فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶

۱۹-۳۸

تعیین روند تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شبستر

مهدی پناهی*، فرهاد میثاقی و فرید قنبری

گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۲

پناهی، م، ف، میثاقی و ف. قنبری. ۱۳۹۶. تعیین روند تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شبستر. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۳): ۳۸-۱۹.

سابقه و هدف: آب زیرزمینی از دیرباز، مهمترین منبع آبی مورد اطمینان بشر برای استفاده در بخش کشاورزی و شرب بوده است. برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن، لازم است نوسانات سطح آب زیرزمینی و تأثیرپذیری کیفیت آب زیرزمینی از عوامل متعدد، به‌طور دقیقی بررسی شود. با پایش دقیق نوسانات و کیفیت آب زیرزمینی می‌توانیم برنامه‌ریزی قابل‌اعتمادی در تأمین و مدیریت منابع آب داشته باشیم. بنابراین هدف از انجام این تحقیق تعیین روند تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شبستر به منظور شناخت وضعیت کیفی آب زیرزمینی و مشخص کردن نحوه استفاده از آن است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش برای شناخت وضعیت کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر و مشخص کردن نحوه استفاده از آن از نتایج شیمیایی ۱۵ متغیر کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی ۱۳ ایستگاه واقع در منطقه مطالعاتی طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۲ از آزمون ناپارامتری مان-کندال استفاده شد و اثر خود همبستگی مرتبه اول از سری داده‌ها حذف شد. شیب خط روند با روش سن محاسبه شد. پارامترهای کیفی مورد بررسی در این تحقیق عبارتند از: مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها، EC، SAR، CL^-، Hco_3^-، Ca^{2+}، TH، Ph، TDS، SO_4^{2-}، Na%، Na^+، Mg^{2+}و K^+ که در هر سال دوبار اندازه‌گیری شدند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای کیفی در اغلب ایستگاه‌ها (به جز ایستگاه علیشاه، سفیدکمر و ماه کم‌آب شبستر) روند صعودی داشته است. در ماه پرآب ۳۶ سری (۱۸ درصد) و در ماه کم‌آب ۱۷ سری (۹ درصد) روند مثبت معنی‌داری را در سطح پنج درصد از خود نشان دادند. همچنین در مجموع کل ۳۹۰ سری موجود، تعداد ۱۴۰ سری روند منفی و ۲۵۰ سری روندی افزایشی یا بدون روند داشتند. همچنین در مورد بیشترین تعداد روند منفی، ایستگاه‌های علیشاه و سفیدکمر در هر دو ماه پرآب و کم‌آب در صدر قرار دارند. مقایسه نتایج بین ایستگاه‌ها حاکی از آن است که کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شبستر در قسمت جنوبی دشت وضعیت بحرانی‌تری دارد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که طی زمان کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی افت داشته است. نتایج حاصل از بررسی مقادیر ضرایب همبستگی سری‌های زمانی متغیرهای کیفی با بارش نرمال سالانه در دوره آماری (۱۳۸۸- ۱۳۸۲) نشان می‌دهد که هیچ یک از متغیرهای کیفی معنی‌داری خاصی در سطح پنج درصد با مقدار بارش سالانه ندارند. نتیجه کلی به‌دست‌آمده در این بخش حاکی از عدم ارتباط بین بارش‌های صورت‌گرفته در مقیاس سالانه و متغیرهای کیفی است. این در حالی است که تراز سطح ایستابی در طول سال‌های مشترک آماری با متغیرهای کیفی (۱۳۹۱- ۱۳۸۲) تقریبا با شیب ثابتی افت داشته است. همچنین متغیرهای اقلیمی بارش،

* Corresponding Author. *E-mail Address*: Panahi40@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

دما و تبخیر عامل تغییردهنده خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شبستر تشخیص داده نشدند و تغییرات نامطلوب آنها تحت تأثیر عوامل انسانی تشخیص داده شدند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که در صورت ادامه وضع موجود امکان استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی دشت شبستر غیرممکن خواهد بود. با عدم تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و رها شدن زه‌آب‌های کشاورزی در سطح دشت و همسایگی با دریاچه ارومیه و پیشرفت شوره‌زار، کیفیت آب‌ها به طرز نامطلوبی تحت‌تأثیر قرار خواهد گرفت.

واژه‌های کلیدی: تحلیل روند- آزمون مان-کندال- کیفیت آب زیرزمینی- دشت شبستر.

مقدمه

ایران از جمله کشورهایی است که بیشتر مساحت آن در ناحیه گرم و خشک قرار گرفته است و با دارا بودن بارندگی متوسط حدود ۲۵۰ میلی‌متر، جزو کشورهای کم‌آب دنیا محسوب می‌شود. حدود ۹۰ درصد از آب استحصالی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود که بالغ بر ۸۰ درصد آن از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. مدیریت ضعیف آبی موجب برداشت‌های بی‌رویه از آب زیرزمینی از طریق حفر چاه‌های جدید و پمپاژ آب اضافی سطح آب زیرزمینی شده که موجب شده منابع آب زیرزمینی تحت تنش واقع شوند. به‌طوری که اخیرا با کاهش ۰/۵ تا ۱۵ متری سطح ایستایی، حاصل‌خیزی بسیاری از دشت‌های کشاورزی را به خطر انداخته و بسیاری از چاه‌ها کاربرد خود را از دست داده‌اند (Ahmadi and Sedghamiz, 2007). همچنین احداث بی‌وقفه کارخانه‌های صنعتی و بالا رفتن سطح بهداشت در دهه‌های اخیر به همراه دفع فاضلاب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی و بروز خشک‌سالی‌ها، کمیت وکیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت‌تأثیر منفی قرار داده است (Daneshvar vosoughi and Dinpashoh, 2013). مجموعه این امور باعث تخلیه سفره آب زیرزمینی، صدمه دیدن خاک، کاهش کمیت آب و به خطر انداختن کیفیت آن شده است. با در نظر گرفتن کمبود منابع آب در دسترس در آینده نزدیک و خطرات موجود، بررسی میزان کاهش سطح ایستایی و نیز تأثیرپذیری کیفیت آب زیرزمینی از آن، معنی‌دار بودن تغییرات آنها و آشکارسازی روند و یافتن عوامل مؤثر در این مسأله به عنوان ضرورتی برای عموم دست‌اندرکاران بخش کشاوزی به‌ویژه پژوهشگران علوم آب درآمده است که با بررسی آن، امکان تشخیص حدود استفاده قانونمند توسط مجریان، ارائه راهکارهایی در جهت حفاظت، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب‌های زیرزمینی این بخش مشخص می‌شود. مشاهده این تغییرات مستلزم اجرای برنامه‌های پایش هیدرولوژیکی برای ثبت و جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی است. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (Mosaeedi and Kohestani, 2010). روند به‌صورت افزایش یا کاهش مداوم و یکنواخت متغیر مورد بررسی نسبت به میانگین تعریف می‌شود (Matti *et al.*, 2009). یکی از روش‌های متداول برای تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها با استفاده از آزمون‌های آماری است. روش‌های آماری مختلفی برای بررسی روند تغییرات فصلی وجود دارد و روش محاسبه روند به طور گسترده توسط مجامع علمی مورد بحث قرار گرفته است. این روش‌ها مشتمل بر دو نوع روش ریاضیاتی پارامتری و ناپارامتری است (Kundzewics and Robson, 2004). روش‌های پارامتری اصولاً بر اساس مدل‌های خطی و باقی‌مانده استوار است و روش‌های ناپارامتری که در این آزمون‌ها فرض صفر یا H_0 عدم وجود روند و فرض مقابل یا H_1 وجود روند در سری داده‌ها است. در پژوهش‌های هیدرومتئورولوژیکی اغلب از روش‌های

Archive of SID
www.SID.ir

ناپارامتری برای بررسی وجود روند استفاده می‌شود که دلیل اصلی این امر، آن است که اغلب آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آنها نرمال نیست و یا دارای داده‌های سانسورشده باشد، مناسب‌تر هستند. اغلب سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای هیدرومتئورولوژیکی جز این قبیل سری‌ها است. شرط استفاده از این آزمون‌ها عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است.

