DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2023.20645.1956

بررسی روند تغییرات بارش، سطح ایستابی و دبی رودخانه‌ها در دشت مشهد-چناران (مقالهٔ پژوهشی)

۱- حمزه نور*، استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
h.noor@areeo.ac.ir
۲- علی دسترنج، استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۳- محمد رستمی‌خلج، استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۴- علیرضا مجیدی، استادیار گروه پژوهشی هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

چکیده
داده‌های هیدرواقلیمی بر اساس تغییرات اقلیمی و دخالت‌های بشر، باگذشت زمان دارای نوسانات کاهشی یا افزایشی می‌باشند. بررسی هم‌زمان، جهت و شدت تغییرات بارش، دبی رودخانه و سطح ایستابی، اطلاعات مفیدی برای برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب حوضه در اختیار محققان و کارشناسان قرار می‌دهد. در این راستا تحقیق حاضر به‌منظور تحلیل وجود روند با استفاده از آزمون من-کندال، در داده‌های بارش، دبی رودخانه و تراز ایستابی در حوضه مشهد-چناران، طرح‌ریزی شده است. نتایج تحقیق نشان داد که در داده‌های بارش روند معنی‌داری در مقیاس سالانه مشاهده نمی‌شود. با این حال در فصل زمستان روند کاهشی و معنی‌دار در ایستگاه‌های مورد بررسی مشاهده می‌شود. روند کاهشی و معنی‌دار در داده‌های سالانه دبی جریان و تراز ایستابی مشاهده شده است. نتایج تحقیق حاضر دلالت بر آن داشت که روند کاهشی در داده‌های دبی بیشتر از داده‌های بارش است، روند کاهشی در سری تراز آب زیرزمینی بیشتر از رواناب سطحی می‌باشد. در آخر، جریان زیست محیطی با استفاده از روش تسمن برای منطقه مورد مطالعه تعیین شد. نتایج دلالت بر آن داشت که تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها شرایط بحرانی جریان (کمتربودن جریان نسبت به جریان محیط زیستی) مشاهده شده است. به‌گونه‌ای‌که با کاهش ارتفاع ایستگاه و هم‌چنین با افزایش مساحت حوضه بالادست ایستگاه، بر میزان شرایط بحرانی افزوده می‌شود.

واژگان کلیدی: آزمون روند، پیزومتر، جریان محیط‌زیستی، کشف‌رود، بیلان آبی.

مقدّمه
مصارف گوناگون بشر از منابع آب موجب گردیده است که سالانه میزان قابل ملاحظه‌ای از آب در دسترس، به‌گونه‌ای غیرقابل‌استفاده شود. بررسی چرخه آب در طبیعت نشان می‌دهد که مقدار آب موجود در کرهٔ زمین ثابت است، ولی به‌دلیل رشد جمعیت و نیاز بیش‌تر به آب برای انواع مصارف از جمله کشاورزی، صنعت و مصارف بهداشتی، فشار بر روی این منابع محدود روز به روز تشدید می‌گردد [۱۴، ۱۸].

از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی و کاهش مقدار بارش و افزایش درجه حرارت نیز موجب شده است که تغذیه منابع آب نیز دچار نقصان شود [۵]. بنابراین، از یک‌سو از حجم تغذیه منابع آب حوضه کاسته شده است و از سوی دیگر منابع آب موجود نیز تحت فشار بهره‌برداری غیراصولی قرار

دارند و در نتیجه انتظار می‌رود که بیلان آب حوضه‌ها هرساله منفی‌تر شود.

با توجه به تغییرات و نوسانات در سری‌های زمانی هیدرواقلیمی، از دهه‌های پیش، محققان به‌دنبال تعیین علمی شدت و جهت این تغییرات بوده‌اند. متداول‌ترین روش برای تحلیل سری‌های زمانی هیدرواقلیمی، تعیین وجود یا عدم‌وجود روند در آن‌هاست [۱۰]. به‌عبارت دیگر، یکی از روش‌های متداول به‌منظور تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیک بررسی وجود یا عدم‌وجود روند در آن‌ها ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیمی و یا در اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد [۲، ۱۳، ۱۶، ۱۷].

آزمون‌های تعیین روند به دو بخش پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های پارامتریک عمدتاً بر اساس روابط رگرسیونی بین سری داده‌ها با زمان استوار می‌باشند. با این حال روش‌های ناپارامتریک از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشم‌گیرتری نسبت به روش‌های پارامتریک برخوردارند. به دلیل رفتار غیرخطی عناصر اقلیمی [۱]، حساسیت کم‌تر نسبت به داده‌های مفقودشده، داده‌های مقادیر حد و داده‌های پرت سری زمانی و از طرف دیگر، عدم تابع توزیع خاص [۱، ۲۳] سبب کاربرد بیشتر آزمون‌های ناپارامتری نسبت به پارامتری در این زمینه شده است.

استفاده از روش من-کندال برای آزمون روند سری‌های زمانی بارش [۲، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۵]، دبی رودخانه‌ها [۵، ۸، ۱۹] و آب‌های زیرزمینی [۱۸] توسط محققان متعددی صورت گرفته ست. با این حال، بررسی همزمان بارش، جریان‌های سطحی و تغییرات آب‌های زیرزمینی کم‌تر مورد توجه بوده است و همچنین در مقیاس دشت مشهد-چناران تا کنون گزارش نشده است.

بررسی روند سری‌های زمانی اطلاعات مناسبی در زمینه شدت و جهت حرکت سری زمانی هیدرواقلیمی در اختیار قرار می‌دهد. با این حال باید توجه داشت که در هر حوضه بر اساس نیازهای محیط‌زیستی باید حداقلی از جریان در رودخانه (به عنوان خروجی حوزه آبخیزکه اثر عوامل طبیعی و عوامل تأثیرگذار انسانی از جمله ساخت سدها، برداشت از رودخانه و مصارف بیش از حد، تخلیه فاضلاب، برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و ... را نشان می‌دهد) وجود داشته باشد. علاوه بر ارزیابی روند داده‌های هیدرواقلیمی، لازم است وضعیت جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه از نظر تطابق با جریان محیط زیستی نیز مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین لازم است نیازمندی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه در قالب نیاز محیط زیستی تعریف و در تعاملات تخصیص آب مدنظر قرار گیرد.

بر اساس آمار ارائه شده توسط وزارت نیرو، حوزه آبخیز قره‌قوم با افت متوسط سالانه بیش از یک متر دارای بیش‌ترین روند افت سطح آب زیرزمینی در کشور می‌باشد [۱۸]. در این حوضه، دشت مشهد-چناران از مناطق مهم جمعیتی و کشاورزی استان خراسان رضوی می‌باشد که عمده منبع تأمین آب در آن، منابع زیرزمینی می‌باشند. بر اساس آمار سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۵، میزان متوسط افت سطح ایستابی و حجم آبخوان در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران به‌ترتیب ۰/۷۱ متر و ۱۰۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. همچنین کشف‌رود، بزرگ‌ترین رودخانه منطقه نیز از ارتفاعات این منطقه سرچشمه گرفته و در دشت مشهد-چناران جاری می‌باشد. این رودخانه دائمی در سال‌های اخیر خشک شده و به‌صورت فصلی جریان دارد. بنابراین ضروری است طی تحقیقی علمی به‌صورت هم‌زمان به بررسی وضعیت بارش، جریان‌های سطحی رودخانه‌ای و تغییرات سطح ایستابی آبخوان در حوضه مشهد-چناران (حوضه کشف‌رود تا ایستگاه اولنگ اسدی)، پرداخته شود.

