نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره سوم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت زرین‌گل با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال اصلاح‌شده و تخمین‌گر شیب سن

فرزانه ابارشی[۱]، *مهدی مفتاح‌هلقی[۲] و امیراحمد دهقانی[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/٤

چکیده

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد و بررسی روند تغییرات کیفی آن اهمیتی فراوانی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب دارد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی چند ایستگاه منتخب در استان گلستان با استفاده از روش ناپارامتری من‌کندال و تخمین‌گر شیب سن می‌باشد. برای این منظور از آمار ۱۵ ساله (۹۰-۱۳۷۵)، ۸ ایستگاه اندازه‌گیری در دشت زرین‌گل واقع در حوضه آبریز گرگانرود در شمال ایران استفاده شد. پارامترهای کیفی مورد بررسی در این پژوهش، شامل یون‌های TH، Cl^-، K^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Na%، TDS، SAR، Na^+، HCO_3^-، SO_4^{2-}، EC، pH، مجموع کاتیون و مجموع آنیون می‌باشد. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا اثر خودهمبستگی معنی‌دار مرتبه اول از سری داده‌ها حذف گردید و به‌منظور تعیین شیب خط روند در سری زمانی نیز از تخمین‌گر سن استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از پژوهش در دشت زرین‌گل نشان داد که روند تغییرات غلظت بیش‌تر متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در این دشت رو به افزایش بوده و در ماه پرآب، ٤۱ درصد و در ماه کم‌آب، ۲۰ درصد از سری‌ها روند مثبت معنی‌داری را در سطح ۱۰ درصد از خود نشان دادند. حال آن‌که روند منفی معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد برای متغیرهای کیفی در ماه پرآب، ۹/۲ درصد و در ماه کم‌آب، ۱۰ درصد برآورد شد. با توجه به مثبت بودن شیب خط روند برای بیش‌تر متغیرهای کیفی در دشت

* مسئول مکاتبه: meftah_20@yahoo.com

زرین‌گل می‌توان بیان کرد، کیفیت آب زیرزمینی در این دشت کاهش یافته است. بزرگ‌ترین شیب مثبت خط روند مربوط به پارامتر هدایت الکتریکی در ایستگاه موجود در خروجی دشت می‌باشد. به‌نظر می‌رسد برداشت بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر، از دلایل کاهش کیفیت و شور شدن منابع این دشت باشد.

واژه‌های کلیدی: روند، کیفیت آب زیرزمینی، روش ناپارامتری من‌کندال، دشت زرین‌گل، تخمین‌گر سن

مقدمه

آب یکی از اجزای حیاتی زندگی می‌باشد که برای بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی ضروری است. براساس داده‌های منتشره حدود ۳ درصد از آب موجود در زمین آب شیرین می‌باشد و فقط ۰/۳٦ درصد آن قابل استفاده می‌باشد. آب زیرزمینی در واقع فراوان‌ترین منبع قابل دسترس آب شیرین در دنیا است که ۹۷ درصد منابع آب شیرین دنیا را (به‌جز یخ‌های قطبی و یخچال‌ها) تشکیل می‌دهد و گاهی ثروت پنهان نامیده می‌شود که وجود و اهمیت آن به خوبی شناخته نشده است. در نتیجه اقدامات لازم برای حفاظت و مدیریت آن با روش‌هایی از نظر زیست‌محیطی پایدار، یا انجام نمی‌شود یا بسیار دیر انجام می‌شود و بیش‌تر به هنگام وقوع خشکسالی در برخی مناطق، اهمیت آن بیش‌تر مشخص می‌شود (نشریه شماره ۳۸٤ وزارت نیرو، ۲۰۱۱). در گذشته تصور می‌شد خاک‌ها و سنگ‌های روی پهنه‌های آب زیرزمینی حفاظت کافی را برای آب زیرزمینی فراهم می‌کنند. با این وجود، پژوهش‌های علمی و بررسی‌ها نشان داده است که آلاینده‌ها می‌توانند از درون خاک و ناحیه غیراشباع نفوذ کرده و وارد آب زیرزمینی شوند. هنگامی که آب زیرزمینی آلوده می‌شود در بسیاری از مواقع ده‌ها سال یا بیش‌تر طول می‌کشد تا آلودگی رفع شود و آب کیفیت مطلوب خود را بازیابد. دلیل این موضوع زمان ماند بسیار طولانی آب به‌دلیل حرکت آهسته آن از میان زمین و نرخ پایین فرآیندهای زوال آلاینده‌ها است (کوالی‌یر، ۲۰۰۹). ارزیابی و پایش کیفیت آب زیرزمینی همواره یک چالش مهم است که با مشکلات ویژه‌ای همراه است. در واقع درک این موضوع که در زیرزمین چه چیزی در حال رخ دادن است، کار دشواری است. با وجود اهمیت منابع آب زیرزمینی برای تأمین آب و نقش کلیدی آن‌ها در پایداری برخی اکوسیستم‌های آبی، بسیاری از دولت‌ها در زمینه سرمایه‌گذاری برای پایش و حفاظت آن و تدوین قوانین مناسب کوتاهی می‌کنند. برای تعیین اهمیت تغییرات و روند در داده‌های

کیفیت آب زیرزمینی روش‌های آماری ابزارهای قدرتمندی هستند. استفاده از روش‌های آماری مختلف نیازمند آگاهی درباره ماهیت داده‌ها است و بیش‌تر با توجه به تعداد داده‌های در دسترس محدود می‌باشد. روش‌های پارامتریک به اندازه نمونه‌ها حساس هستند. با این وجود در بسیاری از مواقع به‌ویژه زمانی که مجموعه داده‌ها کوچک است، روش‌های غیرپارامتریک به همان خوبی یا بهتر از روش‌های پارامتریک جواب می‌دهند. یکی از روش‌های ناپارامتریک آزمون من‌کندال می‌باشد که برای بررسی وجود یا نبود روند در غلظت در طول زمان برای هر ایستگاه پایش منفرد استفاده می‌شود. این آزمون بر منطق رگرسیون خطی غیرپارامتریک استوار است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد روند افزایشی یا کاهشی قابل‌توجهی در غلظت پارامتر در یک ایستگاه بر حسب زمان وجود دارد یا خیر. باید توجه داشت که "مهم بودن" نتیجه آزمون به سطح اطمینان در نظر گرفته شده بستگی دارد (نشریه شماره ۳۸٤ وزارت نیرو، ۲۰۱۱).