آزمون‌های آماری ناپارامتری بسیاری مانند آزمون مان-کندال[1] و روش تخمین‌گر شیب سن برای تعیین روند سری داده‌ها تاکنون بسط داده شده‌اند. شناخت و تجزیه‌وتحلیل روند در داده‌های هیدرولوژیکی مشاهده‌شده یکی از ملزومات توسعه سیاست‌های آبی مناسب است. بنابراین شناخت روندهای طولانی‌مدت در سری زمانی هیدرولوژیکی در سرتاسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. Liu *et al.* (2003) روش تحلیل فاکتور را برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در ناحیه تایوان برای ۱۳ پارامتر هیدروشیمیایی انجام دادند. آنها نشان دادند اضافه برداشت از آب زیرزمینی دلیل اصلی شوری و آلودگی آرسنیک آب زیرزمینی در مناطق سواحلی تایوان بوده است. Gaus *et al.* (2003) با بررسی غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی بنگلادش، برای تخمین غلظت و تهیه نقشه احتمال از روش میان‌یابی کریجینگ گسسته استفاده کردند. نتایج نشان داد که در منطقه مورد بررسی ۳۵ میلیون نفر در معرض غلظت بالای آرسنیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۵۰ میلیون نفر در معرض غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر هستند. Bouza *et al.* (2008) روند کیفیت آب‌های سطحی را برای ۳۴ متغیر شیمیایی و شیمیایی- فیزیکی در سطح رودخانه ابرو در اسپانیا را برای دوره آماری ۲۴ ساله در ۱۳ ایستگاه تحلیل کردند. نتایج نشان داد که در رودخانه مذکور در طول زمان به‌طور کلی غلظت یون‌های سولفات به‌دلیل کاهش استفاده از کودهای شیمیایی کاهش یافته است. Wahlin and Roadmap (2009) روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی سفره سویدیش جنوب سودان را با روش ناپارامتری مان-کندال بررسی کردند. نتایج حاکی از وجود روند کاهشی در مقدار غلظت یون سولفات بود. Yenilmez *et al.* (2010) تحلیل روند کیفیت آب دریاچه ایمیر آنکارا و همچنین متغیرهای بارش، دمای محیط و حجم دریاچه را برای دوره ۱۰ ساله ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ در مورد متغیرهای DO، TSS و TP با استفاده از آزمون مان-کندال بررسی کردند. متغیرهای DO، TSS و TP افزایش روند و بارش، دمای محیط و حجم دریاچه روند کاهشی از خود بروز دادند. Yidana *et al.* (2010) کیفیت آب زیرزمینی حوضه کتا واقع درکشور غنا را با استفاده از روش‌های رگرسیون چندگانه وتحلیل مکانی بررسی کردند. آنها دریافتند که شوری، نیترات و فلوراید آب زیرزمینی منطقه مذکور دارای غلظت بالایی بوده است. Khazaei *et al.* (2006) روند تغییرات متغیرهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت زاهدان و تأثیر فعالیت‌های انسانی را بر کیفیت آن در دوره آماری ۱۹۷۴تا ۲۰۰۰ بررسی کردند. نتایج نشان دادکه غلظت مجموعه کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش یافته است. Javili *et al.* (2009) با استفاده از آزمون من-کندال روند زمانی رودخانه و روند تغییرات پنج پارامتر کلسیم، منیزیم، سدیم، شوری و نسبت جذب سدیم را بررسی کردند. آنها نشان دادندکه روند معنی‌دار صعودی و نزولی زمانی در داده‌های ۲۰ساله این رودخانه وجود دارد. Karami *et al.* (2010) روند تغییرات شوری آب زیرزمینی سراب را با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره بررسی کردند. نتایج نشان داد کیفیت آب زیرزمینی در جهت جریان از دامنه ارتفاعات اطراف به سمت دشت شورتر شده است. Lalehzari and Tabatabaie (2010) خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد را بررسی کردند. نتایج نشان داد غلظت اکثر عناصر شیمیایی در جنوب دشت حداکثر بود که به فعالیت‌های کشاورزی و دفع فاضلاب نسبت داده شد. نتایج بررسی منابع نشان‌دهنده آن است که از بین آزمون‌ها، آزمون مان-کندال بهترین انتخاب

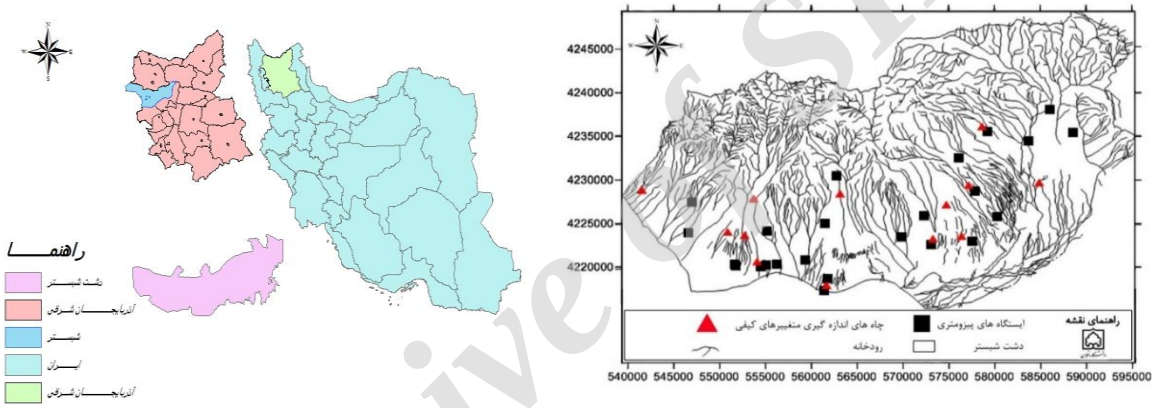
Archive of SID
www.SID.ir

برای بررسی روند یکنواخت داده‌ها است. از این رو در این تحقیق از این روند برای بررسی تحلیل روند ۱۵ متغیر کیفی ۱۳چاه مشاهده‌ای دشت شبستر در طول سال‌های ۹۱- ۱۳۸۲ استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه و داده‌های مورد استفاده

دشت شبستر واقع در شمال غربی استان آذربایجان شرقی در موقعیت ۳۸ درجه، ۴ دقیقه و ۴۸ ثانیه شمالی و ۴۶ درجه، ۱۷ دقیقه و ۳۱ ثانیه شرقی در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا در ۶۰ کیلومتری غرب شهرستان تبریز واقع شده است. محدوده مطالعاتی شبستر یکی از زیرحوضه‌های ۲۵ گانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه است و وسعت آن ۱۲۹۳ کیلومتر مربع است که مساحت آبخوان مورد بررسی ۴۹۵ کیلومتر مربع است. میانگین بارش سالانه دشت شبستر حدود ۳۰۰ میلی‌متر و این میانگین برای دمای سالانه در حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. دشت شبستر در سال‌های اخیر به علت برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و توزیع مکانی چاه‌های مشاهده‌ای در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

Fig. 1- Geographical location of the region

روش پژوهش

برای شناخت وضعیت کیفی آب زیرزمینی و مشخص کردن نحوه استفاده از آن از نتایج شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی ۱۳ حلقه چاه عمیق استفاده شد. در این چاه‌ها مشخصات شیمیایی آب شامل کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم) و مجموع آنها، آنیون‌ها (بی‌کربنات، کلر، سولفات) و مجموع آنها، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) [۲]، نسبت جذب سدیم (SAR)[۳]، مقدار مواد جامد حل‌شده (TDS)[۴] و سختی کل (TH)[۵]، pH و نیز درصد سدیم موجود برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بررسی شد. متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در طول سال فقط دو بار یکی در ماه پربارش و یکی در ماه کم‌بارش سال اندازه‌گیری می‌شود. در دشت شبستر متغیرهای کیفی در ماه پربارش در خردادماه و کم‌بارش در مهرماه اندازه‌گیری شده‌اند. از بین آزمون‌های ناپارامتری آزمون ناپارامتری مان-کندال بهترین انتخاب برای بررسی روند یکنواخت در سری داده‌ها است (Xu *et al.*, 2003). به همین منظور از این آزمون برای بررسی روند کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر استفاده شد. عدم وجود خود همبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها شرط استفاده از آزمون مان-کندال است. پس از تشخیص وجود همبستگی معنی‌دار و حذف آن، داده‌های پرت‌تر از آب زیرزمینی به روش Chow *et al.* (1998) کنار گذاشته شد. محاسبه ضریب خود همبستگی و تشخیص

Archive of SID
www.SID.ir

معنی‌داری آن: ضریب خود همسبتگی مراتب مختلف به صورت زیر محاسبه می‌شود (Chow *et al.*, 1988):

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}(x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (۱)$$

اگر ضریب خود همبستگی مرتبه اول معنی‌دار باشد، با روش پیش‌سفید کردن[۶] اثر خود همبستگی از سری داده‌ها حذف می‌شود. حدود پایین و بالای ضریب خود همبستگی مرتبه اول (r_1)، در سطح معنی‌داری α درصد از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{-1 - c\sqrt{n-2}}{n-2} \le r_1 \le \frac{-1 + c\sqrt{n-2}}{n-2} \qquad (۲)$$

که در آن n تعداد داده‌ها در یک سری، c مقدار بحرانی برای سطح معنی‌داری مورد بررسی است. مقدار c در سطح معنی داری ۱۰ درصد معادل ۱/۶۴۵ و در سطوح پنج درصد و یک درصد به ترتیب مقادیر ۱/۶۹ و ۲/۳۳ است. اگر مقدار r_1 مابین حد بالا و پایین باشد، به معنای عدم معنی‌داری آن در سطح α درصد است. اگر r_1 در سطح α درصد معنی‌دار نبود، روش MK(1) به شرح زیر روی داده‌ها انجام می‌پذیرد.

