تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت شبستر- صوفیان

یعقوب دین پژوه[1*]، احمد فاخری فرد[2]، محمد علی حسن پور اقدام[3] و وحیده بهشتی وایقان[4]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، dinpashoh@yahoo.com

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- کارشناس ارشد سازمان مدیریت منابع آب، استان آذربایجان شرقی

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۷

چکیده

آگاهی از تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب و خاک هر منطقه نقش بسزائی دارد. در این مطالعه روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان با استفاده از اطلاعات ۱۸ حلقه چاه عمیق و چهار رشته قنات در دوره آماری۹۰ -۱۳۷۷ تحلیل شد. برای این کار از آزمون ناپارامتری مان-کندال استفاده شد. قبل از انجام آزمون، اثر ضریب خودهمبستگی معنی‌دار مرتبه اول از سری داده‌ها حذف گردید. تعداد سیزده متغیر هیدروژئوشیمیایی مورد بررسی شامل مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها، pH، EC، SO_4^{2-} درصد Na، Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، TDS، SAR، Cl^- و HCO_3^- بود که در دو دوره پرآب و کم‌آب اندازه‌گیری می‌شوند. برای هر سری زمانی شیب خط روند نیز با استفاده از روش تخمین‌گر سن به دست آمد. نقاط شکست آمار با روش پتیت مشخص شد. نتایج نشان داد که در غالب ایستگاه‌های مربوط به چاه عمیق، متغیرهای کیفی روند افزایشی دارند. در مورد قنات ها غالب متغیر ها روند کاهشی معنی‌دار و در برخی موارد روند افزایشی (فاقد معنی دار) مشاهده شد. در دوره پرآب، ۲۱ درصد ایستگاه‌ها و در دوره کم‌آب، ۲۲ درصد ایستگاه ها در بیشتر از نیمی از متغیرها روند افزایشی معنی‌دار را تجربه نمودند. نتایج آزمون شیب خط روند نیز نشان داد که در دوره پرآب کیفیت آب زیرزمینی رو به بهبود و در دوره کم‌آب رو به نزول است. روند افزایشی غلظت عناصر شیمیایی در هر دو دوره در حاشیه جنوبی دشت (که مشرف به دریاچه ارومیه است) مشاهده شد. بیشترین شیب خط روند در مورد شوری آب متعلق به چاه عمیق شندآباد (فرحناک) و معادل ٤۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بود. از کل سری‌های زمانی مربوط به کیفیت آب، حدود ٦۳ درصد آنها دارای روند معنی‌دار (در جهت نامطلوب) داشتند.

کلیدواژه‌ها: روند، کیفیت آب زیرزمینی، دشت شبستر- صوفیان، مان- کندال، تخمین گر سن.

Trend Analysis of Groundwater Quality of Shabestar- Soofian Plain

Y. Dinpasho[1*], A. Fakhari Fard[2], M. A. Hassanpoor[3] and V. Beheshtee Vayghan [4]

1-* Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

3- Water Resources Management Organization East-Azarbayjan, Iran

4- MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

Received: 19 November 2012 Accepted: 27 April 2014

Abstract

Understanding the changes in groundwater quality has an important role on the planning and sustainable management of water and soil resources in any region. In this study, trends of groundwater quality of Shabestar – Soofian plain using the information of the 18 deep wells and four Qanats were analyzed during 1998– 2011. For this purpose, the non – parametric Mann – Kendall method were used. Before conducting

the MK test, the effect of significant lag – 1 serial correlation was removed from the data set. Hydro - geochemical variables that analyzed were the total Anions, total Cations, pH, EC,SO_4^{2-},Na%, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, TDS, SAR, Cl^- and HCO_3^- which were measured twice in a year, wet and dry periods. The magnitudes of trends were computed using the Sen's estimator method. Change points identified using the Pettitt test. Results showed that in most of the Qanats many variables showed decreasing trends and some of them showed increasing (but insignificant) trends. In the wet period, 21 percent of the stations and in the dry period, 22 percent of the stations experienced significant increasing trend in more than half of the variables. Results of trend line slope showed that in wet period groundwater quality is going to be improving but it is not true in dry period. Increasing trends observed in both periods in the southern plain overlooking the Urmia Lake. The steepest trend line slope belonged to the Shendabad (Farahnak) station, which was about 400 µS/cm. Among the whole of the time series about 63 percent of them experienced significant trends (in unsuitable direction).

Keywords: Trend, Groundwater quality, Shabetar- Soofian plain, Mann – Kendall, Sen's estimator.

مقدمه

بررسی روند تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی در هر منطقه، از نقطه‌نظر مدیریت منابع آب آن منطقه، حائز اهمیت است. تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی نیز یکی از مسائل مهم و تأثیرگذار در تصمیم‌گیری‌های مسائل مدیریت منابع آب، بهداشت و زمین‌شناسی هر منطقه است. تغییرات شدید در کیفیت آب زیرزمینی هر منطقه احتمالاً بیانگر تغییرات تراز آب زیرزمینی، دفع نامناسب پساب‌ها و فاضلاب‌های صنعتی و شهری و یا نفوذ آب شور از نواحی دیگر به این منطقه باشد. برای بررسی روند متغیرهای هیدروژئولوژیکی روش‌های متعددی وجود دارد ولی در این بین روش‌های ناپارامتری به دلیل امکان استفاده از سری داده‌های با طول کم و توزیع آماری غیرنرمال و/یا احتمالاً دارای داده‌های گم‌شده مناسب‌تر می‌باشند. البته محدودیت استفاده از این روش‌ها عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است.

فرانس و هلسل[1] (۲۰۰۵) غلظت نیترات آب زیرزمینی را در ۱۷ زیرناحیه محدوده مدیریت آب زیرزمینی حوضه کلمبیا در سه شهر واشنگتن شرقی با استفاده از آزمون فریدمن و آزمون کندال مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان برای این کار از داده‌های ۴۷۴ چاه در فاصله زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روند معنی‌دار در غلظت نیترات نمونه‌ها وجود نداشت اما برای چاه‌هایی که غلظت نیترات در آن‌ها بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود، روند معنی‌دار رو به پائین ۰/۴- میلی‌گرم در لیتر در سال برای کل محدوده مطالعاتی، ۰/۳۵- میلی‌گرم در لیتر در سال برای شهر آدامز و ۰/۴۶- میلی‌گرم در لیتر در سال برای شهر فرانکلین در طول سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ مشاهده شد. البته تحلیل روند جزئی‌تر اما طولانی‌مدت‌تر داده‌های غلظت نیترات ۵۱ چاه در شهر فرانکلین یک روند معنی‌دار آماری رو به بالای ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر در سال در طول سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ نشان داد. تایفر و همکاران[2] (۲۰۰۸) روند تغیرات کیفیت آب‌زیرزمینی و خواص هیدروشیمیایی، تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی، روابط بین پارامترهای کیفی و منابع آلودگی ناحیه تربالی[3] ازمیر ترکیه را بررسی نمودند (۲). ایشان از پارامترهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و آلی ۱۰ نقطه نمونه برداری مختلف در فاصله زمانی اکتبر ۲۰۰۱ تا ژوئیه ۲۰۰۲ در مقیاس ماهانه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی دارای بی‌کربنات بوده و قلیائی است. غلظت‌های نیتریت و یون آمونیوم در فصل تابستان به دلیل استفاده بی رویه از کودهای دارای ترکیبات نیتروژن‌دار بالاتر از حد استاندارد آب شرب بودند. در زمینه مواد آلی نیز، به دلیل ورود فاضلاب‌های صنعتی به آب‌های زیرزمینی میزان غلظت اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی یا COD، بالاتر از حد مجاز استاندارد در این فصل از سال بود. هوبن و همکاران[4] (۲۰۰۹) کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبریز کابل واقع در افغانستان را در دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۰۱ بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که واکنش آب زیرزمینی با سنگ‌های کربناته و نفوذ اسید ناشی از فرآیندهای شیمیایی موجب افزایش سختی آب زیرزمینی در این ناحیه شده است. کتاتا و همکاران[5] (۲۰۱۱) کیفیت آب زیرزمینی آبخوان عمیق گابس[6] واقع در جنوب شرق تونس و عوامل مؤثر بر آن را بررسی نمودند. ایشان متغیرهای کیفی آب زیرزمینی را با استفاده از تحلیل جامع متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های آماری ارزیابی نمودند. ایشان از نمونه‌های آب نه چاه گمانه به عنوان نماینده آبخوان در طول دوره ۲۰۰۳– ۱۹۹۵ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در طی دوره موردنظر شوری و غلظت عناصر اصلی در طول زمان تغییر کمی نموده و روند کاهشی در جهت جریان آب زیرزمینی است. نتایج نشان داد که آب‌ها غالباً دارای عناصر SO_4^{2-}، Na^+، Ca^{2+} و Cl^- هستند که غلظت آن‌ها به زمین‌شناسی آبخوان و نحوه بهره‌برداری از آن وابسته است. میزان غلظت فلوراید بیش از حد مجاز سازمان

1- Frans and Helsel
2-Tayfur *et al.*
3-Torbali.
4-Houben *et al.*
5- Ketata *et al.*
6- Gabes

بهداشت جهانی تشخیص داده شد. زکریا و همکاران[1] (۲۰۱۲) خصوصیات هیدروشیمیایی آب‌زیرزمینی را در بخش‌هایی از حوضه آینسو[2] واقع در غنا بررسی نمودند. نتایج تحلیل کیفیت آب زیرزمینی نشان داد که هدایت الکتریکی حدود ۸۰ درصد نمونه‌ها در محدوده استاندارد سازمان بهداشت جهانی بوده و در نتیجه آب زیرزمینی قابل آشامیدن تشخیص داده شد. ایشان نتیجه گرفتند که غلظت بالای یون‌های SO_4^{2-}، Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، K^+ و Cl^- در آب زیرزمینی احتمالاً به خاطر نفوذ آب دریا به آبخوان و فساد مواد آلی باشد.

