

ارزیابی روند تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان ساری - نکا)

مینا نصیری^۱، مهدی حمیدی^{۲*}، حمید کاردان مقدم^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

۳- کارشناس پژوهشی موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: Email:hamidi@nit.ac.ir

چکیده

بررسی تغییرات زمانی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت جامع این منابع بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه روند تغییرات پارامترهای کمی و کیفی چاه‌های مشاهده‌ای در دشت ساری- نکا در دوره آماری (۹۴-۱۳۷۰) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آزمون‌های غیرپارامتری من- کندال و تخمین گر شیب سن در دو سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به منظور ارزیابی روند، مورد تحلیل قرار گرفت. پارامترهای استفاده شده در این مطالعه در بخش کیفی شامل یون‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، K^+ ، TDS، Na^+ ، Cl^- ، So_4^{2-} و در بخش کمی تغییرات تراز آب زیرزمینی می‌باشد. نتایج روند تراز آب زیرزمینی در ۱۶ چاه مشاهده‌ای بیانگر روند افزایشی در ۵ چاه مشاهده‌ای، روند کاهشی در ۲ چاه مشاهده‌ای و عدم روند در ۹ چاه مشاهده‌ای می‌باشد. تحلیل روند کیفی برای ۱۹ چاه مشاهده‌ای نشان داد که به جز پارامتر Ca^{2+} که دارای روند معنی‌دار افزایشی است (در ۳ چاه مشاهده‌ای)، سایر پارامترهای کیفی از روند کاهشی یا عدم وجود روند تبعیت کردند.

کلیدواژه‌ها: آب زیرزمینی، آزمون غیرپارامتری، من- کندال، شیب سن

مقدمه

بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. کاهش پیوسته سطح آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق دنیا در نیمه دوم قرن اخیر مشاهده شده است. این امر باعث کاهش ذخایر آب زیرزمینی در مقیاس بزرگ شده است. این کاهش ذخایر ناشی از دو عامل بهره‌برداری بیش از اندازه و کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در سال‌های اخیر، استفاده از منابع آب زیرزمینی به طور پیوسته برای تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت با رشد جمعیت افزایش یافته است. تغییر پارامترهای اقلیمی نیز فشار مضاعفی را برای کاهش بیشتر سطح آب زیرزمینی وارد می‌نماید (Samadi et al. 2015). ارزیابی و پایش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی همواره یک چالش مهم بوده 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 (Abareshi et al. 2014). بررسی تغییرات کمی و کیفی در منابع آب زیرزمینی از منظر تغییرپذیری و حساسیت این منابع بسیار مهم است. بررسی روند تغییرات کمی و کیفی یکی از روشهای بررسی نحوه تغییرات است. به منظور تشخیص روند در سری‌های زمانی از آزمون‌های آماری مختلفی استفاده می‌شود که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیرپارامتری^۱ قابل تفکیک هستند. آزمون‌های پارامتری نسبت به آزمون‌های غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارند و هنگام استفاده از آن‌ها باید داده‌ها تصادفی (مستقل) و دارای توزیع نرمال باشند (Sabziparvar and Shadmani, 2011; Babaei et al. 2016). از طرف دیگر آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده هستند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (Chen et al. 2007; Gellens, 2000; Babaei et al. 2016). آزمون من-کندال^۲ (moghadamet al. 2016)

(1945; Kendall, 1975) یکی از پرکاربردترین آزمون‌های غیرپارامتری بر روی داده‌های سری زمانی جهت تشخیص روندهای معنی‌دار می‌باشد که با بکارگیری این آزمون وجود روند افزایشی یا کاهشی را در متغیرهای کمی و کیفی آب می‌توان تعیین نمود. از مهمترین مطالعاتی که در زمینه تحلیل روند تغییرات کیفیت و کمیت آب زیرزمینی انجام شده است؛ می‌توان به مطالعات زیر اشاره داشت.

(Amiri-Bourkhani et al. 2017) به بررسی وضعیت شوری آب زیرزمینی در مازندران جهت مصارف کشاورزی پرداختند. نتایج آزمون من-کندال و شیب سن نشان‌دهنده روند کاهشی پارامتر هدایت الکتریکی (EC) و بهبود کیفیت آب زیرزمینی دشت مازندران می‌باشد. (Gholami et al. 2016) در پژوهشی روند تغییرات پارامترهای کیفی دشت تویسرکان را در دوره آماری (۱۳۷۲-۱۳۹۳) با آزمون ناپارامتری من-کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصله علی‌رغم اینکه نشان‌دهنده عدم روند تغییرات معنی‌داری در مؤلفه‌های کیفی سفره آب زیرزمینی بود، ولی بیانگر وجود روند تغییرات کاهشی معنی‌دار در سطح ایستایی این دشت، افت به میزان متوسط سالانه ۵۳ سانتی‌متر می‌باشد. (Abareshi et al. 2014) در پژوهشی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی در دشت زرین‌گل استان گلستان را با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر شیب سن بررسی کردند که با توجه به مثبت بودن شیب خط روند برای بیش‌تر متغیرهای کیفی دریافتند که کیفیت آب زیرزمینی در این دشت کاهش یافته است. (Afazali and Shahedi, 2014) روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در دشت آمل-بابل را با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج تحقیق بیانگر کاهش ناچیز سطح آب زیرزمینی و بهبود وضعیت کیفی آب زیرزمینی در منطقه یاد شده می‌باشد. (Karimi jafari and Sabet, 2014) به تحلیل روند عمق آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های ۴۷ حلقه چاه در دشت نجف آباد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با اعمال آزمون من-کندال در دوره زمانی ماهانه و در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب ۳۴ و ۲۹ درصد از حلقه‌های چاه دارای روندی کاهشی داشته‌اند.

¹ Non-Parametric

² Mann-Kendall test

روند افزایشی Cl^- در مزارع میوه و روند کاهش آبی آن در انبار غله بود.

با توجه به نقش و تأثیر کمیت آب بر کیفیت آب بررسی روند تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی به علت توزیع نامناسب مکانی و زمانی نزولات آسمانی از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این مطالعه بررسی و اثربخشی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی از دیدگاه تغییرپذیری بوده است. بدین منظور آزمون غیرپارامتری من-کندال مرسوم و تخمین گر شیب سن^۳ جهت بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آبخوان ساری-نکا به کار گرفته شده است.

مواد و روش ها

آزمون من - کندال

آزمون من-کندال برای جواب دادن به این پرسش که آیا مقدار مرکزی یا میانه یک سری زمانی به مرور زمان تغییر کرده است یا خیر، به کار می‌رود (Shafiei dastjerdi, 2013). فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد (Ghorbani, 2015):

H_0 : داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).

H_1 : داده‌ها دارای روند هستند.