در این راستا، تحقیق حاضر با هدف تحلیل روند سری زمانی بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی شرکت آب منطقه‌ای، سطح ایستابی پیزومترها و دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران طرح‌ریزی شده است. همچنین از دیگر اهداف این تحقیق بررسی وضعیت دبی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه در مقایسه با جریان محیط‌زیستی است.

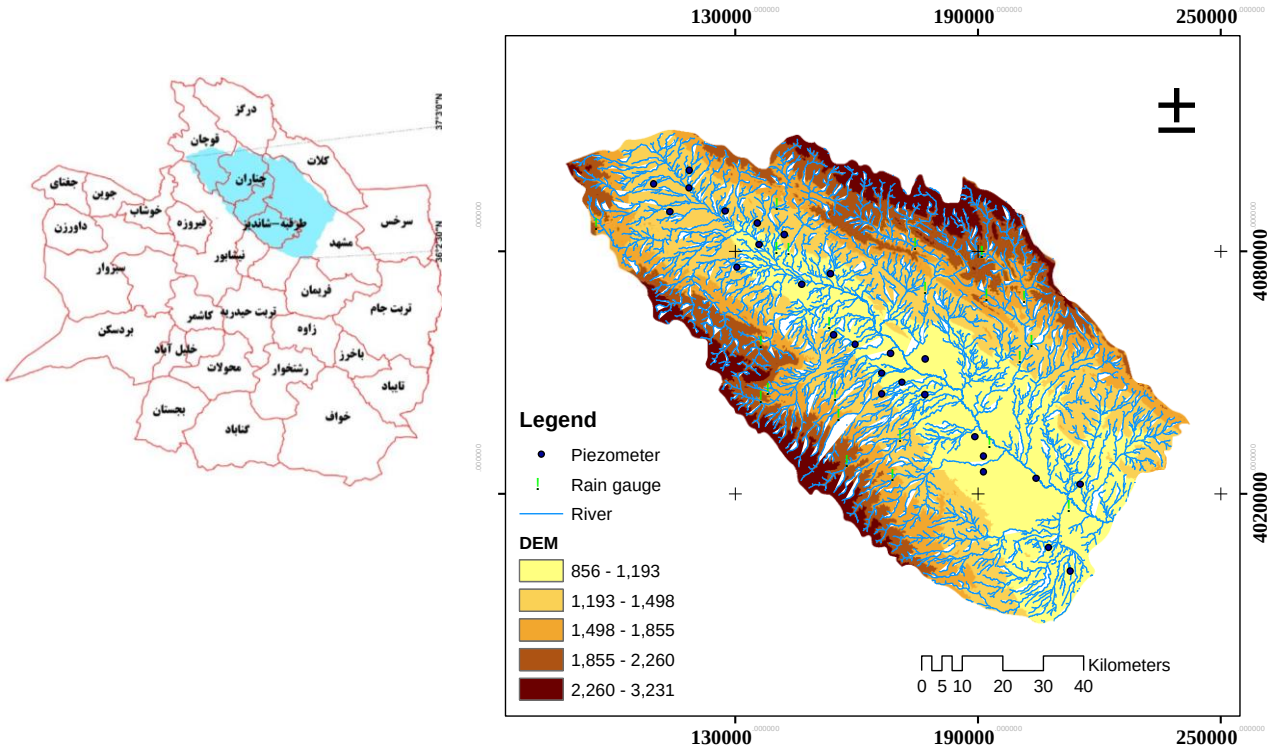
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مشهد-چناران با وسعت ۹۹۰۹۱۴/۶ هکتار در دره‌ای نسبتاً عمیق در شمال استان خراسان رضوی می‌باشد و زیرحوضه‌ای از حوزه آبخیز بزرگ قره‌قوم است.

حوضه دشت مشهد شامل بخشی از شهرستان مشهد، طرقبه-شاندیز، چناران و بخشی از جنوب قوچان است. این حوضه از شمال به خطالرأس ارتفاعات هزارمسجد، و از جنوب به خطالرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به حوزه آبخیز جامرود و دشت نریمانی، از غرب به حوزه آبخیز رودخانه اترک محدود می‌شود. حدود ۶۵ درصد از آن در مناطق کوهستانی و ۳۵ درصد آن در مناطق دشتی قرار دارد. طول کشیدگی حوزه حدود ۱۵ کیلومتر است. کمترین ارتفاع ۸۹۰ متر و بیشترین ارتفاع محدوده مورد مطالعه ۱۸۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. رودخانه معروف این دشت، کشفرود است که از شمال شهر مشهد می‌گذرد.

محدوده مورد مطالعه دربرگیرنده کلان‌شهر مشهد و شهرستان‌های چناران و قوچان بوده و در حقیقت قطب اصلی صنعتی و کشاورزی استان و محل تمرکز جمعیتی است. شکل ۱ موقعیت آبخوان مشهد-چناران به همراه ایستگاه‌های سنجش باران، پیزومتر و شبکه آبراهه در این منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده مطالعاتی مشهد-چناران در استان خراسان رضوی

روش تحقیق

برای انجام این تحقیق داده‌های بارش، تراز ایستابی و دبی جریان در ایستگاه‌های بارانسجی، پیزومتری و هیدورمتری شرکت آب منطقه‌ای در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران جمع‌آوری شد. در ادامه دوره مشترک سال ۱۳۹۵-۱۳۶۵ انتخاب شد. سپس داده‌های مفقود، تخمین زده شد و داده‌ها به صورت سری زمانی تهیه شد.

برای انجام تحقیق حاضر از روش ناپارامتریک من-کندال برای تحلیل روند سری‌های زمانی استفاده شد. همچنین از روش هیدرولوژیک تسمن برای تعیین جریان محیط‌زیستی استفاده شد. تمامی محاسبات در نرم‌افزار اکسل صورت پذیرفت. درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای با استفاده از روش IDW صورت پذیرفت و تمامی نقشه‌ها در محیط ArcMap 10.3 تهیه شد.

تحلیل روند با استفاده از روش من-کندال

همان‌گونه که بیان شد، در بررسی روند، استفاده از روش‌های پارامتری و غیرپارامتری بسیار زیاد مورد توجه بوده است. اما استقبال از روش‌های غیرپارامتری و به‌خصوص من کندال بیش‌تر بوده است [۲۰].

مبنای کلی روش‌های آماری (پارامتری و غیرپارامتری) مطرح‌نمودن دو فرض صفر و فرض یک و آزمون آن‌ها بر اساس روش‌ها و تکنیک‌های خاص آماری است. در مواردی، منجر به رد فرض صفر می‌شود و یا این که دلایل و شواهد کافی برای رد آن مشاهده نمی‌شود [۱۹]. در روش‌های ناپارامتریک، اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است به‌گونه‌ای که این روش‌ها مستقل از توزیع آماری بوده و برای سری‌هایی که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند مناسب‌تر از روش‌های پارامتریک می‌باشند [۴].

آزمون من-کندال جز متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارمتریک تحلیل روندی سری‌های زمانی به شمار می‌آید. با استفاده از روش من-کندال تغییرات داده‌ها شناسایی و نوع آن مشخص می‌شود. در سال‌های اخیر بسیاری از پژوهش‌گران از این آزمون به‌عنوان بهترین گزینه برای بررسی وجود روند استفاده نموده‌اند [۱، ۱۹، ۲۲].