روش مان-کندال(MK1): این روش برای آزمون روند داده‌ها به کار می‌رود. در این روش، ابتدا داده‌های سری زمانی m ماه برای n سال دوره آماری تمام t ایستگاه تهیه می‌شود. هر داده به صورت X_{igk} نمایش داده می‌شود که در آن i نشان‌دهنده سال، g نشان‌دهنده ماه و k نشان‌دهنده ایستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای مختلف آب زیرزمینی هستند. سری داده‌های موجود برای ماه gام ایستگاه kام به صورت X_{ngk} نمایش داده می‌شود.

آماره آزمون مان-کندال برای سری داده‌ها (S_{gk}) که مجموع علامت‌های تفاضل‌های مشاهدات است، به صورت زیر تعریف می‌شود (Panda *et al.*, 1988):

$$S_{gk} = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sgn\left(X_{jgk} - X_{igk}\right) \forall_1 \le i \le n \qquad (۳)$$

مان و کندال نشان دادند که وقتی $n \ge 10$ باشد، آماره S تقریباً بطور نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر و انحراف معیار زیر است:

$$(\delta_{gg})_k = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum d(d-1)(2d+5)]}{18} \qquad (۴)$$

که در آن d تعداد دسته‌ها با داده‌های مساوی برای سری مشخصی از داده‌ها مانند داده‌های موجود برای ماه معینی در یک ایستگاه در سال‌های مختلف برای متغیرهای مورد بررسی است و S_{gk} به صورت زیر نرمال‌سازی شد (Panda *et al.*, 1988).

$$S'_{gk} = S_{gk} - sgn\,(S_{gk}) \qquad (۵)$$

سپس آماره آزمون Z استاندارد که دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس به شرح زیر به دست می‌آید:

$$Z_{gk} = \frac{S'_{gk}}{(\delta_{gg})_k\, 0.5} \qquad (۶)$$

فرض صفر (عدم وجود روند) در سطح معنی‌داری α برای متغیرهای کیفی پنج درصد انتخاب شد.

آزمون مان-کندال اصلاح‌شده (MK2): اگر ضریب خود همبستگی مرتبه اول معنی‌دار باشد، با روش پیش‌سفید کردن Kumar & Jain (2010) و Partal & Kahya (2006) اثر خودهمبستگی از سری داده‌ها حذف می‌شد. برای این کار ابتدا سری داده‌های جدید با توجه به شیب خط روند β به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$X'_i = X_i - (\beta \times i) \qquad (۷)$$

که در آن β شیب خط روند i شمارنده سال است. سری جدیدبه شرح زیر به دست می‌آید:

Archive of SID
www.SID.ir

$$y_i' = X_i' - r_1 \times X_{i-1}' \quad (۸)$$

با افزودن مجدد جمله روند، $(\beta \times i)$، سری جدیدی به‌صورت رابطه ۱۱ به دست می‌آید و آماره Z مان-کندال برای سری جدید محاسبه می‌شود.

$$y_i = y_i' + (\beta \times i) \quad (۹)$$

شیب خط روند (شیب تخمین گر سن)[۷]: یک شاخص بسیار مفید در آزمون مان-کندال شیب تخمین‌گرسن است که با β نمایش داده می‌شود و یکنواختی را در سری داده‌ها نشان می‌دهد. این روش یک روش ناپارامتریک برای تعیین شیب واقعی یک روند موجود در داده‌های سری زمانی است (Sen, 1968). مقدار شیب روند با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$\beta_{gk} = Median\left(\frac{X_{jgk} - X_{jgk}}{i-j}\right) \forall_1 \leq i \leq j \leq n \quad (۱۰)$$

که در آن β_{gk} برآوردگر شیب خط روند برای ایستگاه kام در ماه gام است. مقادیر مثبت β روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده روند کاهشی است.

آزمون همگنی روند: آزمون همگنی روند بر پایه تفکیک مربعات آماره Z بنا نهاده شده است. این روش از آماده X^2 برای تعیین همگنی روند بین ماه‌ها (فصول)، ایستگاه‌ها و برهم‌کنش ماه ایستگاه استفاده می‌کند (Belle and Hughes, 1984).

در این تحقیق نیز ابتدا جدول آماره مان-کندال Z_{gk} تهیه شد. سپس میانگین آماره مذکور برای ایستگاه‌ها از رابطه $Z_{g0} = t^{-1}\sum_{k=1}^{t} Z_{gk}$ که در آن t تعداد ایستگاه‌ها است، به دست آمد. همچنین میانگین آماره z برای ماه‌ها از رابطه $Z_{0k} = S^{-1}\sum_{g=1}^{s} Z_{gk}$ به دست آمد. s تعداد ماه‌های سال (۱۲) را نشان می‌دهد. کل Z از رابطه $Z_{00} = (st)^{-1}\sum_{g=1}^{s}\sum_{k=1}^{t} Z_{gk}$ محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج آماره z مان-کندال متغیرهای کیفی آب زیرزمینی شبستر

ضریب همبستگی مرتبه اول متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در جدول‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. در این جدول‌های نیز ضرایب معنی‌دار (محاسبه‌شده با روش MK2) به‌صورت ارقام پررنگ نشان داده شده است. همچنین جدول‌های ۳ و ۴ مقادیر آماره Z مان-کندال ۱۵ متغیر کیفی آب زیرزمینی را در ماه‌های پرآب (ماه سوم) و کم آب (ماه هفتم) در ۱۳ ایستگاه پیزومتری دشت شبستر نشان می‌دهد. با استناد به جدول‌های ۳ و ۴، در ماه پرآب ۳۶ سری (۱۸ درصد) و در ماه کم‌آب ۱۷ سری (۹ درصد) روند مثبت معنی‌داری را در سطح پنج درصد از خود نشان می‌دهند. در حالی که سری‌های منفی در ماه های پرآب و کم‌آب هر کدام هفت سری (سه درصد) معنی‌دار هستند. در مجموع کل ۳۹۰ سری موجود، تعداد ۱۴۰ سری با روند منفی ۲۵۰ سری روندی افزایشی یا بدون روند بودند.

نتایج نشان داد مجموع آنیون‌ها در اغلب ایستگاه‌ها جز ایستگاه‌های علیشاه، سفیدکمر، شبستر) روند صعودی دارد. مقدار pH به جز ماه پرآب برای ایستگاه گل‌آباد و ماه کم‌آب شندآباد- قره کهریز، در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی دارد. مقادیر روند TDS در ایستگاه علیشاه، سفیدکمر، ماه کم‌آب کوزه‌کنان، ملک‌زاده و شبستر منفی و در بقیه موارد مثبت مشاهده شد. روند TH به جز برای علیشاه، سفیدکمر و ماه پرآب ملک‌زاده، سربانقلی و شبستر منفی و در بقیه ایستگاه‌ها مثبت است. مقادیر روند EC در ایستگاه‌های علیشاه، سفیدکمر و ماه کم‌آب شبستر منفی و در بقیه موارد مثبت نتیجه داد. مجموع کاتیون‌ها نیز به جز ایستگاه‌های علیشاه، سفیدکمر، شبستر در بقیه موارد روندی افزایشی داشت. بیشترین روند منفی مربوط به متغیر بی‌کربنات (HCO^-_3) است که از مجموع ۲۶

Archive of SID
www.SID.ir

سری، ۱۷ سری منفی را داشته است. با این حال به جز در سه ایستگاه علیشاه، ماه‌های پرآب شندآباد و وایقان روند معنی‌داری از خود نشان نداد. یون کلسیم و سولفات هر کدام ۱۳ روند منفی و ۱۳ روند مثبت نتیجه دادند. یون CL نه سری روند منفی و ۱۷ سری با روند مثبت داشت. در ۳۰ درصد ایستگاه های مشاهداتی، یون کلر در ماه پرآب روند افزایشی معنی‌داری داشته است. SAR برای ۱۱ سری منفی و در بقیه روند افزایشی داشت. سری‌های منفی برای SAR معنی‌دار نبود. برای یون پتاسیم در ۱۴ سری روند منفی مشاهده شد. مقادیر منفی غیرمعنی‌دار بودند. برای یون‌های منیزیم و سدیم به ترتیب هفت و هشت سری منفی مشاهده شد که در بقیه روندی مثبت دارد. در ماه پرآب ایستگاه‌های کوزه‌کنان و شندآباد و در ماه کم‌آب ایستگاه شندآباد بیشترین روند مثبت معنی‌دار را در خصوص متغیرهای کیفی تجربه کرده‌اند. در این میان ایستگاه‌های ملک‌زاده و سربانقلی در هیچ یک از ماه‌های پرآب و کم‌آب روند معنی‌داری از خود نشان ندادند. همچنین از نظر بیشترین تعداد روند منفی، ایستگاه‌های علیشاه و سفیدکمر در هر دو ماه پرآب و کم‌آب در صدر قرار دارند. مقایسه نتایج بین ایستگاه‌ها حاکی از این است که کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شبستر در قسمت جنوبی دشت وضعیت بحرانی‌تری دارد. در حالت کلی می توان نتیجه گرفت که طی زمان کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی افت داشته است.

