جغرافیا و توسعه شماره ۲۹ زمستان ۱۳۹۱
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۷/۲۵
تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۴/۲۷
صفحات : ۹۰- ۷۷

تحلیل روند بارندگی و دبی در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود

دکتر مهدی وفاخواه[۱]، محمد بخشی‌تیرگانی[۲]، مجید خزائی[۳]

چکیده

رودخانه‌ها یکی از منابع اصلی آب مصرفی می‌باشند، برای مدیریت بهتر این منابع اطلاع از روند دبی آنها و عوامل ایجادکننده‌ی این روند ضروری می‌باشد. این تحقیق با هدف تحلیل روند بارندگی و دبی در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود که یکی از حوضه‌های کم بارش در شمال شرق ایران است، در ۱۳ ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری در دوره‌ی آماری بین سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۵ انجام گرفت. در این تحقیق برای ارزیابی بود یا نبود روند از آزمون ناپارامتری من- کندال و برای میزان بزرگی آن از آزمون سن استفاده شد. نتایج تحلیل بارندگی و دبی نشان داد بارندگی در فصل پاییز در اکثر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. به‌طوری که در ۹ ایستگاه روند افزایشی بوده است. از طرف دیگر بارندگی در فصل بهار در ۱۰ ایستگاه از مجموع ۱۳ ایستگاه روند کاهشی را نشان می‌دهد. در فصول زمستان و تابستان تقریباً تعداد ایستگاه‌های دارای روند افزایشی و کاهشی برابر است. در بررسی روند داده‌های سالانه‌ی بارندگی و دبی مشاهده شد که از مجموع ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود، ۵ ایستگاه روند افزایشی و ۸ ایستگاه روند کاهشی در داده‌های بارندگی نشان دادند. ولی در داده‌های دبی در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده نشد. به طوری که دبی در دو ایستگاه بدون روند و در مابقی ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی بود. این به احتمال زیاد به علت افزایش برداشت و استفاده از آب رودخانه‌هاست. با افزایش جمعیّت نیاز به استفاده از آب رودخانه‌ها نیز افزایش یافته است. در نتیجه انسان با ایجاد سد و زیر کشت بردن زمین‌های کشاورزی بیشتر سعی در بهره‌وری و مهار بیشتر آب‌های جاری نموده است.

کلیدواژه‌ها: روند، دبی، بارندگی، من-کندال، سن، حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود.

۱- استادیار آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسؤول) vafakhah@modares.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس mbakhshi3@gmail.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس khazayi64@gmail.com

مقدمه

فعالیّت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی در دبی اوج و دبی پایه‌ی رودخانه‌ها تغییر ایجاد کرده است *(برخورداری و خسروشاهی، ۱۳۸۶: ۷)*. همچنین افزایش دمای متوسط جهان ناهنجاری‌های در متغیّرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی از قبیل بارش و تبخیرتعرق به وجود آورده است. برای مدیریت بهتر منابع آب اطلاع ازتغییرات دبی رودخانه‌ها و عوامل ایجادکننده‌ی این تغییرات لازم می‌باشد. بنابراین بررسی این ناهنجاری‌ها به صورت تعیین روند در سری‌های زمانی متغیّرهای هیدرولوژی و هواشناسی در مناطق مختلف و ارتباط آن‌ها با یکدیگر می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی درباره‌ی آثار احتمالی تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ها صورت گرفته است که اکثر آنها به بررسی تغییرات میانگین‌های‌بلندمدت‌اقلیمی و ویژگی‌های‌هیدرولوژیکی پرداخته‌اند. عموماً این تغییرات به دو صورت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی تجزیه و تحلیل آمار ثبت شده و قابل دسترس بارندگی و جریان رودخانه‌ها و دیگری آثار سناریوهای گوناگون تغییر اقلیم بر روی جریان رودخانه‌ها به وسیله‌ی مدل‌های هیدرولوژیکی است. متداول‌ترین روش برای تحلیل سری‌های زمانی هیدرولوژی و هواشناسی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. اصولاً وجود روند در این سری‌ها ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی‌طبیعی و تغییراقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد. تاکنون روش‌های متعددی برای تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده‌اند که این روش‌ها به دو دسته پارامتریک و ناپارامتریک قابل تقسیم می‌باشند، روش‌های ناپارامتری از کاربرد وسیع‌تری نسبت به‌روش‌های پارامتری برخوردار می‌باشند. مبنای کلیه‌ی روش‌های آماری مطرح نمودن دو فرضیه (H_0) و (H_1) و آزمودن آن‌ها بر اساس روش‌های خاص و نهایتاً پذیرفتن یکی از این دو فرضیه می‌باشد. پذیرفته شدن فرضیه (H_0) به منزله‌ی نبود روند و پذیرش فرضیه (H_1) وجود روند معنی‌دار در سری داده‌ها می‌باشد. در روش‌های ناپارامتری اساس کار بر تفاوت داده‌های مشاهداتی است به‌گونه‌ای که این روش‌ها مستقل از توزیع آماری سری‌های زمانی بوده و خصوصاً برای سری‌هایی که چولگی و کشیدگی زیاد دارند مناسب‌تر از روش‌های پارامتری می‌باشند.

در زمینه‌ی تعیین روند متغیّرهای بارش، دما و دبی ماهانه، فصلی و سالانه در دنیا تحقیقات مختلفی انجام گرفته است. زهوهنگ و گراسبی[1] *(2009:122-133)* سانجیو و همکاران[2] *(2009: 173-183)*؛ کینکلونک و همکاران[3]، *(2009: 124-133)* روند دبی را مورد ارزیابی قرار دادند. دونالد و هاگ‌النور[4] *(2002:107-122)*، کالیک و همکاران[5] *(2009:117-130)* به تحقیق بر روی وجود روند به ترتیب در دبی و رژیم رودخانه‌ها در کشور کانادا و دیکسون و همکاران[6] (۲۰۰۶) به تحقیق بر روی وجود روند در جریان رودخانه‌های واقع در غرب کشور انگلیس پرداخته‌اند.