روش من-کندال، ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی‌بودن و عدم‌وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. در این روش با مقایسه هر یک از داده‌های یک سری زمانی به‌ترتیب سال وقوع با تمامی مشاهدات پس از آن، تابع علامت و سپس مقادیر مجموع یا همان پارامتر S در نهایت آماره Z محاسبه می‌شود. مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی را در سری زمانی نشان می‌دهد. اگر قدر مطلق Z بزرگ‌تر از ۱/۹۶۰ یا ۲/۵۷ شد به‌ترتیب در سطح پنج و یک درصد فرض صفر یعنی عدم‌وجود روند، رد و فرض یک که بیانگر وجود روند است، پذیرفته می‌شود [۴].

برای انجام آزمون روند من-کندال بر داده‌های سری زمانی بارش، دبی و سطح ایستابی، یک برنامه ماکرو در محیط اکسل تهیه شده و مورد استفاده قرار گرفت.

جریان محیط‌زیستی به روش تسمن

در این تحقیق از روش هیدرولوژیک تسمن به‌منظور ارزیابی جریان محیط‌زیستی در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه استفاده شد. روش هیدرولوژیک تسمن بر مبنای پیشنهادهای فصلی روش تنانت و از ترکیب متوسط جریان ماهیانه (MMF: Flow Monthly Mean) و متوسط جریان سالیانه (MAF: Flow Annual Mean) برای تعیین حداقل جریان ماهیانه بنا نهاد شده است [۶ و ۲۱].

در ابتدا اطلاعات تمام ایستگاه‌های موجود در منطقه از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی تهیه شد. سپس ایستگاه‌هایی با طول دوره کوتاه مدت، حذف شد. برای سایر ایستگاه‌ها طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵ اطلاعات به صورت سری زمانی ماهانه تهیه شد و مطابق توضیحات زیر مقدار جریان زیست‌محیطی در هر ماه تعیین شد:

- اگر MMF کوچکتر از ۴۰ درصد MAF باشد، ، MMF بعنوان حداقل جریان ماهیانه درنظر گرفته می‌شود.
- اگر MMF بزرگتر از ۴۰ درصد MAF باشد، MAF40% بعنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می شود.
- اگر MMF بزرگتر از MAF باشد، 40% MMF به‌عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

در آخر، دبی موجود در رودخانه با جریان محیط‌زیستی محاسبه شده به روش تسمن، مقایسه شده و درصد ماه‌های بحرانی (که دبی رودخانه کمتر از جریان زیست‌محیطی) تعیین شد.

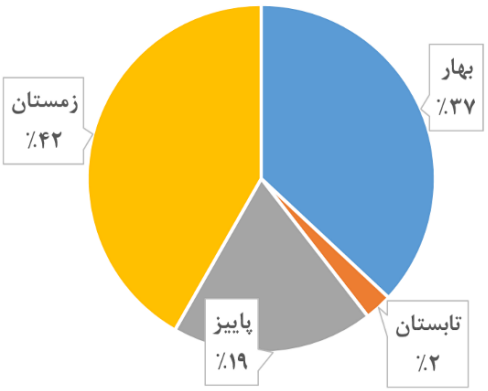
نتایج

نتایج آزمون روند در سری زمانی داده‌های بارش

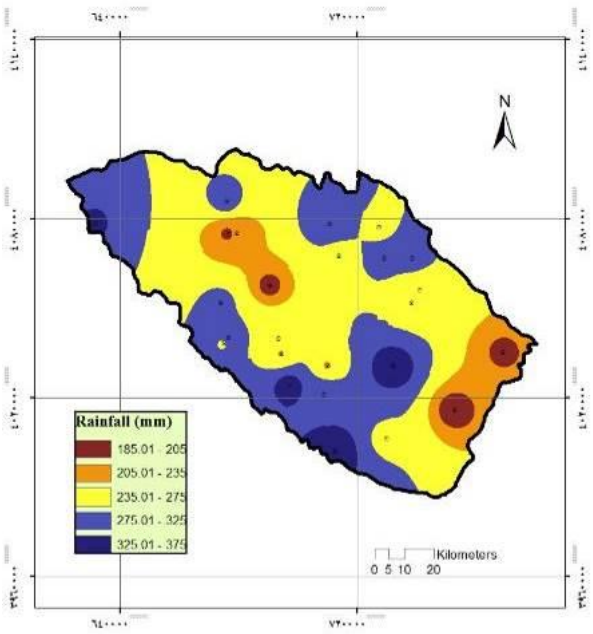
در این تحقیق با توجه به پراکنش ایستگاه‌های منطقه و همچنین طول دوره آماری، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات ایستگاه بارانسجی منطقه مورد مطالعه شد. در ادامه با استفاده از داده‌های هر ایستگاه و روش IDW مقادیر

متوسط بارش برای هر سال در محدوده مطالعاتی درون‌یابی شد.

همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، فصل زمستان سهم عمده‌ای در بارش‌های منطقه دارد. بعد از فصل زمستان، پرباران‌ترین دوره در فصل بهار مشاهده شده است. در شکل ۳ نیز مقدار پراکنش مکانی بارش در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۲- سهم فصل‌های مختلف در بارش منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- پراکنش مکانی مقدار بارش در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران

از آنجا که داده‌های بارش به‌عنوان جریان ورودی آب به سامانه آبخیز می‌باشند، بنابراین، در این تحقیق، علاوه بر ارزیابی روند در مقیاس سالانه، داده‌های فصلی نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۱، نتایج بررسی آزمون من-کندال بر روی سری زمانی بارش در ایستگاه‌های منتخب در دشت مشهد-چناران را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که هیچ‌گونه روند معنی‌دار در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ در بارش‌های فصل بهار و تابستان مشاهده نگردیده است. در فصل پاییز نیز تنها ایستگاه اداره مشهد دارای روند معنی‌دار بوده است. بارش فصل زمستان نسبت به دیگر فصول شاهد بیشترین تغییرات در روند بوده است، به‌طوری که پنج ایستگاه در این فصل روند کاهشی معنی‌دار را در سطح احتمالاتی ۰/۰۵داشته‌اند.

شکل ۴ پراکنش مکانی مقدار Z آزمون من-کندال را در مقیاس فصلی و سالانه نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، محدوده جنوب شرقی حوضه دارای بیش‌ترین روند کاهشی بارش در مقیاس سالانه

می‌باشند. در فصل زمستان نیز تقریباً تمام حوضه به‌جز بخشی از شمال حوضه، دارای روند کاهشی بارش بوده‌اند که حداکثر کاهش نیز در شرق و جنوب‌شرق حوضه مشاهده شده است.