جدول ۱- مقادیر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول برای متغیرهای کیفی (سولفات، کلر،ph، درصد سدیم، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم) دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

Table 1. First order correlation coefficients for qualitative variables (SO_4^{-2}, CL^-,ph, NA%, K^+, Na^+, Mg^+, Ca^{2+}) of Shabestar plain (2003-2012)

ایستگاه Station	ماه Month	سولفات SO_4^{-2}	کلر CL^-	pH	درصد سدیم NA%	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	منیزیم Mg^+	کلسیم Ca^{2+}
علیشاه Alishah	پرآب High water	0.02	0.53	-0.59	0.31	-0.1	0.15	-0.44	0.48
	کم‌آب Low water	-0.26	0.39	**0.62**	0.05	0.53	-0.05	-0.2	0.2
گل آباد Golabad	پرآب High water	0.37	0.8	0.09	-0.07	-0.5	0.22	0.00	0.43
	کم‌آب Low water	-0.09	0.3	0.82	0.09	0.32	0.29	-0.16	-0.4
هریس Haris	پرآب High water	0.01	-0.25	0.11	-0.23	-0.12	-0.09	0.57	-0.11
	کم‌آب Low water	-0.08	-0.28	0.28	0.49	0.23	0.29	0.33	-0.35
کوشک Koshak	پرآب High water	-0.12	-0.02	0.27	-0.13	0.09	-0.26	-0.09	
	کم‌آب Low water	0.49	0.36	-0.23	-0.3	0.42	-0.53	-0.47	0.7
کوزه‌کنان Kozehkanan	پرآب High water	**0.72**	**0.65**	0.06	0.7	0.48	**0.66**	0.7	0.45
	کم‌آب Low water	-0.28	-0.02	0.6	**0.68**	0.29	**0.64**	-0.7	-0.02
ملک‌زاده Malekzadeh	پرآب High water	0.47	0.5	-0.04	0.04	0.27	0.15	-0.08	0.19
	کم‌آب Low water	-0.31	-0.11	0.35	0.06	0.332	-0.25	0.06	0.35

Archive of SID
www.SID.ir

ادامه جدول ۱- مقادیر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول برای متغیرهای کیفی (سولفات، کلر، pH، درصد سدیم، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم) دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

The rest of table 1. First order correlation coefficients for qualitative variables (SO_4^{-2}, CL^-, Ph, NA%, K^+, Na^+, Mg^+, Ca^{2+}) of Shabestar plain (2003-2012)

کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^+	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	درصد سدیم NA%	pH	کلر CL^-	سولفات SO_4^{-2}	ماه Month	ایستگاه Station
0.42	0.33	0.08	0.13	0.41	0.26	0.47	0.48	پرآب High water	قم‌تپه Qom Tapeh
0.09	-0.08	**0.76**	-0.04	0.58	-0.52	0.18	-0.26	کم‌آب Low water	
0.57	0.27	0.57	-0.33	0.51	-0.52	-0.32	0.14	پرآب High water	سربانقلی Sarbanqoli
0.53	0.32	0.32	0.17	0.29	-0.39	0.3	0.19	کم‌آب Low water	
0.4	0.52	-0.49	0.41	-0.28	0.24	-0.38	-0.14	پرآب High water	سفیدکمر Sefidkamar
-0.48	**0.66**	0.07	0.45	-0.02	0.77	0.25	0.35	کم‌آب Low water	
-0.3	0.43	0.33	0.13	-0.28	0.21	0.1	0.72	پرآب High water	شبستر Shabestar
-0.85	-0.51	-0.08	0.53	-0.49	0.77	0.32	0.04	کم‌آب Low water	
0.36	0.45	0.45	0.18	0.53	0.41	0.75	0.38	پرآب High water	شندآباد Shandabad
0.22	0.28	**0.66**	0.78	0.1	**0.73**	0.34	0.23	کم‌آب Low water	
0.75	0.84	**0.94**	0.09	**0.92**	0.21	-0.03	0.12	پرآب High water	قره کهریز Qarekahriz
-0.84	0.00	0.52	0.27	0.52	1.11	-1.37	-0.29	کم‌آب Low water	
-0.04	0.35	-0.16	-0.54	-0.02	0.24	-0.44	0.52	پرآب High water	وایقان Vayeqan
-0.05	0.24	0.39	0.29	-0.35	-0.3	0.24	0.22	کم‌آب Low water	

جدول ۲- مقادیر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول برای متغیرهای کیفی (بی کربنات، مجموع آنیون،مقدار مواد جامد حل شده، سختی کل، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتیریکی ومجموع کاتیون) دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

Table 1. First order correlation coefficients for qualitative variables (HCO_3^-, Total anion, TDS, TH, SAR, EC and Total cation) of Shabestar plain (2003-2012)

مجموع کاتیون Total cation	هدایت الکتریکی EC	نسبت جذب سدیم SAR	سختی کل TH	مقدار مواد جامد حل شده TDS	مجموع آنیون Total anion	بی‌کربنات HCO_3^-	ماه Month	ایستگاه Station
0.63	0.42	0.24	0.54	-0.61	**0.59**	0.02	پرآب High water	علیشاه Alishah
0.2	0.24	-0.07	0.02	-0.14	0.14	0.06	کم‌آب Low water	
0.47	0.54	0.05	0.2	0.18	0.53	0.32	پرآب High water	گل آباد Golabad
0.18	0.17	0.2	0.22	0.1	0.14	0.34	کم‌آب Low water	
0.22	0.24	-0.33	0.58	0.24	0.22	-0.12	پرآب High water	هریس Haris
0.62	**0.67**	0.23	0.75	**0.65**	**0.65**	-0.08	کم‌آب Low water	
0.08	0.06	-0.23	0.15	-0.07	0.05	0.05	پرآب High water	کوشک Koshak
0.45	0.34	-0.48	0.38	-0.19	0.35	-0.13	کم‌آب Low water	

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۲- مقادیر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول برای متغیرهای کیفی (بی کربنات، مجموع آنیون،مقدار مواد جامد حل شده، سختی کل، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتیریکی و درصد سدیم) دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

The rest of table2. First order correlation coefficients for qualitative variables (HCO3-, Total anion, TDS, TH, SAR, EC and NA%) of Shabestar plain (2003-2012)

مجموع کاتیون	هدایت الکتریکی	نسبت جذب سدیم	سختی کل	مقدار مواد جامد حل شده	مجموع آنیون	بی‌کربنات	ماه	ایستگاه
Total cation	EC	SAR	TH	TDS	Total anion	HCO_3^-	Month	Station
0.65	**0.65**	**0.67**	**0.63**	0.64	**0.65**	0.47	پرآب High water	کوزه‌کنان Kozehkanan
-0.06	0.2	**0.67**	0.48	-0.06	0.26	-0.15	کم‌آب Low water	
0.55	0.5	-0.05	0.07	0.07	0.46	**0.65**	پرآب High water	ملک‌زاده Malekzadeh
0.38	-0.18	-0.06	0.3	-0.21	-0.18	-0.24	کم‌آب Low water	
0.11	-0.13	0.29	0.56	-0.13	0.13	0.16	پرآب High water	قم‌تپه Qom Tapeh
-0.48	0.37	0.67	0.33	0.37	-0.43	-0.07	کم‌آب Low water	
-0.16	-0.18	0.5	0.39	-0.41	-0.09	-0.02	پرآب High water	سربانقلی Sarbanqoli
-0.47	-0.33	0.29	0.16	-0.65	-0.46	-0.59	کم‌آب Low water	
0.13	0.15	-0.36	0.11	-0.31	0.18	0.25	پرآب High water	سفیدکمر Sefidkamar
0.42	0.32	0.03	0.1	0.24	0.3	0.29	کم‌آب Low water	
0.25	0.16	-0.19	0.11	-0.01	0.17	0.12	پرآب High water	شبستر Shabestar
-0.78	-0.32	-0.28	-0.67	-0.74	-0.32	0.06	کم‌آب Low water	
0.42	0.42	0.2	0.41	0.43	0.42	0.44	پرآب High water	شندآباد Shandabad
0.25	0.35	**0.65**	0.3	0.34	0.35	-0.13	کم‌آب Low water	
0.28	0.22	**0.94**	0.37	-0.34	0.2	-0.55	پرآب High water	قره کهریز Qarekahriz
-0.54	-0.44	0.54	-0.21	-0.6	-0.47	-0.36	کم‌آب Low water	
-0.56	-0.59	-0.09	0.16	-0.24	-0.59	0.2	پرآب High water	وایقان Vayeqan
0.25	0.28	0.24	0.14	0.38	0.27	0.16	کم‌آب Low water	