در ایران نیز مطالعاتی در ارتباط با تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف کشور انجام شده است (حیدری و رضایی، ۱۳۹۰؛ دانشور وثوقی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۲). اغلب این مطالعات تا حدود زیادی از کاهش کیفیت آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف ایران خبر می‌دهند. حیدری و رضائی (۱۳۹۰) عوامل مختلف تأثیرگذار بر کیفیت آب‌های زیرزمینی را با استفاده از شناخت لایه‌های زمین‌شناسی و مطالعات هیدروشیمی تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که عوامل مؤثر شامل گنبد نمکی، آب شور دریا و تبخیر می باشد. بیشترین عامل تأثیرگذار بر کیفیت و شوری آب منطقه ورود آب دریا به منابع آب‌های زیرزمینی، برداشت بیش از حد از این منابع گزارش شده است. دانشوروثوقی و همکاران (۲۰۱۳) روند تغییرات متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل واقع در شمال غرب ایران را با استفاده از روش ناپارامتری مان– کندال اصلاح شده و تخمین‌گر شیب سن بررسی نمودند. ایشان از داده‌های ۱۵ متغیر کیفی ۳۲ ایستگاه پیزومتری در طول دوره آماری ۲۰۰۹ – ۱۹۸۸ استفاده نمودند. ایشان مشاهده نمودند که روندهای شدیداً مثبتی در غلظت‌های عناصر کیفی آب زیرزمینی در کل دشت وجود دارد. نامبردگان این افزایش غلظت‌های عناصر کیفی را به فعالیت‌های انسانی نسبت دادند. با توجه به بررسی پیشینه پژوهش، به نظر می رسد که تاکنون مطالعه جامعی در مورد تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت شبستر– صوفیان انجام نشده است. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر– صوفیان با روش ناپارامتری مان– کندال و تخمین شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت مذکور با روش تخمین‌گر سن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

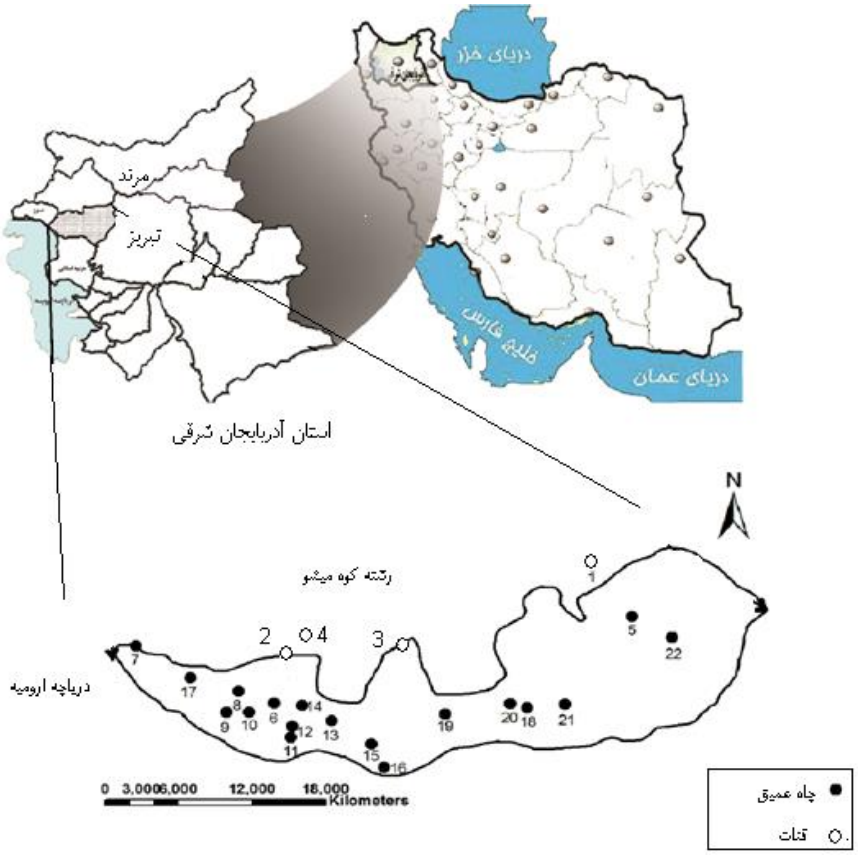
دشت شبستر– صوفیان در استان آذربایجان‌شرقی و در مختصات جغرافیایی '26 °45 تا '05 °46 طول شرقی و °38 ' 05 تا N '23 °38 عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). این محدوده بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد که از شمال به کوه‌های میشو، از شرق به محدوده شهر تبریز، از غرب به منطقه تسوج و از جنوب به دریاچه ارومیه و شوره‌زارهای شرقی آن محدود می‌گردد. وسعت کل محدوده مطالعاتی برابر ۱۳۱۴ کیلومترمربع می‌باشد که حدود ۸۱۲/۷ کیلومترمربع آن را مناطق کوهستانی و حدود ۵۰۱/۳ کیلومترمربع آن را دشت تشکیل می‌دهد. اقلیم حاکم بر منطقه بر اساس روش طبقه بندی دومارتن از نوع نیمه خشک و در روش طبقه بندی آمبرژه، از نوع خشک سرد می باشد. میانگین دمای سالانه ایستگاه شرفخانه ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۲۳۰ میلی‌متر است.

برخی از مشخصات هیدروژئولوژی منطقه به شرح زیر است: شالوده آبخوان از آبرفت‌هایی تشکیل شده است که ناشی از رسوبگذاری رودخانه ها و مسیل‌های متعددی هستند که از دامنه های جنوبی کوه‌های میشو سرچشمه گرفته و به طرف دشت و در نهایت دریاچه ارومیه جاری می‌شوند. ضخامت این رسوبات در نزدیکی کوه‌ها (حدود ۱۰ متر) و در قسمت‌های میانی دشت زیاد (حدود ۲۷۰ متر) است. افزون بر این، رسوبات در حاشیه کوه‌ها دانه درشت بوده که غالبا از واریزه‌های پای کوهی و مخروط افکنه‌های متعدد در هر مسیل تشکیل می‌شود. در حالی‌که جنس رسوبات در قسمت‌های میانی دشت دانه‌ریز می‌باشد. سنگ مادر این رسوبات در اعماق از جنس رسوبات رسی– سیلتی است که به دوره‌های میوسن و پلیوسن نسبت داده می‌شود. نوع آبخوان در نزدیکی کوه‌ها از نوع سفره آبدار آزاد بوده در حالی‌که در قسمت‌های جنوبی و میانی دشت از نوع تحت فشار می باشد.

داده‌های مورد استفاده

در کل منطقه دشت شبستر– صوفیان تعداد زیادی چاه‌های بهره‌برداری و قنات برای استفاده در مصارف کشاورزی، شرب و صنعت و تعداد محدودی چاه مشاهداتی برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد. آزمایش‌های بررسی کیفیت آب زیرزمینی دو بار در هر سال، یک‌بار در دوره پر آب (معمولا ماه خرداد) که تراز آب زیرزمینی در بالاترین حد خود بوده و یک‌بار در دوره کم آب (در اکثر موارد در ماه مهر) که تراز آب‌زیرزمینی در پایین‌ترین حد خود می‌باشد، انجام می‌گیرد. در این مطالعه داده‌های ۱۳ متغیر شیمیایی در دوره آماری ۹۰–۱۳۷۷ مورد استفاده قرار گرفت. این متغیرها شامل مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، pH (خاصیت اسیدی)، EC (هدایت الکتریکی)، Na^+ (سدیم)، SO_4^{2-} (یون سولفات)، درصد Na (درصد سدیم)، Mg^{2+} (منیزیم)، TDS (کل مواد جامد محلول)، SAR (نسبت جذب سدیم)، Ca^{2+} (کلسیم)، Cl^- (کلر) و HCO_3^- (یون بی‌کربنات) بوده که در ۱۸ حلقه چاه عمیق و چهار رشته قنات توسط سازمان آب استان آذربایجان‌شرقی اندازه‌گیری و در این مطالعه از آنها استفاده شد.

1- Zakaria *et al.*
2- Ayensu



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت شبستر- صوفیان و چاه‌ها و قنات‌های منتخب

توجه: دایره‌ها موقعیت محل‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهند. نام محل با توجه به شماره های روی شکل از جدول (۱) قابل مشاهده است.

روش‌های مورد استفاده

در این مطالعه روند تغییرات سری زمانی کیفیت آب زیرزمینی منابع منتخب موجود در دشت مورد مطالعه با آزمون ناپارامتری مان- کندال مورد بررسی قرار گرفت (مان، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵).