جدول ۱- مقدار Z آزمون من-کندال برای داده‌های بارش در منطقه مورد مطالعه

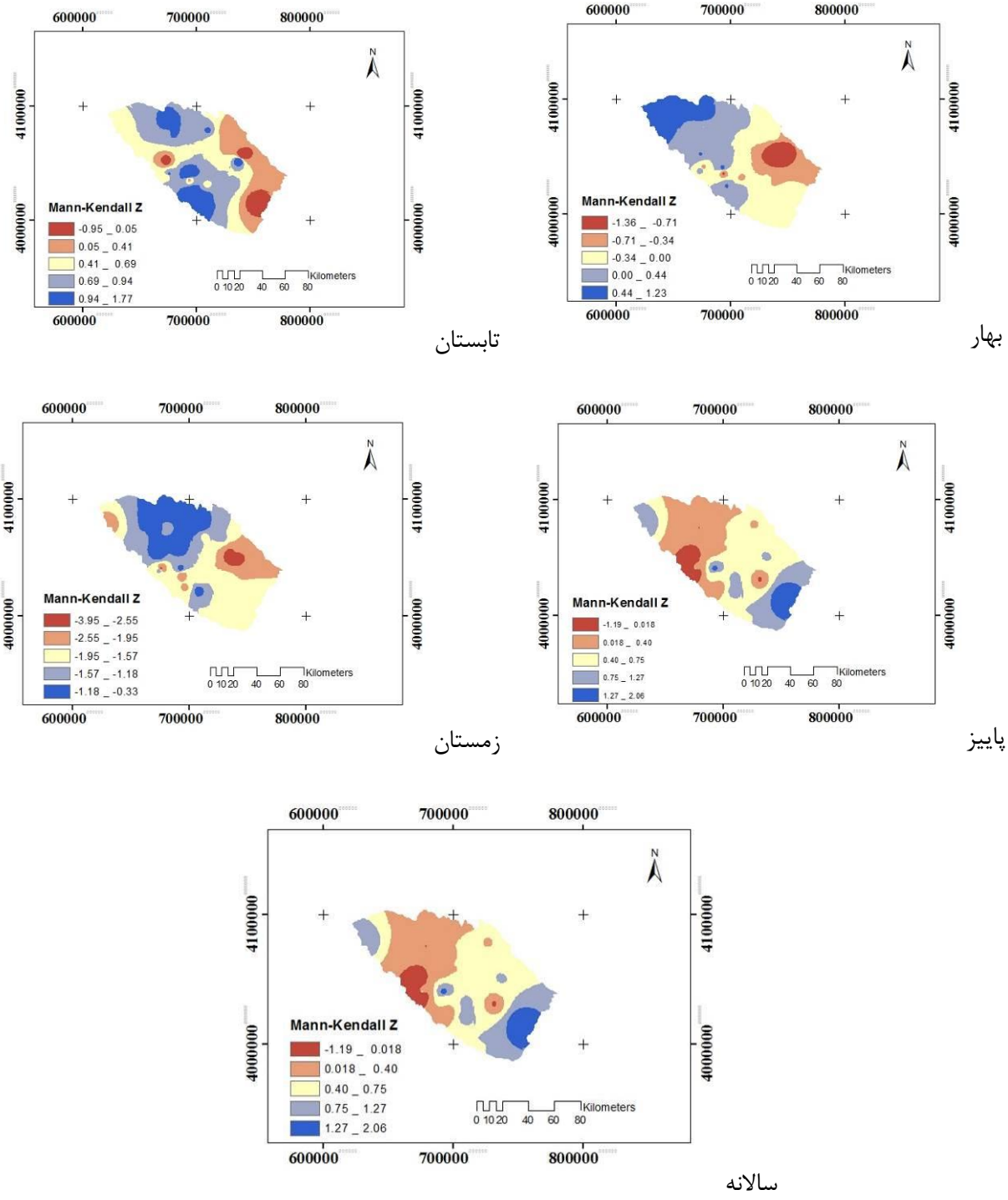
ایستگاه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالانه
کارده	-۲/۰۴	۰/۴۷	-۰/۹۶	-۱/۲۲	-۱/۷۳
مارشک	-۱/۲۸	۰/۴۳	۰/۶۸	۰/۰۲	-۰/۲۴
اداره مشهد	-۱/۵۴	۰/۳۲	-۰/۴۲	-۰/۳۹	-۰/۵۴
اولنگ اسدی	-۱/۶۹	۲/۰۶	-۰/۳۲	-۰/۱۳	-۰/۲۴
زشک	-۲/۰۶	۰/۰۶	۱/۵۹	۰/۴۹	-۰/۹۲
آبقدفریزی	-۲/۷۰	۰/۴۷	۱/۰۱	-۰/۵۶	-۱/۰۷
قدیرآباد	-۰/۹۶	۰/۲۶	۰/۸۷	۰/۰۰	۰/۸۶
چناران	-۰/۷۹	۰/۱۵	۰/۵۵	۰/۰۸	-۰/۰۲
بندساروج	-۱/۶۷	۰/۵۳	۰/۵۳	-۰/۳۲	-۱/۲۰
امامزاده رادکان	-۱/۵۸	۰/۰۰	۱/۰۳	۰/۴۱	۰/۵۴
بلغور	-۱/۶۵	-۰/۰۲	۰/۸۵	-۰/۳۲	-۰/۶۲
جاغرق	-۰/۹۲	۰/۹۴	۱/۰۵	۰/۲۳	۰/۲۱
فریزی	-۱/۳۰	-۱/۲۰	۰/۵۳	۰/۲۱	-۰/۷۳
سرآسیاب	-۱/۶۹	۰/۸۸	۰/۵۹	-۰/۴۳	-۰/۵۸
دولت آباد	-۲/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۲	-۰/۸۱	-۱/۰۵
دهانه اخلمد	-۰/۶۹	-۰/۲۳	-۰/۳۲	۰/۴۷	-۰/۱۷
چکنه	-۲/۱۹	۱/۲۶	۰/۴۸	۱/۲۴	-۰/۴۳
آل	-۱/۹۰	۰/۵۸	۰/۱۷	-۰/۱۳	-۱/۰۵
بهمن‌جان	-۰/۵	۰/۲۳	۱/۱۷	۰/۹۰	۰/۵۱
گلمکان	-۰/۹۲	۱/۵۴	۱/۷۸	۰/۶۰	۰/۴۳
گوش بالا	-۱/۳۳	۰/۴۷	۰/۲۵	-۰/۱۱	-۰/۷۳
اندرخ	-۳/۹۶	۰/۹۲	۱/۶۴	-۱/۳۷	-۲/۹۱
تلغور	-۰/۳۴	۰/۴۱	۱/۰۱	۰/۳۲	۰/۷۹

در این راستا، نتایج [۸] نشان داد که مرکز ثقل (گرانیگاه) بارش‌های سالانه نیم قرن اخیر دشت مشهد ۳/۸۳ کیلومتر و از شمال غرب (مناطق پرباران) به سمت جنوب شرق (مناطق کم باران) جابجا شده است. بر این اساس، ناهمواری‌ها و ارتفاع بیشترین نقش را درالگوی مکانی بارش دشت مشهد ایفا نموده‌اند.

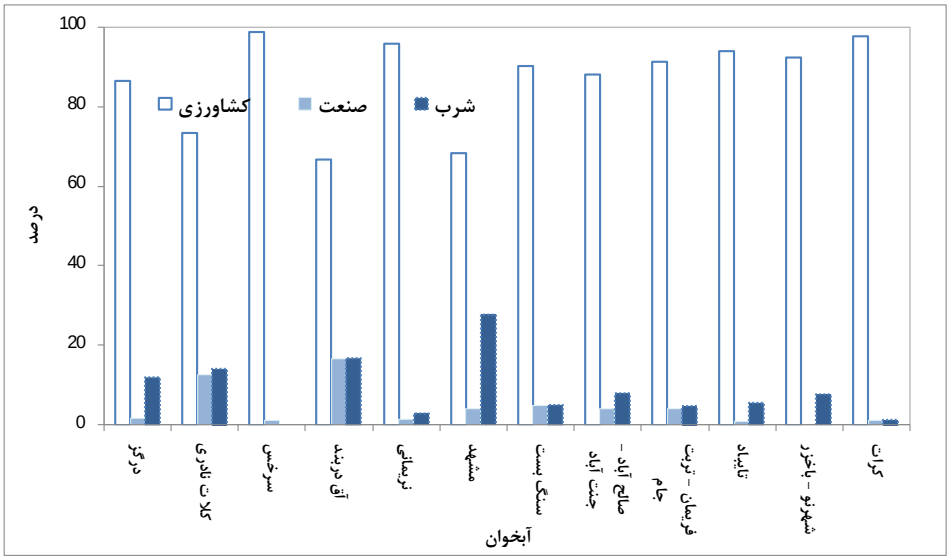
روند تغییرات سری زمانی تراز سطح ایستابی

طبق مطالعات صورت گرفته، حوضه قره‌قوم (که دشت مشهد-چنارن درون آن قرار دارد) از نظر افت سطح ایستابی رتبه اول کشور را دارد [۱۶].