بیرسان و همکاران[7] *(2005: 10-14)* روند دبی‌ها حداقل و حداکثر را در ۴۸ حوزه‌ی آبخیز در کشور سوئیس طیّ دوره‌ی آماری ۱۹۳۱ تا ۲۰۰۰ بر پایه‌ی سری‌های فصلی و سالانه مورد بررسی قرار دادند. آنها روند دبی حداکثر را در سری‌های سالانه، فصل‌های زمستان، بهار و پاییز افزایشی مشاهده کردند و اعلام داشتند که بارندگی به تنهایی برای توضیح روند در جریان‌های سطحی کافی نیست بلکه دما عامل تعیین-کننده در ایجاد روند دبی می‌باشد. آنها هم‌چنین با استفاده از همبستگی، ارتباط قوی بین جریان‌های

1- Zhuoheng&Grasby
2- Sanjiv at all
3- Qinglong at all
4- Donald and Hag Elnur
5- Kaliq at all
6- Dixon at all
7- Birsan at all

سطحی با ارتفاع پوشش‌های یخی و سنگی (منفی) و عمق خاک (مثبت) را به‌دست آوردند. این رابطه اشاره دارد که بیشترین محیط‌های آسیب‌پذیر ازنظر تغییرات جریان‌های‌سطحی،حوزه‌های آبخیزکوهستانی می‌باشند.

سونسون و همکاران[۱] *(2005:811-824)* در تحقیقی به بررسی تغییرات‌داده‌های مشاهده‌ای جریان‌های حداقل و متوسط سالانه، با دوره‌ی آماری بالای ۱۰۰ سال، در ۲۱ ایستگاه در اروپا و شمال آمریکا پرداختند. روند تغییرات با استفاده از آزمون آماری من-کندال و رگرسیون خطی تعیین شد.

نتایج آنها بیان داشت که به طور کلی هیچ الگوی افزایش یا کاهشی مقدار جریان‌ها وجود ندارد مک‌بین و مطیعی[۲] *(2006:3183-3209)* روند بارش، دما و جریان سالانه در حوضه دریاچه‌های شمال آمریکا را با استفاده از تحلیل‌رگرسیونی و آزمون آماری من-کندال تعیین نمودند.

آنها در تحقیق خود نشان دادند که بیشتر این متغیّرها روند افزایشی معنی‌داری در طیّ ۶ دهه داشته‌اند. حامد[۳] *(2008: 350-363)* با بررسی روند دبی حداکثر سالانه در ۵۷ رودخانه در سراسر جهان، روند معنی‌داری در حداکثر دبی سالانه این رودخانه‌ها مشاهده نکرد. کامپاتا و همکاران[۴] *(2008: 621-625)* به بررسی تحلیل داده‌های بلند مدت بارش ۵ ایستگاه باران‌سنجی واقع در حوضه‌ی آبریز زامبزی در زامبیا پرداختند. آنها به منظور بررسی روند از آزمون من- کندال استفاده کردند. هر ۵ ایستگاه روند کاهشی نشان دادند. لیکن این روندها معنی‌دار نبود دلگادو و همکاران[۵] *(2009: 6691-6719)*. روند دبی حداکثر سالانه و تغییرات آن را بر روی رودخانه مکونگ واقع در جنوب شرق آسیا در قرن ۲۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها در این بررسی از سه آزمون من-کندال،میانگین کوچکترین مربعات (OLS)[۶] (OLS)[۶] و تابع مقدار حد عمومی غیر ثابت (NSGEV)[۷] (NSGEV)[۷] استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که دبی متوسط کاهش یافته در حالی که دبی حداکثر در نیمه دوم افزایش یافته است. ژو و همکاران[۸] *(2010:256-267)* روند دما، بارندگی و دبی در رودخانه تاریم در چین را با آزمون من-کندال بررسی کردند. به طوری که روند دما و بارندگی در کل حوزه‌ی آبخیز افزایشی بود. در حالی که روند دبی در قسمت‌های بالادست حوزه‌ی آبخیز افزایشی و در پایین‌دست‌کاهشی بود. افزایش دما در مناطق کوهستانی باعث ذوب شدن برف و یخ در فصل بهار شده و دبی را افزایش داده است و روند کاهشی دبی در مناطق دشتی را به علت افزایش فعالیّت‌های انسانی و استفاده از جریانات سطحی دانسته‌اند.

در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه تحلیل روند متغیّرهای مختلف هیدرولوژیکی و هواشناسی انجام گرفته است. از آن جمله کاویانی و عساکره *(۱۳۸۰: ۳۸-۱۹)* دمای سالانه را درمنطقه‌ی‌جاسک؛مسعودیان *(۱۳۸۴: ۴۵-۲۹)* دمای ماهانه در کل ایران و عساکره *(۱۳۸۶: ۲۶-۳)* دمای سالانه‌ی تبریز را مورد بررسی قرار دادند. در زمینه‌ی بارندگی نیز خلیلی وبذرافشان*(۱۳۸۳: ۳۳-۲۵)* روند بارندگی در پنج ایستگاه قدیمی ایران و رضییی و همکاران *(۱۳۸۴: ۸۱-۷۳)* در پژوهشی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکز و شرق ایران با استفاده از داده‌های ۷۹ ایستگاه اقلیم‌شناسی و سینوپتیک سازمان هواشناسی با طول دوره‌ی آماری ۳۶ سال (۱۳۴۴ تا ۱۳۷۹ خورشیدی) با استفاده از آزمون‌های آماری ناپارامتری مورد بررسی قرار داده‌اند. نتیجه‌ی این بررسی نشان داد که نشانه‌ای از بروز

1- Svensson at all
2- McBean and Motiee
3- Hamed
4- Kampata at all
5- Delgado at all

6- Ordinary least squares
7- Non-stationary general extreme value function
8- Xu at all