آزمون مان-کندال کلاسیک (MK)

برای انجام این آزمون ابتدا آماره S با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_j - x_i) \qquad (۱)$$

که در این رابطه n: تعداد داده‌های سری و x_j : مقدار داده jام است. sgn(θ): تابع علامت نام دارد که مقدار آن به‌شرح زیر تعیین شد:

$$\text{sgn}(\theta)=\begin{cases} 1 & if \quad \theta > 0 \\ 0 & if \quad \theta = 0 \\ -1 & if \quad \theta < 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

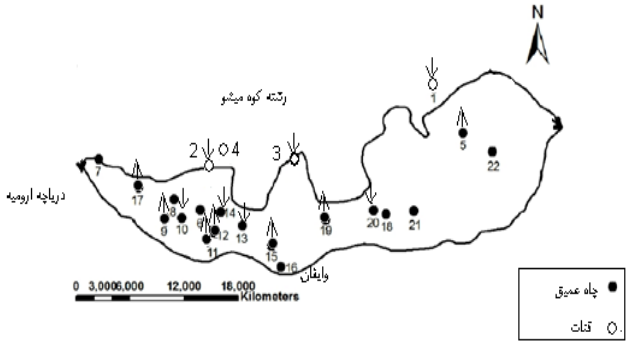
آماره S به ازای $n \geq 8$ دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس زیر است:

$$Var(S)= \frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{n} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \qquad (۳)$$

که در آن، t: تعداد داده‌های یکسان در هر دسته از داده‌های تکراری موجود در سری زمانی داده‌ها است. آماره آزمون MK یا Z از رابطه زیر به دست آمد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases} \qquad (۴)$$

فرض‌صفر (عدم‌وجود روند در سطح معنی‌داری α) زمانی که مقدار قدرمطلق Z محاسبه‌شده کوچکتر از $Z_{1-\alpha/2}$ باشد پذیرفته می شد. در غیر این صورت فرض صفر رد و فرض مخالف (وجود روند در سطح معنی‌داری α) پذیرفته می‌شد.



شکل ۲- نقشه روند تغییرات هدایت الکتریکی آب دشت شبستر- صوفیان

آزمون مان- کندال اصلاح شده (MMK)

ثابت شده است که چنانچه ضریب خودهمبستگی مرتبه اول داده‌ها، r_1، معنی‌دار باشد، استفاده از آزمون مان- کندال کلاسیک نتایج گمراه‌کننده‌ای خواهد داشت، در این گونه موارد لازم است که از آزمون مان- کندال اصلاح شده استفاده شود (کومار و همکاران، ۲۰۰۹). برای انجام این آزمون، ابتدا بایستی با استفاده از روش پیش‌سفید کردن[1] اثر r_1 را از سری داده‌ها حذف نمود (کومار و همکاران، ۲۰۰۹؛ والین و گریموال، ۲۰۰۹). برای این کار ابتدا داده‌های سری زمانی با استفاده از شیب خط روند، β، به داده‌های جدیدی، $x_i^{'}$، تبدیل شد:

$$x_i^{'} = x_i - (\beta * i) \qquad (۵)$$

سپس اثر خودهمبستگی مرتبه اول از سری داده‌ها حذف شد. برای این کار سری جدیدی به‌شرح زیر تشکیل شد:

$$y_i^{'} = x_i^{'} - (r_1 * x_{i-1}^{'}) \qquad (۶)$$

سپس با افزودن دوباره جمله روند، $(\beta * i)$، به سری داده‌های اخیر، سری جدید دیگری به شرح زیر به دست آمد:

$$y_i = y_i^{'} + (\beta * i) \qquad (۷)$$

در نهایت آزمون مان-کندال کلاسیک روی سری داده‌های اخیر اعمال شد. آماره Z محاسبه و معنی‌دار بودن آن در سطوح آماری مذکور مورد آزمون قرار گرفت.

روش تخمین‌گر سن

شیب خط روند، β، شیب روند یکنواخت را در سری داده‌های تاریخی نشان می‌دهد. مقدار شیب خط روند با روش تخمین‌گر Sen و با استفاده از رابطه زیر برآورد شد (سن، ۱۹۶۸ ؛ تیل، ۱۹۵۰):

$$\beta = Median\left(\frac{x_j - x_l}{j-l}\right) \qquad \forall \quad l < j \qquad (۸)$$

که در آن β: برآوردگر شیب خط روند است. مقادیر مثبت و منفی برای β به‌ترتیب نشان‌دهنده شیب صعودی و نزولی خط روند برای سری داده‌ها است.

آزمون (نقطه شکست) پتیت[2]

آزمون پتیت توسط پتیت (۱۹۷۹) ارائه شد. در این آزمون نقطه ای از سری زمانی را که یک شیفت معنی دار (اعم از مثبت یا منفی) در میانگین اتفاق می افتد مشخص و معنی دار بودن آن مورد آزمون قرار می گیرد. در این روش سری داده ها به‌صورت x_i (i=1,2,…,n) نشان داده شد. آنگاه کل سری زمانی به دو زیر سری به‌شرح الف ($x_1, x_2, \ldots, x_t$) و ب ($x_{t+1}, x_{t+2}, \ldots, x_n$) تقسیم شد. آنگاه دو آماره زیر محاسبه شد (هوپ و کایلی، ۱۹۹۹) :

$$V_{t,n} = \sum_{j=1}^{n} sgn(X_t - X_j) \qquad (۹)$$

$$U_{t,n} = U_{t-1,n} + V_{t,n} \quad for \quad t = 2, \ldots, n \qquad (۱۰)$$

$$U_{1,n} = V_{1,n} \qquad (۱۱)$$

بحرانی‌ترین نقطه که ممکن است در بین همه نقاط سری معنی دار باشد، نقطه‌ای است که بیشترین مقدار $U_{t,n}$ را دارا می‌باشد. برای محاسبه سطح معنی‌داری فرض شد:

$$k_t = \max_{1 \le t < n} |U_{t,n}| \qquad (۱۲)$$

1-Pre - whitening

2- Pettitt test

آنگاه مقدار p_{value} نقطه تغییر بشرح زیر حساب شد:

$$p(t) = 1 - Exp(\frac{-6k_t^2}{n^3+n^2}) \quad (۱۳)$$

سطح معنی‌داری برابر با 1-p(t) در نظر گرفته شد. اگر سطح معنی داری کمتر از ۰/۱۰ می شد، فرض صفر مبنی بر معنی دار بودن اختلاف میانگین های سری قبل و بعد از نقطه شکست پذیرفته می شد. در غیر این‌صورت، فرض صفر رد شده و فرض مخالف (یعنی میانگین دو سری قبل و بعد از تغییر اختلاف معنی دارند) پذیرفته می شد. این آزمون برای متغیرهای هدایت الکتریکی، کل املاح محلول خاک و نسبت جذب سدیم (در خصوص همه ایستگاه‌ها) انجام شد.

نتایج و بحث

جدول‌های (۱) و (۲) مقادیر آماره Z مان- کندال ۱۳ متغیر کیفی آب زیرزمینی را در مورد چهار قنات و ۱۸ چاه عمیق دشت شبستر- صوفیان نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، در دوره پرآب ۹۱ سری زمانی (۳۱/۸۲ درصد) و در دوره کم‌آب ۹۰ سری زمانی (۳۱/۴۷ درصد) روند مثبت معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد داشتند. در مقابل ۶۲ سری زمانی (۲۱/۶۸ درصد) در دوره پرآب و ۶۰ سری زمانی (۲۰/۹۸ درصد) در دوره کم‌آب روند منفی معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد تجربه کردند. بیشترین تعداد روند مثبت معنی‌دار در دوره پرآب (تعداد چهارده ایستگاه از مجموع ۲۲ ایستگاه) مربوط به متغیر pH و در دوره کم‌آب نیز (۱۶ ایستگاه) متعلق به همین متغیر بود. در مورد متغیر pH روند منفی مشاهده نشد. بیشترین تعداد روند منفی معنی‌دار در دوره پرآب نیز متعلق به متغیر کیفی HCO_3^- (نه ایستگاه از ۲۲ ایستگاه) و در دوره کم‌آب نیز مربوط به متغیرهای HCO_3^- و مجموع آنیون‌ها و مجموع کاتیون‌ها (۹ ایستگاه) بود. ایستگاه‌های نعمت‌اله، کوشک، شندآباد (فرحناک)، وایقان (بایرامزاده)، وایقان (قنبرپور)، علی‌بیگلو و دیزج‌خلیل در بیش از نصف متغیرها روند مثبت معنی‌داری را نشان دادند که در حالت کلی، حاکی از کیفیت نامناسب آب نسبت به سال‌های قبل است. ایستگاه‌های سفیدکمر، خامنه، شنگل‌آباد، علیشاه (آب و فاضلاب) و علیشاه (امیری) در بیش از نیمی از متغیرهای کیفی روند منفی معنی‌دار را تجربه نمودند که احتمالاً نشان‌دهنده بهبود کیفیت آب زیرزمینی در اطراف این نواحی است. چاه شندآباد (امیری) دارای کمترین متغیر معنی‌دار (۲ روند مثبت معنی‌دار) در دوره پرآب بوده و در دوره کم‌آب چاه قم‌تپه (تعاونی ۱۳۷) بدون هیچ روند معنی‌داری بود. متغیر درصد Na در هر دو دوره پرآب و کم‌آب کمترین روند معنی‌دار (۱۶ و ۱۹ ایستگاه بدون روند معنی‌دار) را داشت. متغیر SAR نیز در این ماه‌ها تعداد روند معنی‌دار کمی (۱۳ ایستگاه در دوره پرآب و ۱۹ ایستگاه در دوره کم‌آب) را تجربه نمود.

شکل (۲) نقشه منطقه را که در آن روندهای مربوط به هدایت الکتریکی آب مثبت می‌باشد با علامت پیکان رو به بالا و برعکس روندهای منفی رو به پایین نشان می‌دهد. بطوریکه از این شکل می توان استنباط کرد همه قنات‌های موجود در پای کوه میشو دارای روند منفی معنی‌دار هستند. درحالی‌که اکثر چاه‌های موجود که از نوع عمیق می‌باشند روند صعودی معنی داری را برای متغیر هدایت الکتریکی نشان می‌دهند. از طرفی هرچه از کوه به سمت دریاچه ارومیه نزدیک می‌شویم روند رو به بالای شوری آب دیده می‌شود. شاید بتوان نتیجه گرفت که نفوذ آب شور دریا به این چاه‌ها باعث شور شدن آب آنها شده است.

