نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب
ایران سال دهم. شماره سی و نهم. بهار۱۳۹۹

بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت لردگان، استان چهارمحال و بختیاری)

سید عبدالرضا موسوی سردشتی[۱]، کریم سلیمانی[۲]، فاطمه شکریان*[۳]، سید حسین روشان[۴]

تاریخ ارسال:۱۳۹۸/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸

مقاله پژوهشی

چکیده

منابع آب‌های زیرزمینی به عنوان اصلی‌ترین و مهمترین منبع آب شرب، کشاورزی و صنعت به‌شمار می‌روند. بررسی تغییرات کیفیت و افت تراز این منابع در نتیجه برداشت بی‌رویه یک امر ضروری است. در این تحقیق تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب و کشاورزی در ۱۸ حلقه چاه در طول دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۷۰ در دشت لردگان استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد. پارامترهای مورد نظر شامل Cl^-، TH، TDS، Na^+، SO_4^{2-}، SAR و EC بودند. به‌منظور تخمین مدل نیم تغییرنما و تعیین بهترین روش درون‌یابی از نرم افزار GS^+ 5.1.1 و معیارهای ارزیابی RMSE و MBE استفاده شد. در نهایت تغییرات مکانی پارامترها با استفاده از روش IDW در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 ترسیم و روند تغییرات پارامترها نیز با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در نرم‌افزار MAKESENS 1.0 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای TH و TDS از نظر شرب شرایط مطلوب‌تری نسبت به پارامترهای Cl^-، Na^+ و SO_4^{2-} در کل دشت دارند. همچنین از نظر کشاورزی پارامترهای SAR و EC در طول دوره‌ی آماری در کل دشت شرایط خیلی خوبی را دارند. نتایج روندیابی نیز نشان داد که پارامترهای TDS، TH، EC، SO_4^{2-} و Cl^- دارای روندی مثبت و پارامترهای SAR و Na^+ دارای روندی نزولی است.

واژه‌های کلیدی: آزمون من – کندال، تحلیل روند، سختی آب، کریجینگ

۱ - کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، abdolrezamousavi71@gmail.com

۲ - استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، solaimani2001@yahoo.co.uk

۳ - استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، * (نویسنده مسئول): F.shokrian@sanru.ac.ir

۴ – دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، H.Roshun2011@gmail.com

