تجزیه و تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال

فرناز دانشور وثوقی [۱]، یعقوب دین‌پژوه [۲]، محمدتقی اعلمی *[۳]، محمدعلی قربانی [۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - آب، دانشکده فنی – مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

[۲] استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۳] دانشیار گروه مهندسی عمران - آب، دانشکده فنی – مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

[۴] استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در برنامه ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این مطالعه تجزیه و تحلیل روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی با توجه به اطلاعات ۱۳ ایستگاه پیزومتری در منطقه دشت اردبیل در دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۷۴ با آزمون ناپارامتری مان-کندال مورد بررسی قرار گرفت. قبل از تجزیه و تحلیل، اثر خود همبستگی معنی‌دار مرتبه اول از سری داده‌ها حذف گردید. متغییرهای هیدروژئوشیمیایی مورد بررسی شامل مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها، pH، TH، EC، SO_4^{2-}، Na%، Na^+، K^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، TDS، SAR، Cl^- و HCO_3^- می‌باشد که در هر سال، ۲ بار اندازه گیری شده است. برای هر سری زمانی، شیب خط روند با استفاده از روش تخمین گر Sen محاسبه شد. نتایج نشان دادند که روند تغییرات غلظت تمام متغیرهای کیفی آب، در همه ایستگاه‌ها افزایشی است. روند مثبت معنی‌دار در سطح ۵ درصد برای متغیرهای کیفی در ماه پرآب برای ۲۳٪ و در ماه کم‌آب سال برای ۱۹/۵٪ از سری‌ها مشاهده شد. نتایج شیب خط روند بصورت نمودار باکس ویسکر نشان داده شده است. روند شدید افزایشی در تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در ماه پرآب در بخش‌های مرکزی و شرقی و در ماه کم‌آب نیز در بخش‌های مرکزی و غربی دشت مشاهده شد.

واژگان کلیدی: تحلیل روند، کیفیت آب زیرزمینی، دشت اردبیل، مان- کندال، تخمین‌گر Sen.

۱- مقدمه

بررسی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی در هر منطقه، از اهمیت فراوانی برخوردار است. افزایش روزافزون جمعیت، احداث کارخانجات صنعتی و بالارفتن سطح بهداشت در دهه‌های اخیر از یک طرف و دفع فاضلاب‌های صنعتی، شهری، کشاورزی و بروز خشکسالی‌ها از طرف دیگر، کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرارداده است. برای بررسی روند تغییرات پارامترهای هیدروژئولوژیکی مانند مواد شیمیایی محلول در آب‌های زیرزمینی، روش‌های زیادی وجود دارد. از بین این روش‌ها، روش‌های ناپارامتری بیشتر مورد توجه و استفاده محققین بوده است.

در زمینه روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی، مطالعات متعددی انجام شده است. Kampbell و همکاران [۱] کیفیت آب زیرزمینی اطراف دریاچه تکسوما[1] را برای ۵۵ حلقه چاه در فاصله زمانی اکتبر و اوت سال ۲۰۰۰ مطالعه کردند. نتایج، حاکی از این بود که غلظت یون‌های نیترات، فسفات، آمونیوم، نیتروژن و کلراید در طول دوره‌های خشکسالی افزایش یافته است. Houben و همکاران [۲] کیفیت آب زیرزمینی را در حوضه آبریز کابل (در افغانستان) در دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۰۱ با روش‌های رگرسیون بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که سختی آب و شوری در آب‌های زیرزمینی این ناحیه وجود داشته و وقوع خشکسالی متمادی، آن را تشدید کرده بود. Tayfur و همکاران [۳] روند تغیرات متغییرهای هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی را با روش‌های آزمایشگاهی در ناحیه تربالی[2] ازمیر ترکیه مطالعه نمودند. آن‌ها از اطلاعات ۱۰ ایستگاه در دوره آماری ۲۰۰۲-۲۰۰۱ استفاده کردند. نتایج نشان دادند که در فصل تابستان، غلظت نیتریت، COD و غلظت یون آمونیوم بالاتر از حد استاندارد برای آشامیدن بود. Holz [۴] تغییرات فصلی در کیفیت آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز مونتگو[3] واقع در شمال‌غرب تاسمانیا را برای ۱۰ چاه، ۲ پیزومتر و در ۷ ایستگاه

[1] Texoma

[2] Torbali

[3] Montagu

* نویسنده مسئول

دریافت ۸۹/۷/۸ پذیرش ۹۰/۱/۲۷

"در سال ۲۰۰۴" با استفاده از روش‌های ناپارامتری مورد بررسی قرارداد. نتایج نشان داد که میزان غلظت نیترات برای تمام ایستگاه‌ها قبل از شروع بارش‌های زمستانی از ۲۰ تا ۱۰۰۰ برابر افزایش یافته بود. در این ناحیه، غلظت یون آمونیوم بالا و بیش از حد مجاز برای آشامیدن بود. مواد معدنی نیز از خود، روندی را نشان ندادند. Wahlin و Grimvall [۵] روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی سفره سویدیش[1] جنوب سودان را در دوره آماری ۲۰ ساله و برای ۷۷ ایستگاه پیزومتری، با روش ناپارامتری مان‌کندال مطالعه کردند. نتایج، حاکی از وجود روند کاهشی در مقدار غلظت یون سولفات بود ولی در غلظت یون‌های تغییری مشاهده نشد. Elci و Polat [۶] روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی سفره گچی نیف[2] در جنوب شهر ازمیر ترکیه را برای نمونه‌های آب زیرزمینی ۵۷ ایستگاه برای متغییرهای کیفی آب زیرزمینی شامل EC (هدایت الکتریکی)، نیترات، کلراید، سولفات، سدیم، فلزات سنگین و آرسنیک با روش آماری اسمیرنف-کولموگرف و روش t تست ارزیابی کردند. این محققین نشان دادند که مقدار غلظت کلراید در فصول بارانی، نسبت به فصل‌های خشک کاهش داشته است. پارامترهای دما و نیترات، روند افزایشی و فسفات و سختی کل، روند کاهشی داشتند.

Ketata و همکاران [۷] روند تغییرات متغیرهای هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی از جمله شور، pH، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات و عوامل و پدیده‌های حاکم بر آن را در سفره آبدار گابس[3] (جنوب‌شرقی تونس) برای ۹ چاه در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۹۵ با نرم‌افزار GIS بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان شوری و سایر متغیرهای شیمیایی در طول زمان تغییر کمی کرده و در جهت حرکت آب زیرزمینی روند کاهشی دارند. وضعیت شیمیایی سفره، بیشتر به جنس سنگ‌های تشکیل‌دهنده آن ارتباط داشت و مقدار فلوراید بیشتر از حد مجاز برای سلامتی بود.