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳-آماره Z مان-کندال حاصل از بررسی روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (سولفات، کلر،pH ، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم) دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

Table 3. Mann-Kendall Z statistic derived from the study of the process of groundwater's quality variables (SO_4^{-2}, CL^-, pH, K^+, Na^+, Mg^+, Ca^{2+}) in Shabestar plain (2003-2012)

ایستگاه Station	ماه Month	سولفات SO_4^{-2}	کلر CL^-	pH	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	منیزیم Mg^+	کلسیم Ca^{2+}
علیشاه Alishah	پرآب High water	-0.09	1.21	0.72	-1.28	0.96	0.27	-0.9
	کم‌آب Low water	-0.72	-1.71	**2.19**	-0.45	-0.63	0.18	-0.63
گل آباد Golabad	پرآب High water	1.48	**2.19**	-0.36	0.00	1.54	0.99	**2.42**
	کم‌آب Low water	-1.1	1.68	2.85	0.63	0.84	0.00	0.00
هریس Haris	پرآب High water	0.63	0.11	1.68	-0.22	0.21	**2.42**	-1.16
	کم‌آب Low water	1.53	-0.09	1.08	0.28	0.63	**2.42**	0.00
کوشک Koshak	پرآب High water	-0.45	0.36	1.45	-0.55	-0.99	-0.27	0.99
	کم‌آب Low water	1.44	0.00	1.18	-0.28	1.17	-0.27	**2.35**
کوزه‌کنان Kozehkanan	پرآب High water	**3.02**	**1.98**	1.55	1.26	**2.52**	2.4	-0.18
	کم‌آب Low water	0.72	0.27	**2.19**	0.1	0.94	0.54	-0.21
ملک‌زاده Malekzadeh	پرآب High water	1.37	1.82	1.48	0.43	1.37	-0.53	-0.74
	کم‌آب Low water	0.00	-1.18	1.17	0.9	0.00	0.09	-0.11
قم‌تپه Qomtapeh	پرآب High water	**-2.25**	**2.42**	0.00	0.63	0.63	1.82	1.8
	کم‌آب Low water	1.36	-0.21	0.42	-0.84	1.36	1.37	1.75
سربانقلی Sarbanqoli	پرآب High water	0.81	0.45	0.54	-1.09	1.15	0.9	-1.56
	کم‌آب Low water	0.73	-0.11	0.94	-0.63	0.53	1.37	-1.24
سفیدکمر Sefidkamar	پرآب High water	-0.74	-0.53	1.78	-1.21	-0.14	-2.21	0.84
	کم‌آب Low water	-1.27	-1.62	**2.61**	-0.18	-1.17	-1.77	-0.74
شبستر Shabestar	پرآب High water	**2.19**	0.36	**2.25**	-0.64	1.28	-1.44	0.18
	کم‌آب Low water	-1.08	-1.09	**2.61**	-1.74	-0.47	0.00	0.00
شندآباد Shandabad	پرآب High water	-1.71	**2.19**	**2.16**	1.17	**2.25**	**2.25**	**2.07**
	کم‌آب Low water	**2.31**	1.89	1.61	**2.35**	**2.1**	1.68	1.5
قره کهریز Qarekahriz	پرآب High water	**-2.73**	-0.09	1.54	0.00	1.15	**2.19**	-0.52
	کم‌آب Low water	-0.53	0.21	-0.11	0.43	-1.68	1.9	-0.12
وایقان Vayeqan	پرآب High water	0.73	1.36	0.99	-0.46	-1.26	1.18	-0.27
	کم‌آب Low water	-0.31	1.05	0.52	-0.11	0.84	-0.21	0.00

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴-آماره Z مان-کندال حاصل از بررسی روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (بی کربنات، مجموع آنیون،مقدار مواد جامد حل شده، سختی کل، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتیریکی و درصد سدیم) دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

Table 4. Mann-Kendall Z statistic derived from the study of the process of groundwater's quality variables (HCO_3^-, Total anion, TDS, TH, SAR, EC and NA%) in Shabestar plain (2003-2012)

ایستگاه Station	ماه Month	بی‌کربنات HCO_3^-	مجموع آنیون Total anion	مقدار مواد جامد حل شده TDS	سختی کل TH	نسبت جذب سدیم SAR	قابلیت هدایت الکتریکی EC	درصد سدیم NA%	مجموع کاتیون Total cation
علیشاه Alishah	پرآب High water	**-1.98**	-1.56	-0.36	-1.54	0.27	-0.54	0.45	-1.98
	کم‌آب Low water	**-2.19**	-1.53	-1.53	-0.45	-0.36	-1.71	-0.09	-1.79
گل آباد Golabad	پرآب High water	-0.09	**2.16**	1.89	2.16	0.63	**2.78**	0.09	**2.25**
	کم‌آب Low water	-1.82	1.05	0.63	0.21	0.00	1.15	0.21	1.25
هریس Haris	پرآب High water	-0.84	0.94	0.94	2.11	0.00	0.94	-0.43	0.84
	کم‌آب Low water	0.36	1.56	1.77	2.4	-1.53	1.56	**-2.42**	1.61
کوشک Koshak	پرآب High water	0.63	0.81	0.45	1.44	-1.53	1.17	-1.71	1.08
	کم‌آب Low water	0.81	1.17	0.63	1.8	-0.18	0.99	-1.17	1.36
کوزه‌کنان Kozehkanan	پرآب High water	-0.36	**2.98**	**2.19**	0.84	**2.81**	**2.81**	**2.61**	**3.02**
	کم‌آب Low water	-0.63	0.36	-0.09	1.35	0.84	0.63	0.52	1.85
ملک‌زاده Malekzadeh	پرآب High water	0.00	1.05	1.26	-0.21	0.84	1.05	0.84	1.47
	کم‌آب Low water	0.00	0.81	-0.09	0.63	-0.63	0.81	-0.63	1.47
قم‌تپه Qomtapeh	پرآب High water	0.99	1.89	**2.69**	**3.14**	-0.27	2.51	-1.44	2.07
	کم‌آب Low water	1.26	0.31	**1.99**	1.68	-0.62	**1.99**	-0.21	0.5
سربانقلی Sarbanqoli	پرآب High water	-0.72	0.54	1.17	-0.55	0.81	0.81	0.45	0.9
	کم‌آب Low water	-0.31	0.73	0.1	0.00	0.31	1.25	0.31	0.62
سفیدکمر Sefidkamar	پرآب High water	-1.06	-1.79	-1.47	-0.63	0.21	-1.05	0.21	-1.26
	کم‌آب Low water	-1.8	**-2.25**	-2.07	-1.26	-0.99	**-2.33**	-0.45	**-2.31**
شبستر Shabestar	پرآب High water	-1.17	0.09	0.63	-0.99	1.17	0.27	1.53	-0.27
	کم‌آب Low water	-1.71	-1.17	-0.99	0.09	-0.63	1.17	-0.09	-0.84
شندآباد Shandabad	پرآب High water	**-2.34**	**2.42**	**2.07**	**2.25**	1.89	**2.42**	-1.53	**2.42**
	کم‌آب Low water	-0.84	**2.1**	**2.1**	1.68	1.36	**2.1**	0.21	**1.99**
قره کهریز Qarekahriz	پرآب High water	-0.18	0.36	1.35	1.8	0.73	0.27	-1.15	0.36
	کم‌آب Low water	0.85	0.00	0.21	0.94	1.46	0.21	**-1.98**	0.00
وایقان Vayeqan	پرآب High water	-1.98	0.81	0.81	0.9	-0.99	0.81	-0.63	0.81
	کم‌آب Low water	-0.49	0.42	0.42	0	0.63	0.42	-0.21	0.00

Archive of SID

www.SID.ir

مانند دشت شبستر، افزایش متغیرهای کیفی در بررسی‌های مختلفی گزارش شده است. Houben *et al.*(2009) به نتایج مشابهی در مورد روند صعودی شوری و سختی در آب زیرزمینی حوضه آبریز کابل واقع در افغانستان برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ دست یافتند. Wahlin and Grimvall (2009) روند افزایشی را در pH سفره سویدیش جنوب سودان برای دوره ۲۰ ساله گزارش کرده‌اند. Elci and Polat (2010) در پژوهشی برای سفره گچی ایزمیر ترکیه، افزایش متغیرهای کیفی از قبیل کلسیم، منیزیم، کلر و سولفات را گزارش داده‌اند. (۲۰۰۴) Malakotian and Karami روند افزایشی را برای ۱۲ متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت بم و (۲۰۰۷) Rahmani and Shokohi مقدار TDS را برای ۱۰ ایستگاه از بین ۳۰ ایستگاه انتخاب شده دشت همدان بهار، بالاتر از حد مجاز و صعودی برای دوره یک سال گزارش کرده‌اند که در خصوص دشت شبستر این عامل در اغلب سری‌های زمانی و ایستگاه‌ها نتیجه‌ای مشابه داشته است.