مقدمه

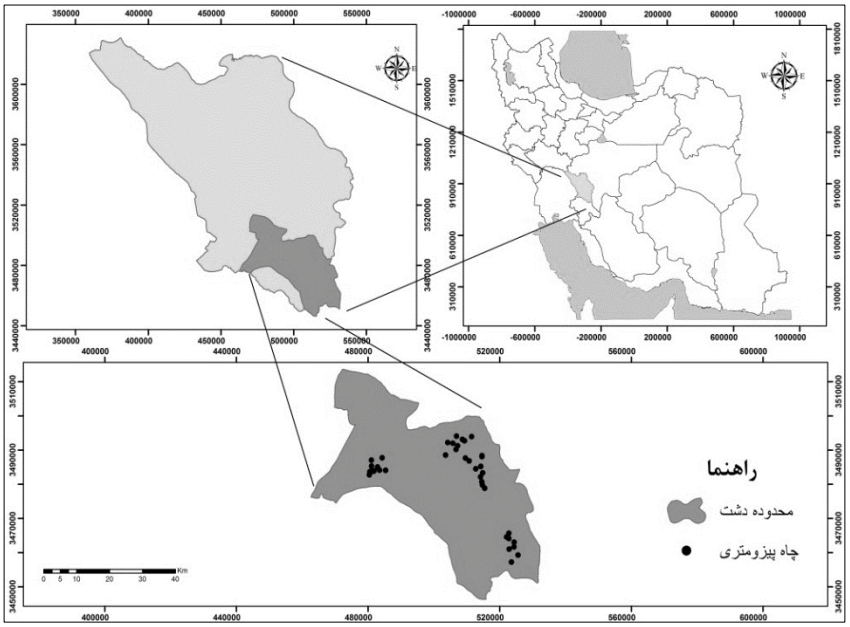
به دلیل تأثیر غیرقابل انکار آب بر ابعاد مختلف زندگی بشر و همچنین کاهش نزولات جوی و حجم بالای استحصال آب زیرزمینی، شناسایی خصوصیات کیفی آب و میزان انطباق آن با مصارف گوناگون بسیار مهم است. این مسأله در کنار وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت، شرایطی بحرانی در کشور پدید آورده و اکثر مناطق را با چالش‌های جدی در زمینه کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی مواجه کرده است. مهمترین دلیل آن افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش بهره‌برداری از این منابع ارزشمند است که نه تنها موجب کاهش کمیت آنها شده بلکه باعث کاهش کیفیت این منابع و آلوده شدن آنها را در پی داشته است. بنابراین مهمترین گام در کنترل و پیشگیری از آلودگی و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شناسایی عوامل و منابع آلودگی، مناطق بحرانی آلوده‌شده و همچنین جهت حرکت و تعیین گستره آلودگی‌ها می‌باشد (Umamaheswari et al., 2015؛ عینلو و همکاران، ۱۳۹۵). آلودگی آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت آنها به عنوان یک عامل مهم محیطی و اکولوژیکی در دنیا شناخته شده است (Moharir et al., 2017). مهمترین پارامترهای شیمیایی آب که بیانگر کیفیت آن می‌باشد عبارتند از Na^{+}، K^{+}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Cl^{-} و SO^{2-}_{4} که نقش مهمی در طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دارند (Konkey et al., 2014). بنابراین اهمیت مطالعه آب‌های زیرزمینی از نظر کیفیت روشن است و حفاظت کیفی از این منابع از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (Li and Liu, 2019؛ Levêque and Burns, 2019). در اغلب موارد آلودگی آب‌های زیرزمینی بعد از آلوده شدن چاه‌های آب شرب شناسایی می‌شوند. از بین بردن این آلودگی‌ها بسیار پرهزینه و فرآیندی زمان‌بر است (Salman et al., 2019). بنابراین، یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و عوامل مؤثر در ایجاد آلودگی از جمله مدیریت کاربری اراضی، وضعیت سازندهای زمین‌شناسی و سایر عوامل مرتبط می‌باشد (Vrba and Zoporozec, 1994). مطالعات مختلفی در اقصی نقاط دنیا روی کیفیت منابع آب زیرزمینی و عوامل مؤثر در کاهش کیفیت آنها انجام شده است که کشور ما نیز از این مطالعات مستثنی نیست. Pande and Moharir (2018) به تجزیه و تحلیل و پهنه‌بندی مکانی کیفیت آب زیرزمینی در مناطق Akola و Buldhana در کشور هندوستان پرداختند. آنها پارامترهای Cl، TDS، Mg، pH، کربنات، نیترات و بی‌کربنات را از ۳۵ حلقه چاه جمع‌آوری کردند سپس با استفاده از ابزار Interpolation توزیع مکانی پارامترهای کیفیت را در محیط نرم‌افزار ArcGIS بدست آوردند. نتایج تجزیه و تحلیل کیفیت آب زیرزمینی نشان داد که حجم زیادی از آب موجود در منطقه که در مناطق با سنگ‌های سخت بازالتی هستند برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب هستند. Ranjan et al., (2013) به بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آب زیرزمینی در دشت گایا در کشور هندوستان پرداختند. به این منظور ۳۰ نمونه آب زیرزمینی و ۲ نمونه آب سطحی را در محدوده این دشت از نظر پارامترهای کیفیت مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. پارامترهای مورد بررسی شامل کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، و همچنین آنیون‌های HCO^{-}_{3}، SO^{2-}_{4}، NO^{-}_{3}، PO^{3-}_{4} و کلر می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان داد که روند کاتیون‌ها به‌صورت $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$ بوده، که غالبیت یون کلسیم بخاطر هوازدگی سنگ‌ها در منطقه می‌باشد و وجود یون پتاسیم بدلیل استفاده از کودهای شیمیایی پتاس‌دار بوده است. روند آنیون‌ها نیز به صورت $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > PO_4^{-3}$ می‌باشد. محمدیاری و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی مناطق خشک مهران و دهلران را با استفاده از روش‌های زمین آمار پهنه‌بندی کردند. به این منظور از متغیرهای کیفی شامل میزان سدیم، کلر، سولفات، TDS و TH استفاده گردید. تهیه

نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) و کریجینگ در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام گردید. نتایج نشان داد که ۳۷ درصد از منطقه برای شرب مناسب، ۱۳ درصد نسبتاً مناسب و ۵۰ درصد نامناسب می‌باشد. همچنین بالا بودن میزان سختی و سایر عناصر در بخش‌هایی از منطقه روندی افزایشی دارد که عامل آن را وجود رسوبات آبرفتی و سازند گچساران در منطقه معرفی کردند. اژدری و حسینی (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار در دشت سگزی اصفهان پرداختند. در این مطالعه متغیرهای کیفی شامل Na، TH، Mg، Ca، EC، HCO3، TDS، pH و SO4 از ۴۴۵ چاه، چشمه و قنات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که کلیه پارامترها با استفاده از روش کریجینگ معمولی کمترین مقدار RMSE را داشته است و جهت تهیه نقشه توزیع مکانی از این روش بهره گرفته شد. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که پارامترهای Mg، Ca، Na، pH، HCO3 و SO4 به لحاظ شرب بدون محدودیت و پارامترهای TH، EC و TDS محدودیت ایجاد کرده‌اند. هدف این تحقیق بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در دشت لردگان و همچنین بررسی روند تغییرات این پارامترها با گذشت زمان در این منطقه می‌باشد. با توجه به تغییر کاربری از مرتع به باغ در منطقه مورد مطالعه و استفاده از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری این باغ‌ها، بهره‌برداری زیاد و استفاده روزافزون از منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه کیفیت آب منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با انجام برداشت‌های بی‌رویه امکان شور شدن آبخوان دشت در آینده وجود دارد بنابراین انجام این تحقیق لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان لردگان با مساحت ۳۴۲۰ کیلومتر مربع معادل ۸/۲۰ درصد از وسعت استان چهارمحال و بختیاری را شامل می‌شود و از نظر موقعیت جغرافیایی این منطقه در طول شرقی ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه و عرض شمالی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۶ دقیقه قرار گرفته است. این منطقه با ارتفاع متوسط ۱۷۰۰ متر از سطح آزاد دریا در رشته کوه زاگرس قرار دارد و از لحاظ توپوگرافی قسمت‌های شمالی این منطقه با ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر می‌باشد و مناطق مرتفع آن بیش از ۳۰۰۰ متر در جهت شمال غربی- جنوب شرقی است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. میانگین دمای سالانه شهرستان ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۵۵۰ میلی‌متر است و منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان چهارمحال و بختیاری

روش پژوهش

در ابتدا داده‌های مربوط به کیفیت آب زیرزمینی از شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری و شهرستان لردگان اخذ گردید. به منظور آزمون همگنی داده‌ها و رفع نواقص آماری از آزمون ران تست و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در نهایت ۱۸ چاه پیزومتری به دلیل داشتن آمار کامل در دوره ۱۳۹۴-۱۳۷۰ انتخاب شدند. برای تخمین مدل نیم تغییرنما از نرم افزار GS^+ 5.1.1 استفاده شد (Robertson، ۲۰۰۰). جهت تعیین بهترین روش درون‌یابی نیز از دو معیار ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) بهره گرفته شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از ابزارهای مختلف ترسیم و روند تغییرات پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی نیز با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در نرم‌افزار MAKESENS 1.0 مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی ساختار مکانی داده‌ها

تخمین‌گر زمین‌آمار مقادیری که مجهول هستند را از مقادیر معلوم و با استفاده از واریوگرام به دست می‌آورد. واریوگرام مدل ریاضی می‌باشد که برای تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که در فاصله‌ی معلوم h با یکدیگر هستند محاسبه و در مقابل h ترسیم می‌شود. رابطه ۱ به دست آوردن واریوگرام را شرح می‌دهد (معروفی و همکاران، ۱۳۹۱).