مراحل انجام آزمون به ترتیب زیر است (Rahimi et al., 2016):

در این آزمون، اگر X_1, X_2, \dots, X_n مشاهدات موردنظر باشند، ابتدا اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر تعیین و سپس تابع علامت روی آن اعمال می‌گردد و سپس پارامتر S به صورت زیر استخراج می‌گردد:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

تابع علامت به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

که در آن n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند.

(Zare abianeh et al. 2012) در پژوهشی با بررسی روند نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت ملایر طی دوره آماری (۱۳۸۶-۱۳۶۸) دریافتند که رفتار روند چاه‌های پیرومتری در جهت افت عمق آب زیرزمینی است. (Tabari et al. 2012) در مطالعه خود به بررسی روند تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت مازندران در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷ پرداختند. نتایج حاصل ترکیبی از روند منفی و روند مثبت را در سری زمانی سطح آب زیرزمینی نشان داد. (Klavins and Rodinov, 2017) به تحلیل طولانی مدت تغییرات کیفیت آب‌های سطحی، تغییرات مکانی ترکیبات شیمیایی آب و تأثیرات احتمالی منابع آلودگی مختلف در لتونی به منظور اقدامات لازم جهت حفاظت از منابع ملی آب و مدیریت حوضه رودخانه پرداختند. در این مطالعه میانگین غلظت فلزات در آب‌های داخلی لتونی به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر از میانگین جهانی برآورد شده برای آب‌های رودخانه می‌باشد. (Gonzales-Inca et al. 2016) با بکارگیری آزمون من-کندال تک متغیره و چند متغیره به بررسی کیفیت آب در فنلاند پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که بیشتر متغیرها روندی را تجربه نکرده‌اند. (Masoud et al. 2016) با استفاده از آزمون‌های آماری بر روی ۴۳۸ داده شیمیایی و ۲۷۴ داده میکروبیولوژیکی از بیست چاه آب آشامیدنی طی چهار سال (۲۰۱۰-۲۰۱۳) در ناحیه تانتا (مصر) به مشخص نمودن روندهای زمانی و مکانی متغیرهای کیفی پرداختند. نتایج تحقیق آنها بیانگر روند کاهش ۵ پارامتر کیفی بود. (Sishodia et al. 2016) تغییرات سطح آب زیرزمینی را در جنوب هند بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها بیانگر کاهش معنی‌دار ۲۲ تا ۳۶ درصد از چاه می‌باشد. آنها در تحقیق خود افزایش مناطق آبیاری، کاهش بارش و سیاست‌های حکومت را از عوامل اصلی ایجاد کاهش سطح آب زیرزمینی در جنوب هند ذکر کرده‌اند. (Klavins and Rodinov, 2017) به بررسی روند زمانی و مکانی غلظت سه پارامتر NO_3-N ، Cl^- و SO_4^{2-} در مزارع سبزیجات، میوه و انبار غله با استفاده از آزمون من-کندال منطقه‌ای در کره پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار غلظت NO_3-N و SO_4^{2-} در مزارع سبزیجات طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ و

³ Sen's Slop estimator

سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. در این مطالعه سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. مقدار بحرانی آماره $Z_{\alpha/2}$ با استفاده از جداول توزیع نرمال استاندارد در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ± 1.96 و در سطح اطمینان ۹۹ درصد برابر ± 2.575 می‌باشد.

آزمون تخمین‌گر شیب سن

جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی، استفاده از روش غیرپارامتریک سن می‌تواند یکی از روش‌های مناسب در این زمینه باشد. این روش ابتدا توسط تیل (Thiel, 1950) و سپس توسط سن (Sen, 1968) بسط و گسترش داده شد. این روش نیز مانند بسیاری دیگر از روش‌های غیرپارامتریک همچون من-کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد که روند موجود در سری زمانی یک روند خطی باشد. این بدان معناست که $f(t)$ در معادله (۶) برابر است با (Alijani et al., 2016):

$$f(t) = Qt + B \quad (6)$$

که Q شیب خط روند و B مقدار ثابت است.

جهت محاسبه شیب خط روند یعنی Q ، ابتدا باید شیب بین هر جفت داده مشاهداتی، با استفاده از معادله (۷) محاسبه گردد:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (7)$$

که $j > k$ است. در این معادله x_k و x_j به ترتیب داده‌های مشاهداتی در زمان‌های k و j است. با اعمال این رابطه، برای هر جفت داده مشاهداتی، یک شیب بدست می‌آید. با قرار دادن این شیب‌ها در کنار یکدیگر یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید؛ یعنی اگر n تعداد x_j در سری زمانی وجود داشته باشد ما به اندازه $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب Q_i خواهیم داشت. در مرحله بعد، میانه سری زمانی مورد مطالعه بایستی بدست آید. برای این کار N تعداد از Q_i ها از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند و سپس با استفاده از یکی از معادلات زیر اقدام به تعیین میانه سری زمانی می‌گردد. اگر تعداد مشاهدات سری زمانی مورد مطالعه فرد باشد از معادله (۸) و اگر زوج باشد از معادله (۹) استفاده می‌گردد:

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه موردنظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون بر پایه مرتبه داده‌ها می‌باشد. با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad \text{اگر } n > 10$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

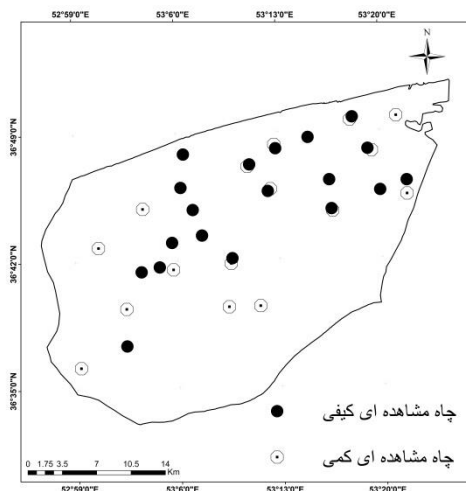
بالا n تعداد داده‌ها، m تعداد گره‌ها (تعداد سری‌هایی که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد) و t تعداد داده در هر گره (فراوانی داده‌ها با ارزش یکسان) می‌باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیش از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m ام برابر t می‌باشد. آماره^۴ این آزمون (Z) از روابط زیر به دست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{VAR(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است؛ بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. α سطح معنی‌داری بوده و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α است. با توجه به دو دامنه بودن آزمون از $\alpha/2$ استفاده می‌شود. هنگامی که به وسیله بررسی آماره آزمون مشخص شود که فرض صفر رد شده، یعنی روند بین داده‌ها وجود دارد اگر آماره آزمونی که محاسبه نمودیم بزرگ‌تر از صفر ($Z > 0$) باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که آماره آزمون محاسبه شده کوچک‌تر از صفر ($Z < 0$) باشد،