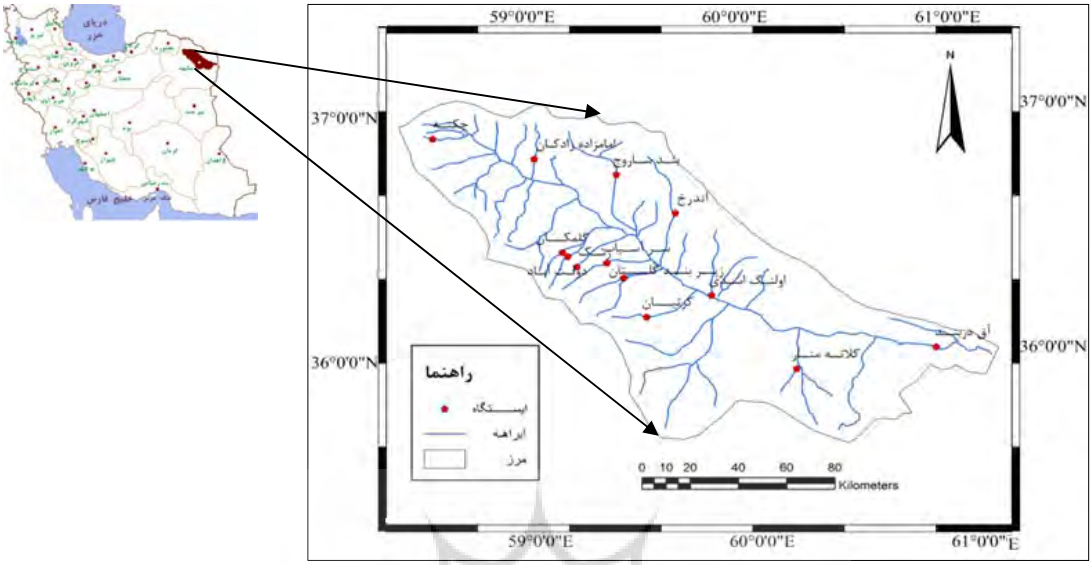
تغییرات اقلیمی در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود ندارد. قهرمان و تقواییان *(۱۳۸۶: ۹۷-۹۳)* در تحقیقی وجود روند در بارندگی سالانه ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند. آمار بارندگی سالانه‌ی ۳۰ ایستگاه سینوپتیک با پراکنش مناسب در ایران با طول دوره‌ی آماری برابر یا کمتر از ۵۰ سال (مختوم به سال ۱۳۸۰) جمع‌آوری شده و روند بارندگی سالانه‌ی آنها با استفاده از آزمون شیب خط رگرسیون (باران سالانه به عنوان متغیّر وابسته به زمان به عنوان متغیّر مستقل) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با در نظر گرفتن کل طول دوره‌ی آماری در سطح ۹۵٪ هفت ایستگاه روند منفی و شش ایستگاه روند مثبت داشتند. حجام و همکاران *(۱۳۸۷: ۱۶۸-۱۵۷)* روند تغییرات بارندگی فصلی و سالانه‌ی چند ایستگاه در حوضه‌ی مرکزی ایران با استفاده از دو روش ناپارامتری من- کندال و تخمین‌گر سن بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که کارآیی دو روش فوق در تحلیل روند بارندگی فصلی و سالانه در اکثر موارد شبیه هم است و کارآیی روش سن در تحلیل مشاهداتی که در آن‌ها تعداد داده‌های صفر زیاد است، بهتر از آزمون من-کندال می‌باشد. در زمینه‌ی روند دبی، غیور و رحیمی *(۱۳۸۵: ۹)* با بررسی برآورد روند تغییرات دبی در حوضه‌ی کارون علیا با استفاده از تابع انتقال سری‌های زمانی (ایستگاه آرمند) به این نتیجه رسید که داده‌های دبی سالانه ایستگاه آرمند دارای روند صعودی نمی‌باشد. مریانجی و همکاران *(۱۳۸۷: ۷)* روند تغییرات دبی و رابطه‌ی آن با متغیّرهای هواشناسی (حداقل، حداکثر، متوسط دما و بارش سالانه) در حوضه‌ی یالفان همدان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که داده‌های دما دارای روند افزایشی معنی‌داری‌اند درحالی که داده‌های بارش دارای نوسانات و جهش‌های بسیاری است. در بین متغیّرهای هواشناسی مورد بررسی بارش سالانه بیشترین همبستگی را با دبی داشت. با جمع-بندی یافته‌های محققان می‌توان به این نتیجه رسید که نوع روند در بارندگی و دبی در مناطق مختلف به دلایل مختلف،متفاوت است.تحقیق حاضر باهدف آشکارسازی وجود و میزان روند دبی و بارندگی در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود واقع در شمال شرق ایران که جزء مناطق کم بارش ایران محسوب می‌شود انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود در طول جغرافیایی ′۲۰ °۵۸ تا ′۰۸ °۶۰ و عرض جغرافیایی ′۴۰ °۳۵ تا ′۰۳ °۳۶ قرار دارد و از شمال به ارتفاعات هزار مسجد، از جنوب به ارتفاعات بینالود محدود می‌شود. وسعت این حوزه‌ی آبخیز ۱۶۵۰۰ کیلومترمربع است که بخش وسیعی از استان خراسان را به خود اختصاص داده است. از این وسعت حدود ۵۰۰۰ کیلومتر دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد.

این حوزه‌ی آبخیز جزء مناطق کم بارش در ایران محسوب می‌گردد. اقلیم منطقه با توجه به پژوهش‌های حیدری و علیخانی *(۱۳۷۸: ۷۳-۷۰)* نیمه‌خشک سرد معرفی شده است. بارندگی کم و تبخیر و پتانسیل بالای تعرق از ویژگی‌های این منطقه محسوب می‌شود. شکل ۱ موقعیت حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود در ایران و همچنین ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح حوضه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوزه‌ی آبخیز کشفرود در ایران و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در سطح حوزه‌ی آبخیز کشفرود

مأخذ : نگارندگان

روش تحقیق

برای انجام تحقیق حاضر آمار دبی و بارندگی تمام ایستگاه‌های موجود در حوزه‌ی آبخیز کشفرود از شرکت تحقیقات منابع آب کشور (تماب) تهیه گردید. از بین ۳۳ ایستگاه که آمار دبی و بارندگی را به‌صورت مشترک داشتند، ۱۳ ایستگاه که دارای بیشترین طول دوره‌ی آماری مشترک بارندگی و دبی بودند و پراکنش مناسب در سطح حوزه‌ی آبخیز کشفرود داشتند انتخاب گردید. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های منتخب و طول دوره‌ی آماری هرکدام را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های منتخب در حوزه‌ی آبخیز کشفرود