نتایج شیب خط روند متغیر های کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر

جدول‌های ۵ و ۶ شیب خط روند را برای متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در ماه‌های پرآب و کم‌آب نشان می‌دهد. به‌طوری که از این جدول‌ها می‌توان استنباط کرد، میانه شیب‌ها جز برای تعداد معدودی از متغیرها که صفر یا منفی هستند، در بقیه موارد عددی مثبت یعنی دارای روند صعودی هستند. به‌عنوان مثال برای متغیر کیفی مجموع کاتیون‌ها در ماه‌های کم‌آب و پرآب، میانه شیب خط روند معادل ۰/۰۳ به دست آمده است. این به معنی افزایش مجموع کاتیون‌ها به اندازه ۰/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در هر دهه است. در جداول مربوط به مقادیر خود همبستگی و آماره مان-کندال ارقام معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌صورت پررنگ نمایش داده شده‌اند.

جدول۵- مقادیر شیب خط روند (β) سری‌های زمانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (سولفات، کلر،pH ، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم) دشت شبستر دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

Table 5. Trendline values (β) of time series of the groundwater's quality variables (SO_4^{-2}, CL^-, pH, K^+, Na^+, Mg^+, Ca^{2+}) in Shabestar plain (2003-2012)

ایستگاه Station	ماه Month	سولفات SO_4^{-2}	کلر CL^-	pH	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	منیزیم Mg^+	کلسیم Ca^{2+}
علیشاه Alishah	پرآب High water	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	-0.03
	کم‌آب Low water	-0.02	-0.01	0.1	0.00	-0.01	0.00	-0.03
گل‌آباد Golabad	پرآب High water	0.01	0.1	-0.02	0.00	0.03	0.03	0.05
	کم‌آب Low water	-0.01	0.07	0.1	0.00	0.01	0.01	0.00
هریس Haris	پرآب High water	0.18	0.00	0.08	0.00	0.05	0.22	-0.06
	کم‌آب Low water	0.18	-0.08	0.03	0.00	0.01	0.14	0.00
کوشک Koshak	پرآب High water	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.01	0.00	0.04
	کم‌آب Low water	0.03	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.08
کوزه‌کنان Kozehkanan	پرآب High water	0.08	0.03	0.04	0.00	0.02	0.09	-0.01
	کم‌آب Low water	0.02	0.00	0.07	0.00	-0.01	0.02	0.00

Archive of SID
www.SID.ir

ادامه جدول۵- مقادیر شیب خط روند (β) سری‌های زمانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (سولفات، کلر،pH ، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم) دشت شبستر دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

The rest of table 5. Trendline values (β) of time series of the groundwater's quality variables (SO_4^{-2}, CL^-, pH, K^+, Na^+, Mg^+, Ca^{2+}) in Shabestar plain (2003-2012)

ایستگاه Station	ماه Month	سولفات SO_4^{-2}	کلر CL^-	pH	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	منیزیم Mg^+	کلسیم Ca^{2+}
ملک‌زاده Malekzadeh	پرآب High water	0.05	0.04	0.03	0.00	0.12	-0.02	-0.02
	کم‌آب Low water	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
قم‌تپه Qomtapeh	پرآب High water	-0.45	0.6	0.00	0.00	0.13	0.08	0.12
	کم‌آب Low water	-0.32	-0.04	0.02	0.01	-0.15	0.06	0.14
سربانقلی Sarbanqoli	پرآب High water	0.01	0.00	0.04	0.00	0.01	0.04	-0.03
	کم‌آب Low water	0.02	0.00	0.04	0.00	0.01	0.05	-0.03
سفیدکمر Sefidkamar	پرآب High water	-0.01	0.00	0.09	0.00	-0.01	-0.06	0.02
	کم‌آب Low water	-0.03	-0.02	0.1	0.00	-0.02	-0.05	-0.03
شبستر Shabestar	پرآب High water	0.05	0.00	0.05	0.00	0.03	-0.01	0.01
	کم‌آب Low water	-0.01	-0.01	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
شندآباد Shandabad	پرآب High water	-0.18	1.66	0.08	0.00	0.25	0.67	0.44
	کم‌آب Low water	0.26	2.11	0.1	0.01	0.49	۰0.66	0.62
قره کهریز Qarekahriz	پرآب High water	-0.03	0.00	0.03	0.00	-0.02	0.06	-0.04
	کم‌آب Low water	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.02	-0.01
وایقان Vayeqan	پرآب High water	0.02	0.07	0.03	0.00	-0.03	0.09	-0.02
	کم‌آب Low water	0.00	0.06	0.05	0.00	0.07	-0.02	-0.02

جدول۶- مقادیر شیب خط روند (β) سری‌های زمانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (بی کربنات، مجموع آنیون،مقدار مواد جامد حل شده، سختی کل، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتیریکی و درصد سدیم) دشت شبستر دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

Table 6. Trendline values (β) of time series of the groundwater's quality variables (HCO_3^-, Total anion, TDS, TH, SAR, EC and NA%) in Shabestar (2003-2012)

ایستگاه Station	ماه Month	بی‌کربنات HCO_3^-	مجموع آنیون Total anion	مقدار مواد جامد حل‌شده TDS	سختی کل TH	نسبت جذب سدیم SAR	قابلیت هدایت الکتریکی EC	درصد سدیم NA%	مجموع کاتیون Total cation
علیشاه Alishah	پرآب High water	-0.05	-0.02	-0.65	-2.25	0.01	-0.5	0.43	-0.02
	کم‌آب Low water	-0.05	-0.02	-3.58	-1.00	0.00	-2.00	-0.15	-0.03
گل‌آباد Golabad	پ‌آب High water	0.00	0.13	8.19	3.67	0.01	1.86	-0.04	0.13
	کم‌آب Low water	-0.03	0.06	1.56	0.62	0.01	6.1	0.04	0.08

Archive of SID
www.SID.ir

ادامه جدول۶- مقادیر شیب خط روند (β) سری‌های زمانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (بی کربنات، مجموع آنیون،مقدار مواد جامد حل شده، سختی کل، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتیریکی و درصد سدیم) دشت شبستر دشت شبستر (۹۱- ۱۳۸۲)

The rest of table 6. Trendline values (β) of time series of the groundwater's quality variables (HCO_3^-, Total anion, TDS, TH, SAR, EC and NA%) in Shabestar (2003-2012)