⁴ Statistic

و بقیه (۵۸۷۷/۸ کیلومتر مربع) شامل ارتفاعات می‌باشد. در دشت ساری- نکا آبخوان آبرفتی آزاد با وسعت ۷۲۳/۵۶ کیلومترمربع ۷۴/۳۷٪ از گستره دشت را فراگرفته است. تراز سطح آب از ۳۵+ متر در جنوب شهر ساری تا ۲۰- متر در مجاورت ساحل متغیر است. جهت جریان آب زیرزمینی در این دشت از جنوب به شمال می‌باشد. در سطح آبخوان آبرفتی دشت ساری- نکا تعداد ۱۶۹۴۷ حلقه چاه، ۱۴ دهنه چشمه و ۱۵ رشته قنات با مجموع برداشت و تخلیه سالانه ۱۸۵/۸۳ میلیون مترمکعب شناسایی شده است. مقادیر متوسط سالانه بارندگی، تبخیر از سطح آزاد و دما در دشت ساری- نکا طی دوره آماری ۴۵ ساله (۹۰-۱۳۴۵) به ترتیب برابر ۶۶۴ میلی‌متر، ۸۶۴/۸ میلی‌متر و ۱۶/۵۱ سانتی‌گراد می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل چاه‌های مشاهده‌ای کمی و کیفی ارائه شده است.



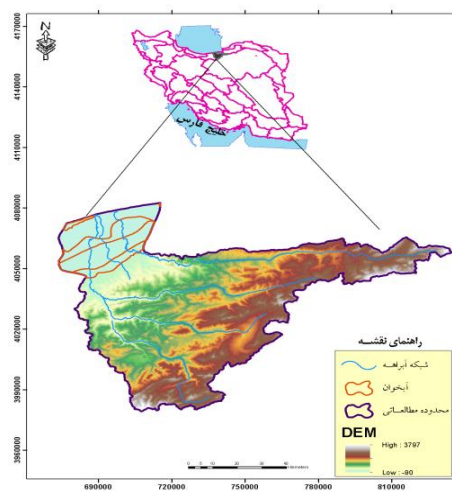
$$Q = Q_{[N+1/2]} \quad (8)$$

$$Q = \frac{1}{2} \left[Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]} \right] \quad (9)$$

نتیجه حاصل از این معادلات، بدست آوردن شیب خط روند (Q_{med}) است. اگر شیب خط روند مثبت باشد حاکی از صعودی بودن روند و اگر منفی باشد دال بر نزولی بودن روند است.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی این تحقیق بخشی از منطقه ساری- نکا می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی در جنوب محدوده بهشهر- بندرگز قرار دارد. مساحت آن حدود ۶۹۳۸/۵ کیلومتر مربع می‌باشد که ۹۷۲/۸۷ کیلومترمربع آن دشت



شکل ۱- نقشه منطقه مطالعاتی و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای

Fig1- Map of the study area and location of observation wells

روش پژوهش

میانگین سالانه تراز آب زیرزمینی در ۱۶ حلقه چاه مشاهده‌ای منتخب که در دوره آماری ۲۵ ساله (۹۴-۱۳۷۰) اندازه‌گیری شده بود، استفاده شده است. لازم به ذکر است، متغیرهای کیفی مورد مطالعه در بازه‌های زمانی ۶ ماه، ماه پر آب (ماهی که تراز آب زیرزمینی به بالاترین سطح خود می‌رسد) و ماه کم آب (ماهی که تراز آب

در این پژوهش به منظور بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آبخوان ساری - نکا از داده‌های میانگین سالانه کیفی آب زیرزمینی شامل کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (K^+)، کل جامدات محلول (TDS)، سدیم (Na^+)، کلر (Cl^-) و سولفات (SO_4^{2-}) در ۱۹ حلقه چاه مشاهده‌ای کیفی منتخب و همچنین از داده‌های

آزمون‌های من- کندال و تخمین‌گر شیب سن مربوط به متغیرهای کیفی آب زیرزمینی برای هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای کیفی منتخب در دشت ساری- نکا در مقیاس سالانه طی دوره زمانی ۲۵ ساله ارائه شده است.

در ادامه وضعیت روند هریک از پارامترهای کیفی در محل چاه‌های مشاهده‌ای منتخب به تفکیک بیان می‌گردد.

زیرزمینی به پایین‌ترین سطح خود می‌رسد) اندازه‌گیری شده‌اند.

نتایج و بحث

نتایج روند تغییرات زمانی کیفیت آب زیرزمینی

با استفاده از آزمون تحلیل روند، در جدول (۱) نتایج آماره

جدول ۱- نتایج آزمون من- کندال و تخمین‌گر شیب سن برای چاه‌های مشاهده‌ای در طول دوره آماری ۱۳۷۰-۹۴

Table1- Results of Mann-Kendall and Sen's Slope estimator for Observation wells in the period 1991-2015

چاه مشاهده‌ای Observation Well	آزمون test	کلسیم Ca ²⁺	منیزیم Mg ²⁺	پتاسیم K ⁺	کل جامدات محلول TDS	سدیم Na ⁺	کلر Cl ⁻	سولفات So ²⁻ ₄
برگه Berge	من-کندال MK	۱/۷۳	-۱/۷۱	-۲/۶۹*	-۱/۰۴	-۱/۳۰	-۰/۷۸	-۱/۳۴
	شیب سن Q _{med}	۰/۱۸	-۰/۱۳	-۰/۰۰۶	-۴۶/۲۳	-۰/۹۷	-۰/۲۵	-۰/۳۷
نوذرآباد Nozar abad	من-کندال MK	-۱/۳۷	-۱/۶۵	۰/۱۱	-۲/۰۱*	-۲/۲۶*	-۱/۵۳	-۲/۰۸*
	شیب سن Q _{med}	-۰/۱۰	-۰/۱۲	۰	-۱۴/۳۶	-۰/۲۱	-۰/۱۴	-۰/۲۲
یکه توت Yeke toot	من-کندال MK	-۳/۲۳**	-۲/۷۹**	-۱/۱۲	-۲/۳۰*	-۲/۱۳*	-۲/۵۷*	-۲/۶۷**
	شیب سن Q _{med}	-۰/۹۳	-۰/۳۰	-۰/۰۰۳۷	-۹۸/۹۲	-۰/۸۸	-۰/۵۵	-۰/۸۸
طبق ده Tabgh deh	من-کندال MK	۱/۷۴	-۲/۳۹*	۱/۸۴	-۱/۸۵	-۲/۰۲*	۰/۴۱	-۲/۴۷*
	شیب سن Q _{med}	۰/۱۵	-۰/۱۴	۰/۰۰۱۴	-۱۲/۵۷	-۰/۲۳	۰/۰۳	-۰/۲۳
تازه آباد Tazeh abad	من-کندال MK	۱/۰۴	-۳/۹۴**	-۰/۳۳	-۱/۸۹	-۱/۸۹	-۰/۴۹	-۲/۵۳*
	شیب سن Q _{med}	۰/۰۹	-۰/۱۷	-۰/۰۰۱	-۲۰/۶۱	-۰/۲۲	-۰/۰۲۶	-۰/۳۰
عسگر آباد Asgar abad	من-کندال MK	۰/۹۸	-۰/۶۷	۱/۱۱	-۲/۸۱**	-۲/۱۱*	-۲/۰۸*	-۰/۲۷
	شیب سن Q _{med}	۰/۰۷	-۰/۰۳۸	۰/۰۰۱۵	-۱۴/۷۸	-۰/۱۹	-۰/۱۸	-۰/۰۱۶
سنگر Sangar	من-کندال MK	۲/۲۶*	-۱/۲۲	-۲/۷۳*	-۱/۲۸	-۲/۸۰**	-۱/۲۸	-۳/۲۷**
	شیب سن Q _{med}	۰/۲۶	-۰/۰۸۲	-۰/۰۰۵	-۳۴/۷۴	-۱/۱۵	-۰/۳۲	-۰/۳۶
	من-کندال	-۱/۸۵	-۳/۰۶**	-۱/۴۴	-۳/۸۴**	-۳/۰۴**	-۳/۷۲**	-۳/۰۴**

چاه مشاهده‌ای Observation Well	آزمون test	کلسیم Ca ²⁺	منیزیم Mg ²⁺	پتاسیم K ⁺	کل جامدات محلول TDS	سدیم Na ⁺	کلر Cl ⁻	سولفات So ²⁻ ₄
پنبه چوله بالا Panbeh choole bala	MK							
	شیب سن	-۰/۱۷	-۰/۲۶	-۰/۰۰۳	-۹۲/۶۵	-۱	-۰/۶۳	-۰/۶۹
خورشید khorshid	Q _{med}							
	من-کندال	۳/۷۹**	-۱/۰۴	۱/۷۱	۰/۳۲	-۱/۰۴	-۲/۶۸**	-۱/۵۳
سوربن Sorbon	MK							
	شیب سن	۰/۲۵	-۰/۰۷۶	۰/۰۰۲۵	۶/۰۵	-۰/۰۹	-۰/۲۱	-۰/۰۶۴
سوربن Sorbon	Q _{med}							
	من-کندال	۱/۵۸	-۱/۹۸*	-۲/۷۰*	-۲/۵۷*	-۲/۰۱*	-۲/۳۰*	-۲/۰۸*
حمید آباد Hamid abad	MK							
	شیب سن	۰/۱۶	-۰/۱۵	-۰/۰۰۲۵	-۷۳/۱۱	-۰/۹۸	-۰/۶۵	-۰/۳۵
حمید آباد Hamid abad	Q _{med}							
	من-کندال	-۰/۴۳	-۴/۲۰**	-۱/۵۴	-۳/۲۹**	-۲/۱۹*	-۲/۳۸*	-۲/۵۷*
پنبه زار کتی Panbeh zar keti	MK							
	شیب سن	-۰/۰۵۵	-۰/۱۵	-۰/۰۰۳۲	-۶۰/۴۹	-۰/۶۲۵	-۰/۲۸	-۰/۳۰
پنبه زار کتی Panbeh zar keti	Q _{med}							
	من-کندال	۰/۰۵	-۱/۷۶	۱/۱۰	-۱/۰۴	-۰/۸۴	-۰/۱۰	-۲/۵۷*
آکند Akand	MK							
	شیب سن	۰/۰۰۲۶	-۰/۱۰	۰/۰۰۰۹	-۷/۶۸	-۰/۰۶۱	۰	-۰/۰۸۹
آکند Akand	Q _{med}							
	من-کندال	۱/۱۹	-۱/۲۲	۱/۳۶	۰/۵۰	-۲/۴۳*	۱/۶۳	-۳/۰۲**
زینوند Zeynoond	MK							
	شیب سن	۰/۰۶۶	-۰/۰۷۵	۰/۰۰۱	۰/۸۷۵	-۰/۰۵۴	۰/۰۳۶	-۰/۱۰
زینوند Zeynoond	Q _{med}							
	من-کندال	۲/۴۱*	-۱/۱۳	۱/۵۹	۰/۸۶	۰/۴۸	-۰/۳۶	۰/۶۲
اسفندان Esfandan	MK							
	شیب سن	۰/۱۵	-۰/۰۶۱	۰/۰۰۲۷	۲۰/۴۱	۰/۲۳	-۰/۰۰۳۴	۰/۰۹
اسفندان Esfandan	Q _{med}							
	من-کندال	۰/۹۰	-۳/۵۲**	۰/۴۲	-۲/۳۹*	-۲/۵۴*	۰/۳۰	-۳/۳۰**
خزر آباد Khazar abad	MK							
	شیب سن	۰/۰۸	-۰/۱۵	۰/۰۰۰۳	-۲۱/۷۲	-۰/۵۰	۰/۰۴۲	-۰/۳۵
خزر آباد Khazar abad	Q _{med}							
	من-کندال	-۰/۴۹	-۱/۴۰	۰/۶۳	-۱/۵۸	-۱/۰۹	-۱/۰۴	-۱/۷۷
ولوجا Velveja	MK							
	شیب سن	-۰/۰۴	-۰/۰۷۵	۰/۰۰۲	-۳۳/۶۶	-۰/۳۶	-۰/۱۳	-۰/۲۲
ولوجا Velveja	Q _{med}							
	من-کندال	-۰/۶۰	-۲/۷۷**	-۱/۹۸*	-۲/۳۸*	-۲/۹۹**	-۲/۵۲*	-۱/۴۰
ولوجا Velveja	MK							
	شیب سن	-۰/۱۱	-۰/۳۰	-۰/۰۰۴۹	-۱۲۴/۵	-۱/۹۲	-۱/۳۷	-۰/۱۶
ولوجا Velveja	Q _{med}							
	من-کندال	-۱/۰۸	-۳/۶۵**	-۱/۱۶	-۲/۳۰*	-۱/۴۲	-۱/۷۳	-۲/۷۴**

چاه مشاهده‌ای Observation Well	آزمون test	کلسیم Ca ²⁺	منیزیم Mg ²⁺	پتاسیم K ⁺	کل جامدات محلول TDS	سدیم Na ⁺	کلر Cl ⁻	سولفات So ²⁻ ₄
آبمال Abmal	MK شیب سن	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۰۰۱۶	-۴۰/۸۱	-۰/۳۱	-۰/۱۴	-۰/۴۱
	Q _{med} من-کندال	۰/۸۸	-۲/۰۴*	۱/۵۱	-۰/۹۹	۰/۰۹	۱/۲۴	-۲/۷۸**
تجنک Tajanak	MK شیب سن	۰/۰۳۵	-۰/۴۲	۰/۰۰۸۳	-۲/۳۱	۰/۰۰۳۵	۰/۰۳۴	-۰/۰۹۷
	Q _{med}							

*indicates trend statistically significant at the 95% confidence level

* بیانگر روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵٪

**indicates trend statistically significant at the 99% confidence level

** بیانگر روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹٪

وجود روند و توزیع تصادفی داده‌ها تأیید می‌شود. براساس آماره شیب سن، بیش‌ترین روند کاهشی مربوط به چاه برگه به میزان ۰/۰۰۶ میلی‌گرم در سال می‌باشد. همچنین کمترین روند کاهشی متغیر سدیم متعلق به چاه مشاهده‌ای تازه آباد برابر ۰/۰۰۱ می‌باشد.

کل جامدات محلول: روند تغییرات پارامتر کل جامدات محلول در محل چاه‌های کیفی خورشید، آکند و زینوند افزایشی بوده اما با توجه به آماره من- کندال محاسبه شده این روند در سطوح اطمینان بررسی شده معنی‌دار تشخیص داده نشده است. همچنین در محل ۶ چاه مشاهده‌ای کیفی نودر آباد، یکه توت، سوربن، ولوجا، آبمال، اسفندان، عسگرآباد، پنبه‌چوله و حمیدآباد بالا دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده است. در سایر چاه‌ها روند تغییرات کل جامدات محلول منفی بوده و با توجه به مقدار آماره Z محاسبه شده که از مقادیر بحرانی ۱/۳۶ و ۲/۵۷۵ کمتر می‌باشد، داده‌ها روند کاهشی غیرمعنی‌دار دارند. بزرگ‌ترین شیب منفی خط روند (Q_{med}) در محل چاه ولوجا برابر با ۱۲۴/۵ می‌باشد. همچنین بزرگترین شیب مثبت خط روند (Q_{med}) در محل چاه زینوند برابر با ۲۰/۴ می‌باشد.

سدیم: روند تغییرات پارامتر سدیم تنها در محل چاه‌های مشاهده‌ای تجنک و زینوند افزایشی است. این پارامتر در سایر چاه‌ها روند کاهشی و یا کاهشی معنی‌دار را تجربه کرده است. نتایج آزمون سن نشان می‌دهد که بیشترین شیب کاهشی متغیر سدیم در محل چاه مشاهده‌ای ولوجا به میزان ۱/۹۲ بوده است.

کلسیم: تحلیل نتایج در جدول (۱) نشان می‌دهد که یون کلسیم تنها در محل چاه مشاهده‌ای یکه توت دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد. همچنین در محل چاه‌های مشاهده‌ای سنگر و زینوند و خورشید روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرده است. آماره آزمون من- کندال محاسبه شده در سایر چاه‌ها نشان می‌دهد که مقادیر آن‌ها از مقدار بحرانی آماره در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد پایین‌تر بوده و در نتیجه داده‌های میانگین سالانه این پارامتر دارای روند نبوده و فرض H₀ که حاکی از عدم وجود روند و تصادفی بودن داده‌های سری زمانی است، پذیرفته می‌شود. بررسی شیب خط روند محاسبه شده از آزمون تخمین‌گر سن در مقیاس سالیانه نشان می‌دهد که بیشترین کاهش یون کلسیم مربوط به چاه مشاهده‌ای یکه توت برابر با ۰/۹۳ میلی‌گرم در سال و بیشترین افزایش یون کلسیم در محل چاه سنگر برابر با ۰/۲۶ میلی‌گرم در سال می‌باشد.

منیزیم: روند تغییرات یون منیزیم در طی دوره آماری مورد مطالعه در تمامی چاه‌های مشاهده‌ای بررسی شده کاهشی بوده و در ۱۰ چاه (طبق ده، سوربن، تجنک، یکه توت، تازه آباد، پنبه چوله بالا، حمید آباد، ولوجا، آبمال و اسفندان) دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد. با توجه به آماره شیب سن، شدیدترین کاهش یون منیزیم مربوط به چاه ولوجا برابر با ۰/۳ میلی‌گرم در سال می‌باشد.

پتاسیم: متغیر پتاسیم نیز در ۴ چاه برگه، سنگر، سوربن و ولوجا دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد و با توجه به آماره من-کندال برآورد شده در سایر چاه‌ها فرض عدم

کلر: متغیر کلر در اغلب چاه‌های کیفی مورد بررسی دارای روند کاهشی است. از تعداد ۱۹ چاه مشاهده‌ای، در ۷ چاه این روند کاهشی در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. در سایر چاه‌ها به دلیل کمتر بودن آماره Z محاسبه شده از آماره Z بحرانی در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد، فرض صفر (عدم وجود روند) پذیرفته می‌شود. همچنین بزرگترین شیب منفی خط روند (Q_{med}) مربوط به چاه سوربن به میزان ۰/۶۵ می‌باشد.

سولفات: تغییرات پارامتر سولفات تنها در چاه کیفی زینوند روند افزایشی از خود نشان می‌دهد اما این روند از لحاظ آماری در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار نبوده است. در سایر چاه‌های بررسی شده روند تغییرات پارامتر یاد شده منفی بوده و میانگین سالانه آن در محدوده مطالعاتی کاهش یافته است. همچنین با توجه به مقدار تخمین‌گر سن (Q_{med}) محاسبه شده، بیشترین کاهش سولفات در چاه یکه توت برابر ۰/۸۸ میلی‌گرم محاسبه گردید.

جدول مربوط به بررسی روند تغییرات کیفی در مقیاس سالانه مشخص می‌کند که در مجموع تعداد روندهای منفی بیشتر از روندهای مثبت بوده است. بنابراین روند تغییرات پارامترهای کیفی رو به کاهش بوده است و آبخوان نسبت به گذشته شرایط مساعدتری را از لحاظ کیفی تجربه می‌کند. علت این امر می‌تواند ناشی از احداث سد شهید رجایی در بالادست حوضه آبریز تچن دانست که مانع از افت تراز آب و به تبع آن افزایش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه شده است.

نتایج روند تغییرات زمانی تراز آب زیرزمینی

نتایج بررسی روش من-کندال و تخمین‌گر شیب سن برای تراز آب زیرزمینی سالانه در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده وجود روند افزایشی در محل چاه‌های سیدمحل، ولوجا، خورشید، سوربن و طبق-ده می‌باشد. همچنین چاه‌های مشاهده‌ای یکه توت و یعقوب لنگه روند کاهشی معنی‌دار را تجربه کرده‌اند. از آنجاییکه آماره Z من-کندال در سایر چاه‌های مشاهده‌ای مورد بررسی کمتر از مقدار بحرانی $Z_{\alpha/2}$ در سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد می‌باشد، از این رو بر مبنای آزمون من-کندال، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند معنی‌دار در تغییرات تراز آب زیرزمینی پذیرفته می‌شود. نتایج بررسی روند تراز آب زیرزمینی با توجه به آزمون شیب سن (Q_{med}) نشان می‌دهد که بیشترین افزایش تراز آب زیرزمینی مربوط به محل چاه مشاهده‌ای ولوجا برابر ۰/۱۷ متر در سال و کمترین افزایش تراز آب زیرزمینی مربوط به محل چاه مشاهده‌ای طبق ده معادل ۰/۰۷۵ متر در سال است. با توجه به شیب برآورد شده از آزمون سن، در محل چاه یعقوب لنگه سالانه ۰/۰۸۰ متر و در محل چاه مشاهده‌ای یکه توت سالانه ۰/۰۲۱ متر افت تراز آب مشاهده می‌شود. در بررسی تراز آب زیرزمینی سالانه مشخص گردید که بیشترین تغییرات موجود از نوع افزایشی است و تراز آب زیرزمینی ۶۲/۵ درصد از چاه‌های مشاهده‌ای بررسی شده رو به بهبود است.

جدول ۲- نتایج آزمون من-کندال و تخمین گرشیب سن برای چاه‌های مشاهده‌ای در طول دوره آماری ۹۴-۱۳۷۰
Table2- Results of Mann-Kendall and Sen's Slop estimator for observation wells in the period 1991-2015

چاه مشاهده‌ای Observation Well	آزمون من-کندال Mann-Kendall test	آزمون تخمین‌گر شیب سن Sen's Slop Estimator test	چاه مشاهده‌ای Observation Well	آزمون من-کندال Mann-Kendall test	آزمون تخمین‌گر شیب سن Sen's Slop Estimator test
مرز رود Marz rood	۰/۰۷	۰/۰۰۲۱	دشت ناز Dasht naz	۰/۳۳	۰/۰۰۳۳
ولوجا Velveja	۴/۸۹**	۰/۱۷	دنگسرگ Dangsrage	۰/۷۲	۰/۰۰۶
خورشید khorshid	۲/۸۳**	۰/۰۶۳	زینوند Zeynoond	۱/۷۰	۰/۰۳۴
سوربن Surbon	۴/۱۳**	۰/۰۳۰	یعقوب لنگه Yaghub lange	-۲/۹۶**	-۰/۰۸۰
برگه Berge	-۱/۱۴	-۰/۰۴۵	سیدمحلہ Seysed mahaleh	-۲/۶۹**	۰/۰۰۹۶
چمازک Chamazak	-۰/۵۸	-۰/۰۰۷۸	جره سر Jere sar	۰/۱۶	۰/۰۰۲۲
یکه توت Yeke toot	-۲/۳۲*	-۰/۰۰۲۱	شرق طبق ده Sharge tabagh deh	۲/۴۱*	۰/۰۷۵
عسگر آباد Asgar abad	-۰/۸۲	-۰/۰۰۴۸	کارکنده Karkandeh	-۱	-۰/۰۰۵۹

*indicates trend statistically significant at the 95% confidence level

*بیانگر روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵٪

**indicates trend statistically significant at the 99% confidence level

**بیانگر روند معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹٪

بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی بیانگر کاهش و افت معنی‌دار تراز آب زیرزمینی در محدوده شمال شرقی آبخوان می‌باشد. همچنین تغییرات تراز آب زیرزمینی در نواحی جنوب، جنوب غربی و قسمتی از شمال شرقی روندی از خود نشان نمی‌دهد. تراز آب زیرزمینی در نواحی مرکزی آبخوان و قسمت کوچکی از غرب آبخوان با روند صعودی معنی‌دار روبرو شده است.

نقشه‌های ترسیم شده جهت تحلیل مکانی عامل‌های کیفی به روشنی نشان می‌دهد که بخش وسیعی از منطقه روند منفی و در بعضی موارد معنی‌دار بودن روند منفی را تجربه کرده است. لذا بیانگر بهبودی وضعیت کیفی منطقه می‌باشد. افزایش تراز آب زیرزمینی در بخش‌های میانی و شمالی دشت می‌تواند ناشی از احداث سد شهید رجایی و

نتایج تغییرات مکانی پارامترهای کمی و کیفی

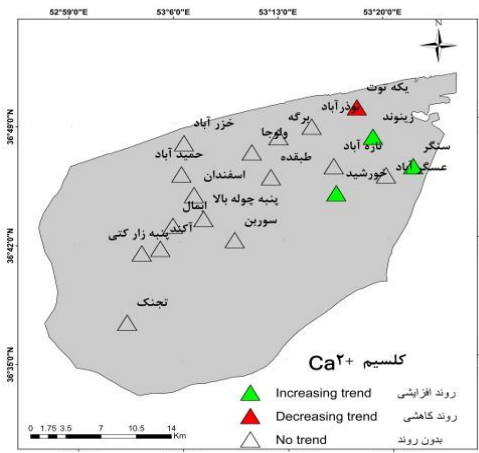
در شکل (۲) به منظور بررسی تغییرات مکانی پارامترهای بررسی شده در سطح منطقه مطالعه شده، موقعیت مکانی چاه‌های مشاهده‌ای کیفی و کمی در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.1 ارائه شده است. شکل (۲) نشان می‌دهد، از بین پارامترهای کیفی بررسی شده در مقیاس سالانه با توجه به آماره Z آزمون من-کندال متغیر کلسیم روند افزایشی معنی‌دار را در نواحی شمال شرقی آبخوان تجربه کرده است. همچنین متغیر یاد شده در قسمتی از شمال آبخوان روند کاهشی معنی‌دار و در سایر بخش‌های آبخوان روند غیرمعنی‌دار داشته است. سایر پارامترهای کیفی بررسی شده در نواحی محدوده مطالعاتی ترکیبی از روند کاهشی و روند غیرمعنی‌دار را تجربه کرده‌اند.

زیرزمینی روند ثابت و یا حتی مثبتی را تجربه کرده است که در نتیجه کیفیت آب زیرزمینی شرایط مناسبی پیدا کرده است.

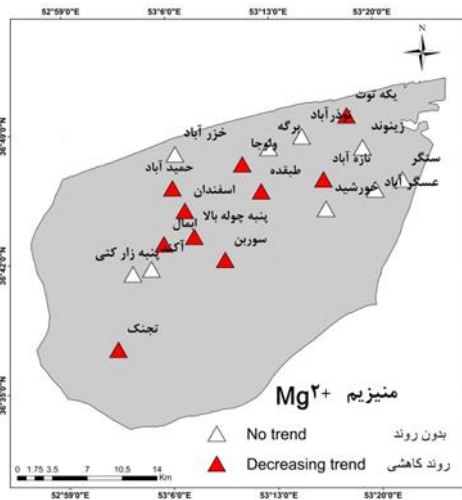
توسعه بهره‌برداری از آب‌های سطحی از طریق شبکه آبیاری تجن باشد که موجب کاهش برداشت از سفره‌های آب‌های زیرزمینی در محدوده گسترش شبکه آبیاری سد شهید رجایی شده است. در نتیجه تغییرات تراز آب



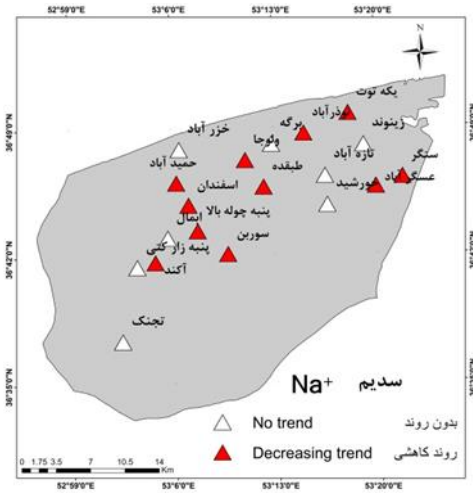
ب) پتاسیم



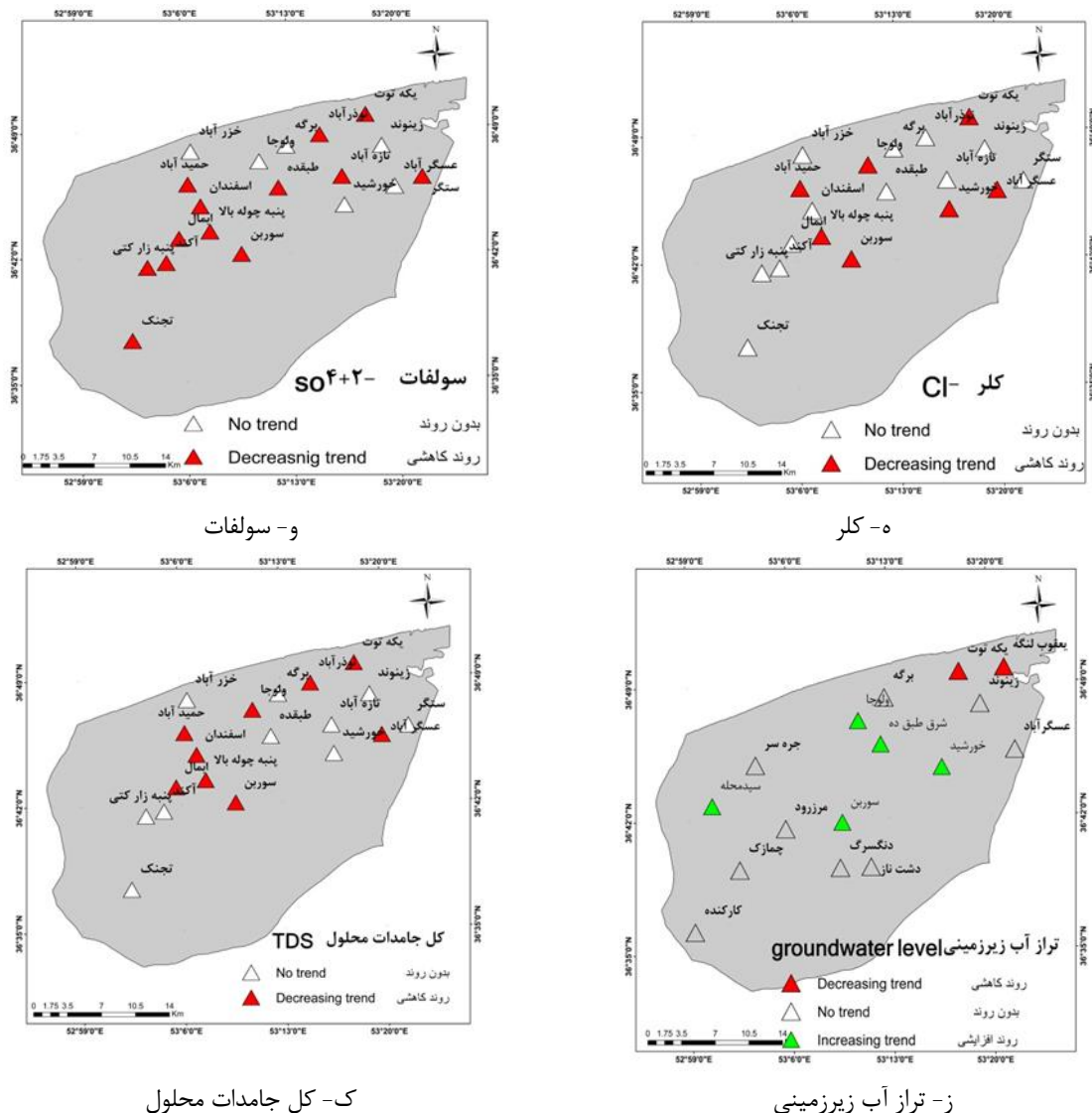
الف) کلسیم



د- منیزیم



ج- سدیم



شکل ۲- پراکندگی مکانی روندها در چاه‌های مشاهده‌ای (افزایشی، کاهش‌ی و بدون روند) با استفاده از آزمون من- کندال برای داده‌های سالانه در طول دوره آماری ۹۴-۱۳۷۰

Fig2- Spatial distribution of Observation wells with increasing, decreasing and no trends by Mann-Kendall test for the annual data series during the period 1991-2015

مکانی هر پارامترها ترسیم شد. نتایج نشان داد که در بین ۱۶ چاه مشاهده‌ای منتخب جهت بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد، ۵ چاه (۳۱/۲۵٪) روند صعودی (افزایش تراز آب) و ۲ چاه (۱۲/۵٪) روند نزولی (افت تراز آب) را تجربه کرده‌اند. همچنین ۹ چاه (۵۶/۲۵٪) بدون روند می‌باشند. متغیر کلسیم در بین ۱۹ چاه مشاهده‌ای منتخب کیفی در ۳ چاه (۱۵/۷٪) روند صعودی و در ۱ چاه (۵/۲۶٪) روند نزولی و ۱۵ چاه (۷۸/۹۴٪) بدون روند بوده است. همچنین یون منیزیم در ۱۰ چاه (۵۲/۶۳٪) روند نزولی و

نتیجه‌گیری

منابع آب زیرزمینی با توجه به توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش یکی از منابع آب استراتژیک می‌باشد. در مطالعه حاضر، روند تغییرات پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی آبخوان ساری-نکا با استفاده از آزمون غیرپارامتری من- کندال در سطوح اعتماد ۹۵ درصد و ۹۹ درصد در مقیاس سالانه و در دوره آماری ۲۵ ساله مورد بررسی قرار گرفت. شیب خط روند نیز با استفاده از آزمون تخمین‌گر شیب سن برای متغیرهای کمی و کیفی برآورد شد. سپس در محیط ArcGIS10.1 موقعیت

زیرزمینی منفی می‌باشد؛ به عبارت دیگر آبخوان با افزایش تراز آب زیرزمینی و کاهش غلظت عوامل کیفی مواجه بوده است. احداث سد شهید رجایی در بالادست حوضه آبریز تجن و بهره‌برداری از طرح شبکه آبیاری و زهکشی سد یاد شده و قرار گرفتن دشت ساری-نکا به عنوان یک دشت ممنوعه از سوی سازمان آب منطقه‌ای از جمله عواملی است که موجب تغییر در وضعیت آبخوان از نظر کمی و کیفی شده است.

در ۹ چاه (۴۷/۳۶٪) روند معنی‌دار از خود نشان داد. متغیر پتاسیم نیز در ۴ چاه (۲۱/۰۵٪) روند نزولی و ۱۵ چاه (۷۸/۹۴٪) بدون روند بوده است. یون سدیم در ۱۱ چاه (۵۷/۸۹٪) روند نزولی و در ۸ چاه (۴۲/۱٪) بدون روند و کلر نیز در ۷ چاه (۳۶/۸۴٪) روند نزولی و در ۱۲ چاه (۶۳/۱۵٪) روند غیرمعنی‌دار را تجربه کرده‌اند. متغیر سولفات نیز در ۱۳ چاه (۶۸/۴۲٪) دارای روند نزولی و در ۶ چاه (۳۱/۵٪) روند غیرمعنی‌دار داشتند. نتایج در حالت کلی نشان می‌دهد که تغییرات روند در تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه مثبت و تغییرات روند در کیفیت آب

منابع

- Abareishi, F., Meftah Halghi, M., & Dehghani, AA. 2014. The trend of groundwater quality parameters in Zarringol Plain using nonparametric Mann-Kendall and Sen's Methods, Journal of Water and Soil Conservation. 21(3), 79-100. [in Persian with English Summary].
- Afzali, A., Shahedi, K. 2014. Investigating on Trend of Groundwater Quantitative and Qualitative Variations in Amol-Babol plain. Journal of Watershed management research. 5(10), 144-156. [in Persian with English Summary].
- Alijani, B., Mahmudi, P. & Chogan, A. 2012. Investigation of the trend of annual and seasonal rainfall in Iran using non-parametric "Estimator of the slope", Journal of Climate Research. 3(9), 23-42. [in Persian].
- Amiri-bourkhani, M., R Khaledian, M., Ashrafzadeh, A. & Shahnazari, A. 2017. The temporal and spatial variations in groundwater salinity in Mazandaran Plain, Iran, during a long-term period of 26 years. Geofizika, 34, 119-139.
- Babaei moghadam, A., Shahnazari, A. & Mortexapour, M. 2016. Assessment and prediction of Qezelozan and Shahrud Rivers discharge, Iranian Journal of ECO hydrology. 3(3), 195-204. [in Persian With English Summary].
- Chen, H., Guo, S., XU, C.Y. & Singh, V. P. 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. Journal of hydrology, 344, 171-184.
- Delbari, M., Motlagh, M. B. & Amiri, M. 2013. Spatio-temporal variability of groundwater depth in the Eghlid aquifer in southern Iran. Earth Sciences Research Journal, 17, 105-114.
- Gellens, D. 2000. Trend and Correlation Analysis of k-Day Extreme Precipitation over Belgium. Theoretical and applied climatology, 66, 117-129.
- Gonzales-inca, C. A., Lepoisto, A. & Huttula, T. 2016. Trend detection in water-quality and load time-series from agri-cultural catchments of Yläneenjoki and Pyhäjoki, SW Finland.
- Gholami, F., Zareei, H. & Marofi, S. 2016. Investigation of the Changes in Quantitative and Qualitative Parameters of Groundwater (Case Study: Toyserkan Plain). Msc thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. [in Persian With English Summary].
- Ghorbani, KH. 2015. Spatial and seasonal pattern in climate change, temperatures across Iran, Journal of Water and Soil Conservation. 21(5), 257-270. [in Persian With English Summary].

- Kaown, D., Hyun, Y., Bae, G.-O., OH, C. W. & Lee, K.-K. 2012. Evaluation of spatio-temporal trends of groundwater quality in different land uses using Kendall test. *Geosciences Journal*, 16, 65-75.
- Kendall, M. 1975. *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London (1975).
- Karimi jafari, M., Sabet, F. 2014. Underground water depth analysis using Mann Kendall test in Najaf Abad Plain. 5th Iranian Water Resources Management Conference, tehran. [in Persian].
- Klavins, M. & Rodinov, V. 2017. Long Term Changes of Water Quality in Latvia. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 11, 625-630.
- Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- Masoud, A. A., Koike, K., Mashaly, H. A. & Gergis, F. 2016. Spatio-temporal trends and change factors of groundwater quality in an arid area with peat rich aquifers: Emergence of water environmental problems in Tanta District, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 124, 360-376.
- Rahimi, L., Dehghani, AA. & Ghorbani, KH. 2016. Comparison of total foe, Base flow and water- Quality Characteristics Trend in Arazkuse Hydrometric station, *Journal of Watershed management research*. 7(13), 83-91. [in Persian With English Summary].
- Sabziparvar, A. & Shadmani, M. 2011. Trends Analysis of Reference Evapotranspiration Rates by Using the Mann-Kendall and Spearman Tests in Arid Regions of Iran, *J. Journal of Water and Soil*, 25, 823-834.
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63, 1379-1389.
- Shafiei Dastjerdi, M. 2013. Using the Man-Kendall test to determine the nitrate pollution in groundwater resources. The 1th National Conference on Environment and Energy, Tehran. [in Persian].
- Sishodia, R. P., Shukla, S., Graham, W. D., Wani, S. P. & Garg, K. K. 2016. Bi-decadal groundwater level trends in a semi-arid south indian region: Declines, causes and management. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 43-58.
- Tabari, H., Nikbakht, J. & Some'e, B. S. 2012. Investigation of groundwater level fluctuations in the north of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 66, 231-243.
- Thil, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. *Proceedings of Koninallijke Nederlandse Akademie van Weinenschatpen A*, 1950. 1397-1412.
- Zare abianeh, H., Bayat varkeshi, M. & Marofi, S. 2012. Investigating Water Table Depth Fluctuations in the Malayer Plain, *Journal of Water and Soil Science*. 22(5), 173-190. [in Persian With English Summary].



Investigation of groundwater quantitative and qualitative variations trends (Case study: Iran, Sari-neka aquifer)

Mina Nasiri¹, Mehdi Hamidi^{2*}, Hamid Kardan Moghaddam³

1-Msc Student of Water Engineering and Hydraulic Structures, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

2-Assistant Professor of Water Engineering and Hydraulic Structures Dep. of, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

3- Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran

*Corresponding Author E-mail: hamidi@nit.ac.ir

Abstract

Investigation of temporal variations of groundwater resources quality and quantity is very important for the comprehensive management of these resources. In this study, trends of the groundwater quality and quantity parameters variations of the Sari-neka plain during the period (1991-2015) were investigated. For this purpose, Mann-Kendall and Sen's slop estimator non-parametric tests at 95% and 99% confidence levels to evaluate the trends were analyzed. The parameters used in this study were Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , TDS, Na^+ , Cl^- , So_4^{2-} in the qualitative part and the groundwater level in the quantitative part. The results for 16 quantity observation wells indicated that the trend of groundwater level for 5 observation wells was positive and 2 observation wells were negative trend and 9 observation wells were a non-significant trend. The qualitative trend analysis for 19 observation wells showed that expect Ca^{2+} which experienced positive trends (3 observation wells), the other quality parameters followed negative or non- significant trend.

Keywords: Groundwater, Non-parametric Test, Mann-Kendall, Sen's Slop