، تابستان و پاییز می باشد. از طرفی مقایسه میانگین تغییرات دبی در فصل های مختلف نشان داد که فصل تابستان بیشترین تغییرات کاهشی رواناب را نسبت به سایر فصل ها داشته است.

## منابع

- ۱- اسکانی کزازی، غلامحسین (۱۳۹۵). شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه آبریز کارون بزرگ و مدیریت بحران (مورد شهر اهواز)، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، سال هفتم شماره ۱، زمستان ۱۳۹۵، صص ۲۴۲-۲۳۵.
- ۲- باب الحکمی، ع. غلامی سفیدکوهی، م. عمادی، ع. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر خشک سالی و پیش بینی رواناب حوضه رودخانه نکا، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صص ۳۰۲-۲۹۱.
- ۳- رجایی، ف. (۱۴۰۲). پیش بینی وضعیت تغییرات اقلیم آینده در حوضه آبخیز تجن، مطالعات علوم محیط زیست، دوره هشتم، شماره اول، فصل بهار ۱۴۰۲، صص ۶۰۲-۶۱۳.
- ۴- زارع زاده مهریزی، ش. خورانی، الف. بذرافشان، ج. بذرافشان، الف. (۱۳۹۷). تغییرات رژیم جریان رودخانه گاماسیاب تحت سناریوهای تغییر اقلیم، نشریه محیط شناسی، دوره ۴۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صص ۶۰۲-۵۸۷.
- ۵- سلمان زاده یزدی، ع. م. حیات زاده، ع. فتح زاده، م. فاضل پور (۱۴۰۱). مدل سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز متأثر از تغییر رژیم بارش در آینده. مطالعه موردی حوضه حسین آباد، زاین و تلنگوبم استان کرمان، نشریه پژوهش های تغییرات آب و هوایی، دوره ۳، شماره ۱۲، اسفند ۱۴۰۱، صص ۵۲-۳۷.
- ۶- شاکریان، س. ترابی پوده، ح. شاهی نژاد، ب. نقوی، ح. (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه های حوضه کارون بزرگ با استفاده از آزمون من کندال، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، سال پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صص ۲۸۲-۲۷۲.
- ۷- عزیزی، ق. (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. تهران: انتشارات قومس. ۲۶۴ ص
- ۸- علیجانی، ب. (۱۳۸۲). آب و هوای ایران (نوبت پنجم). انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۹- صفری شاد، م. حبیب نژاد روشن، م. سلیمانی، ک. ایلدرمی، ع. زینی وند، ح. (۱۳۹۶). پتانسیل تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه در حوضه آبخیز همدان - بهار، نشریه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۰، بهار ۹۶، صص ۹۸-۸۱.
- ۱۰- کاظم زاده، م. ملکیان، ا. مقدم نیا، ع. خلیقی سیگارودی، ش. (۱۳۹۸). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبخیز آجی چای، نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۴۵، سال سیزدهم، تابستان ۱۳۹۸.
- ۱۱- کاویان، ع. نامدار، م. گلشن، م. بحری، م. (۱۳۹۶). مدل سازی هیدرولوژیکی اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان رودخانه هراز، مجله مخاطرات طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان، دوره ۶، شماره ۱۲، صص ۸۹-۱۰۴.
- ۱۲- کونانی، ز. ایلدرمی، ع. زینی وند، ح. نوری، ح. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز سیلاخور رحیم آباد لرستان، نشریه هیدروژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، سال هفتم، شماره ۲۵، زمستان ۱۳۹۹، صص ۱۷-۱.

- ۱۳- معتمد وزیری، ب. کیادلیری، ه. اسحاقی، الف. اسکندری، ع (۱۴۰۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز کرج، مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، سال دوازدهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صص ۷۲-۵۵.
- ۱۴- میرشکاران، ی. کاکاپور، و.، زارعی، ا. (۱۴۰۰)، فصلنامه علمی دانشگاه گلستان، سال دوم، شماره هشتم، زمستان ۱۴۰۰، صص ۳۳-۳۴.
- ۱۵- نادری، م. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر دبی ورودی و حجم مخزن سد درودزن شمال استان فارس، نشریه علوم زمین، سال بیست و نهم، شماره ۱۱۵، صص ۲۸۶-۲۵۹.
- ۱۶- نگهبان، س و مکرم، م (۱۴۰۱). بررسی و پیش‌بینی تأثیرات خشک‌سالی بر تغییرات دریاچه مهارلو و کاربری‌های اطراف آن با استفاده از سنجش از دور، فصلنامه علمی دانشگاه گلستان، سال سوم، شماره دهم، تابستان ۱۴۰۱، صص ۸۲-۷۱.
- ۱۷- نوروز و لاشدی، ر. بهرامی بیجاچی، ص. (۱۴۰۲). آشکار سازی اثر تغییر اقلیم بر پهنه‌های برفی آبخیز البرز شمالی به روش cpa، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۵، شماره ۳، مهر ۱۴۰۲، صص ۴۰۳-۳۸۶.
- ۱۸- نیک مهر، س و زیبایی، م. (۱۳۹۹)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی و اقتصادی زیر حوضه کرخه جنوبی، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، صص ۷۹-۶۳.

- 19- Basheer A, Lu H, Omer A, Ali A, Abdelgader A. Impacts Of Climate Change Under CMIP5 RCP Scenarios On The Stream Flow In The Dinder River And Ecosystem Habitats In Dinder National Park, Sudan. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016; 20: 1331-1353.
- 20- Bhatta, B., Shrestha, S., Shrestha, P. K., & Talchabhadel, R. (2019). Evaluation and Application Of A SWAT Model To Assess The Climate Change Impact On The Hydrology Of The Himalayan River Basin. *Catena*, 181, 104082.
- 21- Brouziyne Y, Abouabdillah A, Hirich A, Bouabid R, Zaaboul R And Benaabidate L (2018) Modeling Sustainable Adaptation Strategies Toward A Climatesmart Agriculture In A Mediterranean Watershed under Projected Climate Change Scenarios. *Agricultural Systems* 162:154-163.
- 22- Musau, J., Sang, J., Gathenya, J. And Luedeling, E. 2015. Hydrological Responses To Climate Change In Mt. Elgon Watersheds. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*, 3, 233-246
- 23- Papadimitriou L, Koutroulis L, Grillakis M, Tsanis I. High-End Climate Change Impact On European Runoff And Low Flows – Exploring The Effects Of Forcing Biases. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016; 20: 1785-1808
- 24- Ratna, A., Ratna, S. Shrestha, A., Maharjan. S. 2018. Climate Change Impact Assessment On The Hydrological Regime Of The Kaligandaki Basin. *Nepal Science Of The Total Environment Journal*, 625: 837-848.
- 25- Radhapyari, K., Datta, S., Dutta, S. And Barman, R. 2021. Impacts Of Global Climate Change On Water Quality And Its Assessment. 229-275. In: Thokchom, B., Qiu, P., Singh, P. And Iyer P.K. (Eds.). 2021. *Impacts Of Global Climate Change On Water Quality And Its Assessment*. Elsevier Publication. 446p.
- 26- Santini M. And Paola A., 2015. Changes In The World Rivers' Discharge Projected From An Updated High Resolution Dataset Of Current And Future Climate Zones. *Journal Of Hydrology*, 531, Pp.768-780.