کد ایستگاه	نام ایستگاه	رودخانه	دوره آماری		طول دوره آماری		ارتفاع (متر)	مختصات جغرافیایی	
			شروع	خاتمه	بارندگی	دبی		طول	عرض
۶۴-۰۰۳	امامزاده	رادکان	۱۳۵۱	۱۳۸۵	۳۴	۳۵	۱۲۰۰	۵۹°۶۱′	۳۶°۴۸′
۶۴-۰۱۱	گلمکان	گلمکان	۱۳۵۱	۱۳۸۵	۳۵	۳۵	۱۳۰۰	۵۹°۱۲′	۳۶°۲۸′
۶۴-۰۱۳	دولت‌آباد	کاهو	۱۳۵۶	۱۳۸۵	۳۰	۳۰	۱۳۵۰	۵۹°۱۱′	۳۶°۲۴′
۶۴-۰۱۵	بند ساروج	ارداک	۱۳۵۳	۱۳۸۵	۲۸	۲۹	۱۳۴۰	۵۹°۲۲′	۳۶°۴۲′
۶۴-۰۱۷	زشک	زشک	۱۳۵۶	۱۳۸۵	۲۷	۳۰	۱۹۵۰	۵۹°۰۹′	۳۶°۱۸′
۶۴-۰۱۹	سرآسیاب‌شاندیز	زشک	۱۳۵۳	۱۳۸۵	۲۷	۳۱	۱۷۵۰	۵۹°۱۳′	۳۶°۲۰′
۶۴-۰۲۱	اندرخ	کارده	۱۳۴۶	۱۳۶۸	۲۳	۲۳	۹۵۰	۵۹°۴۰′	۳۶°۳۶′
۶۴-۰۲۷	زیربند گلستان	جاغرق	۱۳۶۴	۱۳۸۵	۲۱	۲۲	۱۲۰۰	۵۹°۲۶′	۳۶°۲۰′
۶۴-۰۲۹	کرتیان	طرق	۱۳۴۶	۱۳۶۶	۲۱	۲۱	۱۲۴۰	۵۹°۳۱′	۳۶°۱۰′
۶۴-۰۳۳	اولنگ‌اسدی	کشفرود	۱۳۵۱	۱۳۸۵	۳۳	۳۳	۸۴۰	۵۹°۵۱′	۳۶°۱۴′
۶۴-۰۳۷	آق‌دربند	کشفرود	۱۳۴۶	۱۳۸۵	۳۶	۳۹	۶۲۰	۶۰°۵۱	۳۶°۰′
۶۴-۰۴۳	چکنه‌علیا	چکنه	۱۳۶۶	۱۳۸۵	۱۶	۲۰	۱۶۵۰	۵۸°۲۸′	۳۶°۵۰′
۶۴-۹۶۲	کلاته‌منار	کلاته‌منار	۱۳۶۵	۱۳۸۵	۱۶	۱۶	۹۹۰	۶۰°۱۴′	۳۵°۵۶′

مأخذ: نگارندگان

به منظور انجام تحقیق حاضر، ابتدا داده‌های بارندگی و دبی فصلی و سالانه‌ی هر ایستگاه در سال‌های مختلف از قدیم به جدید پشت سرهم مرتب گردید و سپس با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال وجود روند در داده‌های دبی و بارندگی در هر یک از ایستگاه‌ها به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به دست آمده از این آزمون به صورت نمودار ترسیم گردید. سپس با استفاده از رابطه‌ی سن میزان روند محاسبه شد. برای نمایش بهتر و نیز ارزیابی کلی منطقه، نتایج به دست آمده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای بارندگی و دبی فصلی و سالانه در قالب نقشه نمایش داده شد. در زیر آزمون من- کندال و رابطه‌ی سن توضیح داده می‌شود.

آزمون من-کندال

این آزمون که ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) توسعه یافت، جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به‌شمار می‌رود استفاده از این روش به دو دلیل توصیه می‌شود:

۱) قابل کاربرد برای انواع داده‌های غیر نرمال، ناقص و فصلی است.

۲) دارای بیشترین توانایی ذاتی در تحلیل داده‌ها می‌باشد *(Xu at all., 2010:3)*.

همچنین این‌آزمون نسبت به‌دیگر آزمون‌های روند برای تعیین روندسری‌های زمانی هیدرولوژیک مناسب‌تر می‌باشد*(McBean and Motiee,2006: 3186)*. مراحل محاسبه‌ی آماره‌ی این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

الف: محاسبه‌ی اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S که از رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

که در آن: n تعداد مشاهدات و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری‌اند. تابع علامت نیز توسط رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

(۲)

$$\mathrm{Sgn} = \begin{cases} +۱ & \text{اگر } (X_j - X_k) > ۰ \\ ۰ & \text{اگر } (X_j - X_k) = ۰ \\ -۱ & \text{اگر } (X_j - X_k) < ۰ \end{cases}$$

ب: محاسبه واریانس که از رابطه‌های (۳) و (۴) به‌دست می‌آید:

(۳) اگر n>10

$$Var = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^{m} t_i \; t_i(t_i-1)(2t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

(۴) اگر n<10

$$Var = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

که در نهایت n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m معرف تعداد سری‌هایی که در آن حداقل یک داده تکراری وجود داشته باشد و t معرف داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

ج- نهایتاً مقدار آماره z توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

(۵)

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{var\,(S)}} & \text{اگر } S > ۰ \\ ۰ & \text{اگر } S = ۰ \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{var\,(S)}} & \text{اگر } S < ۰ \end{cases}$$

در یک آزمون دوطرفه برای یافتن روند سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه‌ی (۶) برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}} \qquad (۶)$$

که در آن: α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z آماره‌ی توزیع نرمال استاندارد درسطح معنی‌داری می‌باشد. که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\frac{\alpha}{2}$ استفاده شده است. در این تحقیق آزمون من-کندال برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به کار گرفته شده است که مقدار $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ به ترتیب برابر ۱/۹۶ و ۲/۶۵ می‌باشد.

در صورت مثبت بودن آماره‌ی روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. برای اندازه‌گیری میزان روند می‌توان شیب تخمینی β را توسط رابطه‌ای که توسط سن[1] (*1968:1379*) ارائه و توسط هیرش و همکاران[2] (*1982:13-71*) توسعه یافت، محاسبه کرد. اساس این روش بر محاسبه‌ی یک شیب میانه برای سری زمانی مختلف و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب به‌دست آمده در سطوح اطمینان مختلف می‌باشد. این آزمون در هنگام وجود داده‌های گم شده، به راحتی قابل استفاده می‌باشد. این رابطه به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\beta = \frac{X_t - X_s}{t - s} \qquad (۷)$$

در این رابطه: X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s می‌باشد. به‌طوری که t یک واحد زمانی بعد از s است. با اعمال این رابطه برای هر دو جفت داده‌ی مشاهده‌ای، یک‌سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید که از محاسبه‌ی میانه‌ی این سری زمانی شیب خط روند (β_{med}) حاصل می‌آید. مقدار مثبت (β_{med}) حاکی از صعودی بودن روند و مقدارمنفی آن نشان‌دهنده‌ی نزولی‌بودن روند می‌باشد.