در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در ارتباط با روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام شده است. غالب این مطالعات حاکی از افت کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت‌های مختلف ایران است. Khzaei و همکاران [۸] روند تغییرات متغیرهای هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی زاهدان و تأثیر فعالیت‌های انسانی را روی کیفیت آب زیرزمینی در دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۷۴ بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش و میزان متغیر EC در برخی مناطق تا ۷۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر طی ۲۵ سال افزایش داشته و غلظت یون نیترات در مناطق شهری به مقادیر غیرمجاز رسیده بود. چیت‌سازان و همکاران [۹] تأثیر خشکسالی را بر کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت خویس در شمال استان خوزستان را در محیط ARCGIS مطالعه کردند. نتایج حاکی از آن بود که خشکسالی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۶ در پایین آمدن کیفیت و افت تراز آب زیرزمینی مؤثر بوده است. آن‌ها پر استرس‌ترین ناحیه دشت را بخش‌های بالادست آبخوان و در مجاورت رودخانه کرخه معرفی کردند. حسین‌پور [۱۰] کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه لنجانات اصفهان را برای برخی از پارامترهای شیمیایی آب از جمله مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها و فلزات سنگین در چهار فصل سال برای ۱۶ حلقه چاه با استفاده از روش توصیفی بررسی کردند. نتایج نشان داد که سختی در آب زیرزمینی افزایش داشته است. همچنین آلودگی شدید و COD بالا در آب‌های زیرزمینی اطراف نواحی صنعتی مشاهده شد. دیانتی تیلکی و فلاح [۱۱] روند تغییرات هدایت الکتریکی (شوری) و سختی آب‌های زیرزمینی مناطق ساحلی شهرستان ساری را برای دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۶۸ با کمک نرم‌افزار GIS مطالعه کردند. آن‌ها برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، روش توصیفی گذشته‌نگر را بکار بردند. آن‌ها مشاهده کردند که حفر چاه‌های متعدد و برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی، منجر به پیشروی آب شور دریای خزر به سمت مناطق ساحلی شده و در نتیجه سختی آب، افزایش یافته بود. دیندارلو و همکاران [۱۲] کیفیت شیمیایی آب شرب بندر عباس را در سال ۱۳۸۲ با استفاده از روش توصیفی بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان فلوئور، سولفات، کلرور، سدیم، سختی کل EC و TDS در منابع آب زیرزمینی از حداکثر مجاز و میزان نیتریت و کلسیم فراتر از حد مطلوب بود. رحمانی و شکوهی [۱۳] کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت بهار همدان را برای ۲۳ پارامتر کیفی، فیزیکی، شیمیایی و باکتریولوژیکی در مقیاس ماهانه برای یکسال با مطالعه مقطعی-توصیفی بررسی کردند. نتایج نشان داد که در وضعیت فعلی خطری از جانب فلزات سنگین متوجه آب زیرزمینی دشت نبوده ولی غلظت متغیرهای آمونیوم، آمونیاک و نیترات افزایش

[1] Swedish
[2] Nif
[3] Gabes

یافته بود. رزاق منش و همکاران [۱۴] برای بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز از مدل‌های PMWIN و MT3D استفاده کردند. نتایج مدل مطالعاتی آن‌ها نشان داد که افزایش برداشت در طولانی مدت باعث افت سطح ایستایی و افزایش شوری آب زیرزمینی در ۱۶ سال آینده خواهد شد. فرشادی و همکاران [۱۵] کیفیت آب زیرزمینی دشت نورآباد ممسنی را برای ۱۷ متغیر کیفی۲۰ ایستگاه، بصورت فصلی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها روش آنالیز خوشه‌ای و تحلیل عاملی را بکار بردند. نتایج حاکی از این بود که آب چاه‌ها با قطر دهانه بزرگ دارای آلودگی میکروبی بوده‌اند. کرمی [۱۶] روند تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی سراب را مطالعه نمود. ایشان از روش‌های آماری چند متغییره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در جهت جریان، از دامنه ارتفاعات اطراف به سمت دشت، شورتر شده و در مرکز دشت به دلیل بالا بودن سطح ایستایی، شوره‌زارها را بوجود آورده بود. ملکوتیان و کرمی [۱۷] روند تغییرات کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت بم و بروات را برای سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳ و برای ۱۲ پارامتر شیمیایی در ۲۰ حلقه چاه پیزومتری و ۱۰ حلقه چاه آب شرب بررسی کردند. آن‌ها از طبقه‌بندی‌های شولر و ویلکوکس بهره گرفتند و تغییرات کیفیت شیمیایی آب را در جهت نامطلوب شدن، تشخیص داده‌اند. با این حال، آب منطقه هنوز برای آشامیدن و آبیاری مناسب تشخیص داده شد.

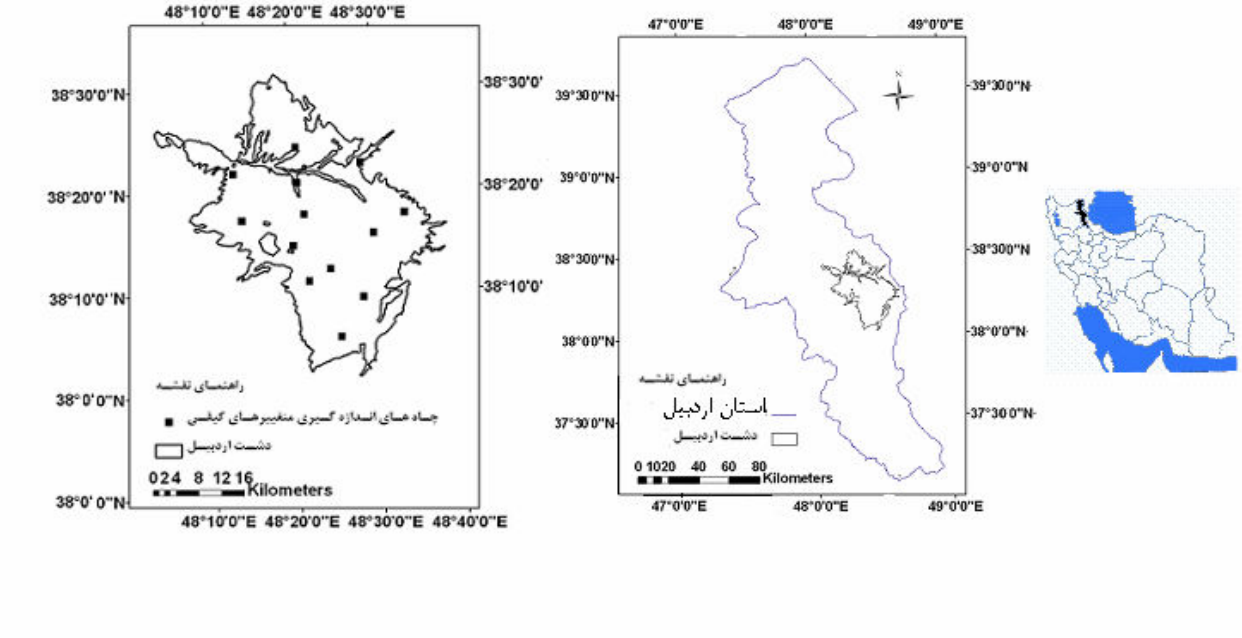
با توجه به بررسی پیشینه پژوهش، به نظر می‌رسد که تاکنون مطالعات جامعی در مورد روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت اردبیل انجام نشده است. بنابراین، اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از:

الف) بررسی روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل با روش ناپارامتری مان- کندال.