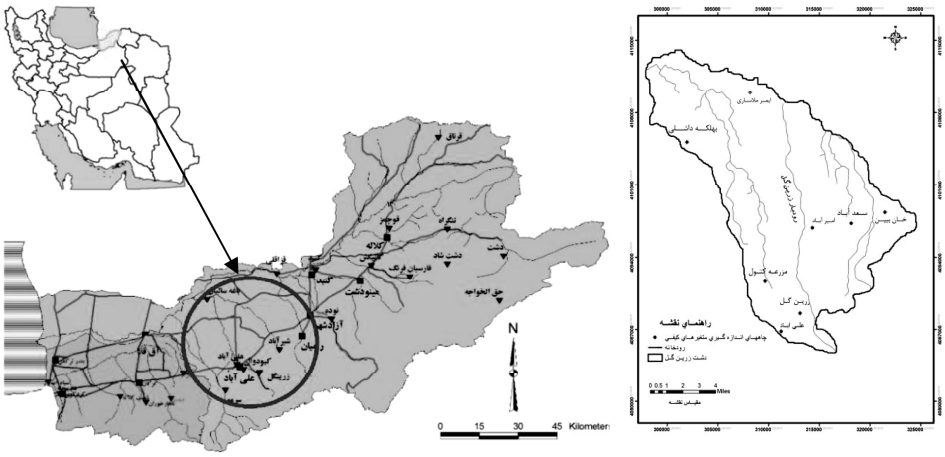
در زمینه روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی، مطالعات متعددی هم در خارج از کشور و هم در داخل کشور انجام شده است. والین و گریم‌وال (۲۰۰۹) به‌منظور بررسی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی آبخوانی در جنوب سودان در یک دوره آماری ۲۰ ساله و با استفاده از آمار ۷۷ ایستگاه پیزومتری از روش ناپارامتری من‌کندال استفاده کردند. نتایج پژوهش بیانگر وجود روند کاهشی در میزان غلظت یون سولفات بود، ولی در غلظت یون‌های دیگر تغییری مشاهده نشد. هولز (۲۰۰۹) تغییرات فصلی در کیفیت آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز مونتگو واقع در شمال‌غرب تاسمانیا را با استفاده از روش ناپارامتری من‌کندال انجام داد. نتایج ایشان نشان داد که میزان غلظت برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه قبل از شروع بارش‌ها در فصل زمستان از ۱۰۰۰–۲۰ برابر افزایش یافته و غلظت یون آمونیوم بیش از حد مجاز برای آشامیدن بود. در ایران نیز مطالعات مشابهی در خصوص متغیرهای کیفی آب زیرزمینی انجام شده است. دیندارلو و همکاران (۲۰۰٦) کیفیت شیمیایی آب شرب بندرعباس را با استفاده از روش توصیفی بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که میزان پارامترهای مورد بررسی فراتر از حد مطلوب است. وثوقی و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل از روش ناپارامتری من‌کندال استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که در دشت مورد مطالعه روند تغییرات غلظت تمامی متغیرهای کیفی آب، در تمامی ایستگاه‌ها افزایشی است. مصلح و هاشمی (۲۰۱۲) روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول– اندیمشک را با روش من‌کندال و تابع برآوردگر سن انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد که ۷۵ درصد ایستگاه‌ها

دارای روند EC افزایشی بوده و کیفیت آب آن‌ها رو به کاهش است. همچنین دریافتند که روند کلی دشت به‌سمت افزایش سختی کل است و پارامتر pH هیچ روندی ندارد.

با توجه به بررسی منابع انجام شده، به‌نظر می‌رسد که تاکنون مطالعات در خصوص روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت زرین‌گل انجام نشده است. از این‌رو با توجه به افت سطح آب زیرزمینی در بیش‌تر دشت‌های کشور از جمله منطقه مطالعاتی زرین‌گل و نیز تأثیرات ناشی از این افت بر کیفیت آب زیرزمینی، این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در دشت زرین‌گل با استفاده از روش ناپارامتری من‌کندال و تخمین شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: دشت زرین‌گل با مساحت حدود ۳٦۵ کیلومترمربع و متوسط بارندگی سالانه ۷۰۹ میلی‌متر در حوضه آبریز گرگانرود در استان گلستان قرار گرفته و از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول‌های ٥٤ درجه و ٤١ دقیقه تا ٥٥ درجه و ٥ دقیقه شرقی و عرض‌های ٣٦ درجه و ٥١ دقیقه تا ٣٧ درجه و ١٢ دقیقه شمالی واقع شده است. در ۲۰ سال اخیر، به‌دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و نیز کم شدن اثرات تغذیه ناشی از کاهش بارش و آبدهی رودخانه‌های موجود در دشت، آبخوان زرین‌گل افت حدود ۹۰ سانتی‌متری را تجربه کرده است. منابع آبی مورد استفاده در دشت زرین‌گل ترکیبی از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد که به‌طور عمده برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. براساس مطالعات انجام شده، در حال حاضر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت به‌طور عمده از طریق چاه‌های عمیق و کم‌عمق صورت می‌گیرد، که بیش از ۹۰ درصد این چاه‌ها کم‌عمق بوده و عمق آن‌ها کم‌تر از ۲۵ متر می‌باشد. طبق آماربرداری سال ۱۳۸۸، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت زرین‌گل از طریق ٣٥٦٠ حلقه چاه عمیق و کم‌عمق با میزان تخلیه سالانه ٨٧/٤٥ میلیون مترمکعب و ۳ رشته قنات و ۱ دهانه چشمه با میزان تخلیه ۱/۱۲ میلیون مترمکعب صورت می‌گیرد که تقریباً ۸۰ درصد آب برداشت شده به مصرف کشاورزی می‌رسد و بقیه به مصرف شرب و صنعت اختصاص می‌یابد. در این پژوهش از آمار و اطلاعات ۸ چاه که دارای آمار ۱۵ ساله (۹۰-۱۳۷۵) بودند، استفاده شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای کیفی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت زرین‌گل و چاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای کیفی.

از این‌رو با توجه به این‌که آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع برای مصارف به‌خصوص کشاورزی و شرب در این منطقه است، بنابراین ارزیابی کیفی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. داده‌های مربوط به کیفیت آب زیرزمینی که شامل ۱۵ متغیر مانند TH، Cl^-، K^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Na%، TDS، SAR، Na^+، HCO_3^-، SO_4^{2-}، EC، pH، مجموع کاتیون و مجموع آنیون می‌باشد، برای ۸ چاه موجود در منطقه در دوره آماری نام برده با مراجعه به سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد. لازم به ذکر است که معمولاً اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی سالانه ۲ بار، در ماه پرآب (اردیبهشت) و ماه کم‌آب (مهر) صورت می‌گیرد.

به‌منظور بررسی روند در تغییر غلظت پارامترها که یک فرآیند معمول به‌شمار می‌رود، از روش‌های متعددی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، روش‌های آماری می‌باشند. روش‌های آماری پارامتری و ناپارامتری بسیاری برای بررسی روند در سری‌های زمانی بسط داده شده‌اند که به‌طور گسترده توسط پژوهشگران مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شاید دلیل اصلی آن این واقعیت است که آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های مفقود شده هستند، مناسب‌تر است. روش‌های ناپارامتری بر خلاف روش‌های پارامتری به داده‌های پرت حساسیت زیادی نشان نمی‌دهند و این یکی دیگر از برتری‌های روش‌های ناپارامتری است. همچنین غالب

سری‌های زمانی مربوط به داده‌های کیفی دارای چولگی می‌باشند و از طرفی این سری‌ها ممکن است دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند. شرط استفاده از این آزمون‌ها، نبود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. چنان‌چه ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشد، لازم است ابتدا با استفاده از روش‌های پیش‌سفید کردن[1] (یو و وانگ، ۲۰۰۳) اثر خودهمبستگی از سری داده‌ها حذف و سپس اقدام به آزمون روند سری موردنظر شود.

آزمون‌های آماری ناپارامتری بسیاری برای تعیین روند در سری داده‌ها تاکنون بسط داده شده‌اند. از بین آزمون‌های ناپارامتری، آزمون من‌کندال بهترین انتخاب برای بررسی روند یکنواختی داده‌ها می‌باشد (زو و همکاران، ۲۰۰۳).