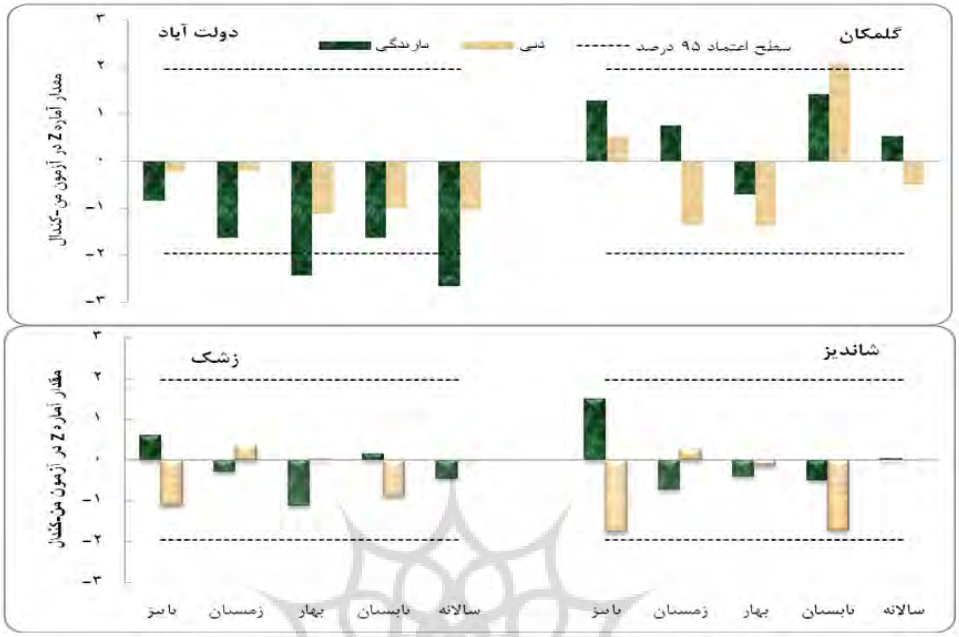
برای تحلیل توزیع مکانی روند در سطح حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود، مقدار بزرگی روند (β_{med}) به‌دست آمده برای هر ایستگاه در محیط GIS ترسیم شد.

بحث

در این بررسی ابتدا روند بارندگی و دبی در هر ایستگاه به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲ روند دبی و بارندگی به صورت مقایسه‌ای در چهار زیرحوزه‌ی آبخیز دولت‌آباد، گلمکان، زشک و شاندیز آورده شده است.

با توجه به شکل ۲، در ایستگاه دولت‌آباد بارندگی و دبی روند کاهشی داشتند که می‌توان نتیجه گرفت که دبی در زیرحوزه‌ی آبخیز دولت‌آباد به طور مستقیم تحت تأثیر بارندگی منطقه می‌باشد. روند بارندگی در این زیرحوزه‌ی آبخیز در سری سالانه و فصل بهار به‌ترتیب در سطوح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار است. این روند کاهشی در ایستگاه دولت‌آباد را نمی‌توان به موقعیت زیر آبخیز نسبت داد. زیرا ایستگاه‌های شاندیز، زشک و گلمکان که نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها به این ایستگاه می‌باشند روند متفاوتی در دبی و بارندگی نشان می‌دهند (شکل ۲).

1- Sen
2- Hirsch at all

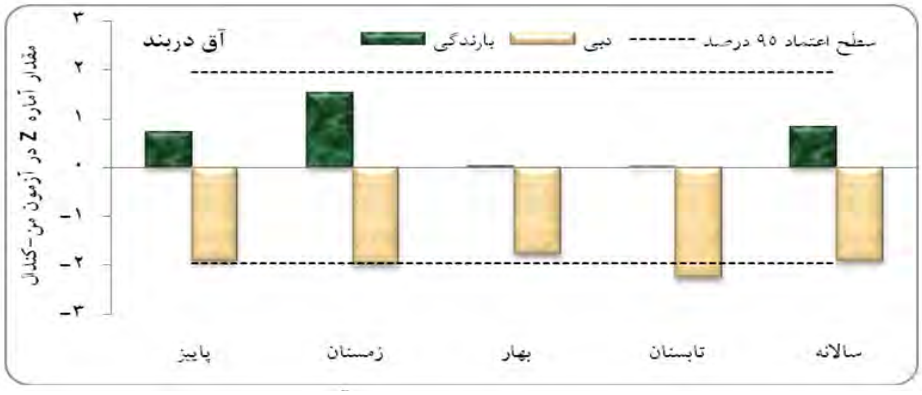


شکل ۲: آماره Z آزمون من-کندال در ایستگاه‌های گلمکان، دولت‌آباد، زشک و شاندیز

مأخذ: نگارندگان

به طوری که روند بارندگی در تمام سری‌های مورد مطالعه به جز فصل بهار در ایستگاه گلمکان روند افزایشی می‌باشد. روند دبی نیز در سری‌ها پاییز و تابستان افزایشی است که در سری تابستان در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. در ایستگاه‌های زشک و شاندیز نیز روند متفاوت کاهشی و افزایشی بارندگی و دبی مشاهده می‌گردد و ممکن است عوامل دیگر مانند میزان برداشت و کاربری اراضی دخیل باشند. در نتیجه نمی‌توان نتیجه‌ی کلی برای آن‌ها به دست آورد.