ب) تخمین شیب خط روند متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل با روش تخمین‌گر سن Sen.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دشت اردبیل است که در شمال غربی ایران واقع شده است. این دشت در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل (۱)).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت اردبیل و چاه‌های مشاهداتی مورد مطالعه

دشت اردبیل مشرف بر ارتفاعات بخش غربی رشته کوه البرز (ارتفاعات تالش) و در امتداد دامنه شرقی سبلان قرار دارد. مساحت آن حدود ۹۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط بارش سالانه در ایستگاه سینوپتیک اردبیل حدود ۳۰۴ میلیمتر می‌باشد. در این دشت اردیبهشت پرباران‌ترین ماه سال است. میانگین دمای سالانه در ایستگاه اردبیل ۹ درجه سانتی‌گراد، حداقل دمای ثبت شده ۳۳/۸- درجه سانتی‌گراد، متوسط تعداد روزهای یخبندان ۱۳۰ روز در سال و یکی از نواحی سردسیر ایران محسوب می‌شود. داده‌های کیفی آب زیرزمینی برای ۱۵ متغیر شامل مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، PH (خاصیت اسیدی)، TH (سختی کل)، EC (هدایت الکتریکی)، Na^{+} (سدیم)، So_4^{2-} (یون سولفات)، Na (درصد سدیم)، Mg^{2+} (منیزیم)، TDS (مقدار مواد جامد حل شده در آب)، SAR (نسبت جذب سدیم)، Ca^{2+} (کلسیم)، K^{+} (پتاسیم)، Cl^{-} (کلر) و HCO^{-}_3 (یون بی‌کربنات) در ۱۳ حلقه چاه در دشت اردبیل در دو ماه از سال از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۷ از سازمان آب استان اردبیل اخذ شدند. لازم به یادآوری است که متغیرهای مذکور معمولاً دو بار در سال اندازه‌گیری می‌شوند که یک بار آن در ماه پرآب (ماهی که تراز آب زیرزمینی به بالاترین سطح خود می‌رسد) و یک بار آن هم در ماه کم‌آب (ماهی که تراز آب زیرزمینی به پایین‌ترین سطح خود نزول می‌کند) می‌باشد. داده‌های ناقص در این مطالعه بازسازی نشدند. روش‌های مختلفی برای مطالعه روند داده‌ها وجود دارد. گرچه هر روش دارای محدودیت‌های خاص خود است با این حال در این مطالعه روند تغییرات متغییرهای کیفی آب زیرزمینی ایستگاه‌های پیزومتری با آزمون ناپارامتری مان‌کندال (MK) [۱۸ و ۱۹] مورد بررسی قرار گرفت. از مزایای اصلی روش‌های ناپارامتری این است که وجود داده‌های پرت، نتیجه روند داده‌ها را کمتر از روش‌های پارامتری تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزون براین، برای سری داده‌هایی که طول آن‌ها کم و توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های گمشده باشند، مناسب‌تر هستند. چون شرط لازم برای استفاده از این آزمون نداشتن ضریب خود همبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌هاست [۲۰ و ۲۱]. بنابراین در این مطالعه از آزمون MK اصلاح شده (پس از حذف اثر ضریب خود همبستگی مرتبه اول معنی‌دار) برای تحلیل روند در سری‌های زمانی مورد نظر استفاده شد. بنابراین، در مطالعه حاضر هر سری زمانی قبل از تحلیل از نظر معنی‌داری ضریب خود همبستگی مرتبه اول، r_1، تست می‌شد. اگر r_1 معنی‌دار بود از روش مان‌کندال اصلاح شده و در غیر اینصورت از روش MK مرسوم برای آزمون روند اقدام می‌شد. افزون براین، برای بررسی شیب سری زمانی از روش تخمین‌گر شیب Sen که بعداً شرح داده می‌شود، استفاده شد.

۲-۱- روش‌مان کندال (MK)

این روش برای بررسی روند داده‌ها بکار می‌رود. در این روش آماره S برای ماه g ام و ایستگاه k ام بشرح زیر محاسبه می‌گردد [۲۲]:

$$S_{gk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(X_{jgk} - X_{igk}), \quad \forall \le i \langle j \le n \qquad (۱)$$

که در آن n تعداد داده‌های سری می‌باشد و $\mathrm{sgn}\theta$ تابع علامت و θ تفاضل دو مشاهده در هریک از پارامترهای مورد بررسی در سال‌های مختلف i و j بوده که بصورت زیر تعریف می‌شود:

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

مان و کندال نشان دادند که وقتی $n \ge ۱۰$ باشد، آماره S تقریباً بطور نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر و انحراف معیار زیر است:

$$(\sigma_{gg})_k = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum d(d-1)(2d+5)]}{18} \qquad (۳)$$

که در آن d تعداد داده‌های یکسان در سری زمانی می‌باشد. در این روش S_{gk} به صورت زیر نرمال می‌شود [۲۲]:

$$S'_{gk} = S_{gk} - \mathrm{sgn}(S_{gk}) \qquad (۴)$$

سپس آماره آزمون یا Z استاندارد شده که دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ است، بشرح زیر بدست می‌آید:

$$Z_{gk} = \frac{S'_{gk}}{(\sigma_{gg})_k^{1/2}} \qquad (۵)$$

فرض صفر (فقدان روند در سطح معنی داری α) به شرطی که $-Z_{1-a/2} < Z_{gk} < Z_{1+a/z}$ باشد، پذیرفته و در غیر این‌صورت رد می‌شود. در این مطالعه سطح معنی داری ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- آزمون‌مان کندال اصلاح شده

اگر ضریب خود همبستگی مرتبه اول در سری داده‌ها معنی‌دار باشد، با روش پیش سفید کردن[۴] [۲۰] اثر خود همبستگی از سری داده‌ها حذف می‌شود. برای اینکار، ابتدا سری داده‌های جدید با توجه به شیب خط روند، β، به شرح زیر محاسبه می‌گردد [۲۰ و ۲۱].

$$X'_i = X_i - (\beta \times i) \qquad (۶)$$

که در آن β شیب خط روند می باشد. این شیب بعداً شرح داده خواهد شد. سپس سری جدید بشرح زیر بدست می‌آید:

$$y'_i = X'_i - r_1 \times X'_{i-1} \qquad (۷)$$

r_1 ضریب خود همبستگی مرتبه اول می‌باشد. با افزودن مجدد جمله روند، ($\beta \times i$)، به سری داده‌های اخیر، سری زیر بدست آمد:

$$y_i = y'_i + (\beta \times i) \qquad (۸)$$

آماره Z مان کندال برای سری اخیر محاسبه و معنی‌داری آن در سطح ۵ درصد مورد آزمون قرار می‌گیرد.

۲-۳- شیب خط روند (تخمین‌گر Sen)

یک شاخص بسیار مفید در تخمین شیب خط روند، استفاده از روش ناپارامتری تخمین‌گر شیب Sen می‌باشد که با β نمایش داده می‌شود و آن شیب روند یکنواخت را در سری داده‌ها نشان می‌دهد. مقدار شیب روند با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌گردد [۲۳ و ۲۴] :

$$\beta_{gk} = Median\left(\frac{X_{igk} - X_{jgk}}{i-j}\right), \quad \forall 1 \le i \langle j \le n \qquad (۹)$$

که در آن β_{kg} برآورد گر شیب خط روند برای ایستگاه k ام در ماه g ام می باشد. مقادیر مثبت β نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان دهنده روند کاهشی می‌باشند.