آزمون من‌کندال بدون در نظر گرفتن خودهمبستگی داده‌ها: در آزمون من‌کندال مرسوم یا *MK1* هر مقدار در سری زمانی به‌طور پیوسته و پشت سر هم نسبت به بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. آماره S که حاصل‌جمع همه شمارش‌ها را نشان می‌دهد به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

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

که در آن، x_j : مقادیر داده‌های متوالی، n: طول مجموعه داده‌ها و $sgn(\Theta)$: به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\mathrm{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & if \quad \theta > 0 \\ 0 & if \quad \theta = 0 \\ -1 & if \quad \theta < 0 \end{cases} \qquad (2)$$

من (۱۹٤٥) و کندال (۱۹۷۵) نشان دادند که وقتی $n \geq 8$ باشد، آماره S تقریباً نرمال توزیع شده و میانگین و انحراف معیار آن به‌صورت زیر می‌باشد:

$$E(S) = 0 \qquad (3)$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \qquad (4)$$

1- Prewhitening

که در آن، t_i: تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشند. آماره آزمون استاندارد شده Z به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & S>0\\ 0 & S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & S<0\end{cases} \qquad (5)$$

آماره آزمون *MK1* استاندارد شده Z از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ۱ پیروی می‌کند. فرض صفر (نبود روند در سطح معنی‌داری α) به شرطی پذیرفته می‌شود که $-Z_{1-\alpha/2} \le Z \le Z_{1-\alpha/2}$ قرار گیرد در غیر این صورت رد می‌شود. در این مطالعه سطح معنی‌داری ۱، ۵ و ۱۰ درصد مورد مطالعه قرار گرفت.

آزمون من‌کندال با حذف اثر خودهمبستگی مرتبه اول: فرآیند حذف خودهمبستگی به‌وسیله کومار و همکاران (۲۰۰۹)، طبق مراحل زیر ارایه گردیده است:

۱- محاسبه ضریب خودهمبستگی مرتبه K ام از رابطه ٦ به‌دست می‌آید:

$$r_k=\frac{\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}(x_i-\bar{x})(x_{i+k}-\bar{x})}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \qquad (6)$$

۲- با قرار دادن مقدار k معادل ۱ ضریب خودهمبستگی مرتبه اول به‌دست می‌آید و برای آزمون معنی‌داری آن چنین عمل می‌شود. اگر $\frac{-1-1/645\sqrt{n-2}}{n-2} \le r_1 \le \frac{-1+1/645\sqrt{n-2}}{n-2}$ باشد، آن‌گاه فرض می‌شود داده‌ها در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد مستقل از هم هستند. در غیر این صورت داده‌ها دارای خودهمبستگی بوده و قبل از انجام آزمون من‌کندال باید اثر خودهمبستگی داده‌ها از سری زمانی مربوطه حذف شود.

۳- شیب *Sen* را برای سری داده‌ها از رابطه ۱۰ محاسبه نموده و روند از سری داده‌ها با رابطه زیر حذف می‌گردد (کومار و همکاران، ۲۰۰۹):

$$x'_i = x_i - (\beta \times i) \qquad (۷)$$

٤- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول داده‌های بدون روند با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

۵- مؤلفه خودهمبستگی مرتبه اول ($AR(1)$) را از سری داده‌های بدون روند با رابطه زیر حذف نموده و سری باقی مانده‌ها y'_i به‌دست می‌آید:

$$y'_i = x'_i - r_i \times x'_{i-1} \qquad (۸)$$

٦- روند را دوباره به سری باقی‌مانده‌ها اضافه نموده تا سری ترکیبی (y_i) به‌دست آید:

$$y_i = y'_i + (\beta \times i) \qquad (۹)$$

با اعمال آزمون من‌کندال (MK1) به سری داده‌های اخیر، وجود روند در آن‌ها بررسی شد. این کار با محاسبه آماره Z من‌کندال برای سری اخیر انجام می‌شود. اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از رقم ۱/٦٤۵ باشد، روند داده‌ها در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار فرض می‌شود و اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از ارقام ۱/۹٦ و ۲/۳۳ باشد، روند داده‌ها به‌ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنی‌دار فرض می‌شود. در غیر این صورت فرض صفر مبنی بر وجود روند در داده‌ها در سطح معنی‌داری موردنظر رد می‌شود.

شیب Sen: یک شاخص بسیار مفید در آزمون من‌کندال شیب Sen می‌باشد که بزرگی روند یکنواخت را نشان می‌دهد. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارایه شده توسط تیل (۱۹۵۰) و سن (۱۹٦٦) با رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$\beta = Median\left(\frac{x_j - x_l}{j - l}\right) \quad \forall l < j \qquad (۱۰)$$

که در آن، β: برآوردگر شیب خط روند و x_l: مقدار مشاهده شده l ام می‌باشد. مقادیر مثبت β نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی به‌طور وسیعی استفاده شده است.

نتایج و بحث

جدول ۱ مقادیر آماره Z من‌کندال مربوط به ۱۵ متغیر کیفی آب زیرزمینی در ۸ ایستگاه منتخب در محدوده دشت زرین‌گل را پس از حذف ضریب خودهمبستگی معنی‌دار نمایش می‌دهد. به‌طوری‌که از جدول نام‌برده می‌توان استنباط کرد، در ماه پرآب، ٤٩ سری (٤١ درصد) و در ماه کم‌آب، ٢٤ سری زمانی (٢٠ درصد) روند مثبت معنی‌داری را در سطح ١٠ درصد از خود نشان می‌دهند. حال آن‌که روند منفی معنی‌دار در سطح ١٠ درصد برای متغیرهای کیفی در ماه پرآب، ٩/٢ درصد و در ماه کم‌آب، ١٠ درصد برآورد شد. در حالت کلی می‌توان بیان کرد که در ماه پرآب ٥٠ درصد و در ماه کم‌آب ٧٠ درصد سری‌ها بدون روند معنی‌دار در سطح ١٠ درصد بودند.

با توجه به جدول زیر در ماه پرآب روند متغیر سختی کل یا TH مثبت بوده و در ایستگاه‌های علی‌آباد، مزرعه کتول، سعدآباد و بهلکه‌داشلی در سطح ٥ درصد این روند معنی‌دار بوده است. در ماه کم‌آب نیز پارامتر بالا در ٦ ایستگاه دارای روند مثبت بوده، که تنها ایستگاه بهلکه‌داشلی در سطح ١ درصد روند مثبت معنی‌داری را تجربه کرده است.

روند تغییرات پارامتر کلرور نیز در ماه پرآب (به‌جز در ایستگاه امیرآباد) مثبت بوده و در بیش‌تر ایستگاه‌ها در سطح ٥ درصد معنی‌دار است. در ماه کم‌آب نیز روند این پارامتر (به‌جز در دو ایستگاه مزرعه‌کتول و امیرآباد) افزایشی بوده است.

روند یون پتاسیم (K) نیز در ماه پرآب، در ٤ ایستگاه مثبت یا صفر و در ٤ ایستگاه منفی بوده است. در حالی‌که در ماه کم‌آب روند این یون (به‌جز در ایستگاه بهلکه‌داشلی) در بقیه ایستگاه دیگر منفی می‌باشد. یون منیزیم (Mg) نیز در ماه پرآب (به‌جز در ایستگاه علی‌آباد) دارای روند مثبت می‌باشد. در ماه کم‌آب در ٤ ایستگاه دارای روند مثبت و در ٤ ایستگاه دیگر دارای روند منفی بوده است.

یون کلسیم (Ca) نیز در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند مثبت بوده و در بیش‌تر ایستگاه‌ها دارای سطح معنی‌داری ١ درصد یا ٥ درصد بوده است. در ماه کم‌آب نیز این پارامتر به‌جز در ایستگاه زرین‌گل دارای روند مثبت بوده است.

روند متغیر درصد سدیم (Na٪) در ماه پرآب، در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز خان‌ببین کاهشی بوده، در حالی‌که در ماه کم‌آب، در ٥ ایستگاه افزایشی و در ٣ ایستگاه کاهشی بوده است. متغیر

TDS در ماه پرآب در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند مثبت بوده و در بیش‌تر ایستگاه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. در ماه کم‌آب نیز به‌جز در دو ایستگاه امیرآباد و سعدآباد روند مثبتی را تجربه کرده است.