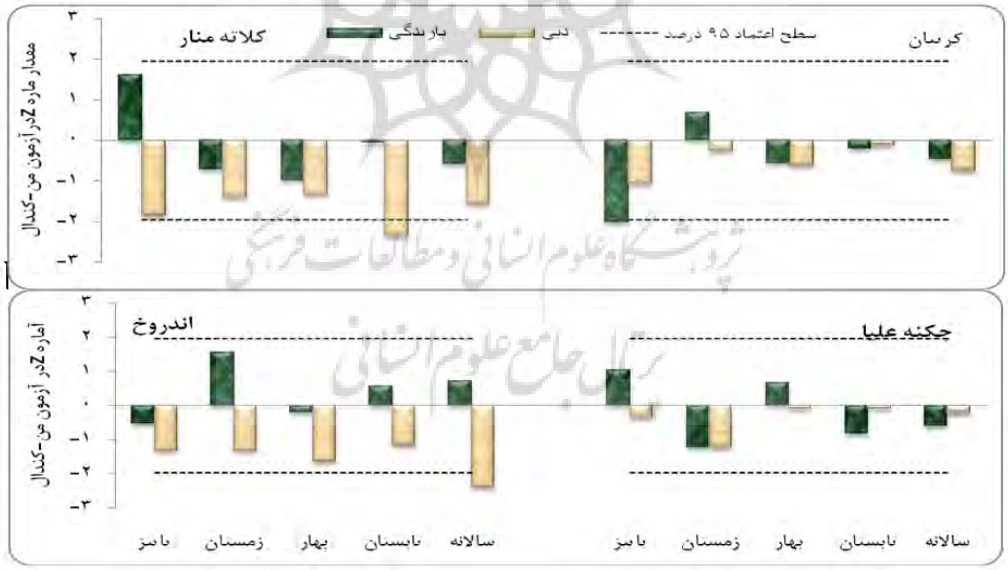
در ایستگاه آق‌دربند (شکل ۳) که بر روی رودخانه‌ی اصلی قرار دارد، روند بارندگی در تمام سری‌های فصلی و سالانه افزایشی است؛ افزایش میزان بارندگی در این ایستگاه می‌تواند از نشانه‌های تغییر اقلیم باشد درحالی که در همین ایستگاه‌دبی در همه‌ی سری‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهد که به موقعیت ایستگاه که بر روی رودخانه‌ی اصلی و در خروجی حوزه‌ی آبخیز قرار دارد وابسته است. قرار گرفتن این ایستگاه بر روی رودخانه‌ی اصلی نیز در منطقه دشتی و استفاده از منابع آب در بخش‌های کشاورزی و مصارف شهری در دشت‌های اطراف مشهد باعث روند کاهش دبی در این ایستگاه شده است که با نتایج ژو و همکاران (۲۰۱۰) که افزایش فعالیّت‌های انسانی در مناطق دشتی را دلیل روند کاهشی دبی دانسته‌اند مطابقت دارد.



شکل ۳: تحلیل روند در ایستگاه آق‌دربند

مأخذ : نگارندگان

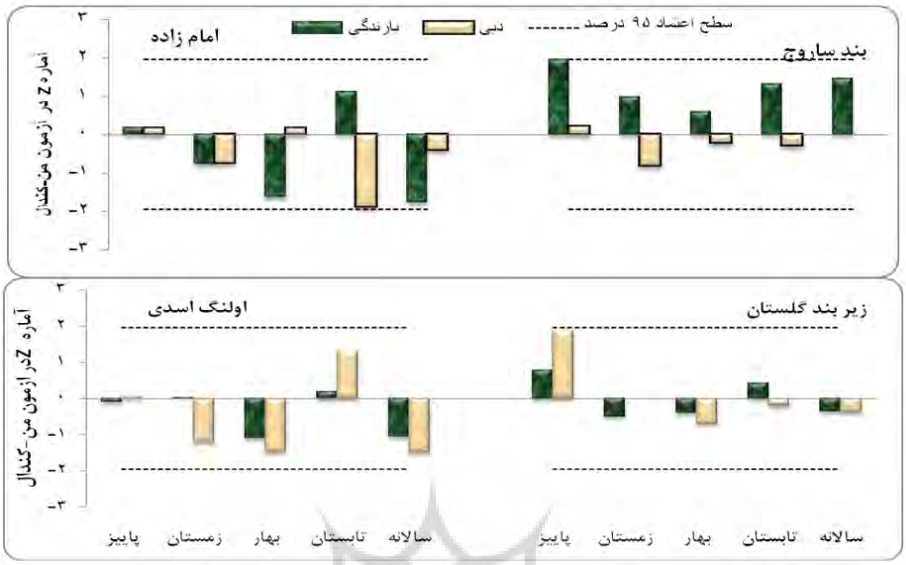
زیرحوضه‌ی‌رودخانه‌های چکنه‌علیا،کلاته‌منار، کرتیکان و اندروخ، روند نزولی در همه سری‌های فصلی و سالانه دبی مشاهده گردید. روند بارندگی در این ایستگاه‌ها متفاوت مشاهده می‌شود. در ایستگاه کلاته‌منار روند بارندگی در فصل پاییز افزایشی و در مابقی سری‌ها کاهشی است. در ایستگاه کرتیکان نیز تنها در فصل زمستان روند افزایشی مشاهده می‌شود ولی در دو ایستگاه اندروخ و چکنه‌علیا روند افزایشی و کاهشی در سری‌های فصلی و سالانه مشاهد گردید. شکل ۴ روند بارندگی و دبی این چهار ایستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۴ : روند در ایستگاه‌های کلاته‌منار، کرتیکان، اندروخ و چکنه علیا