مجموع کاتیون	درصد سدیم	قابلیت هدایت الکتریکی	نسبت جذب سدیم	سختی کل	مقدار مواد جامد حل‌شده	مجموع آنیون	بی‌کربنات	ماه	ایستگاه
Total cation	NA%	EC	SAR	TH	TDS	Total anion	HCO_3^-	Month	Station
0.15	-0.06	1.36	-0.01	5.83	9.98	0.15	-0.03	پرآب High water	هریس Haris
0.27	-0.48	26.67	-0.07	1.5	2.08	0.27	-0.02	کم‌آب Low water	
0.04	-0.24	3.00	-0.01	2.11	2.44	0.03	0.08	پرآب High water	کوشک Koshak
0.08	-0.2	5.5	0.00	3.33	3.57	0.05	0.02	کم‌آب Low water	
0.00	0.58	-0.5	0.02	-1.00	1.09	0.00	0.02	پرآب High water	کوزه‌کنان Kozehkanan
0.01	-0.3	1.33	-0.01	0.71	-0.53	0.01	-0.08	کم‌آب Low water	
0.07	0.44	6.77	0.12	-1.64	7.46	0.06	-0.02	پرآب High water	ملک‌زاده Malekzadeh
0.03	-0.28	1.75	-0.21	1.4	-0.97	0.02	-0.02	کم‌آب Low water	
0.3	-0.24	4.71	-0.01	1.00	35.8	0.3	0.00	پرآب High water	قم‌تپه Qomtapeh
0.16	-0.1	2.86	-0.07	5.83	16.81	0.09	0.17	کم‌آب Low water	
0.01	0.12	1.5	0.01	-0.14	2.38	0.01	0.17	پرآب High water	سربانقلی Sarbanqoli
0.03	0.22	2.1	0.02	-0.25	0.76	0.02	-0.02	کم‌آب Low water	
-0.05	0.06	-5.88	0.00	-1.63	-6.3	-0.07	0.00	پرآب High water	سفیدکمر Sefidkamar
-0.1	-0.27	-7.2	-0.02	-2.00	-9.75	-0.07	-0.06	کم‌آب Low water	
-0.01	0.33	1	0.02	-1.00	1.3	0.01	-0.05	پرآب High water	شبستر Shabestar
-0.02	-0.34	-4.5	-0.02	0.17	-2.93	-0.04	-0.03	کم‌آب Low water	
1.33	-0.55	1	0.03	5.67	94.74	1.33	-0.04	پرآب High water	شندآباد Shandabad
1.94	0.18	2.25	0.07	5.83	133.46	2.03	-0.18	کم‌آب Low water	
0.01	-0.52	0.43	-0.02	1.5	2.38	0.00	-0.2	پرآب High water	قره کهریز Qarekahriz
0.00	-0.46	0.13	-0.01	1.55	1.31	0.00	0.05	کم‌آب Low water	
0.03	-0.09	3.00	-0.01	1.83	1.95	0.03	0.09	پرآب High water	وایقان Vayeqan
0.12	-0.07	7.83	0.01	-0.5	5.09	0.08	0.11	کم‌آب Low water	

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی همبستگی میزان بارش متوسط منطقه با متغیرهای کیفی مورد بررسی: برای بررسی ارتباط بین بارش و متغیرهای کیفی آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی، بارش نرمال سالانه با استفاده از داده های ایستگاه‌های باران‌سنجی و نیز میانگین سالانه هر یک از متغیرهای کیفی برای ماه پربارش در دوره مشترک (۱۳۸۸- ۱۳۸۲) محاسبه شد. ضرایب همبستگی ساده بین مقادیر مذکور با استفاده از نرم‌افزار Statistica محاسبه و معنی‌داری آن بررسی شد.

جدول ۷ مقادیر ضرایب همبستگی سری‌های زمانی متغیرهای کیفی با بارش نرمال سالانه را برای دوره آماری (۱۳۸۸-۱۳۸۲) نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، هیچ یک از متغیرهای کیفی معنی‌داری خاصی در سطح پنج درصد با مقدار بارش سالانه ندارند. شکل ۲ (در چهار بخش) به‌صورت نمودار تغییرات متغیرهای کیفی اندازه‌گیری‌شده در ماه پربارش را در مقیاس سالانه نشان می‌دهد.

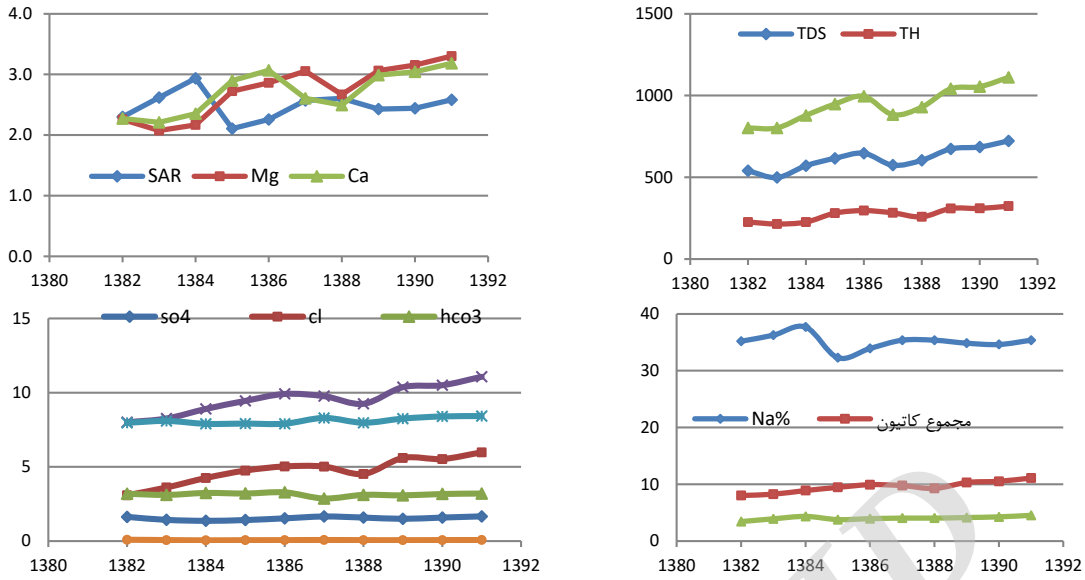
طبق شکل ملاحظه می‌شود، به طور میانگین در بازه زمانی ۹۱- ۱۳۸۲، متغیرهای کیفی روند کاهشی از خود بروز نمی‌دهند و با تغییرات جزئی یا ثابت مانده یا افزایش محسوسی داشته‌اند (مانند متغیرهای مجموع کاتیون، مجموع آنیون، EC, TH, TDS, CL). با در نظر گرفتن نمودار بارش سالانه منطقه مورد بررسی و نیز عدم معنی‌داری بین متغیرهای کیفی اندازه‌گیری‌شده و همچنین با مقایسه الگوی تغییرات مقدار بارش سالانه و متغیرهای کیفی می‌توان عدم شباهت در رفتار تغییرات بین مؤلفه‌های مورد مقایسه (بارش و متغیرهای کیفی) را دریافت. اغلب متغیرهای کیفی دارای همبستگی مثبت ولی غیرمعنی‌دار با بارش بودند. در سال ۱۳۸۶ افت قابل‌توجهی را در مقدار بارش نسبت به سال قبل آن شاهد هستیم. در صورتی که در طول این یک سال (۸۶- ۱۳۸۵) هیچ گونه تغییری در نمودار متغیرهای کیفی قابل‌مشاهده نیست. نتیجه کلی به‌دست‌آمده در این بخش، عدم ارتباط بین بارش‌های صورت‌گرفته در مقیاس سالانه و متغیرهای کیفی است. این در حالی است که تراز سطح ایستابی در طول سال‌های مشترک آماری با متغیرهای کیفی (۱۳۹۱- ۱۳۸۲) تقریباً با شیب ثابتی افت داشته است.

جدول ۷- مقادیر ضریب همبستگی بارش سالانه دشت با متغیرهای کیفی در ماه پربارش (۱۳۸۸- ۱۳۸۲)

Table 7. Correlation coefficient of annual rainfall in the plain with qualitative variables in season with high rainfall (2003-2009)

معنی‌داری (سطح ۵٪) Significant (5%)	ضریب همبستگی ساده Simple correlation coefficient	متغیرهای کیفی آب زیرزمینی Groundwater quality variables
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.033	سولفات SO^{2-}_4
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.29	کلر CL^-
غیرمعنی‌دار Insignificant	-0.42	بی‌کربنات HCO^-_3
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.23	مجموع آنیون Total anion
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.35	pH
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.11	مقدار ماده جامد حل شده TDS
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.23	سختی کل TH
غیرمعنی دار Insignificant	0.23	نسبت جذب سدیم SAR
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.09	هدایت الکتریکی EC
غیر معنی‌دار Insignificant	0.13	درصد سدیم NA%
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.29	پتاسیم K^+
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.11	سدیم Na^+
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.41	منیزیم Mg^{2+}
غیرمعنی‌دار Insignificant	-0.24	کلسیم Ca^{2+}
غیرمعنی‌دار Insignificant	0.23	مجموع کاتیون Total cation

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۲- میانگین متغیرهای کیفی سالانه ۱۳ ایستگاه اندازه‌گیری دشت شبستر در ماه پربارش

Fig. 2- Average annual qualitative variables of 13 Shabestar Plain's Measurement Stations in season with high rainfall

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر نیز در اغلب ایستگاه‌ها (جز ایستگاه علیشاه و سفیدکمر و ماه کم‌آب شبستر) روند صعودی داشته است. بیشترین شیب خط روند مربوط به متغیر کیفی EC و TDS در ایستگاه شندآباد مشاهده شد. با وجود افت کیفی آب زیرزمینی، بارش در دشت شبستر در اغلب ایستگاه‌ها روند افزایشی (هرچند غیرمعنی‌داری) را در تمامی فصول و مقیاس سالانه نشان داد. برای بررسی ارتباط تغییرات بارش با متغیر کیفی ضریب همبستگی ساده بین آنها محاسبه شد که در نتیجه معنی‌داری خاصی بین هیچ یک از متغیرها با بارش مشاهده نشد. در صورت ادامه وضع موجود امکان استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی دشت شبستر غیرممکن خواهد بود که نسل‌های آینده هیچ سهمی از این منبع دیرینه و پرارزش نخواهند داشت. با عدم تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و رها شدن زه‌آب‌های کشاورزی در سطح دشت و همسایگی با دریاچه ارومیه و پیشرفت شوره‌زار، کیفیت آب‌ها به شدت تحت‌تأثیر قرار خواهد گرفت .بنا براین برای حفاظت از کیفیت منابع آبی زیرزمینی لازم است اقدامات جدی و مؤثرتری از سوی دست‌اندرکاران صنعت آب انجام شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] Mann- Kendall
[2] Electrical Conductivity
[3] Sodium Adsorption Ratio
[4] Total Dissolved Solides
[5] Total Hardness
[6] Per- Whitening
[7] Sen's slope estimator

منابع

Ahmadi, Sh. and Sedghamiz, A., 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. Environ Monit Assess. 129, 277-294.