در حالت کلی نتایج به‌دست آمده، افت کیفیت آب زیرزمینی را در خیلی از چاه‌های عمیق دشت شبستر- صوفیان در طول دوره آماری مورد مطالعه اثبات می‌کند. قسمت‌های مرکزی و غربی دشت در تمام طول سال وضعیت نامطلوب‌تری را از لحاظ کیفیت آب زیرزمینی نسبت به دیگر مناطق تجربه کرده‌اند. مشابه با دشت شبستر- صوفیان، اغلب مطالعات دیگر در زمینه بررسی کیفیت آب‌زیرزمینی در ایران و جهان نیز نتایج مشابهی حاکی از افت کیفیت آب زیرزمینی ارائه نموده‌اند. البته مقایسه وضعیت آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان با دیگر دشت‌ها ممکن است منطقی و آسان نباشد با این حال چند نمونه در اینجا ارائه می‌شود. جمشیدزاده و میرباقری (۲۰۱۰) گزارش نمود که اغلب نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کاشان در مقایسه با استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی (WHO) قابل آشامیدن نیستند. دانشور وثوقی و همکاران (۲۰۱۳) روند افزایشی غلظت تمام متغیرهای کیفی آب زیرزمینی را در دشت اردبیل گزارش نمودند. کرمی (۱۳۸۸) نیز در مورد آب زیرزمینی دشت سراب افزایش شوری را گزارش نمود. ملکوتیان و کرمی (۱۳۸۳) روند افزایشی را برای ۱۲ متغیر کیفی آب زیرزمینی دشت بم و بروات برای دوره آماری ۸۳-۱۳۷۶ گزارش نمودند.

جدول‌های (۳) و (۴) شیب خط روند متغیرهای کیفی را برای ایستگاه های منتخب نشان می‌دهد .به‌طوری که از این جدول‌ها می‌توان استنباط کرد، میانه شیب خط روند در دوره پرآب در مورد سه متغیر کیفی pH، Cl^- و Mg^{2+} مثبت بوده و دو متغیر Na^+ و SAR شیب خط روندی معادل صفر دارند. ولی در دوره کم آب به جز متغیر های کیفی HCO_3^- ، TDS، SO_4^{2-} و Ca^{2+}، میانه شیب خط روند بقیه متغیرها مثبت است، البته در دوره کم آب نیز شیب خط روند متغیر SAR صفر است. بیشترین شیب خط روند مثبت در دوره پرآب متعلق به ایستگاه های نعمت‌الله، شندآباد (امیری)، شندآباد (فرحناک)، وایقان (بایرامزاده)، علی‌بیگلو (جهاد کشاورزی) و دیزج خلیل بوده و در دوره کم آب ایستگاه های نعمت‌الله، هریس، شندآباد (امیری)، شندآباد (فرحناک)، کوشک، وایقان (بایرامزاده)، وایقان (قنبرپور)، علی‌بیگلو (جهاد کشاورزی) و دیزج‌خلیل بیشترین شیب روند مثبت را تجربه کردند ولی در مورد روند منفی در دوره پرآب ایستگاه‌های سفیدکمر، خامنه، کوزه‌کنان، کافی‌الملک، شنگل آباد، علی‌شاه (امیری) و قم‌تپه و در دوره کم

آب نیز ایستگاه‌های سفیدکمر، شندآباد (قره‌کهریز)، خامنه، یوسف‌آباد، کافی‌الملک، شنگل‌آباد، علیشاه (آب و فاضلاب) بیشترین شیب خط روند منفی را نشان دادند. شدیدترین شیب خط روند برای سری زمانی هدایت الکتریکی معادل ۴۸۶/۱ (میکروزیمنس بر سانتی متر در سال) بود که در ایستگاه شندآباد (فرحناک) واقع در جنوب غربی دشت شبستر– صوفیان در دوره پرآب مشاهده شد. بیشترین شیب خط روند در خصوص متغیر کل املاح محلول با مقداری معادل ۳۱۳/۸ در همین ایستگاه و در دوره پرآب دیده شد. مردم شندآباد بیشتر به فعالیت های کشاورزی می‌پردازند و احتمالا پساب‌های کشاورزی و مواد نفوذ یافته از کودها و سموم کشاورزی آبهای زیرزمینی این منطقه را آلوده نموده‌اند. از لحاظ متغیر نسبت جذب سدیم ایستگاه دیزج‌خلیل (سلطانی) در دوره کم‌آب بیشترین شیب خط روند (۰/۵۰ واحد در سال) تجربه نمود. باتوجه به شیب‌های خط روند تغییرات متغیرهای کیفی آب زیرزمینی مشاهده می‌شود که میانه شیب‌ها در دوره پرآب اکثراً منفی بوده ولی در دوره کم‌آب اغلب مثبت است، که این نتیجه نشان می‌دهد کیفیت آب زیرزمینی در دوره پرآب رو به بهبود بوده و در دوره کم‌آب روند نزولی دارد. این نتایج را می‌توان چنین تفسیر نمود که با توجه به آبیاری باغات و مزارع و نزولات جوی قبل از اندازه‌گیری متغیرهای کیفی در دوره پرآب، سطح آب زیرزمینی بالاتر و به تبع آن نیز غلظت متغیرهای کیفی در حد پائین بود. در دوره کم‌آب تغذیه آب زیرزمینی کاهش یافته و بارش به ندرت اتفاق می‌افتد سطح تراز آب زیرزمینی به علت پمپاژ بی‌رویه پایین‌تر آمده و غلظت این متغیرها افزایش می‌یابد. البته متغیر pH در هر دو دوره شیب خط روند مثبتی را تجربه نموده که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب زیرزمینی (افزایش قلیائیت آب) در کل طول دوره آماری است.

جدول (۵) مشخصات نقطه شکست آمار را در مورد سری‌های زمانی هدایت الکتریکی، کل املاح محلول و نسبت جذب سدیم چاه های عمیق که به روش پتیت به‌دست آمده است نشان می‌دهد. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد درخصوص قنات‌های منطقه (ردیف‌های ۱ تا ۴ جدول) دو قنات اول در اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ تغییر در مقدار متغیرهای هدایت الکتریکی و کل املاح محلول داشته‌اند اما در مورد متغیر نسبت جذب سدیم هیچ قناتی تغییر پله‌ای یا جهشی در میانگین دو طرف سری زمانی نشان نداد. در مورد چاه‌های عمیق (ردیف‌های ۵ تا ۲۲ جدول) می‌توان نتیجه گرفت که اکثر چاههای عمیق تغییر پله ای یا شیفت را تجربه کرده‌اند ولیکن تغییرات برخی از آنها معنی‌دار و برخی دیگر غیرمعنی دار بود. در مورد چاه‌هایی که تغییر معنی‌دار داشتند، همه تغییرات موجود از اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ اتفاق افتاده است.

اگر بتوان وجود لایه های نمکی را در لایه‌های میانی سفره آبدار تشخیص داد در این صورت می‌توان در هنگام تجهیز و جدارسازی چاه، آن بخش از چاه که در ارتباط با لایه‌های نمکی و گچی است با لوله های غیرمشبک جدارسازی نمود در این صورت امکان نفوذ آب از لایه های مذکور کاهش یافته و افت کیفیت آب به حداقل می‌رسد. شاید بتوان نتیجه گرفت که جدارسازی غیرعلمی در برخی چاه‌ها باعث شده که آب برخی از چاه‌ها نامطلوب باشد و در کنار چاههای با آب مطلوب چاه‌های دیگری با آب شور ظاهر شوند. البته نتیجه گیری در این زمینه نیازمند مطالعات دقیق‌تر و گسترده‌تر می‌باشد. عامل دیگر می‌تواند وجود دو نوع آبخوان با مشخصات مختلف در دشت باشد. اصغری مقدم و محمدی (۱۳۸۲) علت وجود چاه‌های با آب شور را در کنار چاه‌های با آب شیرین به وجود دو آبخوان متفاوت در دشت نسبت داده اند. به‌نظر می‌رسد شوری آب برخی از چاه‌های عمیق ناشی از پیشروی جبهه آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان باشد.

برای درک بهتر تغییرات شیب متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در دشت شبستر– صوفیان نمودارهای باکس‌ویسکر در خصوص تمام متغیرهای کیفی در دوره پرآب و کم‌آب رسم شد. شکل (۳) نمونه‌ای از نمودار مذکور را در مورد چهار متغیر کیفی آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، نسبت جذب سدیم و کل املاح محلول) دشت شبستر– صوفیان در دو دوره پرآب و کم‌آب نشان می‌دهد. در این نمودار، پاره‌خط موجود در داخل مستطیل‌ها نشان‌دهنده میانه شیب خط روند در بین تمام ایستگاه‌ها است. قسمت پایین هر مستطیل نشان دهنده صدک ۲۵ و قسمت بالای آن نشان دهنده صدک ۷۵ است. انتهای خطوط قائم در قسمت پایین حداقل شیب خط روند مشاهده شده در بین ایستگاه‌ها و در قسمت فوقانی آن حداکثر شیب نظیر را نشان می‌دهد. چون خط وسط مستطیل‌ها در خصوص متغیرهای EC، pH، HCO_3^-، SO_4^{2-}، Na^+، درصد Na، مجموع آنیون‌ها و مجموع کاتیون‌ها در دوره کم‌آب در مقایسه با میانه نظیر در دوره پرآب در تراز نسبتاً بالاتری قرار گرفته‌اند، بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب از لحاظ متغیرهای مذکور در دوره کم‌آب پایین‌تر از دوره پرآب است. با این حال میانه متغیرهای مربوط به کل املاح محلول و منیزیم در دوره پرآب بالاتر از دوره کم‌آب بود. بنابراین، کیفیت آب از نظر متغیرهای مذکور در دوره کم‌آب بهتر از دوره پرآب تشخیص داده شد. در مورد متغیرهای مجموع کاتیون‌ها، EC، Ca^{2+}، Cl^-، HCO_3^-، TDS و SO_4^{2-} تفاوت بیشینه و کمینه شیب خط روند در دوره کم‌آب کمتر از مقدار نظیر در دوره پرآب بوده ولی این اختلاف در مورد متغیرهای نسبت جذب سدیم و درصد سدیم در دوره پرآب کمتر از دوره کم‌آب است. تمام مقادیر بیشینه، کمینه و میانه شیب خط روند متغیرهای pH و Na^+ نیز در دوره کم‌آب بالاتر از مقادیر نظیر در دوره پرآب است. در حالت کلی کیفیت آب در دوره کم‌آب نامطلوب‌تر از دوره پرآب است.