یکی دیگر از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی نسبت جذب سدیمی (SAR)[1] می‌باشد، که در ماه پرآب در ۵ ایستگاه دارای روند منفی و در ۳ ایستگاه دیگر دارای روند مثبت بوده است. در حالی‌که این متغیر در ماه کم‌آب، در ٤ ایستگاه دارای روند مثبت و در ٤ ایستگاه دارای روند منفی بوده است. روند یون سدیم (Na) نیز در ماه پرآب در ٤ ایستگاه مثبت و در ٤ ایستگاه منفی بوده است، در حالی‌که روند این پارامتر در ماه کم‌آب در ۵ ایستگاه مثبت و در ۳ ایستگاه دیگر منفی بوده است.

پارامتر بی‌کربنات نیز در ماه پرآب در تمامی ایستگاه‌ها (به‌جز سعدآباد) دارای روند مثبت بوده است. در حالی‌که روند این پارامتر در ماه کم‌آب به‌جز در سه ایستگاه مزرعه‌کتول، امیرآباد و سعدآباد مثبت بوده است. متغیر کیفی سولفات نیز، در هر دو ماه پرآب و کم‌آب در ۵ ایستگاه دارای روند مثبت بوده و در ۳ ایستگاه روند منفی را تجربه کرده است.

روند متغیر هدایت الکتریکی (EC)، در ماه پرآب در تمامی ایستگاه‌ها مثبت بوده و در بیش‌تر آن‌ها در سطح ۱ درصد این روند معنی‌دار است. در ماه کم‌آب نیز روند این متغیر به‌جز در ایستگاه‌های امیرآباد و سعدآباد مثبت گزارش شده است. در دشت زرین‌گل متغیر pH، در ماه پرآب در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند منفی بوده، اما هیچ سطح معنی‌داری را به خود اختصاص نداده است. در ماه کم‌آب نیز روند این متغیر به‌جز در ایستگاه خان‌ببین دارای روند منفی بوده است.

هر دو پارامتر مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها نیز در ماه پرآب در تمام ایستگاه‌ها (به‌جز امیرآباد) دارای روند افزایشی بوده و در ۵ ایستگاه در سطح ۵ درصد این روند معنی‌دار است. در ماه کم‌آب نیز، پارامتر مجموع کاتیون و مجموع آنیون به‌جز در دو ایستگاه امیرآباد و سعدآباد دارای روند مثبتی بوده است.

1- $SAR = Na/((Ca+mg)/2)^{0.5}$

جدول ۱- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت زرین‌گل (۹۰-۱۳۷۵) با آزمون ناپارامتری من‌کندال.

ایستگاه	ماه	TH	Cl⁻	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na%	TDS	SAR	Na^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	EC	pH	مجموع کاتیون‌ها	مجموع آنیون‌ها
علی آباد	پرآب	۲/۲۸*	۲/۰۰۸*	-۱/۷۸	-۱/۱٤	۲/٤۷**	-۰/۹٥	۲/۷۷**	۰/٤٥	۱/۱٤	۱/۹۸*	۲/۱۳*	۲/۹۷**	-۱	۲/۲۸*	۲/۳۸**
	کم‌آب	۱/٦۸	۲/٥۲**	-۰/۲۲	-۱/۳٥	۱/٦٤	۰/٥٥	۲/۳*	۱/٤۲	۱/٥۳	۰/۰٥	۱/۰۹۹	۲/۳*	-۰/۷۹	۳/۰۷**	۳/۰۷**
زرین گل	پرآب	۱/۷۲	۱/۱۹	۰	۱/٥٥	۱/٥۸	-۱/٦۷	۱/٥۸	-۱/۸۹	-۱/٤٤	۱/۰٤	-۰/۸۱	۱/٦۸	-۰/۷۷	۱/۳۱	۱/۲۲
	کم‌آب	۰/۱۸	۰/٦٦۱	-۲/۱*	۰/۹۸	-۰/٤۳	۰/۰٦	۰/۹۲	-۰/۲٤	-۰/۱۲	۱/۱٦	-۱/٥۳	۰/۹۲	-۱/٤٤	۰/۳۱	۰/٤۳
مزرعه کنول	پرآب	۲/٤۷**	۰/۸۷	-۱/۳٦	۰/۰۹	۲/۹۷**	-۱/٤۹	۲/٤۷**	-۰/۷۷	۰/۲۷	۲/۱۸*	۰/۹٥	۲/٤۷**	-۰/۹٥	۲/۳۷**	۲/٤۷**
	کم‌آب	۰	-۱/۲۱	-۲/۳*	۰/٤٦	۰	۰/۳۲	۲/۲۸*	۰/۳۲	۰/٦۸	-۰/۲	۱/۹۳	۲/٤۷**	-۰/۹٥	۱/۱۹	۱/۲۹
امیرآباد	پرآب	۰/٦۳	-۱/۹۳*	-۰/۸٥	۰/٦٦۸	۱/۱۳	-۱/٥۸	۰/٦۳	-۱/۹۸*	-۲/۷**	۰/۰۹	-۰/۹۹	۰/۸٦	-۱/٤۱	-۰/٤٥	-۰/٤٥
	کم‌آب	-۰/٤٥	-۱/۰۲	-۰/۷۸	-۰/۷	۰/۱٥	-۰/٤	-۰/۱	-۱/۰۹	-۰/۹۹	-۱/٤	۰/۲۲	-۰/۲٥	-۰/۸	-۱/٤۹	-۱/۳۹
ایمن‌ملاسازی	پرآب	۱/٥۸	۲/٤٤**	-۰/۲	۰	۱/٤	-۰/٥	۲/۰۷*	۰/۱۳	۰/٤٥	۰/٤	۳/٦**	۲/٤۸**	-۰/۹٥	۰/٤۰	۰/۱۳
	کم‌آب	۰/۲٥	٤/۰٥**	-۰/۲٥	-۰/۸۹	۰/۸۹	۰/٦۹	۲/۱۸*	۰/۹٤	۰/۸۹	۰/٤	-۲/۳*	۲/۷۸**	-۱/۸۹	۱/٤۹	۱/۳۹
خان‌بیین	پرآب	۱/۸۹	۰/٤۳	۰/٦۹	۱/٦	۲/۰۳*	۱/۲	۲/۸۷**	۲/۰۱*	۱/۷۷	۲/۳۸**	۱/۲۸	۲/۷٤**	-۱/٥	۲/۱۳*	۲/۲٦*
	کم‌آب	-۰/٥	-۰/۹٤	-۰/۷	-۰/۳	۱/۲۸	۱/٥۳	۱/۳۷	۱/۲	۱/۳۲	۰/۰٦	-۲/۳*	۱/۳۷	۰/٤٤	۰/۷۷	۰/٤۹