برای شناسایی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی از برخی شاخص‌ها استفاده می‌کنند که متداول‌ترین آن‌ها، هدایت الکتریکی آب، نسبت جذب سدیم (SAR)، مقدار مواد جامد حل شده در آب (TDS) و سختی کل آب (TH) می‌باشد. با استفاده از این شاخص‌ها، کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اطلاع از نحوه طبقه‌بندی آب‌ها با استفاده از برخی شاخص‌های کیفی می‌توان به متون تخصصی مانند مرجع [۲۵] مرجعه نمود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمون Z مان کندال

جدول (۱) مقادیر آماره Z مان کندال را در خصوص ۱۵ متغییر کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل نشان می‌دهد. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد، در ماه پرآب، ۴۵ سری (۲۳ درصد) و در ماه کم‌آب، ۳۸ سری زمانی (۱۹/۵ درصد) روند مثبت معنی‌داری را در سطح ۵٪ از خود نشان می‌دهند حال آنکه تعداد سری‌ها با روند منفی در ماه پرآب و کم‌آب به ترتیب ۳۶ و ۳۲ سری بود که اکثر آن‌ها نیز معنی‌دار نبودند. بطوری‌که از جدول مذکور می‌توان استنباط کرد، در ماه پرآب روند متغیر شوری (EC) برای تمام ایستگاه‌ها (بجز یزن‌آباد) مثبت است. روند این متغیر در ایستگاه‌های پیراقوم، خلیفه‌لوشیخ، کمی‌آباد، آبی‌بیگلو، سلطان‌آباد و نوشهر مثبت و در سطح ۵٪ معنی‌دار است. همچنین روند تغییرات مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها در ماه پرآب در تمام ایستگاه‌ها مثبت است. متغیر PH در دشت اردبیل، روند مثبت را (بجز در خصوص ایستگاه کمی‌آباد) نشان می‌دهد. این مورد نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی دشت به سمت قلیایی شدن می‌باشد. روند متغییر SAR در ماه پرآب بجز در سه ایستگاه (نوشهر، خلیفه‌لو و آبی‌بیگلو) مثبت است. روند متغیر سختی کل یا TH در ماه پرآب و کم‌آب در تمام ایستگاه‌ها بجز ایستگاه‌های نیار، کمی‌آباد و یزن‌آباد مثبت است. مقدار آماره روند

[1] Pre-whitening

این متغیر در دو ایستگاه اخیر در دوره کم‌آب صفر می‌باشد. متغیر TDS در تمام ایستگاه‌ها بجز صومعه، روند مثبت دارد. روند تغییرات درصد سدیم در ۹ ایستگاه مثبت و در ۴ ایستگاه دیگر منفی یا صفر است. روند تغییرات یون منیزیم در ۶ ایستگاه مثبت و در ۷ ایستگاه دیگر منفی یا صفر است. روند تغییرات یون سولفات در تمام ایستگاه‌ها (بجز ینگجه، جگرکندی و یزن‌آباد) مثبت است. روند تغییرات یون بی‌کربنات (HCO_3^-) در تمام ایستگاه‌ها (بجز خلیفه لوشیخ، خلیل‌آباد، جبه‌دار و سلطان‌آباد) مثبت است. هم‌چنین روند یون کلسیم در تمام ایستگاه‌ها (بجز کمی‌آباد، آبی‌بیگلو و یزن‌آباد) مثبت است. روند تغییرات یون کلر در تمام ایستگاه‌ها (بجز خلیل‌آباد، یزن‌آباد و نوشهر) مثبت است. علاوه براین، روند یون پتاسیم (K) در ۵ ایستگاه مثبت و در ۵ ایستگاه منفی و در ۳ ایستگاه صفر است. همانگونه که از جدول (۱) قابل استنباط است، در بین متغیرهای مورد مطالعه، بیشترین روند مثبت معنی‌دار، در هر یک از دو ماه پرآب و کم‌آب، متعلق به متغیر TDS است.

جدول ۱- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل (۱۳۸۷-۱۳۷۴) با آزمون ناپارامتری مان‌کندال

ایستگاه	ماه	EC	مجموع کاتیون‌ها	مجموع آنیون‌ها	pH	SAR	TH	TDS	Na^+	Na%	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	K^+
آبی بیگلو	پرآب	۲/۸۱	۳/۰۹	**۲/۵۴**	۱/۳۴	-۰/۹۲	**۲/۱۴**	**۲/۹۵**	۰/۰۶	-۱/۴۰	**۲/۳۸**	-۰/۱۸	۱/۲۲	۱/۲۲	**۲/۴۰**	۰/۰۰
	کم‌آب	۱/۴۴	۱/۹۹	۱/۶۵	**۲/۴۹**	۰/۶۹	۰/۲۱	۱/۷۱	۱/۴۰	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۷	۰/۰۰
جگر کندی	پرآب	۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۹۴	۰/۰۰	۱/۷۷	۰/۳۱	۰/۱۱	-۰/۵۲	-۰/۱۱	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۳۱	-۱/۲۲
	کم‌آب	۰/۳۱	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۷۳	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۵۳	۱/۱۵	۰/۳۹
جبه‌دار	پرآب	۱/۸۸	۱/۲۵	۱/۸۸	۰/۳۱	۱/۳۶	۰/۱۰	**۲/۱۹**	**۱/۹۸**	۰/۳۱	۰/۹۴	**۲/۳۵**	-۰/۱۰	-۰/۱۰	**۲/۱۹**	-۰/۸۵
	کم‌آب	**۲/۸۱**	**۲/۶۱**	**۳/۰۲**	۰/۰۰	۱/۶۱	۱/۳۴	**۳/۲۳**	**۲/۰۷**	۰/۸۹	۱/۰۸	**۲/۸۱**	۱/۱۶	۱/۱۶	**۲/۰۶**	-۰/۲۲
کمی آباد	پرآب	**۲/۱۸**	**۲/۱۸**	**۲/۳۴**	-۰/۰۸	**۱/۹۷**	-۰/۶۲	۱/۵۶	۱/۷۹	**۲/۶۵**	-۰/۶۲	۱/۷۱	-۰/۶۲	-۰/۶۲	۱/۳۲	۰/۵۴
	کم‌آب	**۲/۶۵**	**۲/۸۰**	**۱/۹۷**	-۰/۳۱	**۲/۵۰**	۰/۰۰	**۲/۳۳**	**۲/۳۳**	۱/۴۳	۰/۰۰	۱/۸۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۸	۱/۶۴
خلیفه‌لو	پرآب	**۲/۱۵**	**۲/۴۱**	**۲/۰۰**	۰/۸۹	-۰/۵۴	۱/۶۱	**۲/۱۹**	۰/۱۸	-۰/۷۲	۰/۴۵	۰/۰۰	۱/۵۶	۱/۵۶	**۱/۹۷**	-۰/۹۳
	کم‌آب	۱/۳۶	۱/۵۶	۰/۹۴	۱/۱۵	۰/۱۰	۰/۵۳	۱/۶۱	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۹۴	۱/۸۲	۰/۹۴	۰/۹۴	۱/۶۱	۰/۳۴
خلیل آباد	پرآب	۱/۴۰	۱/۴۰	۱/۲۵	۱/۶۴	۰/۳۱	۰/۱۶	**۱/۹۷**	۰/۰۸	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۱/۳۲	-۰/۷۶
	کم‌آب	۱/۳۶	۱/۷۱	۱/۵۲	۰/۹۴	-۱/۳۵	۱/۴۶	**۲/۳۳**	-۰/۷۲	-۱/۱۷	-۰/۲۸	۰/۸۹	۱/۱۷	۱/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۰
نیار	پرآب	۰/۸۹	۱/۰۷	۱/۰۷	۰/۳۶	۰/۱۸	۱/۵۶	۰/۹۴	۰/۷۲	۰/۰۰	۱/۷۱	۰/۵۲	**۲/۴۰**	**۲/۴۰**	۰/۲۷	۰/۹۰
	کم‌آب	۰/۳۶	۰/۷۲	**۱/۹۷**	**۲/۰۷**	۰/۸۹	۰/۰۰	۱/۴۳	۱/۰۷	۱/۴۳	-۰/۶۳	**۲/۶۱**	۰/۱۸	۰/۱۸	۱/۴۳	۱/۶۲
نوشهر	پرآب	**۲/۴۰**	**۲/۶۱**	**۱/۹۸**	-۰/۱۰	-۰/۳۱	۰/۴۲	۱/۱۱	۰/۵۲	-۰/۳۱	-۰/۳۱	۱/۳۶	۱/۱۵	۱/۱۵	۰/۲۱	۰/۳۱
	کم‌آب	۰/۱۰	۰/۱۰	-۰/۶۲	۰/۱۰	۰/۵۲	۰/۴۲	۱/۷۷	-۰/۲۱	۱/۱۵	۰/۶۳	۱/۰۵	۰/۲۱	۰/۲۱	-۰/۶۳	۰/۰۰
پیراقوم	پرآب	**۲/۸۶**	**۳/۲۲**	**۲/۶۸**	۰/۷۸	۱/۰۹	۱/۴۱	۱/۵۶	**۱/۹۷**	۰/۶۲	۰/۴۷	**۳/۰۴**	۱/۶۳	۱/۶۳	**۲/۵۷**	-۱/۱۸
	کم‌آب	**۲/۶۵**	**۲/۹۶**	**۲/۸۰**	۱/۳۰	۱/۷۱	۰/۶۹	**۳/۲۷**	**۲/۱۸**	۱/۵۸	۰/۰۰	**۲/۴۹**	۱/۳۸	۱/۳۸	۱/۱۰	-۰/۲۳
سلطان آباد	پرآب	**۲/۱۳**	**۲/۲۶**	**۲/۱۳**	-۰/۳۴	۱/۴۴	۰/۴۸	**۲/۳۴**	**۲/۳۳**	۰/۸۹	-۰/۶۲	**۳/۰۹**	۱/۶۵	۱/۶۵	۰/۴۸	۰/۸۲
	کم‌آب	**۳/۲۲**	**۳/۲۲**	**۳/۰۲**	۰/۱۶	۰/۲۱	۲/۸۰	**۲/۹۶**	**۳/۵۱**	-۰/۲۱	**۲/۰۶**	**۳/۵۷**	**۲/۱۸**	**۲/۱۸**	۰/۰۰	۰/۹۶
صومعه	پرآب	۰/۷۲	۰/۷۲	۱/۰۷	۱/۷۹	-۱/۶۱	۱/۱۶	**۱/۹۸**	-۰/۸۹	-۱/۶۱	۱/۴۳	-۰/۰۹	۱/۶۱	۱/۶۱	۱/۱۶	۰/۲۷
	کم‌آب	۱/۸۰	۱/۸۰	۱/۸۰	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۴۶	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۰۰	-۰/۴۵	۰/۸۷	**۲/۱۰**	**۲/۱۰**	۱/۰۵	-۱/۲۲
ینگجه	پرآب	۱/۱۱	۱/۱۵	۱/۱۱	۰/۹۴	۰/۵۲	۱/۵۶	**۲/۱۹**	۰/۷۳	-۰/۱۰	۰/۷۳	۰/۲۱	۱/۶۱	۱/۶۱	۱/۶۱	-۰/۳۱
	کم‌آب	**۱/۹۸**	۱/۷۷	۱/۷۷	۰/۲۱	-۰/۱۰	۱/۳۶	**۱/۹۸**	۱/۱۵	-۰/۳۱	۰/۴۲	-۰/۷۳	**۱/۹۹**	**۱/۹۹**	**۲/۱۰**	-۱/۱۵
یزن آباد	پرآب	-۰/۵۵	۰/۷۵	۰/۰۷	۰/۰۰	**۲/۵۴**	-۲/۸۰	**۲/۰۲**	**۲/۲۶**	**۲/۲۶**	**-۲/۴۰**	۰/۲۷	-۱/۲۴	-۱/۲۴	-۰/۲۷	۱/۸۶
	کم‌آب	۰/۰۰	۰/۳۱	-۰/۵۲	۱/۲۵	۰/۳۶	-۱/۴۳	۱/۶۱	-۰/۵۴	۰/۷۲	-۱/۴۳	-۰/۱۶	-۰/۴۵	-۰/۴۵	**-۲/۰۶**	-۰/۸۰