در مقیاس حوضه قره‌قوم، کل آب‌های زیرزمینی برداشت شده حدود ۲۲۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. بیش از ۸۶ درصد در بخش کشاورزی و حدود ۸/۷ درصد در بخش شرب مصرف می‌گردد. با این حال با توجه به زائرپذیربودن شهر مشهد، بخش قابل ملاحظه‌ای از آب‌های زیرزمینی آبخوان مشهد-چناران برای مصارف شرب و بهداشتی مصرف می‌شود. شکل ۵ سهم مصرف آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان‌های آبخیز قره‌قوم را نشان می‌دهد.

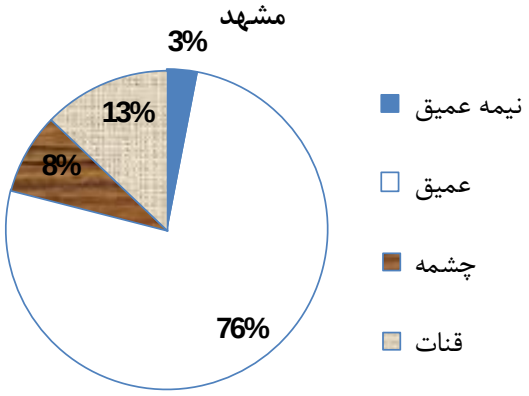


شکل ۴- پراکنش مکانی مقدار Z آزمون من-کندال در منطقه مورد مطالعه (مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش بارش است)



شکل ۵- درصد مصارف آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز قره‌قوم در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب

بر اساس اطلاعات موجود در دشت مشهد-چناران از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۶ به طور متوسط سالانه ۰/۷۱ متر افت سطح وجود داشته است که موجب کاهش حجم آبخوان به میزان متوسط ۱۰۵/۵ میلیون مترمکعب در سال شده است. به‌منظور درک بهتر وضعیت آبخوان مورد مطالعه، میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی توسط چاه عمیق و نیمه‌عمیق، چشمه و قنات در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- منابع تخلیه آب‌های زیرزمینی در دشت مشهد چناران

بر اساس شکل ۶، چاه‌های عمیق نقش اصلی تخلیه آب‌های زیرزمینی دشت مشهد-چناران را دارند. از سوی دیگر قنات‌ها نیز مسئول ۱۳ درصد از تخلیه منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هستند.

پس از تهیه داده‌های پیزومترهای منطقه، اقدام به بررسی روند داده‌های تراز سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه و در مقیاس سالانه شد (جدول ۲).

نتایج جدول ۲ نشان‌دهنده آن است که بیشترین افت سطح ایستابی در پیزومتر قزلحصار مشاهده شده است. این پیزومتر در جنوب شرق دشت قرار دارد. از سوی دیگر پیزومتر قورقان دارای روند مثبت می‌باشد. همچنین کمترین میزان افت نیز مربوط به پیزومتر قاسم‌آباد می‌باشد که در محدوده شهری مشهد قرار دارد.

جدول ۲- نتایج آزمون من کندال بر روی داده‌های سطح ایستابی در پیزومترهای مختلف

نام پیزومتر	مقدار Z من کندال	سطح معنی‌داری
کلاته	-۴/۵	***
مومن‌آباد	-۶/۴	***
چمگرد	-۶/۴	***
قزلحصار	-۶/۶	***
که لنگه	-۶/۴	***
اخلمد	-۲/۵	*
ساروجه	-۲/۷	***
جمع‌آب	-۵/۸	***
هاشم‌آباد	-۲/۳	*
قاسم‌آباد	-۱/۹	+
حسن‌آباد	-۵/۴	***
اباصلت	-۲/۲	*
دستگردان	-۵/۲	***
قورقان	۳/۵	***
تقی‌آباد	-۶/۴	***
قرقروک	-۶/۲	***
ابروان	-۵/۸	***

سطح معنی‌داری: +) ۱۰ درصد؛ *) ۵ درصد؛ و ***) ۰/۱ درصد

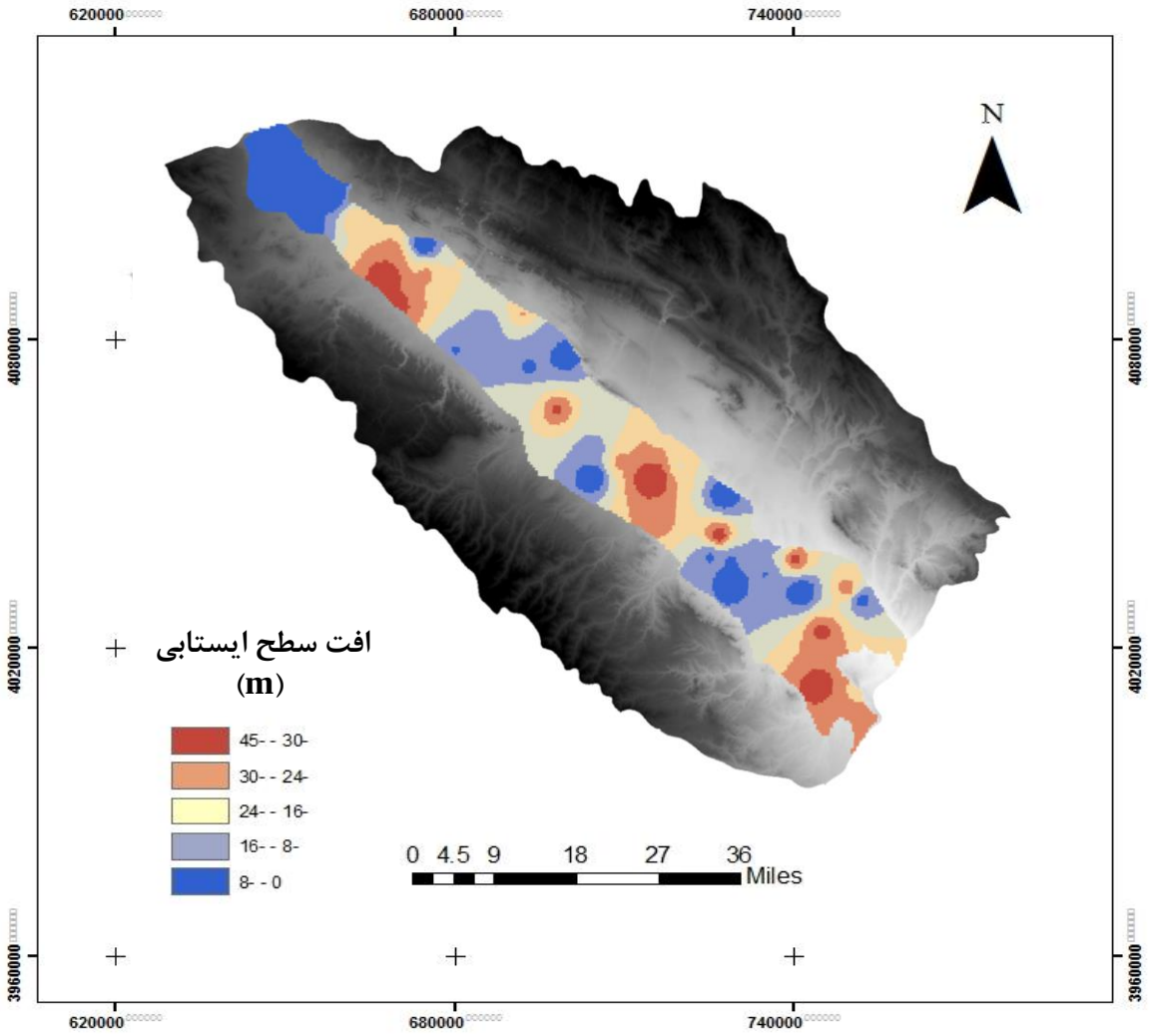
بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در پیزومترهای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به مقدار منفی Z آزمون من-کندال (به‌جز پیزومتر قوقان) تمام پیزومترها دارای روند کاهشی (بدون توجه به سطح معنی‌داری) هستند. در پیزومتر قاسم‌آباد روند منفی معنی‌دار نمی‌باشد. در پیزومترهای اباصلت، هاشم‌آباد و اخلمد، روند کاهشی و معنی‌دار در سطح ۵ درصد، تراز ایستابی مشاهده شده است. در سایر پیزومترها روند کاهشی و معنی‌دار (در سطح ۰/۰۰۱) سطح ایستابی مشاهده شده است.