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n(h)}[z(x_i)-z(x_{i+h})]^2 \qquad (۱)$$

که در آن $\Upsilon(h)$، میزان نیم تغییرنما برای جفت نقاطی است که به فاصله h با یکدیگر هستند، n تعداد نقاط محاسباتی و $Z(x_i+h)$ مقدار مورد محاسبه قرار گرفته شده‌ی متغیری است که به فاصله h از x می‌باشد و $Z(x_i)$ مقدار متغیری که در مکان x_i اندازه‌گیری شده است. در صورتی که نقاط در شبکه‌های منظم و دارای فاصله‌های مساوی از یکدیگر باشند، نیم تغییرنما را از طریق میانگین حسابی فاصله‌ها اندازه گیری می‌کند. حالت دیگری هم وجود دارد که معمولی می‌باشد و بر

روی ایستگاه‌های هواشناسی که توزیع نقاط منظم نمی‌باشد دلالت دارد (مثل چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌ها)، به همین دلیل معادلات و روابط متعادل شده و میانگین موزون نقاط محاسبه می‌گردد (عساکره، ۱۳۸۷). میانگین فواصل جفت نقاط در هر گام مکانی برابر با مقدار h می‌باشد. فاصله نقاط در حوزه آبخیز لردگان از یکدیگر ثابت نیست عملکرد انتخاب مقدار گام یا کوچکترین واحد فاصله[1] برای برآورد ساختار مکانی کمیت مورد بررسی قرار می‌گیرد سپس با بالا و پایین کردن این گام می‌بایست که ضریب همبستگی (r) به بیشترین مقدار خود و خطا به کمترین مقدار برسند و برای انجام این کار از نرم‌افزار GS$^+$ 5.1.1 استفاده شد.

واریوگرام دارای پارامترهای اثرقطعه‌ای[2]، شعاع تأثیر[3] و حد آستانه[4] می‌باشد. اثر قطعه‌ای به مقدار نیم تغییرنمایی گفته می‌شود که h=0 (در مبدا مختصات) است و آنالیز داده‌ها و یا خطای نمونه‌برداری موجب آن می‌شود. همچنین با افزایش h، مقدار نیم تغییرنما تا فاصله معینی اضافه و بعد ثابت می‌شود که به این شعاع تأثیر و مقدار نیم تغییرنما که به حد ثابت رسیده حد آستانه گفته می‌شود که همان واریانس مکانی متغیر بررسی شده است (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)

رابطه اصلی تخمین در روش وزن‌دهی عکس فاصله همان رابطه کریجینگ معمولی می‌باشد، در این روش وزن‌ها با در نظر گرفتن فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون در نظر گرفتن نحوه توزیع نقاط حول نقطه مورد تخمین، مشخص می‌گردد که این تنها تفاوت دو روش ذکر شده است. به نقاطی که نزدیک‌تراند وزن بیشتر و نقاطی که دورتراند وزن کمتری داده می‌شود (دلبری و همکاران، ۱۳۸۹). مقدار وزن (λ_i) از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\alpha}} \qquad (۲)$$

که در آن λ_i وزن ایستگاه i ام، D_i فاصله i ام نقطه مشاهده تا نقطه مورد تخمین، α توان وزن‌دهی فاصله و n تعداد نقاط مشاهداتی می‌باشد. بیشتر، توانی[5] برای عکس فاصله اختصاص می‌دهند که معمولا مقدار آن بین ۱ تا ۵ می‌باشد، اما توان ۲ بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، که همان عکس مجذور فاصله است.