جدول ۱- مقادیر آماره Z مان- کندال یازده ایستگاه اول پس از حذف اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول معنی‌دار برای ۱۳ متغیر کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان

شماره ایستگاه	محل نمونه‌برداری	نوع منبع	دوره	Mg^{2+}	Na%	Na^{+}	TDS	SAR	Cl^{-}	مجموع آنیون‌ها	مجموع کاتیون‌ها	EC	SO$_4^{2-}$	HCO$_3^{-}$	Ca^{2+}	pH
۱	سفیدکمر(کت چشمه)	قنات	پرآب	-0.88	-1.37	-3.07	-2.41	-2.22	-2.72	-3.03	-2.96	-2.99	-1.26	-1.37	-1.37	2.76
			کم آب	-1.87	0.77	-0.16	-1.64	-0.05	-2.08	-2.36	-2.25	-2.58	-1.60	-2.09	-0.66	3.41
۲	شندآباد (قره کهریز)	قنات	پرآب	2.10	-1.59	-1.54	0.11	-1.26	-0.90	0.00	-0.77	-0.55	-2.53	-0.60	-1.65	2.99
			کم آب	1.89	-0.11	-1.37	-1.37	-0.77	-1.28	-1.49	-1.97	-2.03	-2.03	-0.33	-1.53	2.15
۳	شبستر (نوکاهی)	قنات	پرآب	0.99	1.97	0.93	-0.05	1.59	0.00	-1.09	-0.93	-1.09	2.21	-0.72	-1.59	2.88
			کم آب	-0.60	1.09	0.50	-1.64	0.66	-0.51	-2.20	-2.34	-2.52	-0.93	-2.14	-2.52	3.76
۴	خامنه (چنار)	قنات	پرآب	-1.16	0.55	-2.51	-2.63	-1.85	-0.17	-2.85	-2.74	-3.34	-1.68	-1.71	-1.83	2.33
			کم آب	-0.83	-0.38	-0.95	-1.09	-0.58	-0.87	-1.21	-1.21	-1.20	-1.32	-1.76	-2.06	3.27
۵	نعمت اله (ذکایی)	چاه عمیق	پرآب	4.33	-3.84	3.23	3.11	0.71	3.84	3.72	3.72	2.96	0.99	-1.92	3.35	1.50
			کم آب	3.35	-1.42	2.87	3.35	1.32	3.97	3.48	3.48	2.96	2.74	-1.65	2.85	2.04
۶	کوشک (افشار)	چاه عمیق	پرآب	3.06	-2.41	-1.21	2.52	-1.75	2.29	2.19	2.36	2.41	-3.09	3.06	1.59	1.12
			کم آب	1.96	-0.22	1.95	2.63	0.39	1.66	2.08	2.38	0.98	-1.16	2.20	1.92	0.77
۷	هریس (علیپور)	چاه عمیق	پرآب	3.42	-0.11	1.92	1.54	0.00	1.26	2.03	1.9	1.54	-0.55	0.28	-1.59	1.67
			کم آب	1.75	0.77	2.99	2.50	1.64	1.15	2.80	2.85	1.59	0.33	1.54	-1.37	1.10
۸	کوزه کنان (طباطبایی)	چاه عمیق	پرآب	-2.20	0.33	-0.11	-1.20	0.00	-0.93	-1.64	-1.20	-1.31	-0.66	-1.59	-2.03	1.78
			کم آب	-0.88	0.91	0.55	-0.55	0.67	0.22	-0.16	-0.33	-0.66	-0.55	-0.60	-1.75	2.69
۹	یوسف‌آباد(جهاد سازندگی)	چاه عمیق	پرآب	3.03	-1.04	-0.34	2.41	-0.45	3.30	2.38	1.99	2.38	-1.35	-0.23	0.06	1.11
			کم آب	0.83	0.88	1.07	2.08	0.00	3.33	1.71	1.83	1.86	-2.02	-1.13	-0.56	2.99
۱۰	کافی‌الملک (هشدار)	چاه عمیق	پرآب	1.21	-2.36	-1.81	-1.20	-1.82	-0.60	-1.10	-0.98	-1.38	-0.27	-3.23	-1.75	1.77
			کم آب	-1.37	-1.31	-2.80	-3.48	-2.58	-3.09	-3.40	-3.17	-3.48	-1.04	-2.87	-3.30	2.93
۱۱	شندآباد (امیری)	چاه عمیق	پرآب	1.31	0.88	1.97	1.31	2.58	0.33	1.20	1.20	1.20	-0.49	0.16	0.44	1.24
			کم آب	1.97	-0.98	2.25	2.52	0.71	1.65	2.19	2.19	2.52	1.86	-0.77	1.86	1.87

توجه: ارقام مقادیر آماره Z مان‌کندال است. ارقام پررنگ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد یا کمتر است. دوره پرآب (کم‌آب) به دوره ای اطلاق می‌شود که آب زیرزمینی در بالاترین (پایین‌ترین) سطح تراز خود قرار دارد. در این جدول pH: اسیدیته آب زیرزمینی، EC: هدایت الکتریکی، SAR : نسبت جذب سدیم و TDS :کل مواد محلول در آب است.

جدول ۲- مقادیر آماره Z مان-کندال یازده ایستگاه دوم پس از حذف اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول معنی‌دار برای ۱۳ متغیر کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان.

شماره ایستگاه	محل نمونه‌برداری	نوع منبع	دوره	Mg^{2+}	Na%	Na^{+}	TDS	SAR	Cl^{-}	مجموع آنیون‌ها	مجموع کاتیون‌ها	EC	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	Ca^{2+}	pH
۱۲	شندآباد (فرحناک)	چاه عمیق	پرآب	3.56	-0.11	2.62	3.60	2.19	3.60	3.48	3.48	3.48	2.47	-2.58	3.72	0.46
			کم آب	2.87	0.88	3.35	2.99	2.74	3.18	3.23	3.11	3.23	2.99	-0.33	2.87	0.78
۱۳	شنگل‌آباد (محمدیاری)	چاه عمیق	پرآب	-1.92	0.49	-3.50	-2.85	-1.81	-2.85	-2.74	-2.96	-2.96	-1.16	0.11	-2.91	2.10
			کم آب	-1.81	1.86	-1.98	-1.59	-0.49	-2.14	-1.53	-1.75	-1.70	-0.05	0.93	-2.91	3.00
۱۴	شندآباد (بیگدلی)	چاه عمیق	پرآب	0.38	2.42	1.69	-0.98	2.26	0.28	-0.99	-0.93	-0.98	1.07	-1.10	-1.59	2.82
			کم آب	-0.77	1.70	0.80	-0.88	1.63	-1.44	-3.06	-3.09	-3.12	0.00	-2.58	-2.42	2.21
۱۵	وایقان (بایرام‌زاده)	چاه عمیق	پرآب	3.48	-0.22	1.87	2.74	0.99	3.12	2.74	2.74	2.74	2.45	-1.70	1.92	0.78
			کم آب	2.64	-1.48	0.11	2.08	-0.11	2.14	2.08	2.08	2.08	0.72	-0.49	0.33	0.67
۱۶	وایقان (قنبرپور)	چاه عمیق	پرآب	2.87	-0.55	0.00	2.14	-0.73	3.51	3.32	3.46	1.98	0.72	-1.45	1.12	2.01
			کم آب	1.88	-1.59	0.55	1.31	-0.45	1.70	1.42	1.42	1.42	1.93	-0.99	0.71	2.37
۱۷	علی‌بیگلو (جهادکشاورزی)	چاه عمیق	پرآب	2.03	0.11	1.73	3.50	0.78	2.64	3.51	3.67	3.83	0.33	0.89	-0.62	2.00
			کم آب	2.69	-1.97	-0.22	1.42	-1.15	2.71	2.09	1.98	1.97	0.77	0.38	1.11	1.88
۱۸	علیشاه (آب و فاضلاب)	چاه عمیق	پرآب	0.00	1.09	0.00	-2.47	0.97	-0.36	-3.19	-3.73	-2.62	-1.86	-2.98	-2.79	2.21
			کم آب	-1.92	1.26	0.91	-2.74	0.73	-2.42	-2.54	-2.47	-2.62	-1.49	-2.82	-2.46	3.31
۱۹	دیزج‌خلیل (سلطانی)	چاه عمیق	پرآب	3.72	2.31	3.84	4.09	3.79	3.72	4.09	4.03	3.97	2.48	-1.38	2.91	0.83
			کم آب	3.55	1.59	3.97	4.09	3.42	3.97	4.03	3.97	3.97	3.73	-1.70	3.67	0.27
۲۰	علیشاه (امیری)	چاه عمیق	پرآب	-1.19	-0.11	-1.78	-2.47	-0.90	-2.47	-3.06	-2.72	-3.12	-0.56	-2.64	-2.88	2.43
			کم آب	0.98	0.88	-2.22	-1.70	0.12	-2.37	-3.21	-3.26	-3.48	0.56	-2.00	-2.68	2.76
۲۱	ساربانقلی (تأمین آب)	چاه عمیق	پرآب	-0.67	1.37	0.63	-1.64	0.56	-0.36	-2.30	-2.11	-2.20	-1.31	-2.40	-3.45	2.00
			کم آب	0.83	1.48	0.56	-0.88	1.45	-0.65	-1.96	-2.01	-1.21	-1.39	2.38	-2.56	2.88
۲۲	قم‌تپه (تعاونی ۱۳۷)	چاه عمیق	پرآب	1.65	-0.93	-1.59	-0.22	-1.32	1.96	-0.72	-0.99	-0.77	-2.65	-1.52	-1.10	0.99
			کم آب	-0.61	-0.99	-0.98	-0.44	-1.10	-0.28	0.93	0.98	0.98	0.83	-0.27	0.00	1.48

توجه: ارقام مقادیر آماره Z مان‌کندال است. ارقام پررنگ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد یا کمتر است. دوره پرآب (کم‌آب) به دوره ای اطلاق می‌شود که آب زیرزمینی در بالاترین (پایین‌ترین) سطح تراز خود قرار دارد. در این جدول pH اسیدیته آب زیرزمینی، EC هدایت الکتریکی، SAR نسبت جذب سدیم و TDS کل مواد محلول در آب است.