ادامه جدول ۱-

ایستگاه	ماه	TH	Cl^-	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na%	TDS	SAR	Na^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	EC	pH	مجموع کاتیون‌ها	مجموع آنیون‌ها
سعدآباد	پرآب	۳/۱۱**	۲/۰۸*	۰/۸۲	۲/۳*	۳/۲۳**	-۳/۱**	۱/۸۹	-۳/۱۱**	-۲/۹**	-۰/۰۵	۰/۵۵	۲/۵**	-۰/۲۷	۲/۱۳*	۲/۱۳*
	کم‌آب	۰/۹۳	۲/۸۱**	-۰/۵	۱/۰۱	۰/۳۹	-۲/۶**	-۱/۱	-۳/۲**	-۲/۸**	-۲/۶**	۰/۰۵	-۱/۱	-۱	-۱/۸	-۱/۶
بهلکه‌دانشلی	پرآب	۳/۱۷**	۲/۸۸**	۱/۸۷	۲/۲۵*	۳/۵**	-۱/٤	۳/۲۸**	-۱/٤۲	-۳/۱**	۱/۸۱	۲/۸۵**	۲/۷۵**	-۱/۲۷	۳/۲۸**	۳/۲۸**
	کم‌آب	۲/۸۶**	۲/۳۲*	۲/۷**	۲/۶۸**	۳/۰٤**	-۲/۳۳*	۲/۶۸**	-۱/٤۳	۳/٤**	۰/۳۹	۳/۰٤**	۲/۵**	-۱/۸۵	۳/۰٤**	۳/۰٤**
پرآب	تعداد ایستگاه با روند مثبت	٦	٤	۱	۲	۵	۰	٦	۱	۱	٤	۲	۷	۰	۵	۵
	تعداد ایستگاه با روند منفی	۰	۱	۱	۰	۰	۲	۰	۳	۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰
	تعداد ایستگاه بدون روند	۲	۳	٦	٦	۳	٦	۲	٤	٤	٤	۵	۱	۸	۳	۳
کم‌آب	تعداد ایستگاه با روند مثبت	۲	٤	۱	۱	۱	۰	٤	۰	۱	۰	۲	٤	۰	۲	۲
	تعداد ایستگاه با روند منفی	۰	۰	۲	۰	۰	۲	۰	۱	۱	۱	۲	۰	۲	۱	۰
	تعداد ایستگاه بدون روند	٦	٤	۵	۷	۷	٦	٤	۷	٦	۷	٤	٤	٦	۵	٦

روند معنی‌دار به‌صورت ارقام پررنگ در سطح معنی‌داری ۱۰، ۵ و ۱ درصد به‌ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و دو ستاره مشخص شده‌اند. لازم به ذکر است که در شمارش تعداد ایستگاه‌ها سطح معنی‌داری ۱۰ درصد یا کم‌تر در نظر گرفته شده است.

در هر دو ماه پرآب و کم‌آب، بیش‌ترین روند مثبت معنی‌دار در ایستگاه بهلکه داشلی مشاهده شد. در بین همه متغیرهای کیفی آب زیرزمینی، در ماه‌های پرآب پارامتر EC دارای بیش‌ترین تعداد روند مثبت معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد بوده و در ماه کم‌آب نیز علاوه‌بر دو پارامتر TDS و EC، یون کلرور نیز بیش‌ترین تعداد روند معنی‌داری مثبت را تجربه کرده است. در خصوص روند منفی معنادار، در بین همه متغیرهای کیفی در ماه پرآب، پارامترهای Na و SAR و در ماه کم‌آب، Na%، K^+، SO_4^{2-} و pH بیش‌ترین تعداد روند منفی معنادار در سطح ۱۰درصد را به خود اختصاص دادند. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش‌ترین تعداد روند منفی در ماه‌های پرآب و کم‌آب، متعلق به ایستگاه امیرآباد در قسمت مرکزی دشت می‌باشد. در حالت کلی با توجه به روند مثبت غالب متغیرهای مورد مطالعه در دشت زرین‌گل، کیفیت آب زیرزمینی دشت در طول دوره آماری افت پیدا کرده و آب زیرزمینی به‌سمت شور شدن میل کرده است.

نتایج شیب خط روند: جدول ۲ مقادیر شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی ایستگاه‌های مورد مطالعه را که با روش تخمین‌گر سن به‌دست آمده‌اند برای هر دو ماه پرآب و کم‌آب، نمایش می‌دهد. میانه شیب برای هر یک از متغیرها نیز محاسبه شده است. عنوان مثال، رقم میانه ۰/۰۲ برای متغیر کیفی سولفات بیانگر این است که در ماه پرآب، هر ۱۰ سال مقدار ۰/۲ (واحد) به مقدار سولفات دشت اضافه شده، در حالی‌که در ماه کم‌آب به‌دلیل وجود عدد منفی در مقدار شیب، به همین مقدار در هر ۱۰ سال کاهش یافته است. به‌طوری‌که از این جدول استنباط می‌شود، به‌جز برای پارامترهای Na%، SAR، SO_4^{2-} و pH برای سایر پارامترها، شیب‌های مثبت از فراوانی بیش‌تری نسبت به شیب‌های منفی برخوردارند و درحالت کلی شیب‌های مثبت از نظر مقدار بزرگ‌تر می‌باشند.

بزرگ‌ترین شیب مثبت خط روند مربوط به پارامتر هدایت الکتریکی در ایستگاه بهلکه‌داشلی (EC=۱۸۱) می‌باشد. همچنین بزرگ‌ترین شیب منفی خط روند نیز مربوط به پارامتر درصد سدیم (Na%= -۲/۳) در همین ایستگاه در ماه کم‌آب می‌باشد.

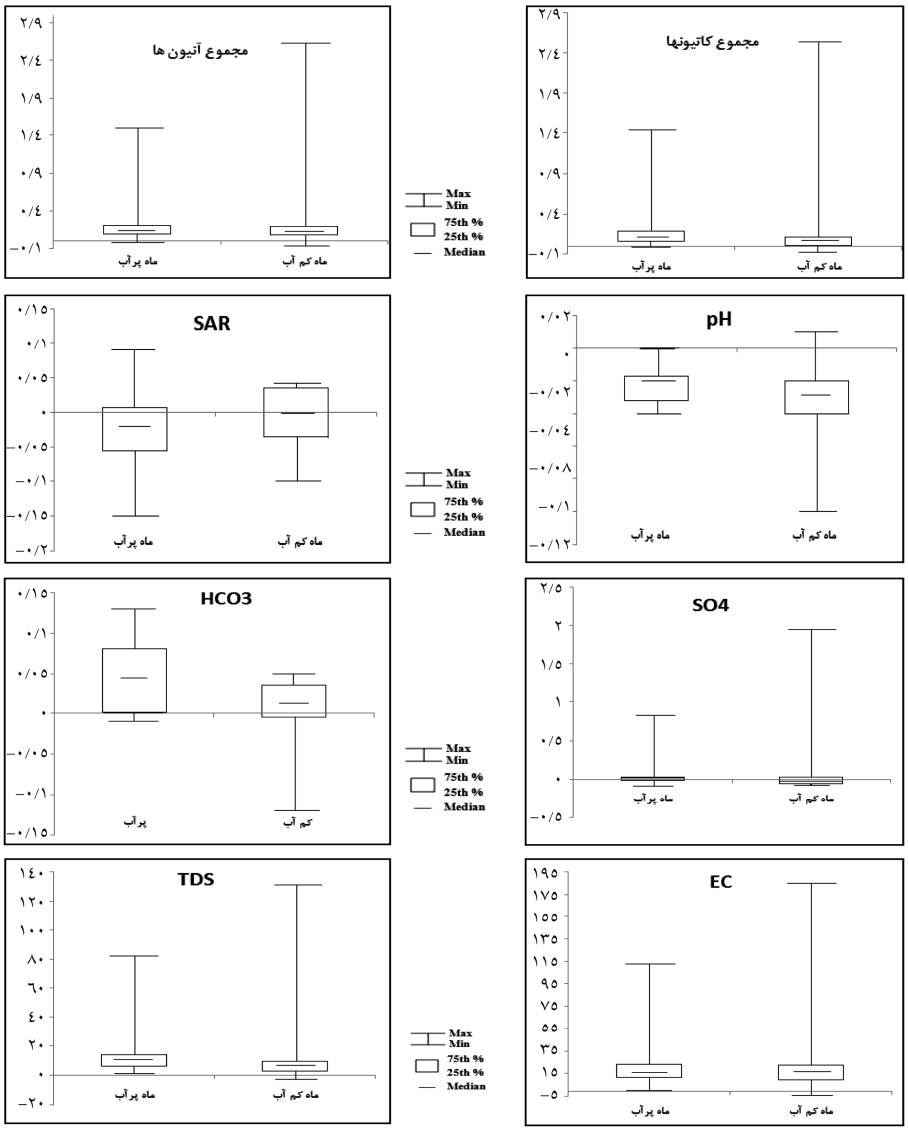
به‌طورکلی از بین تمام پارامترهای مورد بررسی، پارامترهای TH، TDS و EC دارای شیب‌های مثبت بسیار بزرگ نسبت به پارامترهای دیگر می‌باشد، که این بیانگر افزایش چشمگیر غلظت این پارامترها در خلال دوره زمانی مورد بررسی می‌باشد. به‌منظور درک بهتر تغییرات شیب متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه، نمودار باکس ویسکر (جعبه‌ای) برای تمامی متغیرهای کیفی در ماه پرآب و کم‌آب رسم شد.