در شکل ۷ تغییرات تراز ایستابی در آبخوان مشهد-چناران ارائه شده است.

روند تغییرات جریان سطحی در منطقه مورد مطالعه

به‌منظور انجام تحقیق حاضر کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه کشفرود مشخص شده و اطلاعات آنها استخراج شد. در این میان برخی از ایستگاه‌ها دارای دوره آماری کوتاه‌تری بودند (مانند آبقد و میان مرغ) که کنار گذاشته شد. در ادامه تحلیل روند جریان با استفاده از روش من-کندال برای دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵ صورت پذیرفت (جدول ۳).

نتایج نشان‌دهنده آن است که در تمامی ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، سری زمانی دبی دارای روند کاهشی می‌باشد. در این میان، روند کاهشی در ایستگاه‌های جاغرق و سرآسیاب معنی‌دار نمی‌باشد. با این حال در ایستگاه‌های زشک و موشنگ روند کاهشی در سطح ۵ درصد، در گلمکان در سطح ۱ درصد و در بندساروج و کارده در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. در این زمینه [۱۴] در حوضه زیارت استان گلستان، [۵] در حوضه کاجو سیستان و بلوچستان، [۷] در حوضه ارس نیز روند کاهشی دبی در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه را گزارش نمودند.



شکل ۷ تغییرات تراز ایستابی (اعداد منفی نشان دهنده افت) در آبخوان مشهد-چناران

جدول ۳- نتایج آزمون روند در داده‌های دبی جریان در منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	مقدار Z	سطح معنی‌داری
امازاده	-۲/۵	**
کارده	-۳/۵	***
موشنگ	-۲/۵	*
گلمکان	-۳/۰	**
سراسیاب	-۱/۶	-
بندساروج	-۳/۹	***
زشک	-۲/۰	*
اولنگ	-۱/۴	-
جاغرق	-۱/۵	-

می‌توان بیان نمود که در کنار کاهش نامحسوس بارش در مقیاس سالانه، بارش‌های زمستانه که عموماً بصورت برف می‌باشند، نیز کاهش معنی‌داری داشته است و در نتیجه تغذیه منابع آب کاهش یافته است. از سوی دیگر، اضافه برداشت آب‌های زیرزمینی باعث منفی‌شدن بیلان آبی در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران شده است.

بنابراین با افت سطح آب‌های زیرزمینی، امکان وجود جریان‌های پایه و جریان‌های زیرقشری مناسب وجود ندارد و اندک جریان سطحی که مورد استفاده کشاورزی قرار نگرفته است از طریق بستر خشک آبراهه‌ها وارد زمین می‌شود.

در ادامه، محاسبه جریان محیط زیستی در هر ایستگاه انجام شد (شکل ۸). با مقایسه جریان محیط زیستی در هر ماه با جریان موجود در رودخانه، تعداد سال‌ها با شرایط بحرانی (جریان موجود در رودخانه کمتر از جریان محیط زیستی)، محاسبه شد. شکل ۸ و جدول ۴ نتایج تعداد و درصد شرایط بحرانی در ماه‌های مختلف برای هر ایستگاه را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۴، در اغلب ماه‌های سال در ایستگاه‌های مورد بررسی شرایط بحرانی حکم‌فرما می‌باشد. به عبارتی تقریباً در همه ایستگاه‌های مورد بررسی و در تمامی ماه‌های سال جریان عبوری از ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضه کشف‌رود کمتر از جریان محیط زیستی می‌باشند. کمترین شرایط بحرانی در ایستگاه زشک مشاهده شده است در حالی که بیشترین شرایط بحران در ایستگاه اولنگ (خروجی منطقه) وجود دارد.

نتایج نشان داد که در ماه دی (متوسط ۵۲ درصد) حداقل شرایط بحرانی جریان وجود دارد با این حال در ماه تیر حدود ۸۰ درصد جریان عبوری از ایستگاه‌های هیدرومتری کمتر از جریان محیط‌زیستی می‌باشد.

بررسی رابطه بین ارتفاع ایستگاه و متوسط شرایط بحرانی نشان‌دهنده یک رابطه کاهنده و با ضریب همبستگی ۰/۷ است. از سوی دیگر، رابطه مساحت حوضه بالادست هر ایستگاه (بجز ایستگاه اولنگ) و متوسط شرایط بحرانی آن ایستگاه نیز نشان‌دهنده یک رابطه افزایشی و ضریب همبستگی ۰/۳۵ داشته است. این نتایج نشان می‌دهد ایستگاه‌های کوهستانی (دارای ارتفاع بیشتر و همچنین مساحت کمتر) جریان موجود در رودخانه‌ها دارای اختلاف کم‌تری (نسبت به حوضه های دیگر) با جریان محیط‌زیستی دارد.

با این حال در ایستگاه‌هایی که در مناطق دشتی قرار دارند حداکثر شرایط بحرانی مشاهده شده است. در این ارتباط می‌توان به افزایش برداشت از منابع آب سطحی و زیرسطحی در مناطق دشتی که دارای اراضی کشاورزی و جوامع انسانی می‌باشند، احداث سدهای مخزنی (سد کارده...) و اثرات آن در مناطق پایین دست اشاره نمود.