بهترین و مناسب‌ترین روش درون‌یابی و معیار ارزیابی آن

بعد از انتخاب مدل مناسب برازش و رسم نیم‌تغییرنمای پارامترهای مختلف کیفیت آب زیرزمینی، به منظور ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف درون‌یابی از روش اعتبارسنجی متقابل، معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده گردید (روابط ۳ و ۴). هر چقدر RMSE کوچک‌تر باشد پیش‌بینی روش درون‌یابی دارای صحت بیشتری می‌باشد. در صورتیکه مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری مساوی باشند، مقدار RMSE برابر با صفر است. آماره ME نیز بیانگر وجود اریب است. مقادیر مثبت آن تخمین بیش از مقدار واقعی و مقادیر منفی آن تخمین کمتر از مقدار واقعی را نشان می‌دهد (صفوی گردینی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$RMSE = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(z^*(x_i) - z(x_i)\right)^2} \qquad (۳)$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(z^*(x_i) - z(x_i)\right) \qquad (۴)$$

1- Lag
2- Nugget effect
3- Range
4- Sill
1- Power

که در روابط فوق $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر در x_i، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در x_i و n تعداد داده‌ها است. بهترین و مناسب‌ترین روش این است که RMSE کمترین مقدار باشد و هر چه قدر معیار MBE به صفر میل کند، مدل درون‌یابی دارای دقت بیشتری می‌باشد

$$\mathrm{Var(S)} = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i(t_i-1)}{18} \quad \text{if : } n > 10$$

$$\mathrm{Var(S)} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{if : } n \le 10 \qquad (۹)$$

(گوارتز، ۱۹۹۷).

آزمون ناپارامتری من-کندال

آزمون من کندال توسط من (۱۹۴۵) تدوین شد و توسط کندال (۱۹۷۵) گسترش و بسط پیدا کرد (گیلبرت، ۱۹۸۷). این روش به صورت رایج برای بررسی روند سری‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (لتن‌مایر، ۱۹۸۸). ویژگی برجسته این روش متناسب بودن کاربرد آن برای مقیاس‌های زمانی مختلف می‌باشد که از پراکندگی آماری خاصی تبعیت نمی‌کند. روش من کندال از مقادیر حدی که در سری‌های زمانی وجود دارد تأثیرپذیری کمی نشان می‌دهد که همین امر از حسن‌های این روش می‌باشد. عدم وجود روند و تصادفی بودن سری داده‌ها، فرض صفر این روش است و پذیرفته‌شدن فرض یک (رد فرض صفر) بر وجود روند در سری داده‌های مورد مطالعه دلالت می‌کند. در زیر مراحل به دست آوردن آماره‌ی آزمون من کندال (Z) شرح داده شده است. ابتدا اختلاف بین تک تک مشاهدات با یک‌دیگر مشخص، سپس عملکرد تابع و پارامتر S استخراج می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} Sig\ (X_j - X_k) \qquad (۵)$$

که در آن n : تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. علامت تابع هم به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{cases} Sign(X_j - X_k) = -1, & for(X_j - X_k) \\ Sign(X_j - X_k) = 0, & for(X_j - X_k) \\ Sign(X_j - X_k) = 1, & for(X_j - X_k) \end{cases} \qquad (۶)$$

$E(S)$ مقادیر میانگین و $Var(S)$ واریانس آماره S به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\mathrm{E(S)} = 0 \qquad (۷)$$

(۸)

که در آن n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m بیانگر تعداد سری‌هایی می‌باشد که حداقل یک داده‌ی تکراری در آنها وجود داشته باشد. t معرف فراوانی داده‌هایی است که ارزش یکسانی دارند.

آماره z با به کارگیری یکی از رابطه‌های زیر استخراج می‌شود:

$$\mathrm{sig} = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{Var(S)}}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{Var(S)}}}, & S < 0 \end{cases} \qquad (۱۰)$$

در آزمونی دارای دو دامنه برای به دست آوردن روند-یابی سری داده‌ها، فرض صفر زمانی پذیرش می‌شود که رابطه‌ی زیر صادق باشد.

$$|z| = z_a/2 \qquad (۱۱)$$

که در آن a سطح معنی‌داری آزمون است و z_a آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری a است و به دلیل اینکه آزمون دو دامنه بود تقسیم بر دو می‌شود. آماره z اگر مثبت بود سری داده‌ها دارای روند صعودی و اگر منفی بود روند نزولی است.