در شکل ۲ نمودار باکس ویسکر بعضی از متغیرهای کیفی نمایش داده شده است. در هر نمودار، همان‌طورکه ملاحظه می‌کنید خط افقی انتهای خطوط قائم در قسمت پایین، حداقل شیب خط روند مشاهده شده در بین ایستگاه‌ها و در قسمت فوقانی، حداکثر مقدار شیب را نمایش می‌دهد. در هر نمودار مستطیل‌هایی نیز رسم شده است که قسمت پایین هر مستطیل نشان‌دهنده صدک ۲۵ و قسمت بالای آن نشان‌دهنده صدک ۷۵ می‌باشد. پاره‌خط موجود داخل مستطیل‌ها نیز نشان‌دهنده میانه شیب خط روند در بین تمامی ایستگاه‌ها است.

با توجه به نمودارهای باکس ویسکر (جعبه و خط) که مربوط به شیب خط روند برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی است، مشاهده می‌شود که میانه شیب برای بیش‌تر پارامترها برابر یا بزرگ‌تر از صفر می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که به‌طور متوسط شیب خط روند برای این پارامترها در بیش‌تر ایستگاه‌ها و ماه‌ها مثبت می‌باشد. تنها برای پارامترهای SAR، SO_4^{2-}، Na% و pH برای‌میانه شیب منفی بوده است. که این شیب منفی نشان‌دهنده کاهش غلظت پارامترهای موردنظر در دشت زرین‌گل می‌باشد. به‌طورکلی از بین ۸ ایستگاه مورد بررسی، ایستگاه بهلکه‌داشلی دارای شیب‌های مثبت بسیار بزرگ نسبت به سایر ایستگاه‌های دیگر می باشد که این بیانگر افزایش چشم‌گیر غلظت یون‌های نام برده در ایستگاه‌های بالا می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر شیب خط روند یا آماره β سری زمانی متغیرهای کیفی (بر حسب واحد متغیر در سال) آب زیرزمینی دشت زرین‌گل واقع در استان گلستان (دوره آماری ۹۰-۱۳۷۵).

ایستگاه	ماه	TH	Cl^-	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na%	TDS	SAR	Na^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	EC	pH	مجموع کاتیون‌ها	مجموع آنیون‌ها
علی‌آباد	پرآب	۵/۳۷	۰/۰۴۵	-۰/۰۰۱	-۰/۰۳	۰/۱۶	-۰/۲	۱۲/۳۶	۰/۰۰۲	۰/۰۲۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۱۹/۶۷	-۰/۰۲	۰/۱۲۶	۰/۱۳۶
	کم‌آب	۲/۲۶	۰/۰۸۹	۰	-۰/۰۳۳	۰/۰۷۱	۰/۴۷	۱۰/۶۹	۰/۰۳۳	۰/۰۶۵	۰	۰/۰۳۷	۱۸/۴۳	-۰/۰۲۸	۰/۱۰۵	۰/۱۱۹
زرین‌گل	پرآب	۴/۷۶۵	۰/۰۲۳	۰	۰/۰۳۳	۰/۰۷	-۰/۵	۱۰/۱۹	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۴	-۰/۰۳	۱۲/۸۸	-۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۸۸
	کم‌آب	۲/۵۹۶	۰/۰۳۵	-۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	-۰/۰۳	۰/۰۴	۸/۸۳	-۰/۰۱	۰	۰/۰۳۳	-۰/۰۶	۱۵/۲۱	-۰/۰۴	۰/۰۸۵	۰/۰۷۶
مزرعه کتول	پرآب	۷/۳۹	۰/۰۱۲	۰	۰	۰/۱۷۱	-۰/۴۳	۱۱	-۰/۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۷۵	۰/۰۱۵	۲۰/۷۷	-۰/۰۲	۰/۱۵۶	۰/۱۶۶
	کم‌آب	۰/۰۶۹	-۰/۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۱۸۲	۴/۴۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۶	-۰/۰۲	۰/۰۳۳	۷/۵۹۹	-۰/۰۲	۰/۰۱۹	۰/۰۲۷
امیرآباد	پرآب	۲/۲۴	-۰/۰۲	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۴۳	-۰/۵۵	۱/۱۱	-۰/۰۴	-۰/۰۵	۰	-۰/۰۱	۴/۰۷	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲
	کم‌آب	-۱/۵۸	-۰/۰۱	۰	-۰/۰۲	۰	-۰/۲	-۱	-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۰۵	-۰/۰۸	-۱	-۰/۰۲	-۰/۰۷	-۰/۰۵
ایمرملاسازی	پرآب	۲/۰۲	۰/۱۲۷	-۰/۰۰۱	۰	۰/۰۳۳	-۰/۱۲	۵/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳۷	۰	-۰/۰۹	۸/۷۱	-۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳۵
	کم‌آب	۰/۳۹۸	۰/۱۷۸	۰	-۰/۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۹۴	۸/۸	۰/۰۴۲	۰/۰۸	۰/۰۲۵	-۰/۰۶	۱۸/۸	-۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۲
خان‌ببین	پرآب	۵/۵۳	۰/۰۱	۰	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۸۲	۱۸/۳۸	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۳	۳۰/۲	-۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۲۶
	کم‌آب	-۱/۵	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰/۷۷	۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰	-۰/۰۵	۱۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳
سعدآباد	پرآب	۹/۹	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۷	۰/۱۲	-۱/۹۴	۶/۷۸	-۰/۱۵	-۰/۱	-۰/۰۱	۰/۰۲	۱۲/۳	۰	۰/۰۷	۰/۰۸
	کم‌آب	۱/۹	۰/۰۳	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۸	-۲/۶۷	-۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۱۲	۰/۰۰۱	-۴	-۰/۰۳	-۰/۰۸	-۰/۰۷
بهلکه‌داشلی	پرآب	۵۸/۴	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۶	۰/۵۹	-۲	۸۲	-۰/۱	۰/۲۲	۰/۱	۰/۸۲	۱۱۲/۸۵	-۰/۰۴	۱/۴۴	۱/۴۸
	کم‌آب	۱۰۸	۰/۵۹	۰/۰۲	۱/۰۸	۱/۱۴	-۲/۳	۱۳۱	-۰/۱	۰/۳۶	۰/۰۴	۱/۹۵	۱۸۱	-۰/۱	۲/۵۴	۲/۵۶
میانه ماه پرآب		۵/۴۵	۰/۰۱۷	۰	۰/۰۲۴	۰/۰۹۵	-۰/۴۶	۱۰/۵۹	-۰/۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۴۵	۰/۰۲	۱۶/۲۷	-۰/۰۲	۰/۱۰۳	۰/۱۱۲
میانه ماه کم‌آب		۱/۱۵	۰/۰۳۲	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۶۷	۶/۹	-۰/۰۰۰۵	۰/۰۳۸	۰/۰۱۲	-۰/۰۲	۱۲/۶۱	-۰/۰۳	۰/۰۶۲	۰/۰۵۳

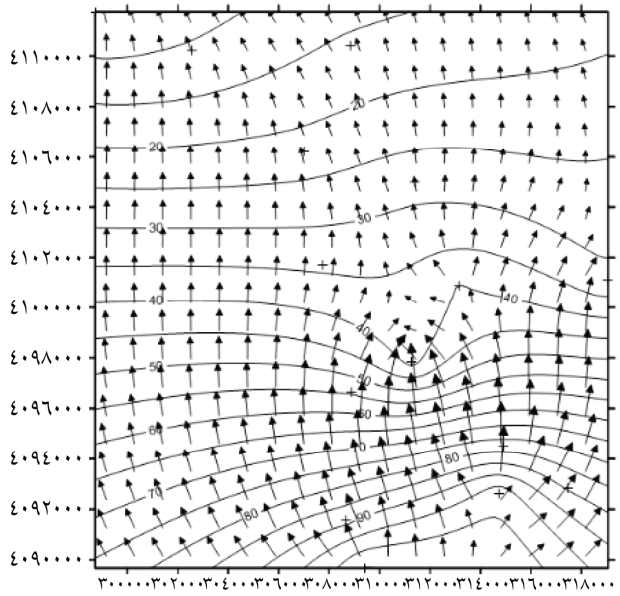


شکل ۲- نمودار باکس ویسکر برای شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در ماه‌های کم‌آب و پرآب در دشت زرین‌گل در دوره آماری (۱۳۹۰-۱۳۷۵).

توجه: در این شکل خطوط انتهای جعبه (پایین و بالای مستطیل) به‌ترتیب نشان‌دهنده مقادیر شیب مانند صدک ۲۵ و ۷۵ و خط موجود در درون جعبه نشان‌دهنده مقدار مانند میانه شیب‌ها می‌باشد. خطوط بالا و پایین (خطوط افقی کرانه‌ای) به‌ترتیب نشان‌دهنده بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شیب مشاهده شده در بین ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل برای متغیرهای Cl، pH، EC، SAR و SO_4^{2-} ارتفاع مستطیل‌ها در ماه کم‌آب بیش‌تر از ماه پرآب بوده، از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای کیفی نام‌برده در ماه کم‌آب بیش‌تر از ماه پرآب هستند. ارتفاع مستطیل‌ها نشان‌دهنده شاخصی برای واریانس شیب خط روند هر متغیر از صدک ۲۵ تا صدک ۷۵ است. چون خط وسط مستطیل‌ها (میانه) در خصوص متغیرهای Na، SAR، %Na و Cl در ماه کم‌آب در مقایسه با میانه نظیرش در ماه پرآب در تراز بالاتری قرار گرفته است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت متغیرهای بالا در ماه کم‌آب پایین‌تر از ماه پرآب است. ماکزیمم شیب خط روند در خصوص پارامترهای pH، EC، SO_4^{2-}، Na، TDS، Ca، K، Cl، TH، مجموع آنیون‌ها و مجموع کاتیون‌ها در ماه کم‌آب مقداری بالاتر از ماه پرآب بوده است. مینیمم مقدار شیب خط روند پارامترهای SO_4^{2-}، Na، SAR و Cl در ماه کم‌آب در ارتفاع بالاتری نسبت به ماه پرآب قرار دارد. لازم به ذکر است که میانه شیب بعضی از پارامترها منفی بوده است.

همان‌طورکه قبلاً نیز بیان شد، بزرگ‌ترین شیب مثبت خط روند مربوط به ایستگاه بهلکه‌داشلی در خصوص پارامتر هدایت الکتریکی است. با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی در این دشت (شکل ۳)، می‌توان بیان داشت که در حقیقت ایستگاه بهلکه‌داشلی که در حوالی خروجی دشت می‌باشد و نزدیکی به دریا، افت سطح آب زیرزمینی و افزایش تبخیر در این نواحی، از دلایل بالا رفتن شوری آب زیرزمینی می‌باشد. حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و برداشت بیش از حد از این منابع در سال‌های اخیر، یکی دیگر از دلایل کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در این دشت بوده است. بنابراین با توجه به مثبت بودن شیب خط روند برای بیش‌تر متغیرهای کیفی در دشت زرین‌گل، می‌توان بیان داشت که کیفیت آب زیرزمینی در این دشت کاهش یافته است. از سویی دیگر مطالعات نشان داد که فاصله خطوط بالا و پایین جعبه‌ها در خصوص متغیر EC برای ماه کم‌آب بیش‌تر از سایر پارامترها می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات شیب خط روند این متغیر که مربوط به شوری آب زیرزمینی است، بیش‌تر از سایر متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد. تغییرات EC زیاد در دوره تر و خشک نشان‌دهنده تغییرات شدید کیفیت آب با توجه به بارش است و بارش بر کیفیت آب زیرزمینی بسیار تأثیرگذار بوده است.



شکل ۳- نقشه مربوط به جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی زرین‌گل.

با توجه به بررسی برخی شاخص‌های کیفی برای دشت زرین‌گل و جدول ۳، می‌توان نتیجه گرفت که از بین ۸ ایستگاه انتخابی در این مطالعه، در شرایط کنونی تعداد ٦ ایستگاه (معادل ۷۵ درصد ایستگاه‌ها شامل علی‌آباد، زرین‌گل، مزرعه کتول، امیرآباد، خان‌ببین و سعدآباد) در کلاس C_3–S_1 بوده و دارای آب با کیفیت تقریباً مناسب برای مصرف کشاورزی هستند. ایستگاه‌های ایمرملاسازی و بهلکه‌داشلی با قرارگیری در کلاس C_3–S_2 و C_4–S_1 دارای آب با کیفیت متوسط و نامناسب برای مصرف کشاورزی می‌باشند. در طی سال‌های ۹۰-۱۳۷۵ از بین ۸ ایستگاه موجود در دشت، ایستگاه خان‌ببین در ماه اردیبهشت و ایستگاه بهلکه‌داشلی در هر دو ماه اردیبهشت و آبان از نظر طبقه‌بندی ویلکوکس تغییر وضعیت داده و در شرایط بدتری نسبت به ۱۵ سال گذشته قرار گرفته‌اند. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت کیفی آب برای مصارف کشاورزی در نواحی شمالی نامطلوب‌تر از سایر نواحی دشت شده است که همان‌طورکه پیش‌تر نیز بیان شد، این ایستگاه‌ها در نواحی خروجی دشت قرار دارند و با مطالعات به‌دست آمده از آزمون ناپارامتری من‌کندال نیز هماهنگی دارند.

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت آب براساس دیاگرام ویلکوکس در ۸ چاه اندازه‌گیری متغیرهای کیفی در دشت زرین‌گل (دوره آماری ۹۰-۱۳۷۵).