جدول ۴- درصد شرایط بحرانی در ایستگاه‌های مورد بررسی

ماه	امامزاده رادکان	بندساروج	اندرخ	موشنگ	گلمکان	سرآسیاب	زشک	اولنگ	جاغرق
مهر	۶۶/۷	۶۲/۷	۷۲/۵	۶۴/۷	۴۷/۱	۹۰/۲	۶۰/۸	۸۶/۳	۹۶/۱
آبان	۶۰/۸	۶۲/۷	۸۲/۴	۵۶/۹	۵۶/۹	۷۰/۶	۴۳/۱	۷۴/۵	۶۴/۷
آذر	۵۱/۰	۵۸/۸	۶۴/۷	۵۸/۸	۵۸/۸	۶۸/۶	۳۷/۳	۶۸/۶	۶۰/۸
دی	۵۲/۹	۵۶/۹	۶۸/۶	۴۳/۱	۶۲/۷	۶۰/۸	۳۷/۳	۶۰/۸	۵۴/۹
بهمن	۵۴/۹	۴۷/۱	۶۴/۷	۵۲/۹	۵۴/۹	۵۶/۹	۳۹/۲	۶۶/۷	۵۶/۹
اسفند	۵۸/۸	۶۰/۸	۶۸/۶	۶۸/۶	۶۲/۷	۶۴/۷	۴۷/۱	۷۲/۵	۶۰/۸
فروردین	۶۲/۷	۶۰/۸	۷۸/۴	۵۴/۹	۶۲/۷	۵۱/۰	۴۳/۱	۷۰/۶	۵۴/۹
اردیبهشت	۶۶/۷	۷۰/۶	۷۸/۴	۶۲/۷	۶۲/۱	۶۲/۷	۵۸/۸	۸۴/۳	۶۴/۷
خرداد	۶۸/۶	۶۸/۶	۷۶/۵	۷۰/۶	۵۸/۸	۷۸/۴	۶۸/۶	۸۶/۳	۸۴/۳
تیر	۸۰/۴	۸۶/۳	۹۰/۲	۹۶/۱	۹۴/۱	۹۵/۰	۹۶/۱	۹۶/۱	۹۸/۰
مرداد	۶۴/۷	۶۴/۷	۷۲/۵	۷۶/۵	۴۵/۱	۸۸/۲	۶۸/۶	۸۴/۳	۹۰/۲
شهریور	۷۰/۶	۶۶/۷	۷۶/۵	۷۴/۵	۴۳/۱	۹۲/۲	۴۵/۱	۸۸/۲	۹۸/۰
میانگین	۶۳/۲	۶۳/۹	۷۴/۵	۶۵/۰	۵۹/۲	۷۳/۷	۵۳/۸	۷۸/۳	۷۳/۷

شکل ۸- جریان زیست‌محیطی محاسباتی به روش تسمن در حوضه کشف‌رود

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی پراکنش مقدار بارندگی در منطقه مورد مطالعه (شکل ۳) نشان می‌دهد که حداکثر بارش در جنوب غرب و بخشی از شمال غرب حوضه می‌باشد. با این حال بخش مرکزی و جنوب شرق حوضه دارای حداقل بارش می‌باشند. در این زمینه در تحقیقی، به این نتیجه رسیدند که مناطق پربارش در شمال و جنوب غرب و مناطق کم بارش در جنوب و جنوب شرق محدوده قرار دارند [۹]. منطقه پرباران شامل کوهپایه‌ها و کوهستان‌های شمال و جنوب غرب دشت است. ناحیه دوم که از بارندگی کمتری نسبت به کوهستان برخوردار است، شامل مناطق پست جنوبی و بقیه مناطق کوهستانی است که نسبت به منطقه اول از مقدار بارش کمتری برخوردار است.

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که در مقیاس سالانه در اغلب ایستگاه‌ها (بجز قدیرآباد، امامزاده رادکان، فریزی و جاغرق) روند کاهشی در سری زمانی داده‌های بارش مشاهده شده است. با این حال در مقیاس سالانه در هیچکدام از ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده نشد. همسو با یافته‌های تحقیق حاضر، [۳] در استان گلستان و [۱۳] در کل کشور، روند معنی‌داری در سری زمانی سالانه بارش مشاهده ننمودند.

بیشترین کاهش مقدار بارش و منفی‌ترین مقدار Z آزمون من کندال در فصل زمستان مشاهده شده است. همچنین در فصل زمستان تمام ایستگاه‌ها بارانسنجی دارای روند کاهشی بوده‌اند. در این زمینه [۱۰] با بررسی ۳۹ ایستگاه بارانسجی در استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار تغییرات نزولی مربوط به بارش فصل زمستان است. از سوی دیگر [۸] با پیش بینی شرایط اقلیمی دشت مشهد-چناران، به این نتیجه رسیدند که طی دهه‌های آینده بارش‌های فصل سرد در این منطقه کاهش خواهد یافت.

همان‌گونه که در جدول ۲ و شکل ۷ مشاهده می‌شود در تمام بخش‌های آبخوان مشهد-چناران افت سطح ایستابی مشاهده شده است. در این میان در محدوده‌های شمال غربی و بخشی از غرب و جنوب شرق میزان افت کم‌تر بوده است. این محدوده‌ها منطبق با محل‌های تغذیه آبخوان و همچنین محدوده شهری مشهد می‌باشند. باید توجه داشت که تغییرات مکانی تغذیه، تابعی از خصوصیات هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی ناحیه غیراشباع، عمق برخورد به سطح آب، مقدار و شدت بارندگی و سایر عوامل ناشناخته است. میزان تغذیه در مقابل برداشت آب زیرزمینی در هر محدوده نشان دهنده تغییرات سطح ایستابی در آن محدوده می‌باشد.

در این زمینه، بالاآمدگی آب زیرزمینی در محدوده شهر مشهد گزارش شده است [۱۱]. این امر، نتیجه انتقال آب بین‌حوضه‌ای از سد دوستی به شهر مشهد برای آب شرب و همچنین بسته‌شدن برخی از چاه‌های آب شرب است. این عامل باعث شده است که میزان افت آب‌های زیرزمینی در این محدوده حداقل باشد.

از سوی دیگر نتایج تحقیق در زمینه مناطق تغذیه آبخوان مشهد چنارن، نشان داد که مناطق شمال غربی و بخشی از غرب دارای بیشترین میزان تغذیه بوده و این تغذیه در محل مخروط‌افکنه‌ها و ورودی‌های آبخوان که دارای مواد دانه‌درشت با نفوذپذیری بالا هستند، اتفاق افتاده است [۶].

بنابراین در مجموع می‌توان بیان نمود که مقدار بارش طی ۳۰ سال ۱۳۶۵ الی ۱۳۹۵ روند کاهشی داشته است؛ با این حال مقدار کاهش بارش به حدی نبوده که این روند کاهشی در اغلب ایستگاه‌ها معنی‌دار شود. این در حالی است که نتایج نشان داد که روند کاهشی در منابع آب سطحی بیشتر از بارش می‌باشد. همچنین روند کاهشی در منابع آب زیرزمینی بیشتر از رواناب سطحی می‌باشد. می‌توان بیان نمود که در کنار کاهش نامحسوس بارش در مقیاس سالانه، بارش‌های زمستانه که عموماً بصورت برف می‌باشند کاهش داشته است و در نتیجه تغذیه منابع آب کاهش یافته است. از سوی دیگر اضافه برداشت آب‌های زیرزمینی باعث منفی‌شدن بیلان آبی در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران شده است. بنابراین با افت سطح آب‌های زیرزمینی، امکان وجود جریان‌های پایه و جریان‌های زیرقشری مناسب وجود ندارد و اندک جریان سطحی که مورد استفاده کشاورزی قرار نگرفته است از طریق بستر خشک آبراهه‌ها وارد زمین می‌شود. از سوی دیگر نتایج نشان داد که در اغلب ماه‌های سال در ایستگاه‌های مورد بررسی شرایط بحرانی حکم‌فرما می‌باشد.