توجه: ارقام مقادیر آماره Z مان‌کندال است. ارقام پررنگ نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد یا کمتر است. ماه پرآب (کم‌آب) به ماهی اطلاق می‌شود که بالاترین (پایین‌ترین) میزان مجموع بارش ماهانه به آن ماه تعلق دارد. در این جدول PH اسیدیته آب زیرزمینی، EC هدایت الکتریکی، SAR نسبت جذب سدیم، TDS کل مواد محلول و TH سختی کل آب زیرزمینی است. pH، SAR و درصد سدیم بدون واحد، واحد کلسیم، منیزیم، پتاسیم، بی‌کربنات، سولفات، سدیم، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و کلر میلی‌کیوالان در لیتر و واحد متغییرهای TH و TDS، میلی‌گرم در لیتر و واحد EC میکروزیمنس بر سانتی‌متر می باشد.

در ماه پرآب ایستگاه‌های آبی‌بیگلو، پیراقوم و سلطان آباد و در ماه کم‌آب ایستگاه‌های سلطان آباد، جبه‌دار، پیراقوم و کمی‌آباد بیشترین روند مثبت معنی‌دار را در خصوص متغیرهای کیفی، تجربه کرده‌اند. در این میان در ماه پرآب، ایستگاه جگرکندی و در ماه کم‌آب، ایستگاه‌های نوشهر، جگرکندی و خلیفه‌لو شیخ، روند معنی‌داری را از خود نشان ندادند. در بین همه متغیرها، پتاسیم و PH در ماه‌های پرآب و درصد سدیم، بی‌کربنات و پتاسیم در ماه کم‌آب روندی از خود نشان ندادند. در میان همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین تعداد روند منفی در ماه پرآب، متعلق به ایستگاه صومعه و در ماه کم‌آب متعلق به ایستگاه یزن‌آباد بود. در بین همه متغیرهای کیفی، در ماه پرآب، پتاسیم، منیزیم و درصد سدیم و در ماه کم‌آب نیز پتاسیم و منیزیم بیشترین تعداد روند منفی را به خود اختصاص دادند. در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به روند مثبت غالب متغیرهای مورد مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل در طول دوره آماری افت پیدا کرده است. در پرآب‌ترین ماه، مرکز و شرق دشت و در کم‌آب‌ترین ماه، مرکز و غرب دشت اوضاع بحرانی‌تری را از نظر کیفیت آب تجربه کرده‌اند.

۳-۲- نتایج شیب خط روند

جدول (۲) شیب خط روند را برای هریک از ایستگاه‌ها در خصوص متغیرهای کیفی آب، هم در ماه پرآب و هم در ماه کم‌آب نشان می‌دهد. میانه شیب‌ها در زیر جدول مذکور درج شده است. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد، میانه شیب‌ها بجز برای تعداد معدودی از متغیرها اکثراً اعدادی مثبت هستند. این نشان می‌دهد که غلظت مواد شیمیایی مورد بررسی در دشت اردبیل زیاد شده است. برای مثال، رقم میانه ۰/۲۲ برای متغیر کیفی مجموع آنیون‌ها در هر دو ماه پرآب و کم‌آب بیانگر این است که هر ده سال مقدار ۲/۲ میلی اکی‌والان در لیتر بر مقدار مجموع آنیون‌های دشت اردبیل افزوده می‌شود. بقیه متغیرها نیز کم و بیش چنین روند افزایشی را با گذشت زمان در دشت اردبیل تجربه می‌کنند (جدول (۲)). بیشترین تعداد شیب منفی متعلق به ایستگاه یزن آباد است.