جدول ۳- مقادیر آماره β برای یازده ایستگاه اول و متغیرهای کیفی (بر حسب واحد متغیر در سال) آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان

ردیف	محل نمونه‌برداری	نوع منبع	دوره	Mg^{2+}	Na%	Na^{+}	TDS	SAR	pH	مجموع آنیون‌ها	مجموع کاتیون‌ها	EC	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	Ca^{2+}	Cl^{-}
۱	سفیدکمر (کت چشمه)	قنات	پرآب	-0.01	-0.28	-0.03	-4.13	-0.02	0.07	-0.08	-0.07	-9.00	-0.01	-0.04	-0.03	-0.02
			کم آب	-0.04	0.22	0.00	-4.68	0.00	0.05	-0.06	-0.06	-9.25	-0.03	-0.07	-0.02	-0.01
۲	شندآباد (قره کهریز)	قنات	پرآب	0.02	-0.21	-0.01	0.09	-0.01	0.06	0.00	-0.02	-1.57	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
			کم آب	0.01	-0.02	-0.01	-1.67	-0.01	0.04	-0.04	-0.04	-5.00	-0.03	-0.02	-0.04	-0.01
۳	شبستر (نوکاهی)	قنات	پرآب	0.02	0.45	0.02	-0.69	0.02	0.05	-0.03	-0.03	-5.00	0.01	-0.01	-0.03	0.00
			کم آب	-0.01	0.33	0.01	-2.22	0.01	0.08	-0.04	-0.04	-6.50	-0.01	-0.04	-0.04	0.00
۴	خامنه (چنار)	قنات	پرآب	-0.02	0.05	-0.03	-9.70	-0.01	0.09	-0.15	-0.17	-16.20	-0.03	-0.13	-0.07	0.00
			کم آب	-0.06	-0.10	0.00	-5.53	0.00	0.08	-0.08	-0.09	-9.43	-0.02	-0.07	-0.07	0.00
۵	نعمت اله (ذکایی)	چاه عمیق	پرآب	0.39	-0.82	0.18	45.56	0.02	0.02	0.77	0.75	64.50	0.05	-0.07	0.29	0.77
			کم آب	0.39	-0.75	0.22	49.85	0.03	0.07	0.78	0.78	63.50	0.09	-0.05	0.23	0.73
۶	کوشک (افشار)	چاه عمیق	پرآب	0.05	-0.45	-0.02	5.98	-0.02	0.02	0.07	0.07	6.60	-0.04	0.10	0.03	0.01
			کم آب	0.03	-0.01	0.01	7.48	0.00	0.03	0.09	0.09	5.33	-0.02	0.09	0.04	0.01
۷	هریس (علیپور)	چاه عمیق	پرآب	0.17	-0.03	0.12	13.25	-0.01	0.03	0.20	0.20	12.50	-0.05	0.00	-0.09	0.21
			کم آب	0.09	0.20	0.25	26.27	0.09	0.03	0.30	0.30	23.33	0.07	0.08	-0.06	0.15
۸	کوزه کنان (طباطبایی)	چاه عمیق	پرآب	-0.05	0.52	-0.01	-3.49	0.00	0.05	-0.10	-0.10	-9.33	-0.04	-0.05	-0.05	-0.02
			کم آب	-0.04	1.08	0.11	-4.40	0.06	0.07	-0.04	-0.05	-7.50	-0.05	-0.02	-0.07	0.02
۹	یوسف‌آباد (جهاد سازندگی)	چاه عمیق	پرآب	0.05	-0.35	0.00	4.33	0.00	0.05	0.05	0.05	5.50	-0.02	0.00	0.00	0.05
			کم آب	0.03	0.30	0.01	2.43	0.00	0.08	0.04	0.04	5.50	-0.03	-0.01	0.00	0.05
۱۰	کافی‌الملک (هشدار)	چاه عمیق	پرآب	0.03	-0.30	-0.03	-4.59	-0.02	0.06	-0.09	-0.08	-7.50	-0.01	-0.10	-0.05	-0.02
			کم آب	-0.04	-0.24	-0.05	-15.28	-0.03	0.07	-0.16	-0.17	-21.00	-0.04	-0.10	-0.09	-0.07
۱۱	شندآباد (امیری)	چاه عمیق	پرآب	0.28	0.45	0.15	39.21	0.03	0.02	0.48	0.48	48.38	-0.04	0.06	0.12	0.09
			کم آب	0.39	-0.44	0.20	79.66	0.01	0.05	1.00	1.00	107.86	0.12	-0.07	0.39	0.87

جدول ٤- مقادیر آماره β برای یازده ایستگاه دوم و متغیرهای کیفی (بر حسب واحد متغیر در سال) آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان.

ردیف	محل نمونه‌برداری	نوع منبع	دوره	Mg^{2+}	Na%	Na^{+}	TDS	SAR	pH	مجموع آنیون‌ها	مجموع کاتیون‌ها	EC	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	Ca^{2+}	Cl^{-}
۱۲	شندآباد (فرحناک)	چاه عمیق	پرآب	1.61	-0.05	0.68	313.75	0.11	0.00	4.86	4.86	486.11	0.25	-0.10	2.31	4.43
			کم آب	1.65	0.19	0.59	279.85	0.08	0.01	4.18	4.18	418.33	0.23	-0.01	1.86	3.93
۱۳	شنگل‌آباد (محمدیاری)	چاه عمیق	پرآب	-0.22	0.12	-0.47	-62.78	-0.09	0.07	-0.62	-0.86	-84.90	-0.06	0.00	-0.24	-0.68
			کم آب	-0.14	0.53	-0.31	-44.86	-0.02	0.06	-0.70	-0.75	-70.00	-0.01	0.05	-0.17	-0.60
۱۴	شندآباد (بیگدلی)	چاه عمیق	پرآب	0.02	0.66	0.02	-4.00	0.02	0.06	-0.07	-0.09	-7.00	0.02	-0.10	-0.11	0.00
			کم آب	-0.04	0.49	0.00	-2.22	0.02	0.06	-0.07	-0.07	-6.50	0.00	-0.09	-0.10	-0.02
۱۵	وایقان (بایرام‌زاده)	چاه عمیق	پرآب	0.78	-0.12	0.17	84.50	0.03	0.01	1.23	1.20	130.00	0.13	-0.10	0.30	1.28
			کم آب	0.47	-0.40	0.01	51.54	0.00	0.01	0.78	0.78	78.75	0.02	-0.03	0.09	0.70
۱۶	وایقان (قنبرپور)	چاه عمیق	پرآب	0.15	-0.37	0.00	10.21	-0.01	0.03	0.19	0.19	15.25	0.02	-0.05	0.03	0.20
			کم آب	0.10	-0.21	0.03	15.33	0.00	0.07	0.20	0.20	20.50	0.07	-0.03	0.07	0.13
۱۷	علی‌بیگلو (جهادکشاورزی)	چاه عمیق	پرآب	0.09	0.04	0.03	12.24	0.01	0.05	0.18	0.17	14.57	0.01	0.03	-0.01	0.11
			کم آب	0.17	-0.87	-0.01	7.25	-0.06	0.05	0.17	0.16	15.50	0.02	0.02	0.05	0.10
۱۸	علیشاه (آب و فاضلاب)	چاه عمیق	پرآب	0.00	0.44	0.00	-3.25	0.00	0.06	-0.05	-0.05	-4.80	-0.03	-0.07	-0.08	0.00
			کم آب	-0.03	0.70	0.01	-5.31	0.01	0.10	-0.08	-0.08	-7.80	-0.01	-0.09	-0.06	-0.01
۱۹	دیزج‌خلیل (سلطانی)	چاه عمیق	پرآب	1.07	0.48	1.74	204.25	0.40	0.02	3.15	3.15	315.00	0.14	-0.03	0.40	2.90
			کم آب	1.14	0.38	2.20	260.00	0.50	0.01	4.00	4.00	400.00	0.20	-0.06	0.67	3.64
۲۰	علیشاه (امیری)	چاه عمیق	پرآب	-0.01	-0.04	-0.04	-8.25	-0.01	0.07	-0.10	-0.10	-10.00	-0.02	-0.12	-0.10	-0.04
			کم آب	0.00	0.23	-0.03	-3.83	0.00	0.08	-0.10	-0.10	-9.42	0.00	-0.06	-0.04	-0.01
۲۱	ساربانقلی (تأمین آب)	چاه عمیق	پرآب	-0.01	0.57	0.00	-2.58	0.00	0.05	-0.05	-0.05	-5.50	-0.02	-0.04	-0.05	0.00
			کم آب	0.04	1.05	0.01	-2.53	0.04	0.05	-0.03	-0.03	-1.75	-0.03	-0.03	-0.07	0.00
۲۲	قم‌تپه (تعاونی ۱۳۷)	چاه عمیق	پرآب	0.14	-0.20	-0.13	-0.75	-0.07	0.03	-0.03	-0.10	-3.33	-0.15	-0.04	-0.06	0.21
			کم آب	-0.03	-0.45	-0.13	-3.25	-0.10	0.04	0.17	0.18	15.00	0.03	-0.03	0.00	0.00
	میانه کل ۳۲ایستگاه در دوره پر آب			0.04	-0.03	-0.02	-0.02	0.01	-0.04	0.05	-0.3	-2.45	0.00	-0.03	-0.04	0.00
	میانه کل ۳۲ایستگاه در دوره کم آب			0.02	-0.03	0.005	-0.005	0.005	-0.03	0.056	-1.945	1.79	0.01	0.005	0.195	0.00