مأخذ: نگارندگان

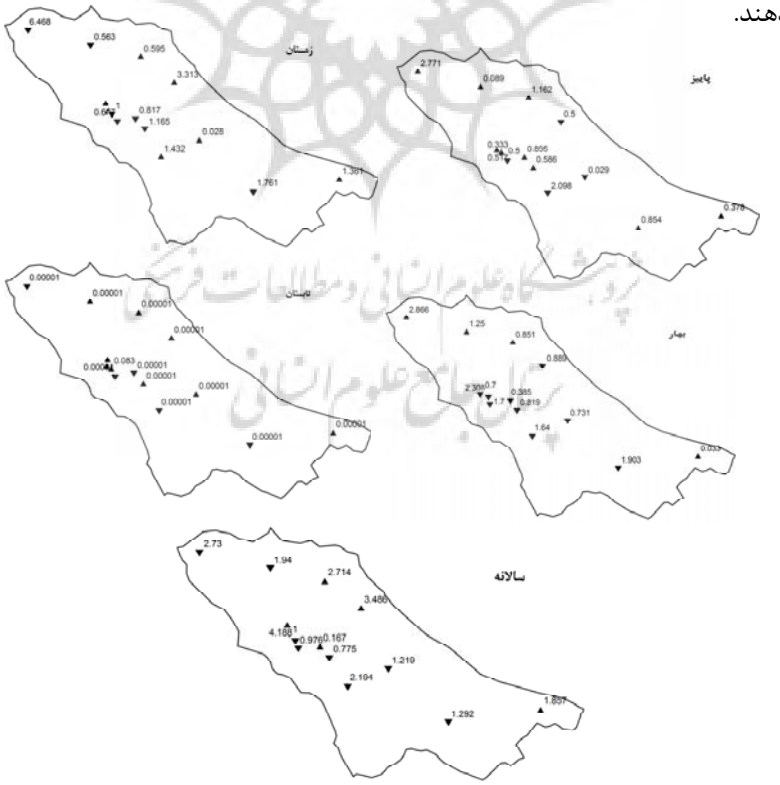
در ایستگاه بند ساروج (شکل ۵) روند بارندگی در تمام سری‌های فصلی و سالانه افزایشی بود. ولی روند دبی به جز فصل پاییز در مابقی سری‌ها کاهشی بود. در ایستگاه امامزاده، اولنگ‌اسدی و زیر بند گلستان (شکل ۵) روندهای افزایشی و کاهشی متفاوت بارندگی و دبی در سری‌های فصلی و سالانه مشاهده شد که الگوی خاصی وجود نداشت.



شکل ۵: روند در ایستگاه‌های امام‌زاده، کرتیکان، اندروخ و چکنه علیا

مأخذ: نگارندگان

شکل‌های ۶ و ۷ بزرگی روند سالانه و فصلی بارندگی و دبی در ایستگاه‌های منتخب و چگونگی توزیع آن در سطح حوضه را نشان می‌دهند.



شکل۶ : بزرگی روند سالانه و فصلی بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود
(مثلث روبه بالا مقدار مثبت و روبه پایین مقدار منفی را نشان می‌دهد)

مأخذ : نگارندگان

شکل۷ : بزرگی روند سالانه و فصلی دبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود
(مثلث روبه بالا مقدار مثبت و روبه پایین مقدار منفی را نشان می‌دهد)
مأخذ : نگارندگان

با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ میزان کاهش یا افزایش دبی در اکثر ایستگاه‌ها بسیار ناچیز بوده است. ولی این بزرگی در بارندگی چشم‌گیرتر است. این می‌تواند به دلیل پایین بودن دبی رودخانه‌ها در منطقه باشد. با توجه به این شکل‌ها، در بررسی سری‌های فصلی، فصل پاییز در بارندگی از مجموع ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه در ۹ ایستگاه دارای روند افزایشی و در چهار ایستگاه روند کاهشی داشته است. یعنی بارندگی در فصل پاییز در اکثر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. از طرف دیگر بارندگی در فصل بهار در ۱۰ ایستگاه از مجموع ۱۳ ایستگاه روند کاهشی را نشان می‌دهد. در بررسی روند داده‌های سالانه‌ی بارندگی و دبی مشاهده شد که از مجموع ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود، ۵ ایستگاه روند افزایشی و ۸ ایستگاه روند کاهشی در داده‌های بارندگی نشان دادند. ولی در داده‌های دبی در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند افزایشی

مشاهده نشد. دبی در دو ایستگاه بند ساروج و شاندیز بدون روند و در مابقی ایستگاه‌ها دارای روند منفی بود. یعنی با وجود افزایش بارندگی در بعضی مناطق، دبی رودخانه‌ها کاهش یافته است. در بررسی روند دبی مشاهده شد که در تمام فصول، ایستگاه‌هایی که روند کاهشی را نشان می‌دهند بیش از روند افزایشی آنهاست. ولی تعدد ایستگاه‌های دارای روند کاهشی در دو فصل بهار و تابستان چشم‌گیرتر است. در این دو فصل از ۱۳ ایستگاه، ۱۱ ایستگاه روندکاهشی و دو ایستگاه روند افزایشی نشان دادند. در فصل بهار با وجود مشاهده روند افزایشی بارندگی در اکثرایستگاه‌ها، دبی حالت کاهشی چشم‌گیری نشان داد. این احتمالاً به‌علت افزایش استفاده از منابع آب‌های جاری می‌باشد که در نیمه‌ی اول سال به علت افزایش کشاورزی رخ داده است. نتایج حاصل از بررسی روند بارندگی و دبی به‌صورت فصلی و سالانه در ۱۳ ایستگاه مورد بررسی در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ روند سری‌های مورد مطالعه بارندگی و دبی در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود

متغیّر	سالانه		پاییز		زمستان		بهار		تابستان		کلی	
	افزایشی	کاهشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	کاهشی
بارندگی	۵	۸	۹	۴	۶	۷	۳	۱۰	۷	۵	۳۰	۳۴
دبی	۰	۱۱	۵	۸	۲	۱۰	۲	۱۱	۲	۱۱	۱۱	۵۱

مأخذ: نگارندگان

با توجه به جدول ۲ تعداد سری‌هایی که دارای روند کاهشی‌اند نسبت به سری‌هایی که دارای، روند افزایشی‌اند بیشتر است. در مورد داده‌های دبی، بالا بودن تعداد سری‌های، دارای روند منفی چشم‌گیرتر است.