روش تخمین‌گر سن

β شیب خط است که در سری داده‌های تاریخی روند یکنواختی را نمایش می‌دهد. با روش تخمین‌گر Sen مقدار شیب خط روند با بکارگیری رابطه‌ی زیر بدست می‌آید (Sen، ۱۹۶۸):

$$\forall \quad l < j \;\; \boldsymbol{\beta} = Median\left(\frac{x_i - x_l}{j-l}\right) \qquad (۱۲)$$

که β: شیب خط روند را برآورد می‌کند.

اگر مقدار β مثبت و منفی شود به ترتیب، شیب خط روند داده‌ها صعودی و نزولی می‌باشد.

برای اجرای آزمون‌های روندیابی از ماکروی MAKESENS 1.0 استفاده شد. این ماکرو برای به دست آوردن روند در سری‌های زمانی آلودگی اتمسفر و بارندگی به وسیله‌ی مؤسسه هواشناسی فنلاند تدوین گردید. سطوح معنی‌دار ۹۰، ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد در این ماکرو برای آماره من - کندال (Z) به ترتیب علامت +،*، ** و *** اجرا می‌شود. به منظور برآورد روش تخمین‌گر سن از Q و B که به ترتیب شیب و عرض از مبدأ خط روند است استفاده می‌شود و مقادیر Qmin ،Qmax در دو سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد به دست می‌آید. در صورتی که Qmin و Qmax در یک سطح احتمال دارای علامتی مشابه باشند نشان‌گر وجود روند در آن سطح احتمال است. همچنین علامت Qmed بر نزولی یا صعودی بودن روند دلالت دارد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل زمین‌آماری کیفیت آب زیرزمینی