برای درک بهتر تغییرات شیب متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی در دشت اردبیل، نمودارهای باکس ویسکر برای تمام متغیرهای کیفی در ماه پرآب و کم‌آب رسم شد. شکل (۲) نمونه‌ای از نمودار مذکور را در مورد چهار متغیر کیفی آب زیرزمینی (EC، بی‌کربنات، SAR، و TDS) دشت اردبیل در دو ماه 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، حداکثر شیب نظیر را نشان می دهد. بطوری‌که از ۱۵ نمودار رسم شده (همه نمودارها نشان داده نشده‌اند) می‌توان استنباط کرد که میانه شیب‌های خط روند تغیرات متغییرهای کیفی آب زیرزمینی در هر دو ماه پرآب و کم‌آب، مثبت است. این نشان می‌دهد که بطور یکنواخت، هر سال مقداری (با توجه به میانه) به غلظت متغیرهای موجود در آب زیرزمینی دشت اردبیل افزوده می‌شود. به عبارت بهتر، کیفیت آب زیرزمینی در دشت اردبیل در زمان، سیر نزولی دارد. در ماه کم‌آب متغیرهای EC، Cl^-، مجموع آنیون‌ها، TDS، SO_4^{2-}، Na^+ و K^+ و مجموع کاتیون‌ها دارای ارتفاع مستطیل طولانی‌تری در مقایسه با مقدار نظیر در ماه پرآب است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای کیفی مذکور در ماه کم‌آب بیشتر از ماه پرآب هستند. در ماه پرآب نیز دامنه تغییرات شیب خط روند متغیرهای Ca^{2+} و TH گسترده است. ارتفاع مستطیل‌ها نشان دهنده شاخصی برای واریانس مقادیر شیب خط روند هر متغییر از صدک ۲۵ تا صدک ۷۵ است. برای متغیرهای Cl^-، HCO_3^-، pH، SO_4^{2-} و Mg^{2+} ارتفاع مستطیل‌ها در ماه کم‌آب بیشتر از ماه پرآب بود. نتایج نشان داد که میانه شیب خط روند همه متغیرها (بجز متغیر یون‌های منیزیم، پتاسیم و درصد سدیم که شیب خط روند صفر دارند) شیب خط روند مثبتی دارند. چون خط وسط مستطیل‌ها در خصوص متغیرهای مجموع کاتیون‌ها، EC، TDS، TH در ماه کم‌آب در مقایسه با میانه نظیر در ماه پرآب در تراز بالاتری قرار گرفته‌اند، بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب از لحاظ متغیرهای مذکور در ماه کم‌آب پایین‌تر از ماه پرآب است. با این حال میانه متغیرهای So_4^{2-}، Hco_3^-، Na% و کلر در ماه پرآب بالاتر از ماه کم‌آب بود. بنابراین، کیفیت آب از نظر متغیرهای مذکور در ماه کم‌آب بهتر از ماه پرآب تشخیص داده شد. بقیه متغیرها، میانه شیب خط روند مشابهی برای ماه پرآب و کم‌آب داشتند.

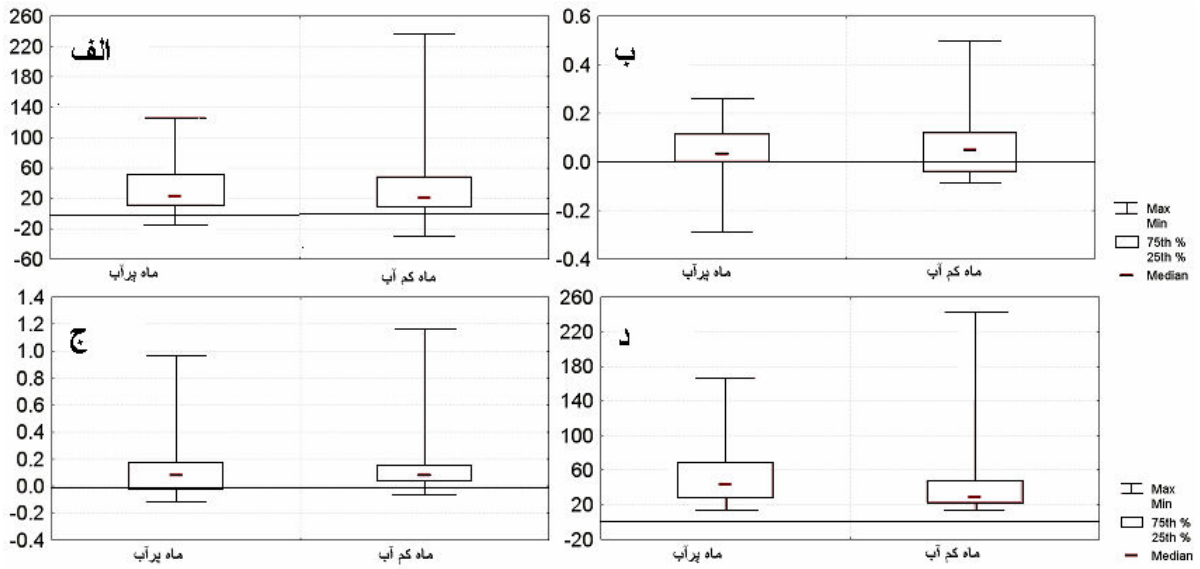
جدول ۲- مقادیر شیب خط روند یا آماره β سری‌های زمانی متغیرهای کیفی (برحسب واحد متغییر در سال) آب زیرزمینی دشت اردبیل (۱۳۷۴-۱۳۸۷)