Belle, G. and Hughes, JP., 1984. Nonparametric tests for trend in water quality. Water Resources Research. 20 (1), 127-36.

Bouza-Deaño, R., Ternero-Rodriguez, M. and Fernández-Espinosa, AJ., 2008. Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro

Archive of SID
www.SID.ir

River (Spain). Journal of Hydrology. 361 (3), 227-239.

Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill: New York.

Daneshvar vosoughi, F. and Dinpashoh, Y., 2013. Trends of Groundwater Quality of Ardabil Plain Using the Spearman Method.Journal of Environmental Studies. 4, 17-28.

Elçi, A. and Polat, R., 2011. Assessment of the statistical significance of seasonal groundwater quality change in a karstic aquifer system near Izmir-Turkey. Environmental Monitoring and Assessment. 172(1), 445-462.

Gaus, I., Kinniburgh, D.G., Talbot, J.C. and Webster R., 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging. Environmental Geology. 44(8), 939-48.

Houben, G., Tünnermeier, T., Eqrar, N. and Himmelsbach, T., 2009. Hydrogeology of the Kabul Basin (Afghanistan), part II: groundwater geochemistry. Hydrogeology Journal. 17(4), 935-948.

Javili, M., Amirian, A. and Khajeh Sahoti, GH., 2009. The trend analysis of five water quality parameters of river by using Mann-Kendall. In Proceedings 8th International Seminar on River Engineering, 26th -28th January, Ahvaz, Iran.

Kundzewics, Z.W. and Robson A.J., 2004. Change detection hydrological records- a review of the methodology. Hydrol Sci J. 49 (1), 7-19.

Karami, F. and Bayati Khatibi, M., 2009. The impact of drought on underground water drop of Sarab plain. The final report of the research project, Tabriz, Iran. P. 200.

Khazaei, E., Stednick, J.D., Sanford W.E. and Warner, JW., 2006. Hydrochemical changes over time in the Zahedan aquifer, Iran. Environmental Monitoring And Assessment. 114(1-3), 123-43.

Kumar, V. and Jain, S.K., 2010. Trends in seasonal and annual rainfall and rainy days in Kashmir Valley in the last century. Quaternary International. 212 (1), 64-9.

Lalehzari, R. and Tabatabaie, J., 2010. Groundwater chemical properties of Shahrekord plain. Journal of Environmental Studies. 53, 62-55.

Liu, CW., Lin, K.H. and Kuo, Y.M., 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment. 313(1), 77-89.

Malakotian, M. and Karami, A., 2004. Chemical quality change of the underground water resources if Bam and Bervat 1997-2004. Medical Journal of Hormozgan. 8 (2), 109-116.

Matti, C., Pauling, A., Kuttel, M. and Wanner, H., 2009. Winter precipitation trends for two selected European region over the last 500 years and their possible dynamical background. Theoretical Applied Climatology. 95, 9- 26.

Mosaeedi. A. and Kohestani, N., 2010. The trend analysis of Golestan river discharge using parametric and nonparametric methods. In Proceedings 4th regional conference on climate change, 21th-22 th December, Tehran, Iran.

Panda, D.K., Mishra, A., Jena, S.K., James, B.K. and Kumar, A., 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. Journal Of Hydrology. 343(3), 140-53.

Partal, T. and Kahya, E., 2006. Trend analysis in

Archive of SID
www.SID.ir

Turkish precipitation data. Hydrological Processes. 20(9), 2011-26.

Rahmani, A. and Shokohi, R., 2007. Evaluation of groundwater quality in Hamedan-Bahar plain. In Proceedings 10th National Congress On Environmental Health, 30th Octobr-1st November, Hamedan, Iran.

Sen, PK. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal Of The American Statistical Association. 63(324), 1379-89.

Wahlin, K. and Grimvall, A., 2010. Roadmap for assessing regional trends in groundwater quality. Environmental Monitoring and Assessment. 165 (1-4), 217-31.

Xu, ZX., Takeuchi, K. and Ishidaira, H., 2003. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. Journal Of Hydrology. 279(1), 144-150.

Yenilmez, F., Keskin, F. and Aksoy, A., 2011. Water quality trend analysis in Eymir Lake, Ankara. Physics And Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 36 (5), 135-40.

Yidana, S.M., Banoeng-Yakubo, B. and Akabzaa, TM., 2010. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana. Journal Of African Earth Sciences. 58(2), 220-34.

Archive of SID

www.SID.ir

Environmental Sciences Vol.15 / No.3 / Autumn 2017

19-38

Determining of trend variation in quality parameters of Shabestar Plain underground water

Mehdi Panahi,[*] Farhad Misaqi and Farid Ghanbari

Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2016.06.04 **Accepted:** 2017.10.14

Panahi, M., Misaqi, F. and Qanbari, F., 2017. Determining of Trend Variation in Quality Parameters of Shabestar Plain Underground Water. Environmental Sciences. 15(3): 19-38**.**

Introduction: Groundwater has long been the most relied upon water source for human beings and used in the agricultural and drinking sectors. In order to be aware of the condition of water and its optimized management, it is necessary to examine carefully groundwater level fluctuations and groundwater quality that are influenced by different factors. While carefully monitoring the fluctuations and quality of groundwater, we can realize reliable planning in water supply and source management. Therefore, this study aims to determine the trend of changes in the quality parameters of the groundwater of Shabestar plain in order to understand the quality of the groundwater and to specify its application.

Material and methods: In this study, in order to understand the quality of Shabestar plain's groundwater and to specify its application, the chemical results of 15 qualitative variables of groundwater samples belonging to 13 stations located in the study area during the years 1993-1999 were compared while non-parametric Mann-Kendall test. The effect of the first-order autocorrelation was then eliminated from the data series. Slope of the trend line was calculated by the age method. The qualitative parameters in this study are total anions, total cations, EC, SAR, CL--, $\boldsymbol{Hco_3^-}$, Ca2+, TH, Ph, TDS, $\boldsymbol{SO_4^{2-}}$, Na%, Na+, Mg2+ and K+ which are measured two times every year.

Results and discussion: The results show that the time series related to qualitative variables has an ascending trend in most of the stations (except Ali-shah station, Sefid-kamar station and the low water months of Shabestar plain). They show a positively significant trend at a 5% level with 36 series (18%) in months of a high water level and with 17 series (9%) in months of low levels of water. Furthermore, the Ali-shah and Sefid-kamar stations have the highest rank for the highest negative trend in two months with high and low levels of water. The comparison of stations suggests that the quality of Shabestar plain's groundwater is in a

[*] Corresponding Author. *E-mail Address*: Panahi40@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

critical condition in the southern part of the plain. Generally, we can conclude that the quality of groundwater in the study area has decreased over time. The results achieved from investigating the values of time series correlation coefficients of qualitative variables with a normal annual precipitation in the period (1993-1999) show that none of the qualitative variables has a special significance at the 5% level with the amount of annual precipitation. The overall result of this section suggests the lack of relationship between annual precipitation and qualitative variables, while the groundwater level has almost steadily dropped in terms of quality variables during common statistical years (1994-2002). Also, climatic variables such as rainfall, temperature and evaporation were not identified as factors in changing the qualitative characteristics of groundwater in Shabestar plain and we have come to the conclusion that adverse changes in these were influenced by human factors.

Conclusions: According to results achieved we can say that, if the current condition continues, it is not possible to use groundwater sources in Shabestar plain steadily. Water quality will be negatively affected by the lack of treatment of urban and industrial wastewater, the release of agricultural wastes into the plain, its adjacency to Urumia Lake, and the development of a salt marsh.

Keywords: Analysis of trends, Mann Kendall test, Groundwater quality, Shabestar plain.

Archive of SID

www.SID.ir