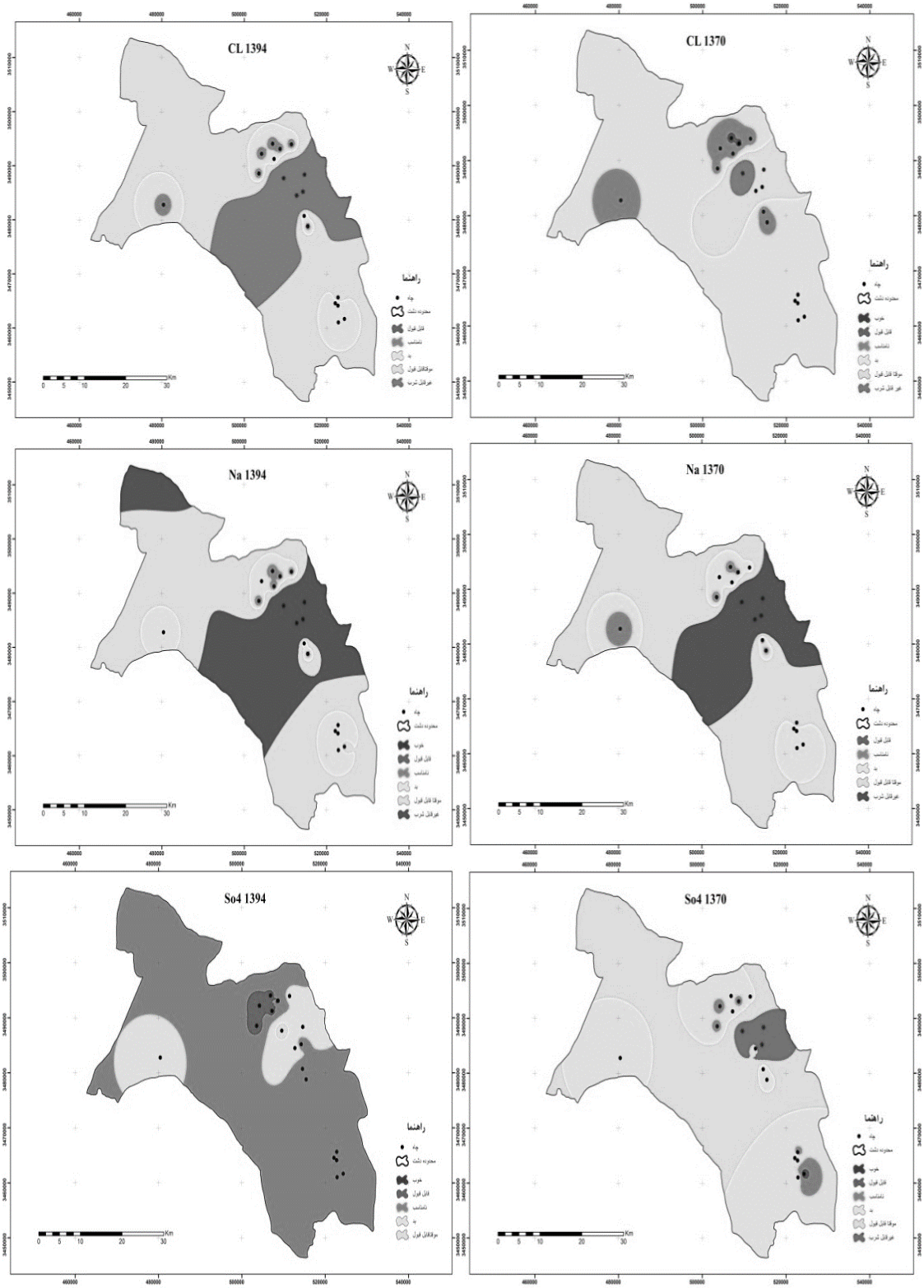
به منظور بررسی همسان‌گردی متغیرهای معرفی شده، نیم‌تغییرنمای جهت‌دار برای چهار جهت ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با استفاده از نرم‌افزار GS^+ 5.1.1 محاسبه گردید (جدول ۱). نتایج نشان داد نیم‌تغییرنمای متغیرها در همه جهات تقریباً همسان‌گرد می‌باشد. مقادیر بالای ساختار مکانی نشان دهنده درصد بالای بخش ساختاردار واریانس به بخش بدون ساختار آن است که دلالت بر همبستگی مکانی بالای متغیرهای مورد بررسی در سطح دشت مورد مطالعه دارد. بر اساس جدول ۱ نیم‌تغییرنمای کروی نسبت به سایر نیم‌تغییرنماها برای متغیرهای مورد بررسی دارای برتری است. همچنین بالا بودن حداکثر آستانه در جدول ۱ بیانگر بالا بودن واریانس داده‌های مربوطه است. حداقل آستانه و حداکثر شعاع تأثیر (فاصله‌ای که متغیر در آن فاصله وابستگی مکانی نشان می‌دهد) مربوط به پارامترهای TH 70 و SAR 94 می‌باشد.