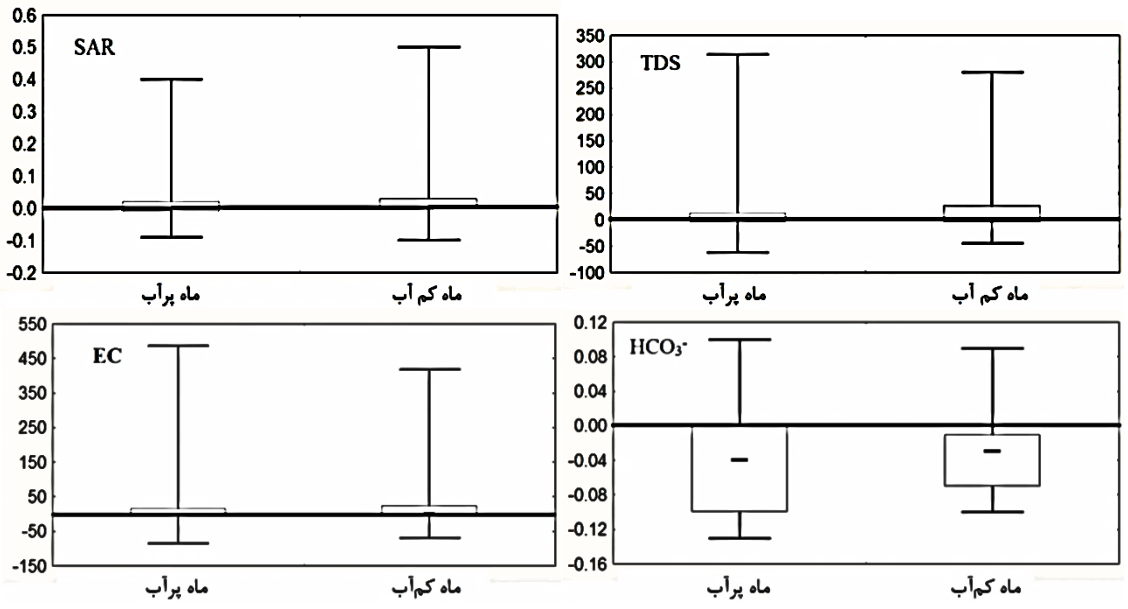
توجه: در این جدول pH : اسیدیته آب زیرزمینی، EC: هدایت الکتریکی، SAR: نسبت جذب سدیم و TDS: کل نمک‌های محلول آب زیرزمینی است. واحد شیب خط روند معادل واحد متغیر در سال است.

جدول ۵- مشخصات تغییر پله‌ای در سه سری منتخب در ایستگاه‌های موردمطالعه در دشت شبستر- صوفیان

		سری زمانی هیدروژئولوژیکی		
ردیف	نام قنات یا چاه	هدایت الکتریکی	کل املاح محلول	نسبت جذب سدیم
۱	نعمت اله (ذکایی)	۱۳۸۱ U ۰/۹۱۸	۱۳۸۰ U ۰/۹۲۹	ns*
۲	کوشک (افشار)	۱۳۷۷ U۰/۹۱۸	۱۳۷۷ U۰/۹۶۸	ns*
۳	هریس (علیپور)	ns*	ns*	ns*
۴	کوزه کنان (طباطبایی)	ns*	ns*	ns*
۵	یوسف‌آباد(جهاد سازندگی)	۱۳۸۲ U ۰/۹۲۹	۱۳۸۲ U ۰/۹۴۸	ns*
۶	کافی‌الملک (هشدار)	ns*	ns*	ns*
۷	شندآباد (امیری)	ns*	ns*	۱۳۷۸ U ۰/۹۶۲
۸	شندآباد (فرحناک)	۱۳۷۸ U ۰/۹۴۶	۱۳۷۸ U ۰/۹۹۱	۱۳۷۸ U ۰/۹۷۷
۹	شنگل‌آباد (محمدیاری)	۱۳۷۸ U ۰/۹۸۷	۱۳۷۸ U ۰/۹۹۱	۱۳۷۷ U ۰/۹۷۷
۱۰	شندآباد (بیگدلی)	ns*	ns*	۱۳۷۸ U ۰/۹۸۴
۱۱	وایقان (بایرام‌زاده)	۱۳۸۱ U ۰/۹۱۸	۱۳۸۱ U ۰/۹۱۸	ns*
۱۲	وایقان (قنبرپور)	ns*	ns*	ns*
۱۳	علی‌بیگلو (جهادکشاورزی)	۱۳۷۹ U ۰/۹۹۳	۱۳۷۹ U ۰/۹۹۳	ns*
۱۴	علیشاه (آب و فاضلاب)	۱۳۷۷ U ۰/۹۸۴	۱۳۷۸ U ۰/۹۹۱	ns*
۱۵	دیزج‌خلیل (سلطانی)	۱۳۷۸ U ۰/۹۹۱	۱۳۷۸ U ۰/۹۹۱	۱۳۷۹ U ۰/۹۹۳
۱۶	علیشاه (امیری)	۱۳۷۸ U ۰/۹۷۳	ns*	ns*
۱۷	ساربانقلی (تأمین آب)	۱۳۷۷ U ۰/۹۸۴	۱۳۷۸ U ۰/۹۸۱	ns*
۱۸	قم‌تپه (تعاونی ۱۳۷)	ns*	ns*	ns*

توجه : ns*: نشان دهنده عدم وجود نقطه شکست معنی دار

علایم نشان داده شده در جدول به‌ترتیب از چپ به راست تاریخ نقطه تغییر، جهت تغییر (U رو به بالا، D رو به پایین) و مقدار P_{Value} می باشد.



شکل ۳- نمونه‌هایی از نمودارهای باکس‌ویسکر برای شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان

توجه: واحد EC (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)، واحد بی‌کربنات(میلی اکیوالان در لیتر)، واحد TDS (میلی‌گرم در لیتر) و SAR (بدون بعد) و محور قائم در شکل‌ها دارای واحدی معادل واحد متغیر بر سال است



شکل ٤- نشست زمین در ایستگاه نمونه برداری آب زیرزمینی وایقان واقع در دشت شبستر- صوفیان

برای طبقه‌بندی کیفی آب از منظر کشاورزی از نمودار ویل‌کوکس استفاده شد. با توجه به شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان می‌توان نتیجه گرفت از میان ۲۲ ایستگاه ۱۰ ایستگاه شامل ایستگاه‌های سفیدکمر، شندآباد (قره‌کهریز)، شبستر (نوکاهی)، خامنه، کوشک، یوسف‌آباد، کافی‌الملک، علیشاه (آب و فاضلاب)، علیشاه (امیری)، ساربانقلی که اکثراً در حاشیه شمالی دشت قرار دارند در کلاس C2 - S1 واقع شده و دارای آب‌های خوب برای مصارف کشاورزی هستند.

پنج ایستگاه نعمت‌اله، شندآباد (امیری)، وایقان (بایرام‌زاده)، وایقان (قنبرپور) و علی‌بیگلو، واقع در حاشیه جنوبی دشت در کلاس C3- S1 بوده و دارای آب با کیفیت مناسب و ایستگاه شندآباد (فرحناک) در کلاس C4-S2 و ایستگاه‌های هریس، دیزج‌خلیل و قم‌تپه واقع در نقاط مختلف دشت، در کلاس C4-S3 بوده و دارای آب نامناسب برای کشاورزی هستند. در این میان سه ایستگاه دیگر در دو دوره پرآب و کم‌آب در دو کلاس متفاوت قرار دارند. ایستگاه کوزه‌کنان در دوره پرآب در کلاس C2-S1 و در دوره کم‌آب در کلاس C3-S1 قرار داشته ولی ایستگاه شندآباد (بیگدلی) در دوره پرآب در کلاس C3-S1 و در دوره کم‌آب در کلاس C2-S1 قرار دارد. ایستگاه شنگل‌آباد نیز در دوره پرآب در کلاس C3-S1 و در دوره کم‌آب در کلاس C3-S2 قرار دارد که این ایستگاه‌ها هم در حالت کلی دارای آب با کیفیت مناسب برای کشاورزی هستند. ایستگاه‌هایی که آب آنها مناسب برای کشاورزی نیست تقریباً بصورت پراکنده در تمام جهات ولی اکثراً در ناحیه غربی دشت قرار دارند. به نظر می‌رسد، شرایط اطراف هر ایستگاه و نزدیکی یا دوری به دریاچه ارومیه در کیفیت آب تأثیر دارد. رضائیان و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش نمودند که آب‌های دشت شبستر- صوفیان آب‌های تقریباً مناسبی برای کشاورزی هستند، البته به‌استثنای قسمت غربی دشت که به علت همجواری با دریاچه ارومیه و شوری زیاد آب برای کشاورزی آب‌های مناسبی نیستند. اصغری‌مقدم و محمدی (۱۳۸۲) با نمونه‌برداری از آب چاه‌های مختلف دشت شبستر- صوفیان دو نوع آبخوان با خصوصیات مختلف را در دشت تشخیص داده‌اند. نوع اول آبخوانی است که آب آن دارای مقادیر پایینی از نسبت-های SO_4/Cl و Na/Cl بوده و درصد Mg+Ca در این گروه از مقدار بالایی برخوردار است و آب شور قسمت‌های مرکزی دشت را شامل می‌شود. نوع دوم آبخوانی است که دارای خصوصیات شیمیایی مشابهی با آب دریاچه ارومیه دارد و شامل بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی دشت می‌باشد. ایشان علل شوری آب زیر زمینی را به تبخیر از آب زیرزمینی، نفوذ از رودخانه های مجاور شور و انحلال نهشته‌های تبخیری موجود در منطقه نسبت داده اند. در حالت کلی نه تنها تراز آب زیرزمینی در اکثر چاههای دشت منطقه مورد مطالعه بطور فاجعه‌باری پایین آمده بلکه کیفیت آب نیز در این ناحیه روندی در جهت نامطلوب شدن نشان داده است.