نتیجه

این تحقیق با هدف تعیین روند بارندگی و دبی و بزرگی آنها در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود انجام شده است. بر اساس نتایج به دست آمده به‌طور کلی می‌توان این نتیجه را گرفت که بارندگی در فصل پاییز در اکثر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. به‌طوری‌که در ۹ ایستگاه روند افزایشی بوده و در ۴ ایستگاه کاهشی است. از طرف دیگر بارندگی در فصل بهار در ۱۰ ایستگاه از مجموع ۱۳ ایستگاه روند کاهشی را نشان می‌دهد. در فصول زمستان و تابستان تقریباً تعداد ایستگاه‌های دارای روند افزایشی و کاهشی برابر بوده به طوری که در فصل زمستان روند کاهشی بیشتر و در فصل تابستان روند افزایشی بیشتر بوده است. در بررسی روند داده‌های سالانه‌ی بارندگی و دبی مشاهده شد که از مجموع ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود، ۵ ایستگاه روند افزایشی و ۸ ایستگاه روند کاهشی در داده‌های بارندگی نشان دادند. ولی در داده‌های دبی در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده نشد. دبی در دو ایستگاه بدون روند و در مابقی ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی بود. این به احتمال زیاد به علت افزایش برداشت و استفاده از آب رودخانه‌هاست. با افزایش جمعیّت، نیاز به استفاده از آب رودخانه‌ها نیز افزایش یافته است. در نتیجه انسان با ایجاد سد و زیرکشت بردن زمین‌های کشاورزی بیشتر سعی در بهره‌وری و مهار بیشتر آب‌های جاری نموده است. در رابطه با بزرگی روند، میزان کاهش یا افزایش دبی در اکثر ایستگاه‌ها بسیار ناچیز بوده است. ولی این بزرگی در بارندگی چشم‌گیرتر است. این می‌تواند به دلیل پایین بودن دبی رودخانه‌ها در منطقه باشد. پیشنهاد می‌گردد با توجه به روند کاهشی دبی در حوزه‌ی آبخیز کشف‌رود، بهره‌برداری مناسبی از منابع آب موجود صورت گیرد.

منابع

۱- برخورداری، جلال؛ محمد خسروشاهی (۱۳۸۶). بررسی اثر تغییرات پوشش اراضی و اقلیم بر جریان رودخانه مطالعه موردی:حوضه آبخیز میناب. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۷۷.

۲- حجام، سهراب؛ یونس خوشخو؛ رضا شمس‌الدین‌وندی (۱۳۸۷). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه‌ی مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. پژوهش‌های‌جغرافیایی. ۴۰ (۶۴).

۳- حیدری، حسن؛ بهلول علیخانی (۱۳۷۸). طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیّره، پژوهش‌های جغرافیایی. ۳۷.

۴- خلیلی، علی؛ جواد بذرافشان (۱۳۸۳). تحلیل روند بارندگی سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته. مجله بیابان. ۹ (۱).

۵- رضیبی، طیب؛ پیمان دانش‌کارآراسته؛ بهرام ثقفیان (۱۳۸۴). بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و شرقی ایران. آب و فاضلاب، ۱۶ (۲).

۶- عساکره، حسین (۱۳۸۶). کاربرد رگرسیون خطی در تحلیل روند دمای سالانه تبریز، تحقیقات جغرافیایی ۲۲ (۴) .

۷- غیور، حسنعلی؛ داریوش رحیمی (۱۳۸۵). برآورد روند تغییرات دبی در حوضه‌ی کارون علیا با استفاده از تابع انتقال سری‌های زمانی (ایستگاه ارمند)، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود (فرصت‌ها و چالش‌ها).

۸- قهرمان، بیژن؛ صالح تقواییان (۱۳۸۶). بررسی روند بارندگی سالانه در ایران. مجله بین المللی علوم و فناوری کشاورزی. ۱۰ (۱).

۹- کاویانی، محمدرضا؛ حسین عساکره (۱۳۸۰). بررسی و مدل‌سازی روند دما طیّ سده‌ی گذشته (مطالعه موردی ایستگاه جاسک). مطالعات و پژوهش‌های دانشکده ادبیات و علوم انسان اصفهان. (۲۷-۲۶).

۱۰- مریانجی، زهره؛ صفر معروفی؛ حامد عباسی (۱۳۸۷). آشکارسازی روند تغییرات‌دبی و روابط آن با پارامترهای هواشناسی در حوزه‌ی یالفان همدان با کاربرد روش غیر پارامتریک من-کندال، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

۱۱- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۴). بررسی روند دمای ایران در نیم سده‌ی گذشته، پژوهش‌های جغرافیایی. ۳۷ (۵۴).

12- Birsan, Marius-Victor, Molnar, Peter, Burlando, Paolo and Pfaundler, Martin (2005). Streamflow trends in Switzerland. Journal of Hydrology 314.

13- Delgado, José Miguel, Apel, Heiko and Bruno, Merz (2009). Flood trends and variability in the Mekong river. Hydrology Earth System Science Discussion, 6.

14- Dixon, Harry, Lawler, Damian M and Shamseldin, Assaad Y. (2006). Streamflow trends in western Britain. Geophysics Research Letter. 33, L 19406. doi:10.1029/2006GL027325.

15- Donald H. Burn and Mohamed A. Hag Elnur (2002). Detection of hydrologic trends and variability. Journal of Hydrology. 255.

16- Hamed, Khaled H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. Journal of Hydrology, 349.

17- Hirsch, Robert M., Slack, James R., Smith, Richard A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research 18 (1).

18- Kampata, Jonathan M., Parida, Bhagabat P. and Moalafhi, D.B. (2008). Trend analysis of rainfall in the headstreams of the Zambezi River Basin in Zambia. Physics and Chemistry of the Earth, 33.

19- Khaliq, M.N., Ouarda, Taha B.M.J., Gachon, Philippe, Sushama, Laxmi and St-Hilaire, Andre (2009). Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of flow selected methods and their application to annual regimes of Canadian rivers. Journal of Hydrology, 368(1-4).

20- McBean, Edward and Motiee, Homayon (2006). Assessment of impacts of climate change on water resources – a case study of the Great Lakes of North America. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 3.

21- Qinglong, You, Shichang, Kang, Nick, Pepin, Wolfgang, Albert Flügel, Yuping, Yan, Houshang, Behrawan and Jie, Huang (2009). Relationship between temperature trend magnitude, elevation and mean temperature in the Tibetan Plateau from homogenized surface stations and reanalysis data. Global and Planetary Change, 71.

22- Sanjiv, Kumar, Venkatesh, Merwade, Jonghun, Kam and Kensey, Thurner (2009). Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology, 374.

23- Sen, Paranab Kumar (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association 63.

24- Svensson, Cecilia, Kundzewicz, Zbigniew W. and Maurer, Thomas (2005). Trend detection in river flow series: 2. Flood and low-flow index series. Hydrological Sciences Journal, 50 (5).

25- Xu, Zongxue, Liu, Zhaofei, Fu, Guobin, and Yaning, Chen (2010). Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years, Journal of Arid Environments, 74.

26- Zhuoheng, Chen and Stephen, E. Grasby (2009). Impact of decadal and century-scale oscillations on hydroclimate trend analyses.Journal of Hydrology, 365.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی