نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۲۰، خرداد - تیر ۱۴۰۵، ص. ۲۲۷-۲۱۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 20, Jun.-Jul. 2026, p. 218-227

مقاله علمی-پژوهشی

تحلیل روند تغییرات پارامترهای کیفی چاه‌های آب شرب منتخب استان گیلان با استفاده از آزمون من- کندال و شیب سن

حامد حسن نژاد[۱]، ابراهیم امیری*[۲] و جلال بهزادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰

چکیده

در این پژوهش، روند تغییرات زمانی ۱۴ پارامتر کیفی چاه‌های آب شرب استان گیلان طی یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱) با استفاده از آزمون غیرپارامتری من–کندال و تخمین‌گر شیب سن مورد بررسی قرار گرفت. داده‌ها از بانک آمار و اطلاعات شرکت آبفای گیلان استخراج و از هر شهرستان یک چاه به عنوان نماینده انتخاب شد. آزمون من-کندال برای سنجش معناداری روند و شیب سن برای نرخ تغییر سالانه به کار رفت و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار XLSTAT انجام شد. نتایج نشان داد پارامترهای نیترات، هدایت الکتریکی، مجموع جامدات محلول و آهن دارای روندهای افزایشی و کاهشی، پارامترهای سدیم، سولفات، کلسیم، سختی کل و منگنز دارای روند افزایشی و منیزیم، نیتریت و پتاسیم دارای روند کاهشی بوده‌اند. کلرید و بی‌کربنات روند معناداری نداشتند. در مجموع، از ۲۲۴ مورد بررسی‌شده، ۳۴ مورد (۱۵٪) دارای روند معنادار بودند که ۱۸ مورد افزایشی و ۱۶ مورد کاهشی بودند. بیشترین روندهای معنادار به یون نیترات اختصاص داشت. بیشینه تغییرات سالانه پارامترها نیز مربوط به هدایت الکتریکی ۱۲ و نیترات ۱/۲ میلی گرم در لیتر در شهرستان‌های رضوانشهر و فومن بود.

واژه‌های کلیدی: آزمون من- کندال، روند زمانی، شیب سن، کیفیت آب زیرزمینی

مقدمه

آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین، نقش اساسی در توسعه پایدار و تأمین نیازهای شرب، کشاورزی و صنعت دارد (شهبازی و همکاران، ۱۴۰۰؛ UNESCO, 2022). استان گیلان با ویژگی‌های اقلیمی خاص و وابستگی بالای جمعیت روستایی و شهری به منابع آب زیرزمینی، طی سال‌های اخیر با چالش‌های متعددی در زمینه کاهش کیفیت این منابع مواجه شده است. افزایش جمعیت، تغییرات کاربری اراضی و استفاده گسترده از کودهای شیمیایی از جمله عوامل اصلی تشدید آلودگی آبخوان‌ها و تغییر روند پارامترهای کیفی آب محسوب می‌شوند (رضوی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Gholami et al., 2019). تحلیل روند زمانی پارامترهای کیفی علاوه بر شناسایی نقاط بحرانی، امکان پیش‌بینی تغییرات آینده و تصمیم‌گیری مناسب در راستای مدیریت منابع را فراهم می‌کند (Hamed, 2008). استفاده از روش‌های آماری غیرپارامتری مانند آزمون «من-کندال» و تخمین‌گر «شیب سن» به‌دلیل عدم نیاز به فرض نرمال بودن داده‌ها، در مطالعات محیطی و هیدرولوژیکی بسیار رایج است. این روش‌ها امکان شناسایی وجود یا عدم وجود روند معنادار (صعودی یا نزولی) در داده‌ها و همچنین تعیین میزان و جهت این روند را فراهم می‌آورند (Kendall, 1975; Sen, 1968; Yue et al., 2002). در سطح ایران و جهان، پژوهش‌هایی راجع به بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب در مناطق مختلف صورت گرفته و نتایج معناداری را با استفاده از آزمون‌های آماری گزارش کرده‌اند. مطالعه بیات و فصیحی (۱۳۹۶) با عنوان پایش روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت‌های استان گیلان در دوره ۱۲ ساله به روش من–کندال نشان داد، در هر دو ماه پُرآب و کم‌آب، بیشتر پارامترهای کیفی روند کاهشی داشته‌اند؛ اما در ماه پُرآب روندهای کاهشی بارزتر بوده و برای pH و Na% روند افزایشی گزارش شده است. این مطالعه برای مدیریت کیفیت آب آبیاری برنج در جلگه گیلان اهمیت دارد. ارشادحسینی و همکاران (۱۴۰۰) روند

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۳- استادیار، گروه کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: eamiri57@iau.ac.ir)
DOI: 10.22034/idj.2025.564510.2649

تغییرات زمانی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان را با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و روش تخمین‌گر شیب سن مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این تحقیق، روند تغییرات تمامی متغیرهای کیفی مؤثر در منابع آب زیرزمینی دشت را رو به افزایش نشان داد. این روند در زمان‌های تخلیه و یا برداشت از آبخوان، نسبت به زمان‌های تغذیه آبخوان بیشتر بوده که علت آن، کاهش بارندگی و به تبع آن کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در دوره مصرف بیان گردیده است. شکریان و همکاران (۱۴۰۱)، تغییرات کیفیت و تعیین پهنه آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری را با استفاده از مدل SI و آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که روند تغییرات پارامترهای SAR، مجموع کاتیون‌ها و pH در دوره زمانی مورد مطالعه معنی‌دار بوده و متغیرهای SAR و pH بیشترین ارتباط را با تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه دارند.

بررسی‌های بین‌المللی نیز کارآمدی آزمون‌های من-کندال و شیب سن را در تحلیل روند کیفی آب‌های زیرزمینی تأیید کرده‌اند. به‌عنوان نمونه، مطالعه Ghosh et al. (2020) به‌کارگیری این روش‌ها را برای تحلیل روند کیفیت آب زیرزمینی موفقیت‌آمیز دانسته و اهمیت این روش‌ها را در شناسایی روندهای پنهان برجسته کرده است. در بنگلادش، تحلیل ۳۵ ساله داده‌های کیفی نشان داد، این روش‌ها برای آشکارسازی روند تغییرات پارامترهایی نظیر کلرید و نیترات بسیار مؤثر هستند (Islam et al., 2024). در هندوستان نیز مطالعات اخیر (۲۰۲۳–۲۰۲۵) روند صعودی یا نزولی پارامترهایی مانند کلرید، فلوراید، آهن و سولفات را با استفاده از همین روش‌ها کمی‌سازی کرده‌اند (Pani et al., 2025; Pradhan and Jha, 2023). همچنین، در پژوهش‌های مقیاس ملی و منطقه‌ای (مانند مطالعات منتشر شده در Nature Communications) از این روش‌ها برای نشان دادن افت تغذیه آبخوان‌ها و نقش عوامل اقلیمی و انسانی استفاده شده است (Dalin et al., 2023). علاوه بر این، بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در مناطق برنج‌کاری آسیا، پیوند مستقیمی میان مدیریت آبیاری و روند شوری (EC) با آزمون‌های من-کندال و شیب سن گزارش شده است (Rahman and Mahmud, 2022).

هدف اصلی این پژوهش، بررسی و تحلیل روند تغییرات کیفی مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب‌های زیرزمینی در استان گیلان طی یک دوره زمانی ۱۰ ساله (۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱) است. در این راستا، داده‌های مربوط به ۱۴ پارامتر کیفی از نقاط مختلف استان جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از آزمون من-کندال و محاسبه شیب سن، چاه‌های شرب استان گیلان طی یک دهه، روندهای افزایشی و کاهشی دارا می باشند. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای مناسبی برای تصمیم‌گیری مدیران و کارشناسان ذیربط در شرکت آب و فاضلاب گیلان و سایر نهادهای مرتبط با مدیریت منابع آب استان قرار گیرد تا اقدامات لازم جهت حفظ و ارتقای کیفیت آب‌های زیرزمینی اتخاذ گردد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

استان گیلان با وسعتی حدود ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع، در شمال ایران و در کرانه جنوبی دریای خزر واقع شده و از ۱۷ شهرستان تشکیل شده است. این استان از لحاظ جغرافیایی، اقلیمی و اقتصادی دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است و با خورداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی متنوع، اقلیم معتدل و مرطوب مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های معتدل و بارانی، یکی از استان‌های پرآب کشور محسوب می‌شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۷). بخش عمده‌ای از آب مورد نیاز بخش‌های شرب و کشاورزی استان به‌خصوص در مناطق روستایی و شهرهای کوچک از طریق شبکه چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تأمین می‌گردد (شرکت آب منطقه‌ای گیلان، ۱۴۰۰). با توجه به اهمیت روزافزون منابع آب زیرزمینی و وجود پتانسیل آلودگی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، بررسی کیفیت و روند تغییرات آن در این استان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پژوهش، چاه‌های معرف منتخب هر یک از شهرستان‌های استان را به عنوان مناطق مورد مطالعه در نظر گرفته است تا بتواند تصویری جامع از وضعیت کیفی آب در سطح استان ارائه دهد.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، از داده‌های ۱۴ پارامتر کیفی مربوط به چاه‌های شرب ۱۶ شهرستان استان گیلان متعلق به شرکت آبفا در طول دوره زمانی ۱۰ ساله (از سال ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱) استفاده شد، کلیه شهرستان های استان گیلان بجز شهرستان بندر انزلی که فاقد آمار است در تحقیق حاضر، از هر شهرستان، یک چاه به عنوان نماینده انتخاب گردید (نقشه۱). داده‌های مورد استفاده شامل منگنز (Mn)، آهن (Fe)، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca)، نیتریت (NO2)، نیترات (NO3)، بی‌کربنات (HCO3)، سولفات (SO4)، کلرید (Cl)، کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)و سختی کل (TH) بوده است.

روش تحلیل آماری

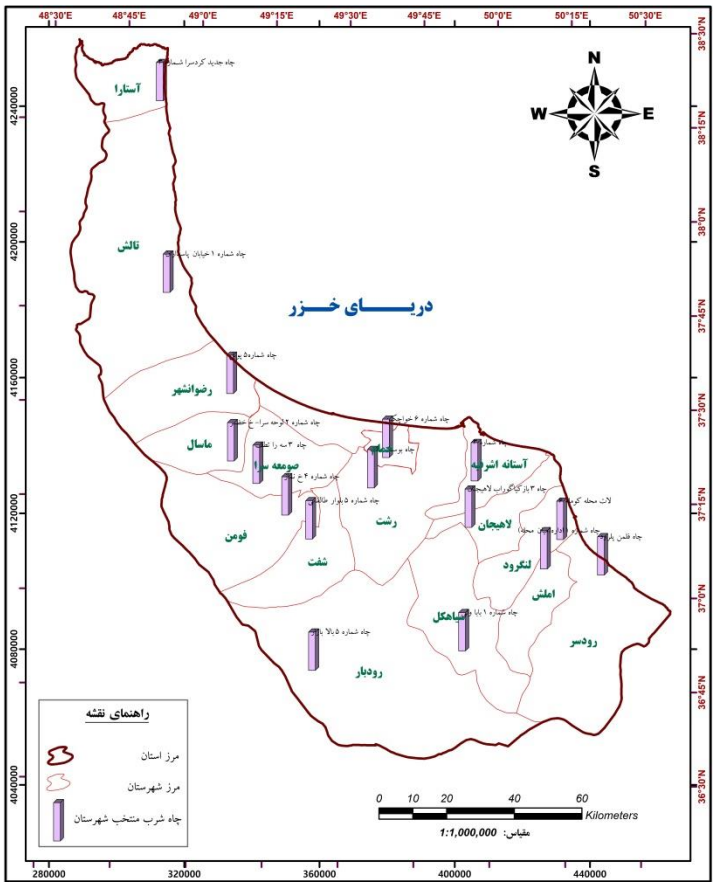
به منظور بررسی و تحلیل روند زمانی تغییرات داده‌های کیفی مورد مطالعه، از آزمون غیرپارامتری «من-کندال» برای تعیین وجود یا

عدم وجود روند و از تخمین‌گر «شیب سن» برای تعیین شدت و جهت روند (مثبت یا منفی) پارامترها استفاده شد. این روش‌ها به دلیل عدم نیاز به نرمال بودن داده‌ها و مقاومت در برابر داده‌های پرت، گزینه‌ای مناسب برای تحلیل داده‌های کیفی آب به شمار می‌روند (Gilbert, 1987; Helsel & Hirsch, 2002). تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT (نسخه ۲۰۲۲) که ابزار معتبری در تحلیل سری‌های زمانی محیطی است انجام شده و نتایج به‌صورت آماری و نموداری ارائه شده‌اند.

آزمون من-کندال (Mann-Kendall Test): این آزمون یک روش آماری غیرپارامتری برای شناسایی وجود روند آماری (افزایشی، کاهشی یا بدون روند) در داده‌های سری زمانی است و بر پایه مقایسه مقادیر هر نقطه داده با تمام نقاط داده‌ی بعدی در سری زمانی استوار بوده و نیازی به فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها ندارد. نتایج آزمون من-کندال به صورت آماره‌ای به نام "S" یا گاهی "Z" ارائه می‌شود. مقدار مثبت Z نشان‌دهنده روند افزایشی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند کاهشی است. سطح معناداری (معمولاً با P-value یا مقایسه آماره Z با مقادیر بحرانی توزیع نرمال) برای تعیین وجود یا عدم وجود روند معنادار آماری به کار می‌رود. اگر مقدار P-value کمتر از سطح معناداری انتخاب شده (مثلاً ۰٫۰۵) باشد، فرض صفر (عدم وجود روند) رد شده و روند معنادار تشخیص داده می‌شود (Yue et al., 2002).

روش سن (Sen's Slope Estimator): در صورتی که آزمون من-کندال نشان‌دهنده وجود روند معنادار باشد، روش سن برای کمی‌سازی نرخ این تغییرات به کار می‌رود. این روش میانگین شیب تمام جفت‌مقایسه‌های ممکن بین نقاط داده را محاسبه می‌کند و یک تخمین مقاوم از نرخ تغییرات سالانه پارامتر ارائه می‌دهد. شیب سن به صورت "واحد پارامتر در سال "(مثلاً mg/L در سال یا µS/cm در سال) گزارش می‌شود و متوسط میزان افزایش یا کاهش سالانه هر پارامتر را نشان می‌دهد (Sen, 1968). این مقدار اطلاعات ارزشمندی برای پیش‌بینی رفتار آینده کیفیت آب فراهم می‌کند.

این دو آزمون به صورت مکمل یکدیگر عمل کرده و امکان تشخیص و کمی‌سازی دقیق روندهای کیفی آب را فراهم می‌آورند.



نقشه ۱- موقعیت چاه‌های شرب منتخب شهرستان‌های استان گیلان

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تحلیل آماری با استفاده از آزمون من-کندال و محاسبه شیب سن (جدول ۱ و شکل‌های ۱ تا ۴)، برخی از پارامترهای کیفی آب چاه‌های شرب استان گیلان طی یک دهه گذشته دارای روند معنادار بوده‌اند. نرخ تغییر (شیب سن) در برخی یون‌ها مانند نیترات، هدایت الکتریکی، مجموع جامدات محلول (TDS) و آهن در مناطق مختلف، هم به صورت افزایشی و هم کاهشی ظاهر شده است که این موضوع نشان‌دهنده‌ی تأثیرپذیری کیفیت آب زیرزمینی از عوامل متنوعی همچون شرایط زمین‌شناسی، اقلیم، کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی است (Yidana et al., 2010; Shamsudduha et al., 2011).

بررسی‌ها نشان داد، پارامترهای سدیم، سولفات، کلسیم، سختی کل و منگنز روند افزایشی و پارامترهای منیزیم، نیتریت و پتاسیم روند کاهشی نشان داده‌اند. همچنین دو پارامتر کلرید و بی‌کربنات فاقد روند معنادار آماری بوده‌اند. از مجموع ۲۲۴ مورد بررسی‌شده، ۳۴ مورد (حدود ۱۵٪) دارای روند معنادار بودند که از این تعداد، ۱۸ مورد روند افزایشی و ۱۶ مورد روند کاهشی داشته‌اند. بیشترین فراوانی روندهای معنادار مربوط به پارامتر نیترات (NO_3^-) با ۱۱ مورد بوده که در ۵ شهرستان روند افزایشی و در ۶ شهرستان روند کاهشی نشان داده است. این یافته اهمیت بالای این یون را از نظر بهداشت عمومی و پایش آلودگی‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای (مانند فاضلاب خانگی، کودهای شیمیایی و دامداری‌ها) نشان می‌دهد (Spalding & Exner, 1993; Jalali, 2005). بیشینه شدت تغییرات مثبت و منفی این پارامتر به ترتیب با شیب سن ۱٫۲ و ۰٫۷۵- میلی‌گرم بر لیتر در سال در چاه‌های معرف شهرستان‌های رودبار و فومن مشاهده گردید. روند افزایشی نیترات می‌تواند بیانگر افزایش ورود آلاینده‌های نیتراته، به‌ویژه در اثر نشت فاضلاب یا کاربرد بیش از حد کودهای ازته باشد. در مقابل، روند کاهشی ممکن است ناشی از بهبود روش‌های مدیریت مصرف کود، افزایش آگاهی کشاورزان یا اثر اقدامات حفاظتی باشد (Erdogan et al., 2007). پارامتر هدایت الکتریکی (EC) نیز با شیب سن ۴۸- و ۱۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در سال، به ترتیب در شهرستان‌های لاهیجان و رضوانشهر، بالاترین میزان نرخ تغییر سالانه را نشان داده است. این نوسانات معمولاً با تغییرات سطح ایستابی، میزان تغذیه آبخوان، یا ورود جریانات سطحی آلوده مرتبط است (Latha et al., 2014).

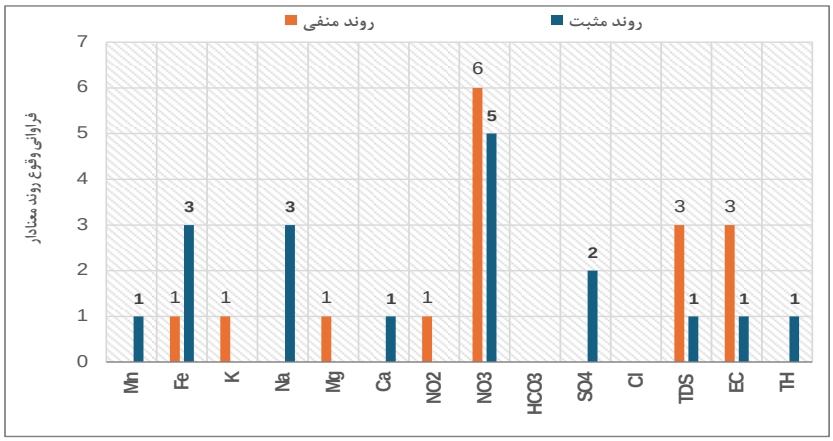
تغییرات قابل‌توجه EC می‌تواند نشانه‌ای از رقیق شدن یا تغلیظ منابع آبی به علت برداشت زیاد، بارندگی‌های شدید یا نفوذ آب آلوده باشد. روند افزایشی سدیم در شهرستان‌های آستارا، رودسر و فومن نیز می‌تواند حاصل از پدیده‌هایی چون شوری ثانویه، نفوذ آب شور در اثر برداشت بیش از حد از سفره‌ها، یا فرسایش خاک‌های شور باشد (Rajmohan & Elango, 2005). افزایش برخی یون‌ها در نواحی خاص می‌تواند زنگ خطری برای آلودگی‌های جدید، شوری و کاهش کیفیت منابع زیرزمینی باشد. این موضوع لزوم پایش مستمر و اجرای برنامه‌های مدیریتی متناسب با شرایط هر منطقه را گوشزد می‌کند.

تنوع الگوهای روند در نقاط مختلف استان بیانگر تأثیرات ترکیبی عوامل طبیعی و انسانی در کیفیت منابع آب زیرزمینی است. عواملی همچون نوع زمین‌شناسی، بافت خاک، میزان و نحوه مصرف کود، توسعه شهرنشینی، ساخت‌وسازها و تغییرات اقلیمی همگی نقش مؤثری ایفا می‌کنند (Vasanthavigar et al., 2010). در مجموع، یافته‌ها بیانگر پیچیدگی فرآیندهای کنترل‌کننده کیفیت آب زیرزمینی در استان گیلان و ضرورت استفاده از رویکردهای منطقه‌محور و مکان‌محور در مدیریت و حفاظت از منابع آب هستند. همچنین تأکید بر لزوم انجام مطالعات تکمیلی با رویکرد علت‌یابی به منظور شناسایی منشأ تغییرات مشاهده‌شده ضروری است. این نتایج می‌توانند به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های آتی در زمینه مدیریت یکپارچه منابع آب و کاهش آلودگی‌ها مورد استفاده قرار گیرند. نتایج تحقیق مطالعات ملاعلی شیرازی و همکاران (۱۳۹۳) و ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴)، نشان‌دهندهٔ مناسب‌بودن آزمون ناپارامتری من‌کندال و تخمین‌گر شیب سن برای بررسی تغییرات روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی می‌باشد.

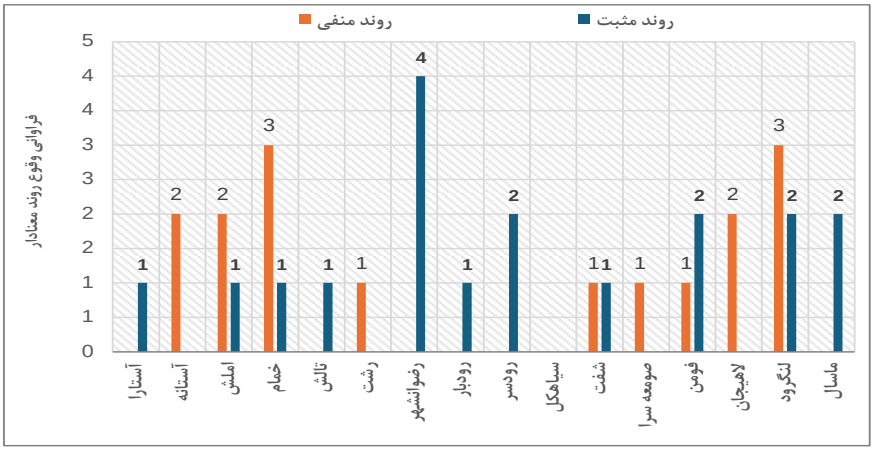
شکل‌های ۵ الی ۱۴، افزایشی بودن روند معناداری پارامترهای منگنز، آهن، نیترات و هدایت الکتریکی را در تعدادی از چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند.

جدول ۱- وضعیت روند پارامترهای کیفی در چاه‌های شرب منتخب استان گیلان

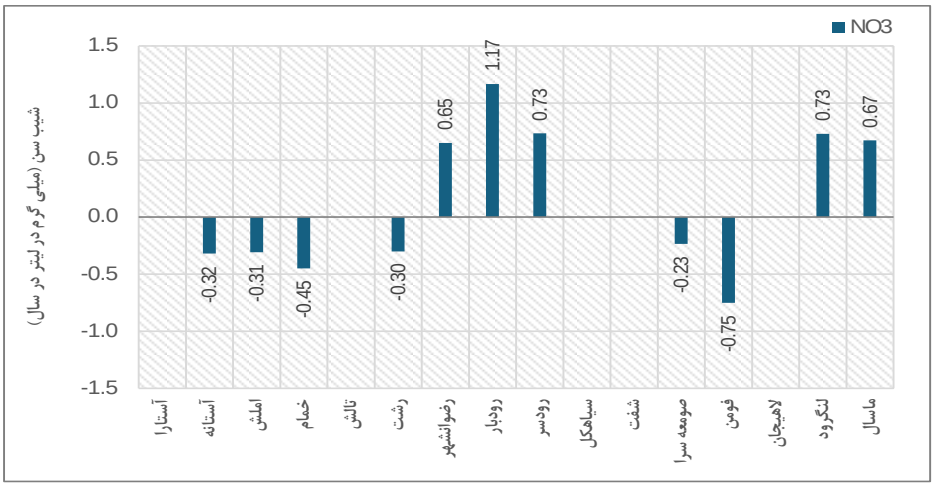
ردیف	نام شهرستان	نام شهر	نام چاه معرف	UTMx	UTMy	پارامترهای کیفی دارای روند معنادار و نوع و شدت تغییرات آنها (شیب سن)													حداکثر شدت تغییرات	
						Mn	Fe	K	Na	Mg	Ca	NO2	NO3	HCO3	SO4	Cl	TDS	EC	TH	کاهشی	افزایشی
۱	آستارا	لوندویل	چاه جدید کردسرا شماره ۳	۳۱۳۲۶۹	۴۲۴۲۰۶۸				۱/۴۳											۱/۴۳	۰
۲	آستانه	کیاشهر	چاه شماره ۳	۴۰۶۳۳۶	۴۱۲۷۰۰۷		-۰/۰۶						-۰/۳۲							-۰/۳۲	۰
۳	املش	املش	چاه شماره ۱ اداره(میان محله)	۴۲۷۶۴۵	۴۱۰۶۳۰۶			-۰/۰۶			۱/۹۳		-۰/۳۱							-۰/۳۱	۱/۹۳
۴	خمام	خمام	چاه شماره ۶ خواچکین	۳۸۰۱۴۵	۴۱۳۶۹۴۹		۰/۰۲						-۰/۴۵				-۴/۸۰	-۷/۶۰		-۷/۶۰	۰/۰۲
۵	تالش	تالش	چاه شماره ۱ خیابان پاسداران	۳۱۵۲۵۱	۴۱۸۵۶۰۵										۶/۰۹					۶/۰۹	۰
۶	رشت	رشت	چاه بوستان ملت	۳۷۵۶۷۹	۴۱۲۸۰۰۷								-۰/۳۰							-۰/۳۰	۰
۷	رضوانشهر	رضوانشهر	چاه شماره۵ پونل	۳۳۴۰۳۹	۴۱۵۵۷۹۷								۰/۶۵				۱۱/۰	۱۲/۰	۵/۰	۱۲/۰	۰
۸	رودبار	رودبار	چاه شماره ۵ بالا بازار	۳۵۸۲۷۹	۴۰۷۴۲۲۷								۱/۱۷							۱/۱۷	۰
۹	رودسر	کلاچای	چاه فلمن پلرود	۴۴۳۷۳۷	۴۱۰۲۳۱۹				۲/۱۹				۰/۷۳							۲/۱۹	۰
۱۰	سیاهکل	دیلمان	چاه شماره ۱ بابا ولی	۴۰۲۶۶۷	۴۰۷۹۹۶۴															۰	۰
۱۱	شفت	شفت	چاه شماره ۵ بلوار طالقانی	۳۵۷۹۴۷	۴۱۱۴۶۶۹		۰/۰۷					-۰/۰۱								۰/۰۷	۰
۱۲	صومعه سرا	گوراب زرمیخ	چاه ۳ سه را تطف	۳۴۱۷۹۷	۴۱۲۹۳۰۱								-۰/۲۳							-۰/۲۳	۰
۱۳	فومن	فومن	چاه شماره ۴ خ نماز	۳۵۰۳۳۶	۴۱۲۰۰۰۴	۰/۱۴			۲/۱۴				-۰/۷۵							-۰/۷۵	۲/۱۴
۱۴	لاهیجان	لاهیجان	چاه ۳ بازکیاگوراب لاهیجان	۴۰۶۲۷۲	۴۱۲۰۴۹۵												-۲۷/۶	-۴۷/۵		-۴۷/۵۰	۰
۱۵	لنگرود	لنگرود	لات محله کومله ۶	۴۲۸۱۵۹	۴۱۰۹۷۳۱		۰/۰۱			-۱/۹۵			۰/۷۳				-۵/۰	-۸/۵۷		-۸/۵۷	۰/۷۳
۱۶	ماسال	ماسال	چاه شماره ۲ لوحه سرا- خ خضر	۳۳۴۲۷۲	۴۱۳۵۹۴۸								۰/۶۷		۱/۵۳					۱/۵۳	۰
حداکثر شدت افزایش تغییرات سالانه پارامترها						۰/۱۴	۰/۰۷	۰	۲/۱۹	۰	۱/۹۳	۰	۱/۱۷	۰	۶/۰۹	۰	۱۱/۰	۱۲/۰	۴/۹۸	۱۲/۰	
حداکثر شدت کاهش تغییرات سالانه پارامترها						۰	-۰/۰۶	-۰/۰۶	۰	-۱/۹۵	۰	-۰/۰۱	-۰/۷۵	۰	۰	۰	-۲۷/۶	-۴۷/۵	۰		-۴۷/۵
شیب سن	۱/۱۷					فاقد روند معنادار							دارای روند کاهشی				دارای روند افزایشی				



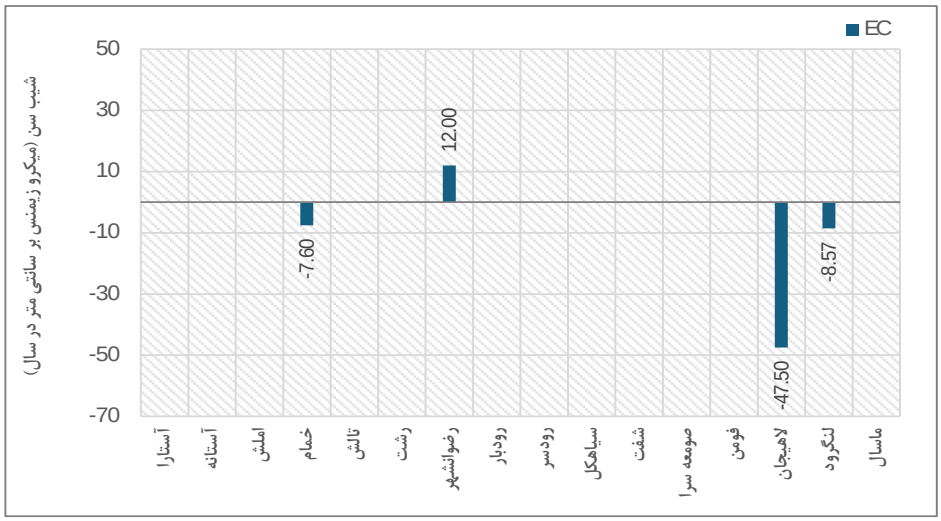
شکل ۱- نمودار فراوانی روندهای معنادار به تفکیک پارامترهای کیفی



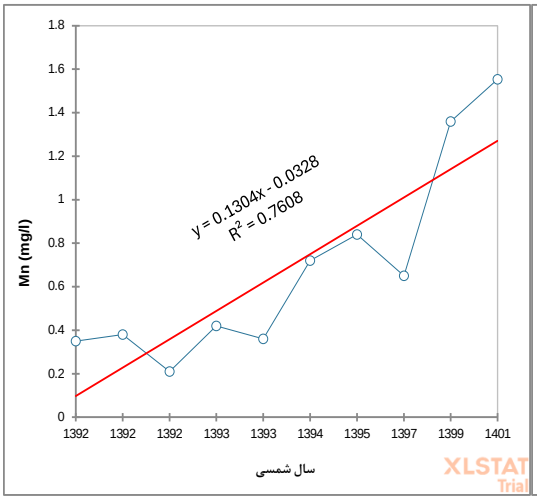
شکل ۲- نمودار فراوانی روندهای معنادار پارامترهای کیفی به تفکیک شهرستان



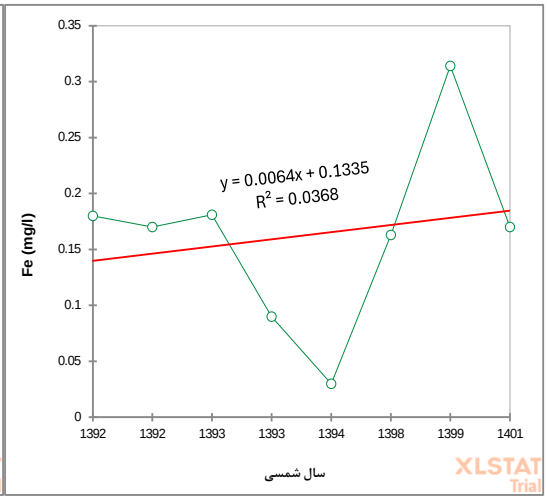
شکل ۳- نمودار روند تغییرات نیترات در چاه‌های آب شرب استان گیلان بر اساس شیب سن



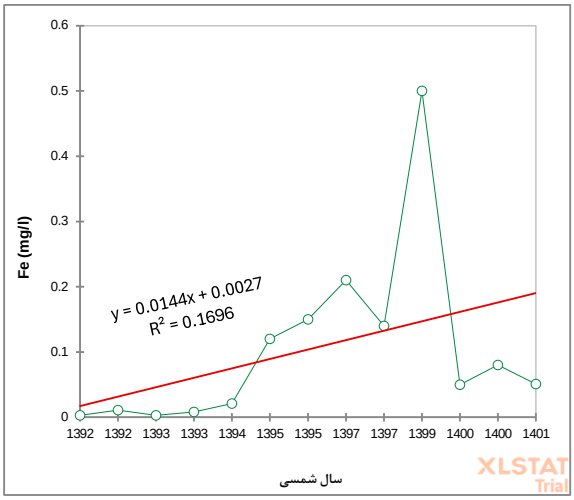
شکل ٤- نمودار روند تغییرات هدایت الکتریکی در چاه‌های آب شرب استان گیلان بر اساس شیب سن



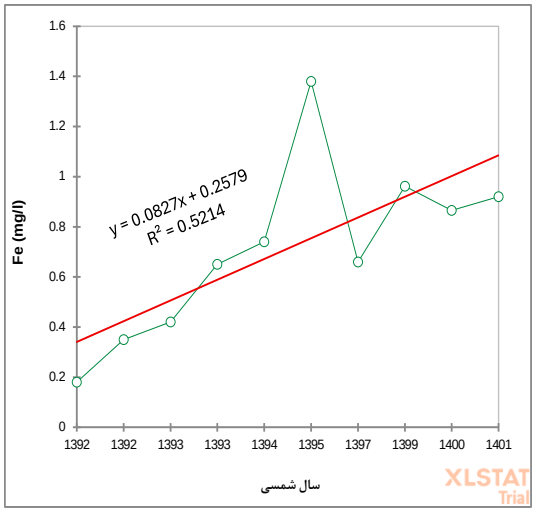
شکل ٦- نمودار روند تغییرات آهن (چاه شهرستان خمام)



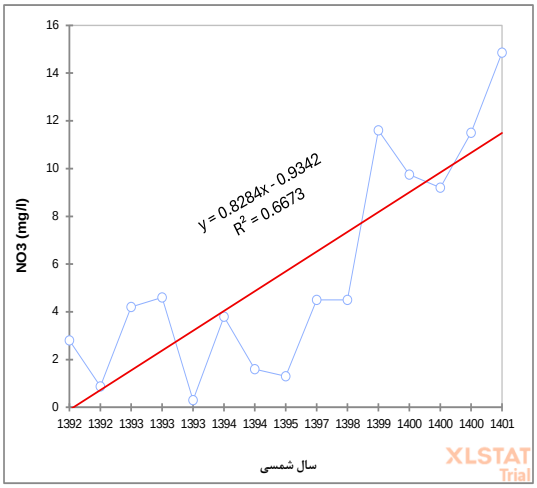
شکل ٥- نمودار روند تغییرات منگنز (چاه شهرستان فومن)



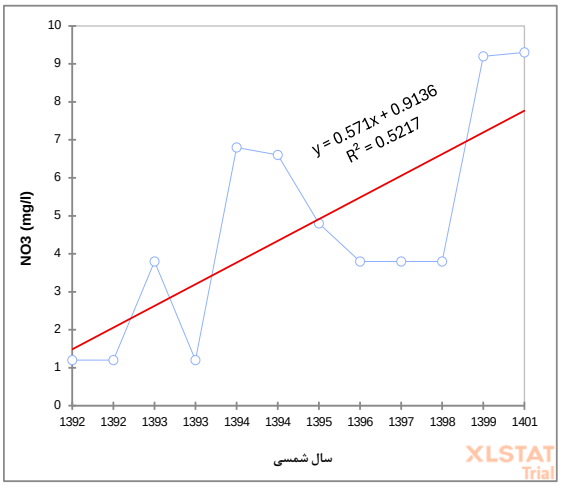
شکل ۷- نمودار روند تغییرات آهن (چاه شهرستان شفت)



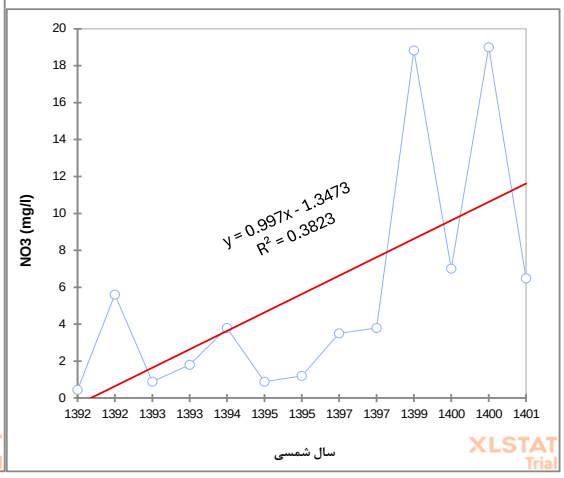
شکل ۸- نمودار روند تغییرات آهن (چاه شهرستان لنگرود)



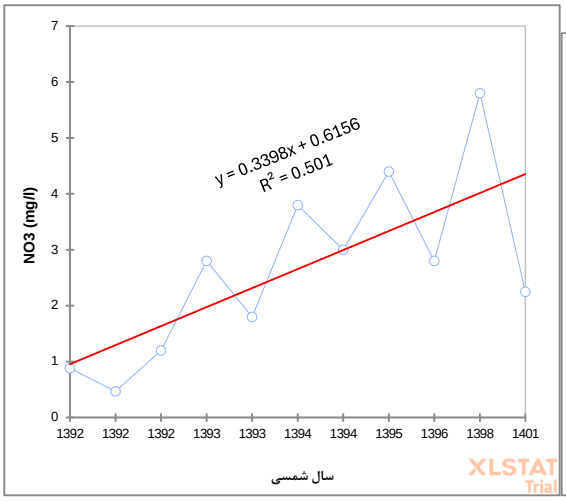
شکل ۹- نمودار روند تغییرات نیترات (چاه شهرستان رضوانشهر)



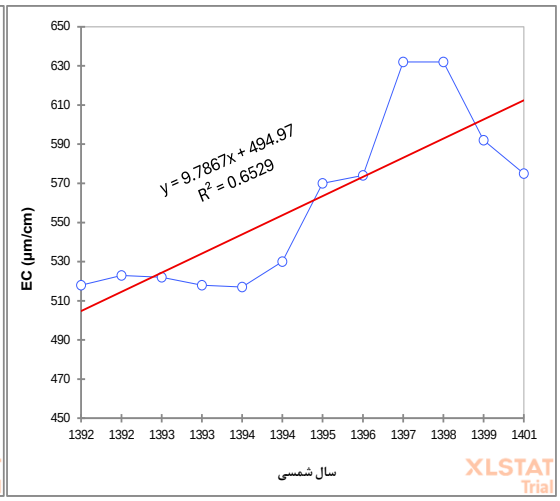
شکل ۱۰- نمودار روند تغییرات نیترات (چاه شهرستان رودبار)



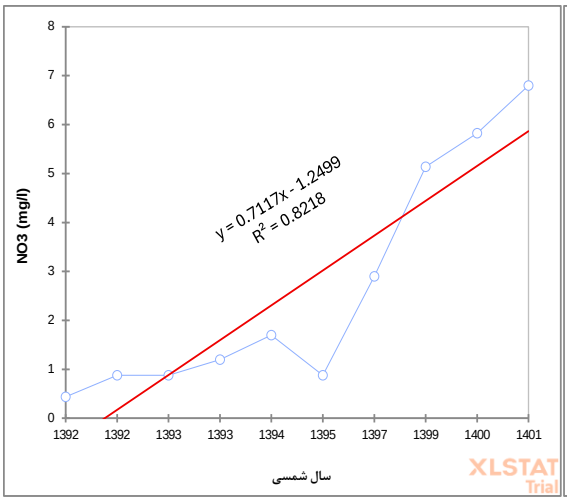
شکل ۱۱- نمودار روند تغییرات نیترات (چاه شهرستان رودسر)



شکل ۱۲- نمودار روند تغییرات نیترات (چاه شهرستان لنگرود)



شکل ۱۳- نمودار روند تغییرات نیترات (چاه شهرستان ماسال)



شکل ۱۴- نمودار روند تغییرات EC (چاه شهرستان رضوانشهر)

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی استان گیلان طی دهه منتهی به ۱۴۰۱ با تغییرات قابل توجهی روبه‌رو بوده و با تنوع روندها بین شهرستان‌های مختلف همراه بوده است. اگرچه روند کاهشی نیترات و شوری در برخی نقاط استان، خوشایند بوده و می‌تواند ناشی از بهبود مدیریت بهره‌برداری یا کاهش مصرف کود باشد، اما در برخی مناطق دیگر روند افزایشی این پارامترها زنگ خطری برای سلامت منابع و مصرف‌کنندگان محسوب گردیده و نیاز به توجه فوری دارد. در این راستا، ضمن تأکید بر لزوم برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پایش مستمر و ارتقای مدیریت منابع آب و کنترل مصرف کودهای نیتراته در مزارع، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده روندهای کیفی و ارتقاء تصفیه‌خانه‌های آب شهری و روستایی در مناطق پرخطر به عنوان کلیدی‌ترین راهکارها توصیه می‌شود. استمرار مطالعه و به‌هنگام‌سازی داده‌ها با تکیه بر تجارب بین‌المللی و ظرفیت‌های محلی، نقش مهمی در بهبود کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی استان خواهد داشت.

منابع

ابراهیمی، س.، نریمانی، ن. و دین‌پژوه، ی، ۱۳۹۴. تجزیه و تحلیل تغییرات آب زیرزمینی دشت بستان‌آباد با استفاده از روش من کندال، دهمین کنگرهٔ بین‌المللی مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی عمران، تبریز.

ارشادحسینی، م.، کشتکار، ا.، حسینی، س.، افضلی، ع. ۱۴۰۰. تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و روش تخمین‌گر شیب سن، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۳۲، ۸۴(۴): ۱۰۶-۸۷.

بانک آمار و اطلاعات شرکت آبفا استان گیلان. ۱۴۰۳. داده‌های کیفی چاه‌های آب شرب استان گیلان.

بیات، م.، و فصیحی، ر. (۱۳۹۶). پایش روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی چهار دشت استان گیلان طی یک دوره ۱۲ ساله. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. ۱۰(۴): ۵۵۸-۵۴۷.

رضوی، م.، جعفری، ع. و مرادی، ب. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های کیفی و آزمون من-کندال. فصلنامه منابع آب ایران. ۱۵(۴): ۹۷-۱۱۰.

شرکت آب منطقه‌ای گیلان. ۱۴۰۰. گزارش سالانه منابع و مصارف آب استان گیلان. رشت: دفتر مطالعات پایه منابع آب.

شکریان، ف.، صابری، ع. و صباغ، س. ۱۴۰۱. بررسی تغییرات کیفیت و تعیین پهنه آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری با استفاده از مدل SIو آزمون ناپارامتری من-کندال، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۲(۴۷): ۴۱۹-۴۳۶.

شهبازی، ا. و همکاران. ۱۴۰۰. پایداری منابع آب زیرزمینی و نقش آن در امنیت آبی کشور. فصلنامه محیط زیست ایران. ۲۶(۱): ۱۹-۳۰.

عزیزی، م.، و همکاران. ۱۳۹۷. بررسی کیفیت آب زیرزمینی در استان گیلان با تأکید بر شاخص‌های کیفی. فصلنامه علوم محیطی ایران. ۱۵(۲): ۴۵-۵۶.

گزارش سالانه پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی استان گیلان. رشت: شرکت آب و فاضلاب گیلان.

ملاعلی شیرازی، س.، شمس‌نیا، س.، شریفان، ر. ۱۳۹۳. تجزیه و تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت ارسنجان با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال، سومین همایش کشاورزی و توسعهٔ پایدار، فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو، دانشکدهٔ علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.

Erdogan, S., Kaya, A. and Aksoy, A. 2007. Pollution by nitrate in groundwater due to different agricultural activities. Environmental Monitoring and Assessment. 133(1): 347–354.

Dalin C., Wada Y., Kastner T. and Puma M.J. 2023. Decline in Iran's groundwater recharge: Human and climate drivers revealed by trend analysis. Nature Communications. 14: Article 4825.

Gholami, H., et al. 2019. Hydrogeochemical assessment and trend analysis of groundwater quality in semi-arid areas. Environmental Monitoring and Assessment. 191(3): 150.

Gilbert, R. O. 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Wiley.

Ghosh, S., et al. 2020. Groundwater quality trend analysis using Mann–Kendall and Sen's slope estimator in India. Water Environment Research. 92(7): 1077–1090.

Hamed, K.H. 2008. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. Journal of Hydrology, 349(3–4), 350–363.

Helsel, D. R. and Hirsch, R. M. 2002. Statistical Methods in Water Resources. U.S. Geological Survey.

Islam A.R.M.T., Ahmed N., Kafy A.A., Rakib M.A., Bodrud-Doza M., et al. 2024. GIS-based geostatistical modelling and trend analysis of groundwater quality in Dhaka division, Bangladesh. Scientific Reports. 14: Article 40766.

Jalali, M. 2005. Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan, western Iran. Agriculture, Ecosystems & Environment. 110(3–4): 210–218.

Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. London: Griffin.

Latha, R., Vasanthavigar, M. and Sathya, B. 2014. Assessment of water quality index for groundwater in and around a coastal area of Tamil Nadu, India. Journal of Environmental and Earth Sciences. 4(10): 143–149.

Li, J., Zhang, Y., Liu, M. and Wang, Y. 2019. "Trend analysis of groundwater quality using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator: A case study in eastern China." Environmental Earth Sciences. 78(3): 69.

Pani P., Jena P.K., Behera B. and Pradhan U.C. 2025. A statistical analysis using Mann–Kendall and Sen's slope estimator: A case study of groundwater quality trend in Bhubaneswar, India. In: Recent Advances in Hydrogeological Research. Springer, Singapore.

Pradhan B. and Jha M.K. 2023. Trend analysis of groundwater quality parameters in India using Mann–Kendall test and Sen's slope estimator. Environmental Monitoring and Assessment. 195(9): 1183.

Rahman M.A. and Mahmud G.I. 2022. Application of Mann–Kendall and Sen's slope tests for groundwater salinity trend detection in rice cultivation areas of South Asia. Agricultural Water Management. 268: 107693.

Rajmohan, N. and Elango, L. 2005. Nutrient chemistry of groundwater in an intensively irrigated region of southern India. Environmental Geology. 47(6): 820–830.

Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association. 63(324): 1379–1389.

Shamsudduha, M., Chandler, R. E., Taylor, R. G. and Ahmed, K. M. 2011. Recent trends in groundwater levels in a highly seasonal hydrological system: the Ganges–Brahmaputra–Meghna Delta. Hydrology and Earth System Sciences. 15(1): 27–42.

Spalding, R. F. and Exner, M. E. 1993. Occurrence of nitrate in groundwater–a review. Journal of Environmental Quality. 22(3): 392–402.

UNESCO. 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris: UNESCO.

Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Rajiv Ganthi, R., Vijayaragavan, K., Sarma, V. S., Chidambaram, S. and Manivannan, R. 2010. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. Environmental Monitoring and Assessment. 171(1): 595–609.

Yidana, S. M., Banoeng-Yakubo, B. and Akabzaa, T. 2010. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta Basin, Ghana. Journal of African Earth Sciences, 58(2), 220–234.

Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. and Cavadias, G. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes. 16(9): 1807–1829.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 20, Jun.-Jul. 2026, p. 218-227

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۲۰، خرداد - تیر ۱۴۰۵، ص. ۲۲۷-۲۱۸

Trend Assessment of Quality Parameter Variations in Selected Drinking Water Wells of Gilan Province Using the Mann–Kendall Test and Sen's Slope Estimator

H. hasannezhad [1], E. Amiri[2*] and J, behzadi[3]

Recived: Dec.06, 2025 Accepted: Dec.31, 2025

Abstract

In this study, the temporal trends of 14 drinking water quality parameters in groundwater wells across Gilan Province were evaluated over a 10-year period (2013–2022) using the non-parametric Mann–Kendall test and Sen's slope estimator. Data were obtained from the Statistical Database of Gilan Water and Wastewater Company, and one representative well was selected from each county. The Mann–Kendall test was used to determine trend significance, and Sen's slope was applied to estimate the annual rate of change. Results indicated that parameters such as nitrate, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), and iron showed both increasing and decreasing trends across different areas. Sodium, sulfate, calcium, total hardness, and manganese exhibited increasing trends, while magnesium, nitrite, and potassium showed decreasing trends. No significant trend was observed for chloride and bicarbonate. Out of 224 examined cases, 34 trends (15%) were statistically significant, including 18 increasing and 16 decreasing trends. Nitrate showed the highest number of significant trends (11 cases). The highest annual rate of change was observed in EC 12 and nitrate 1.2 mg/l in Rezvanshahr and Fuman counties, respectively.

Keywords: Groundwater quality, Mann–Kendall test, Sen's slope, Temporal trend

1- PhD student, Department of Water Engineering, La, C., Islamic Azad University, Lahijan, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, La, C. Islamic Azad University, Lahijan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agriculture, La, C. Islamic Azad University, Lahijan, Iran
(*- Corresponding Author Email: eamiri57@iau.ac.ir).