ایستگاه	ماه	مجموع آنیون‌ها	مجموع کاتیون‌ها	pH	EC	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	SAR	TDS	Na%	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Cl^-	TH
آبی بیگلو	پرآب	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۰	۱۰/۹۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۵۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰
	کم‌آب	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۷/۴۷	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۱۳/۵۶	۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۳۱
جگرکندی	پرآب	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۰۳	۱۶/۱۵	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۱	-۰/۰۴	۲۷/۳۳	-۰/۹۶	۰/۲۵	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۷	۱۲/۳۲
	کم‌آب	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۰۹	۲/۶۸	-۰/۰۲	۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۸	۱۸/۶۴	۰/۷۴	۰/۱۳	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۱	۱/۴۶
جبه‌دار	پرآب	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۰۳	۳۲/۲۵	۰/۴۰	-۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۱۷	۴۶/۶۰	۱/۸۹	-۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۲۰	۱/۶۷
	کم‌آب	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۰۰	۴۸/۲۰	۰/۴۶	-۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۱۵	۵۴/۰۰	۰/۷۷	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۱۵	۸/۳۳
کمی آباد	پرآب	۱/۳۰	۱/۲۹	۰/۰۰	۱۲۶/۶۷	۱/۱۲	۰/۰۴	۲/۲۸	۰/۹۷	۱۶۱/۰۰	۲/۸۱	-۰/۱۶	-۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۲۲	-۳۰/۰۰
	کم‌آب	۱/۷۸	۲/۳۳	-۰/۰۱	۲۳۶/۵۰	۱/۵۶	۰/۵۰	۲/۵۹	۱/۱۶	۲۴۲/۶۷	۳/۱۹	۰/۰۰	-۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۶۰	-۶/۶۷
خلیفه‌لو	پرآب	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۴	۹/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰	-۰/۰۳	۱۶/۸۰	-۱/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۶	۵/۰۰
	کم‌آب	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۷	۱۰/۲۰	۰/۰۴	-۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۳	۲۲/۷۶	۰/۴۸	۰/۰۷	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۱۰	۲/۵۰
خلیل‌آباد	پرآب	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۶/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۱۴/۲۵	۰/۶۲	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰
	کم‌آب	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۶/۲۰	۰/۱۲	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۰۷	۱۵/۰۰	-۰/۷۵	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۰	۳/۱۳
نیار	پرآب	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۰۱	۹۱/۸۶	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۴۰	۰/۱۶	۸۷/۰۰	-۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۲۴	۲۵/۰۰
	کم‌آب	۰/۹۴	۰/۵۰	۰/۰۹	۵۱/۱۷	۰/۶۲	۰/۰۷	۰/۵۱	۰/۳۷	۴۸/۱۷	۲/۲۴	۰/۰۴	-۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۰
نوشهر	پرآب	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۰	۲۲/۱۱	۰/۱۰	-۰/۰۱	۰/۰۹	-۰/۱۰	۳۸/۰۷	-۱/۱۳	۰/۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۳/۷۵
	کم‌آب	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۳/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۲	-۰/۱۰	۰/۰۸	۲۸/۸۳	۱/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۰	-۰/۱۳	۲/۰۰
پیراقوم	پرآب	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۰۴	۲۷/۴۳	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۰۸	۲۹/۲۵	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۰	۵/۰۰
	کم‌آب	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۵	۱۷/۹۸	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۱۴	۲۲/۴۲	۰/۹۱	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۱/۶۲
سلطان‌آباد	پرآب	۰/۵۲	۰/۵۶	-۰/۰۲	۵۱/۵۰	۰/۵۲	-۰/۰۸	۰/۴۵	۰/۲۰	۶۸/۴۱	۰/۶۴	۰/۱۲	-۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۱/۸۳
	کم‌آب	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۰۳	۳۹/۴۰	۰/۴۲	-۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۰۲	۷۰/۷۵	-۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۲/۲۵
صومعه	پرآب	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۰۵	۱۶/۴۰	-۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۱۱	-۰/۱۲	۴۳/۰۰	-۱/۸۱	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۱۰	۱۱/۲۵
	کم‌آب	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۰۰	۳۷/۰۰	۰/۴۰	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۷	۳۱/۰۰	۰/۵۳	۰/۳۴	-۰/۰۵	-۰/۰۱	۰/۲۸	۸/۳۳
ینگجه	پرآب	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۰۷	۸۷/۷۵	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۱۴	۱۶۶/۷۵	-۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۰۷	-۰/۰۱	۰/۵۳	۲۰/۹۴
	کم‌آب	۰/۳۶	۰/۵۷	۰/۰۳	۵۰/۶۳	-۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۹	-۰/۰۴	۳۹/۲۵	-۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۴۲	۱۵/۰۰
یزن‌آباد	پرآب	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۰۰	-۱۳/۳۳	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۴۷	۰/۴۳	۵۹/۰۰	۱/۶۱	-۰/۰۷	-۰/۲۰	۰/۰۲	-۰/۰۷	-۱۷/۰۰
	کم‌آب	-۰/۳۸	-۰/۲۱	۰/۰۲	-۳۰/۰۰	-۰/۱۵	۰/۰۷	-۰/۲۸	۰/۱۷	۲۲/۰۰	۱/۱۴	-۰/۱۰	-۰/۴۷	-۰/۰۲	-۰/۳۵	-۳۰/۰۰
میانه ماه پرآب		۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۳	۲۲/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۰۸	۴۳	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۳/۷۵
میانه ماه کم‌آب		۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۰۳	۲۰/۶۸	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۸	۲۸/۸۳	۰/۷۴	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۰	۲/۰۰

توجه: در این جدول، pH اسیدیته آب زیرزمینی، EC، هدایت الکتریکی، SAR، نسبت جذب سدیم، TDS، کل نمک‌های محلول و TH، سختی کل آب زیرزمینی است. واحد هر عدد، واحد متغیر مورد بررسی در سال می‌باشد.

ماکزیمم شیب خط روند (انتهای خط قایم در بالای نمودارهای باکس‌ویسکر) در مورد متغییرهای EC، SAR، Cl^-، HCO_3^-، مجموع آنیون‌ها، pH، TDS، یون سولفات و Na% در ماه کم‌آب اندکی بالاتر از ماه پرآب است. مینیمم مقدار شیب خط روند متغیرهای Na%، TDS، PH، Ca^{2+}، HCO_3^- و SAR تا حدودی در ارتفاع بالاتری نسبت به ماه پرآب قرار دارد. با این‌حال میانه شیب خط روند هیچ متغییری منفی نیست. بیشترین شیب خط روند برای سری زمانی EC معادل ۲۳۶(میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال) بود که در ایستگاه پیزومتری کمی‌آباد واقع در بخش جنوب‌غربی دشت اردبیل در ماه کم‌آب مشاهده شده است.

بنابراین به نظر می‌رسد که در اطراف این ایستگاه، احتمالاً پساب کشاورزی، صنعتی یا شهری به سفره آبدار دشت اردبیل نفوذ کرده و آن را آلوده می‌کند. Ketata و همکاران [۷] نیز برای سفره گابس واقع در جنوب‌غربی تونس مقدار ۶/۶۶۶۷ را در خصوص شیب خط روند متغییر EC گزارش کردند. بیشترین مقدار شیب خط روند در مورد متغیر TDS، مربوط به ایستگاه پیراقوم واقع در بخش غربی دشت اردبیل بوده است که در ماه کم‌آب رقمی در حدود ۲۴۳ میلی‌اکیوالان در لیتر در سال را تجربه کرده است.



شکل ۲- نمونه‌ایی از نمودارهای باکس‌ویسکر برای شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در دشت اردبیل الف) EC (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)، ب) بی‌کربنات (میلی اکیوالان در لیتر)، ج) SAR (بدون بعد) و د) TDS (میلی‌گرم در لیتر). محور قائم در شکل‌ها، دارای واحدی معادل واحد متغیر بر سال است.

بیشترین مقدار شیب خط روند در مورد متغیر SAR متعلق به ایستگاه کمی‌آباد بود که در ماه کم‌آب رقمی در حدود ۱/۱۶ را در سال تجربه کرده است. در کمی‌آباد آب، چاه، هم از نظر EC و هم از نظر SAR دچار افت کیفی شده است. از نظر سختی آب بیشترین شیب خط روند در ایستگاه نیار واقع در بخش غربی دشت مشاهده شد که در آن میزان شیب خط روند متغیر مذکور رقمی معادل ۲۵ (میلی‌گرم در لیتر در سال) را تجربه کرده است. به این ترتیب، می‌توان استنباط کرد که در این ایستگاه، سختی آب، بیشترین افزایش را در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها دارا بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که چون میانه شیب خط روند در غالب متغیرهای کیفی مثبت است، پس کیفیت آب زیرزمینی دشت در طول دوره آماری افت پیدا کرده است. در حالت کلی کیفیت آب در ماه کم‌آب، نامطلوب‌تر از ماه پرآب می‌شود.

با توجه به بررسی برخی شاخص‌های کیفی برای دشت اردبیل، می‌توان نتیجه گرفت که از بین ۱۳ ایستگاه انتخابی در مطالعه حاضر، تعداد ۵ ایستگاه (معادل ۳۸/۴۶ درصد ایستگاه‌ها شامل آبی بیگلو، جگرکندی، خلیل‌آباد، خلیفه لوشیخ و پیراقوم) در کلاس C2-S1 بوده و دارای آب‌های خوب برای مصارف کشاورزی هستند (نمودارهای ویل‌کوکس مربوطه نشان داده نشده‌اند). تعداد ۶ ایستگاه (۴۶/۱۵ درصد) شامل ایستگاه‌های نوشهر، صومعه، جبه دار و نیار در کلاس C3-S1، دارای آب با کیفیت مناسب و ایستگاه‌های ینگجه و سلطان آباد در کلاس C3-S2، دارای آب با کیفیت متوسط و آب ۲ ایستگاه (۱۵/۳۸ درصد) شامل ایستگاه‌های یزن آباد و کمی آباد در کلاس‌های C4-S1 و C4-S2 بوده و دارای آب‌های نامناسب برای مصارف کشاورزی می‌باشند. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت کیفی آب برای مصارف کشاورزی در شمال و جنوب غرب دشت نامطلوب‌تر از سایر نواحی آن است. کیفیت آب قسمت‌های شرقی دشت اردبیل نسبت به سایر قسمت‌ها وضعیت بهتری دارد. مقایسه نمودارهای ویل‌کوکس نشان داد که پراکنش ایستگاه‌ها در ماه پرآب و کم‌آب تقریباً مشابه است. تنها در برخی ایستگاه‌ها تفاوت اندکی بین موقعیت ایستگاه‌ها در ماه کم‌آب و پرآب دیده شد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در منطقه دشت اردبیل برای ۱۵ متغیر کیفی در دو ماه از سال (ماه پرآب و ماه کم‌آب) در خلال سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۴ با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری مان-کندال پس از حذف اثر خود همبستگی

معنی‌دار مرتبه اول از سری داده‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. هم چنین شیب خط روند برای تمام سری داده‌ها با استفاده از روش تخمین‌گر Sen تعیین گردید. نتایج نشان داد که روند اغلب متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی در غالب ایستگاه‌های دشت اردبیل مثبت است. بیشترین تعداد روندهای مثبت معنی دار در خصوص تمام متغیرهای کیفی مورد بررسی در دشت اردبیل در ماه پرآب مشاهده شد. با این حال دامنه تغییرات شیب خط روند در مورد اکثر متغیرها در ماه کم‌آب بیشتر از ماه پرآب بود. شدیدترین روند مثبت در ماه پرآب مربوط به متغیر مجموع کاتیون‌های ایستگاه پیراقوم در مرکز دشت اردبیل (معادل Z=۳/۲۲) مشاهده شد. شدیدترین روند مثبت در ماه کم‌آب (آماره Z معادل ۳/۵۷) مربوط به یون سولفات بود که در ایستگاه سلطان آباد واقع در مرکز دشت تجربه شده است. نتایج نشان داد که روند اکثر متغیرهای کیفی سفره آب زیرزمینی دشت اردبیل مثبت است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که افت کیفی آب چاه‌های دشت اردبیل در تمام ایستگاه‌های پیزومتری وجود دارد. بررسی علت تغییرات متغیرهای شیمیایی موجود در آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل خارج از اهداف این مطالعه بوده و برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

۵- مراجع

[1] Kampbell, Donald H., An, Youn-Joo., Jewell, Ken p., Masoner, Jason R., "Groundwater quality surrounding Lake Texoma during short-term drought condition", Journal of Environmental Pollution, 2003, 125, 183-191.

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

[3] Tayfur, G., Kirer, T. and Baba, A., "Groundwater quality and hydrogeochemical properties of Torbalı Region, Izmir, Turkey", Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 146, 157-169.

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

[5] Wahlin, K. and Grimvall, A., "Roadmap for assessing regional trends in groundwater quality", Springer Science+Business Media B. V. 2009. DOI 10.1007/s10661-009-0940-7

[6] Elci, A., Polat, R., "Assessment of the statistical significance of seasonal groundwater quality change in karstic aquifer system near Izmir-Turkey", Springer Science+Business Media B.V. 2010. DOI 10.1007/s10661-010-1346-2.

[7] Ketata, M., Hamzaoui, F., Gueddari, M., Bouhila, R. and Riberio, L., "Hydrochemical and statistical study of groundwater in Gabes-South deep aquifer (South-eastern Tunisis), Physics and Chemistry of the Earth, 36, 187-196, 2011.

[8] Khazaei, E., Stednick, J.D., Sanford, W.E. and Warner, J.W., "Hydrochemical changes over time in the Zahedan aquifer, Iran", Environmental Monitoring and Assessment, 2006, 114, 123-143.

[۹] چیت‌سازان، م.، میرزایی، ی.، محمدی بهزاد، ح.ر.، شبان، م.، غفاری، ح.ر. و موسوی، ف.، "تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت خویس"، دومین همایش ملّی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، ۳۰ الی ۳۱ اردیبهشت، اصفهان، ۱۳۸۸، صفحه ۷۷-۷۰.

[۱۰] حسین‌پور، م.، "بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه لنجانات اصفهان"، مجله دانشکده بهداشت و انستیتو بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ۱۳۸۱، شماره چهارم، صفحه ۴۰-۳۱.

[۱۱] دیانتی تیلکی، ر.ع. و فلاح، ف.، "بررسی روند هدایت الکتریکی و سختی آب‌های زیرزمینی در منطقه ساحلی شهرستان ساری"، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران. ۱۲ تا ۱۴ آبان، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، ۱۳۸۸، صفحه ۱۰۹۷-۱۰۸۴.

[۱۲] دیندارلو، ک.، علیپور، و. و فرشیدفر، غ.ر.، "کیفیت شیمیایی آب شرب بندرعباس"، مجله پزشکی هرمزگان، ۱۳۸۵، شماره اول، صفحه ۶۲-۵۷.

[۱۳] رحمانی، ع.ر. و شکوهی، ر.، "بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان بهار"، دهمین همایش ملی

بهداشت محیط، ۸ الی ۱۰ آبان، همدان، ۱۳۸۶، صفحه ۲۹۸-۳۰۷.

[۱۴] رزاق‌منش، م.، سالمی، ت. و سراج، م.، "بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز"، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۲ الی ۱۴ اردیبهشت، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۵، صفحه ۵۳۴-۵۴۳.

[۱۵] فرشادی، م.، طالب بیدختی، ن. و یوسفی، م.، "بررسی و اندازه‌گیری کیفیت آب زیرزمینی دشت نورآباد ممسنی"، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران. ۱۲ الی ۱۴ آبان ماه، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، دانشکده بهداشت، ۱۳۸۸، صفحه ۱۲۸۵-۱۲۶۸.

[۱۶] کرمی، ف.، "بررسی روند و علل شوری آب زیرزمینی و اثرات ژئومورفیک آن در دشت سراب"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه تبریز، زمستان، ۱۳۸۸.

[۱۷] ملکوتیان، م. و کرمی، ا.، "بررسی روند تغییرات کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت بم و بروات طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۷۶"، مجله پزشکی هرمزگان سال هشتم، ۱۳۸۳، شماره دوم، صفحه ۱۱۶-۱۰۹.

[18] Kendall, M.G., "Rank Correlation Measures", Charles Griffin, London, 1975.

[19] Mann, H.B., "Non-parametric test against trend", 1945, Econometrica, 13, Mathsci. Net, 245-259.

[20] Kumar, S., Merwade, V., Kam, J. and Thurner, K., "Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains", Journal of Hydrology, 2009, 374, 171-183.

[21] Partal, T. and Kahya, E., "Trend analysis in Turkish precipitation data", Hydrological Process, 2006, 20, 2011-2026.

[22] Panda, K., Mishra, A., Jena, S.K., James, B.K. and Kumar, A., "The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India", Journal of Hydrology, 2007, 343, 140-153.

[23] Sen, P.K., "Estimates of the regression coefficients based on kendall's tau", Journal of the American Statistical Association, 1966, 63, 1379-1389.

[24] Theil, H., "A rank invariant method of linear and Polynomial regression analysis, Part3", Netherlands Akademic van wettenschappen, proceedings, 1950, 53, 1379-1412.

[25] Todd, D.K., "Groundwater Hydrology", John Wiley & Sons, 1980.