یکی از نشانه های بارز افت تراز آب زیرزمینی، نشست زمین در دشت مذکور در اطراف ناحیه وایقان می باشد (شکل ۴). افت آب دریاچه ارومیه و خشک شدن آن در سال‌های اخیر می‌تواند ناشی از افت تراز آب شیرین در آبخوان‌های اطراف دریاچه (به‌دلیل پمپاژ بی رویه) و پیشروی جبهه آب شور دریا از دل خاک به سمت دشت باشد که در نهایت شور شدن یکباره آب چاه‌ها در دشت یکی بعد از دیگری را در پی خواهد داشت. این زنگ خطر ما را ناگزیر می‌سازد که برای ادامه فعالیت‌های کشاورزی، دامی و باغی و بقای سفره‌های آبدار منطقه جهت حفظ زندگی موجودات زنده هرچه سریع‌تر راه حل علمی و عملی در منطقه ارائه گردد. در غیر این‌صورت در آینده نزدیک، باید منتظر مشکلات متنوع زیست مجیطی در این منطقه از کشور بود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در منطقه دشت شبستر- صوفیان برای ۱۳ متغیر کیفی در دو دوره از سال (دوره پرآب و دوره کم‌آب) در دوره آماری ۹۰-۱۳۷۷ با استفاده از آزمون ناپارامتری مان- کندال پس از حذف اثر ضریب خودهمبستگی معنی‌دار مرتبه اول از سری داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. شیب خط روند برای تمام سری داده‌ها نیز با استفاده از روش تخمین‌گر سن محاسبه شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات تعدادی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در شماری از ایستگاه‌ها مثبت است. در دوره پرآب، دوازده ایستگاه و در دوره کم‌آب، سیزده ایستگاه (در بیشتر از نیمی از متغیرها) روند افزایشی معنی‌داری را تجربه نمودند. شدیدترین روند مثبت در دوره پرآب مربوط به متغیر مربوط به یون منیزیم در ایستگاه نعمت‌اله واقع در جنوب دشت (معادل Z=۴/۳۳) و شدیدترین روند مثبت در دوره کم‌آب (Z=۴/۰۹) مربوط به متغیر کل املاح محلول در ایستگاه دیزج‌خلیل واقع در جنوب دشت شبستر- صوفیان مشاهده شد. در کل شصت و سه درصد متغیرها در این دشت روند افزایشی معنی‌دار داشتند. نتایج آزمون شیب خط روند نیز نشان داد که در دوره پرآب کیفیت آب زیرزمینی قابل قبول و در دوره کم‌آب رو به نزول است. روند افزایشی در هر دو دوره در حاشیه جنوبی دشت (مشرف به دریاچه ارومیه) مشاهده شد. در حالت کلی نتایج بدست آمده، افت کیفیت آب زیرزمینی را در برخی از نقاط دشت شبستر- صوفیان نشان می‌دهد. احتمالاً افزایش بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی به صورت حفر چاه‌های غیرمجاز و افزایش عمق چاه با کف‌شکنی چاه‌های موجود، افزایش بی‌رویه استفاده از کودها و سموم شیمیایی و نفوذ آن‌ها به منابع آب زیرزمینی، توسعه واحدها و کارخانجات صنعتی و دفع نامناسب پساب آن‌ها و نفوذ آب شور دریاچه ارومیه از علل اصلی افت کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه هستند. به نظر می‌رسد که اگر تمهیدات لازم در جهت جلوگیری از دفع نامناسب فاضلاب‌ها و پساب‌ها و کنترل بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی و استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی و اقدامات مؤثر دیگر در این منطقه صورت نگیرد، روز به روز شاهد کاهش کیفیت آب زیرزمینی در نواحی بیشتری از دشت خواهیم بود و در نتیجه مشکلاتی از نظر آب شرب و کشاورزی به وجود آمده و به‌تبع آن موقعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه ممکن به خطر افتد. انتظار می‌رود که منابع آلوده‌کننده احتمالی آب زیرزمینی توسط سازمان‌های مسئول شناسایی شده و راهکارها و اقدامات لازم در زمینه کاهش منابع آلاینده هرچه زودتر انجام پذیرد تا از منابع آب زیرزمینی دشت بتوان به‌صورت پایدار استفاده نمود. در این مطالعه غلظت نیترات موجود در آب بعلت عدم دسترسی به داده ها مطالعه نشد. از طرفی زه‌آب کشاورزی نفوذ یافته به آبخوان می‌تواند باعث آلودگی آب زیرزمینی و افزایش غلظت نیترات در آن باشد. با توجه به اینکه میزان غلظت این ماده از نظر سلامت انسان مهم می‌باشد. بنابراین، مطالعه غلظت این پارامتر در دشت شبستر- صوفیان و سایر دشت‌های کشور توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

مولفین از داوران محترم این مقاله که در بهبود کیفیت آن نقش مهمی ایفا نمودند، تشکر می‌نماید.

منابع

۱- اصغری مقدم، ا. و ع. محمدی. ۱۳۸۲. علل شوری سفره های آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان. دانش آب و خاک (دانشگاه تبریز)، ۱۳(۳): ۷۸ - ۶۹.

۲- حیدری، ز. و م. رضایی ۱۳۹۰. بررسی هیدروژئوشیمی به روش درون‌یابی با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS (مطالعه موردی دشت آبدان دیر استان هرمزگان). مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین. تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱ تا ۳ اسفند ماه.

۳- رضائیان، ش.، نادری، ج. و م. دهقان. ۱۳۹۰. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی با استفاده از AHP مطالعه موردی (دشت شبستر). همایش ژئوماتیک، تهران، ۲۵ تا ۲۷ اردیبهشت ماه.

۴- کرمی، ف .۱۳۸۸. بررسی روند و علل شوری آب زیرزمینی و اثرات ژئومورفیک آن در دشت سراب. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه تبریز.
ملکوتیان، م. و ا. کرمی. ۱۳۸۳. بررسی روند تغییرات کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت بم و بروات طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۷۶. مجله پزشکی هرمزگان ۸ (۲): ۱۱۶-۱۰۹.

۵- ملکوتیان، م. و ا. کرمی. ۱۳۸۳. بررسی روند تغییرات کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت بم و بروات طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۷۶. مجله پزشکی هرمزگان، سال هشتم، شماره ۲: ۱۱۶-۱۰۹.

6- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Alami, M. T. and Jhajharia. D. 2013. Trend analysis of groundwater using non – parametric methods (Case Study: Ardabil Plain). Stochastic Environmental Research and Risk Assessment، 27(2): 547-559.

7- Frans, L. M. and Helsel, D. R. 2005. Evaluating regional trends in ground – water nitrate concentrations of the Columbia Basin ground water management area, Washington. U.S.

8- Hoppe, H. and Kiely, G. 1999. Precipitation over Ireland-Observed change since 1940. Physics and Chemistry of the Earth (B), 24(1-2):91-96.

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

10- Jamshidzadeh, Z. and Mirbagheri, S. A. 2010. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan basin, Central Iran. Desalination, 270: 23-30.

11- Kendall, M. G. 1975. Rank Correlation Measures. Charles Griffin. London.

12- Ketata, M., Hamzaoui, F. Gueddari, M. Bouhila, R. and Riberio, L. 2011. Hydrochemical and statistical study of groundwaters in Gabes – South Deep Aquifer (South – Eastern Tunisia). Physics and Chemistry of the Earth, 36: 187 – 196.

13- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J. and Thurner. K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, Precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology, 374(1-2): 171-183.

14- Mann, H. B. 1945. Non-parametric test against trend. Econometrica. MathsciNet, 13: 245-259.

15- Pettitte, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, 28(2): 126–135.

16- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall′s tau. Journal of the American Statistical Association, 63: 1379-1389.

17- Tayfur, G., Kirer, T. and Baba, A. 2008. Groundwater quality and hydrogeochemical properties of Torbali region, Izmir, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 146: 157-169.

18- Theil, H. 1950. A rank in Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis. Part 3. Netherland AkademieVan Wettenschappen. Proceedings, 53: 1379-1412.

19- Wahlin, K., and Grimvall, A. 2009. Roadmap for assessing regional trends in groundwater quality. Environmental Monitoring and Assessment, 165: 217 – 231.

20- Zakaria, N., Akiti, T., Osae, T., Dickson, A. S., Ganyaglo, J., Hanson, J. and Ayanu, G. 2012. Hydrogeochemistry of groundwater in parts of the Ayensu basin of Ghana. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2 (2): 128 – 135.