نام ایستگاه	ماه	SAR		EC		طبقه‌بندی ویلکاکس	
		۱۳۷۵	۱۳۹۰	۱۳۷۵	۱۳۹۰	۱۳۷۵	۱۳۹۰
علی‌آباد	اردیبهشت	۱/۳۱	۱/٤٤	۷٦٦	۱۰۰۸	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
علی‌آباد	آبان	۰/۸۹	۱/۵۱	۷۵۷	۹۸۳	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
زرین‌گل	اردیبهشت	۲/٦	۱/۸۳	۸۳۸	۹٦٤	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
زرین‌گل	آبان	۱/۸۸	۱/۵۳	۸۰٦	۹٦۷	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
مزرعه‌کتول	اردیبهشت	۱/٦۵	۲/۲۱	۸۷۹	۱۷۱۸	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
مزرعه‌کتول	آبان	۱/۳۵	۲/۳	۹۲۱	۱٦٤۸	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
امیرآباد	اردیبهشت	۱/۹٦	۲/۰۵	۹۱۱	۱۱۰۰	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
امیرآباد	آبان	۱/۹۸	۱/۵۲	۹۸٦	۱۳٤۰	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
ایمرملاسازی	اردیبهشت	٦/۰٤	٦/۷۲	۱۰۳۳	۱۱۲۱	$C_۳-S_۲$	$C_۳-S_۲$
ایمرملاسازی	آبان	۵/٦	٦/۱۹	۱۱٤۰	۱۲۷۹	$C_۳-S_۲$	$C_۳-S_۲$
خان‌ببین	اردیبهشت	۱/۲۳	۲/٤٤	٤٦۹	۷۸۷	$C_۳-S_۱$	$C_۲-S_۱$
خان‌ببین	آبان	۲/۵٤	۲/۱٦	۷۷۸	۸۵۳	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
سعدآباد	اردیبهشت	۲/۷۷	۲/۵	۱۲۱٦	۱٤۲۲	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
سعدآباد	آبان	۳/۱۲	۲/٤	۱٤۲۷	۱٤۳٦	$C_۳-S_۱$	$C_۳-S_۱$
بهلکه‌داشلی	اردیبهشت	۰/۷۸	۲/۳۲	۲٤٦	۳٤۹۰	$C_۱-S_۱$	$C_٤-S_۱$
بهلکه‌داشلی	آبان	۳/۰٤	۲/۷۱	۹۵۸	۳۲۹۰	$C_۳-S_۱$	$C_٤-S_۱$

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه روند تغییرات برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت زرین‌گل واقع در استان گلستان با آزمون ناپارامتری من‌کندال مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از آمار ۸ ایستگاه منتخب که دارای آمار ۱۵ ساله در دوره آماری ۹۰-۱۳۷۵ می‌باشند، استفاده شد. سپس با اعمال آزمون ناپارامتری من‌کندال با حذف کامل اثر خودهمبستگی بر هر یک از ۱۳ پارامتر کیفیت آب زیرزمینی شامل یون‌های TH، Cl^-، K^+، $Mg^{۲+}$، $Ca^{۲+}$، Na%، TDS، SAR، Na^+، $HCO_۳^-$، $SO_٤^{۲-}$، EC، pH، مجموع کاتیون و مجموع آنیون روند پارامترهای نام‌برده مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شیب خط روند هر سری با روش تخمین‌گر سن محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در بیش‌تر

ایستگاه‌های مورد بررسی غلظت دارای روند افزایشی بود و آب زیرزمینی در این دشت به‌سمت شور شدن میل کرده است. از دلایل این کاهش کیفیت، برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، کاهش بارندگی، افزایش تبخیر و کم شدن آبدهی رودخانه‌های موجود در دشت و در نتیجه افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر می‌باشد. از طرفی دیگر با توجه به نتایج به‌دست آمده از طبقه‌بندی ویلکوکس نیز معلوم گردید، که کیفیت آب زیرزمینی به‌خصوص در نواحی شمالی دشت از وضعیت نامناسب‌تری برخوردار است و منابع آب زیرزمینی این نواحی برای مصرف کشاورزی مناسب نمی‌باشد و باید اقدامات لازم در زمینه بهبود کیفیت و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی صورت گیرد.

منابع

1.Dindarlo, K., Alipour, V., and Farshidfar, Gh.R. 2006. Drinking water quality in Bandar abbas. Hormozgan Med. J. 1: 57-62. (In Persian)

2.Daneshvar Vosoghi, F., Dinpazhooh, Y., Alami, M.T., and Ghorbani, M.A. 2011. The trend Analysis of water quality change in Ardabil Plain Using the nonparametric Mann-Kendall. J. Civil Environ. Engin. Univ. Tabriz. 3: 13-24. (In Persian)

3.Holz, G.K. 2009. Seasonal variation in groundwater levels and quality under intensively drained and grazed pastures in the Montagu catchment, NW Tasmania. Agricultural Water Management. 96: 255-266.

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

5.Kumar, S., Merwade, V., Kam, J., and Thurner, K. 2009. Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. J. Hydrol. 374: 171-183.

6.Mann, H.B. 1945. Non-parametric test against trend. Econometrica. 13: 3. 245-259.

7.Ministry of Energy. 2011. Groundwater quality monitoring instructions, Department of Energy, Department of Water Affairs and Bfa, Office of Engineering and Technical Standards and Bfa Water. Bulletin No. 384-a.

8.Mosleh, L., and Hashemi, H. 2012. Groundwater quality trend analysis case study: Plain Dezfol - Andimeshk. First National Conference of Water Flow and Pollution, Tehran. 9p. (In Persian)

9.Nazarizadeh, F., Ershadeyan, B., Zandvakili, K., and Noori, M. 2006. Effect of Regional Groundwater Quality Changes in Balarood Desert in Khoozestan Province, First Regional Conference of Operation of Water Resources of Karoon and Zayanderood Basin, Ahwaz. 287p.

10.Quevauviller, P. 2009. Groundwater monitoring. USA: John Wiley and Sons. 450p.

11. Sen, P.K. 1966. Estimates of the regression coefficients based on kendall's tau. J. Amer. Stat. Assoc. 63: 1379-1389.
12. Theil, H. 1950. A rank invariant method of linear and Polynomial regression analysis, Part 3. Netherlands Akad, Wetensch. Proc. 53: 1379-1412.
13. Wahlin, K., and Grimvall, A. 2009. Roadmap for assessing regional trends in groundwater quality. Environmental Monitoring and Assessment. 165: 1-4. 17-231.
14. Yue, S., and Wnag, C.Y. 2002. Applicability of the pre-whiteninig to eliminate the influence of serial correlation on the Mann- Kendall test. Water Resources Research. 38: 6. 1068.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(3), 2014
http://jwsc.gau.ac.ir

The trend of groundwater quality parameters in Zarringol Plain using nonparametric Mann-Kendall and Sens Methods

F. Abareshi[1], *M. Meftah Halghi[2] and A.A. Dehghani[2]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 04/12/2013; Accepted: 11/25/2013

Abstract

Groundwater is the most important water resources for agriculture, industry and drinking and therefore qualitative changes in program planning and sustainable management of water resources is necessary. The aim of this study was to evaluate the trend of groundwater quality parameters of some selected stations in Golestan province by using non-parametric Mann-Kendall and Sens Methods. For this purpose, the water quality data were gathered in 8 stations of Zarringol plain during 1996-2011. The quality parameters used in this study were TH, Cl^-, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na%, TDS, SAR, Na^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}, EC, pH, the total sum of cation and anion. Before analyzing the data, the effect of significant first order autocorrelation was removed from the data set. The results showed most water quality parameters tends to rise. 41% and 20% of groundwater quality time series show meaningful positive trend during wet and dry season, respectively. Also 20% and 10% of groundwater quality time series show meaningful negative trend during wet and dry season, respectively. Due to the positive slope of the trend line for most quality parameters, water quality in this region tends to decreases. The maximum positive slope of the trend line is belong to EC, where observed in downstream of plain. The loss of groundwater level due to increase of consumption can be one of the main reasons for decreasing the ground water quality and salinity.

Keywords: Trend, Ground water quality, Nonparametric Mann-Kendall**,** Zarrringol plains, Sens estimator

* Corresponding Author; Email: meftah_20@yahoo.com