به عبارتی، تقریباً در همه ایستگاه‌های مورد بررسی و در تمامی ماه‌های سال جریان عبوری از ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضه کشف‌رود، کمتر از جریان زیست‌محیطی می‌باشند.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی مصوب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. نگارندگان بدین وسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای خراسان‌رضوی به‌دلیل پشتیبانی‌های مختلف ایشان در طول انجام پژوهش، صمیمانه قدرانی می‌کنند.

References

[1]. Adarsh, S., & Janga Reddy, M. (2015). Trend analysis of rainfall in four meteorological subdivisions of southern India using nonparametric methods and discrete wavelet transforms. *International Journal of Climatology*, *35*(6), 1107-1124. doi: 10.1002/joc.4042

[2]. Ahmad, I., Deshan, T., TianFang, W, Mei, W., & Wagan, B. (2015). Precipitation trends over time using Mann-Kendall and spearman's rho tests in swat river basin, Pakistan. *Advances in Meteorology*, 1-15. doi: 10.1155/2015/431860

[3]. Akbari, M., & Nodehi, V. (2015). Trend Analysis of Annual and Summer Rainfall of Golestan Province, *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, *5*(17), 141-150.

[4]. Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied climatology*, 94, 107-124.

[5]. Ansari, M., Noori, G., Fotohi, S. (2017). Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research*, *7*(14), 158-152. [in Farsi]

[6]. Arjmand Sharif, M., & Jafari, H. (2021). Estimation of Groundwater Recharge Lag Time in Mashhad-Chenaran Aquifer Using Cross-Correlation Method. *Water and Soil*, *35*(4), 489-504. doi: 10.22067/jsw.2021.70672.1058 [in Farsi]

[7]. Arthington, A. H., Kennen, J. G., Stein, E.D., & Webb, J. A. (2018). Recent advances in environmental flows science and water management—Innovation in the Anthropocene. *Freshwater Biology*, *63*(8), 1022-1034. doi: 10.1111/fwb.13108

[8]. Dastourani, M., & Yazdanpanah- gharaei, F. (2020). Investigation of precipitation and dischargetrends in Aras basin. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, *8*(1), 25-34. [in Farsi]

[9]. Fallah Ghalhari, G., & Kadkhoda, E. (2017). The Evaluation of the Spatial Structure of Mashhad Plain Precipitation in the Last Half-Century. *Hydrogeomorphology*, *4*(11), 39-57.

[10]. Gadedjisso-Tossou, A., Adjegan, K.I., & Kablan, A.K.M. (2021). Rainfall and temperature trend analysis by Mann–Kendall test and significance for Rainfed Cereal Yields in Northern Togo. *Science*, *3*(1), 17. doi: 10.3390/sci3010017

[11]. Ghandehary, A., Gord Noshahri. A., Barati, R., & Hasani, K. (2014). Local groundwater rise under metropolitans; opportunities and challenges, *Journal of Water and Sustainable Development*, *1*(2), 75-82. [in Farsi]

[12]. Khazaei, S., Barati, R., Ghandehari, A., & Sadeghifard, M. R. (2019). Rainfall trend analysis using innovative-Şen method and comparison with traditional methods (case study: Khorasan Razavi province). *Journal of Water and Sustainable Development*, *6*(1), 41-50. [in Farsi]

[13]. Mallick, J., Talukdar, S., Alsubih, M., Salam, R., Ahmed, M., Kahla, N. B., & Shamimuzzaman, M. (2021). Analysing the trend of rainfall in Asir region of Saudi Arabia using the family of Mann-Kendall tests, innovative trend analysis, and detrended fluctuation analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 823-841.

[14]. Marzban, H., Sadraei Javaheri, A., Zibaei, M., Nazemosadat, S. M. J., & Karimi, L. (2019). Study of the Status of Resources and Water Consumption in Iran and Improving the Situation. *Journal of Water and Wastewater*, *30*(4), 16-32. doi: 10.22093/wwj.2018.126649.2663 [in Farsi]

[15]. Mohammadi, B. (2011). Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning*, *22*(3), 95-106.

[16]. Nalley, D., Adamowski, J., Khalil, B., & Ozga-Zielinski, B. (2013). Trend detection in surface air temperature in Ontario and Quebec, Canada during 1967–2006 using the discrete wavelet transform. *Atmospheric Research*, 132, 375-398. doi: 10.1016/j.atmosres.2013.06.011

[17]. Nikghoj, Y., & Yarmahammadi, M. (2008). Survey Clime Change and Effects on Water Resource Surface, (Case Study Zeiarat River in Golestan Province). The 3th Conference Management Water Resource, Tabriz, Iran.

[18]. Noor, H. (2017). Analysis of Groundwater Resources Utilization and Their Current Condition in Iran. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, *5*(2), 29-38.

[19]. Nyikadzino, B., Chitakira, M., & Muchuru, S. (2020). Rainfall and runoff trend analysis in the Limpopo river basin using the Mann Kendall statistic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 117, 102870. doi: 10.1016/j.pce.2020.102870

[20]. Shokoohi, A., & Hong, Y. (2011). Determining the minimum ecological water requirements in perennial rivers using morphological parameters. *Journal of Environmental Studies*, *37*(58), 117-28.

[21]. Uwimbabazi, J., Jing, Y., Iyakaremye, V., Ullah, I., & Ayugi, B. (2022). Observed changes in meteorological drought events during 1981–2020 over Rwanda, East Africa. *Sustainability*, *14*(3), 1519. doi: 10.3390/su14031519

[22]. Watt, S. P. (2007). A methodology for environmental protection of Ontario watercourses with respect to the permit to take water program, Master Thesis, Queen's University, Canada.

[23]. Xu, X., Lindstrom, S. E., Shaw, M. W., Smith, C. B., Hall, H. E., Mungall, B. A., & Klimov, A. (2004). Reassortment and evolution of current human influenza A and B viruses. *Virus research*, *103*(1-2), 55-60. doi: 10.1016/j.virusres.2004.02.013

Trend analysis of precipitation, watershed level, and river discharge in the Mashhad-Chenaran plain
(Research Paper)

1- Hamzeh Noor*, Soil Conservation and Watershed Management Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran.
h.noor@areeo.ac.ir
2- Ali Dastranj, Soil Conservation and Watershed Management Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran.
3- Mohammad Rostami khalaj, Soil Conservation and Watershed Management Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran.
4- Ali Reza Majidi, Soil Conservation and Watershed Management institute, AREEO, Tehran, Iran.

Received: 22 Jun. 2023
Accepted: 08 Aug. 2023

Abstract
The hydroclimatic data changes over time due to climate changes and human interventions. By examining trends in precipitation, river flow, and groundwater levels simultaneously, scientists and experts can plan water resource management at the watershed level with useful information. The aim of this study is to examine the trends in rainfall data, river flow, and groundwater levels in the Mashhad-Chenaran watershed. No significant trend was observed in the rainfall data on an annual scale, but there is a significant downward trend during the winter season. The results indicate a significant decrease in the annual data for stream-flow and groundwater table. According to the findings, the decrease in the discharge data is greater than the decrease in the precipitation data. Also, the trend of decreasing groundwater levels is greater than that of surface runoff. The environmental flow was finally determined by using Tasman's method. In almost all stations, critical flow conditions (less than the environmental flow) were observed according to the research results. According to the findings, the value of critical conditions increases with a decrease in station elevation and an increase in the area of the watershed upstream of the station.

Keywords: Trend analysis, Environmental flow, Kashaf-Rud, Piezometer, Water balance.