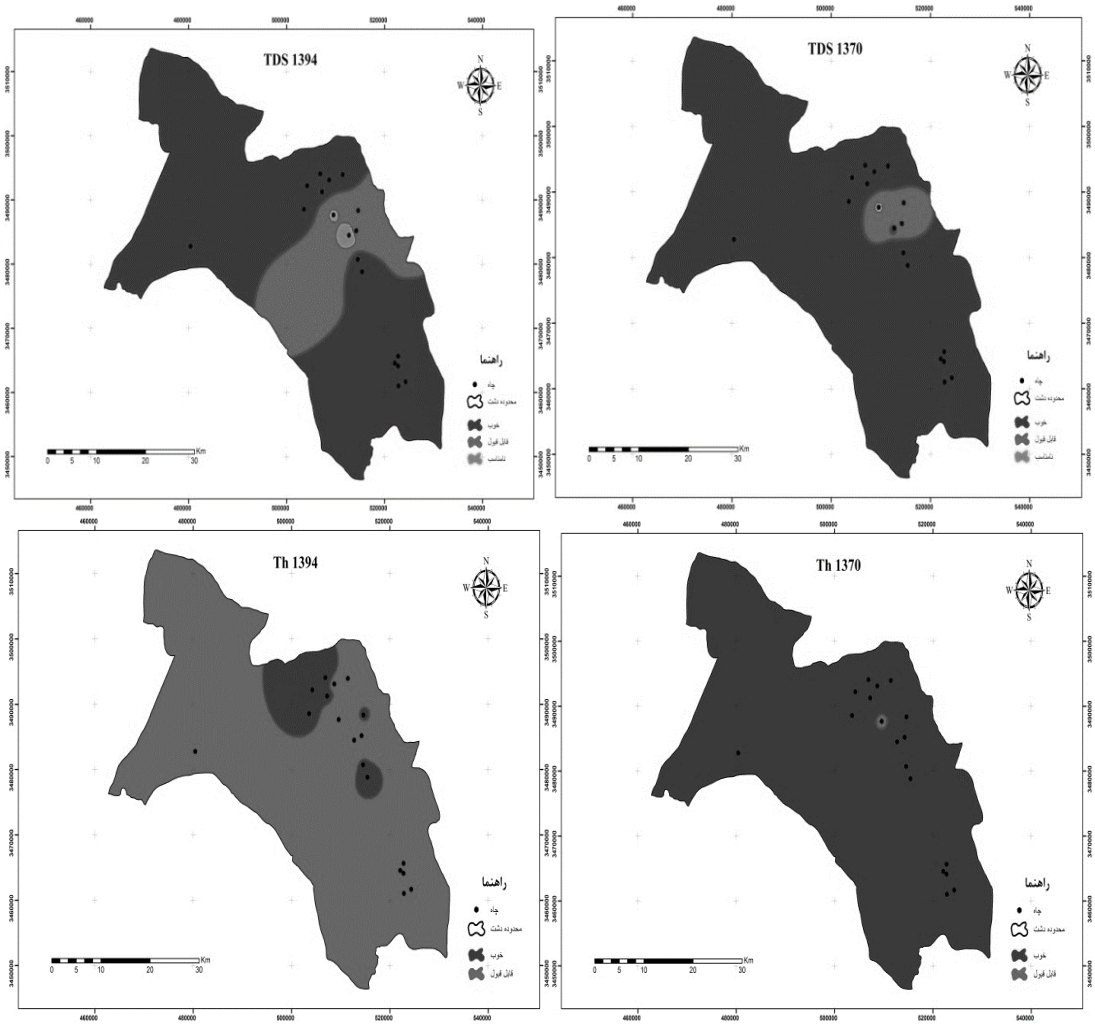
جدول (۱): نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام کیفیت آب زیرزمینی

دوره	مدل	اثرقطعه‌ای (m^2)	آستانه (m^2)	دامنه‌ی تأثیر(m)	$C/(C_0+C)$	ضریب همبستگی مکانی (r)	مجموع مربعات باقیمانده (RSS)
TDS 70	خطی پایه	۰/۰۰۰۱۰	۰/۲۸۳۲۰	۵۶۶۰	۱/۰۰۰	۰/۱۷۴	۰/۲۶۵
TDS 94	کروی	۰/۰۰۰۱۰	۰/۲۹۳۲۰	۷۱۹۰	۱/۰۰۰	۰/۰۸۱	۰/۴۱۷
EC 70	کروی	۰/۰۰۰۱۰	۰/۲۷۹۲۰	۶۳۱۰	۱/۰۰۰	۰/۱۳۷	۰/۳۲۷
EC 94	کروی	۰/۰۰۰۱۰	۰/۳۰۵۲۰	۷۱۶۰	۱/۰۰۰	۰/۰۷۹	۰/۴۵۷
Na 70	خطی پایه	۰/۰۰۱۰	۰/۲۶۵۴۸	۵۲۱۰	۱/۰۰۰	۰/۱۸۰	۰/۶۷۱
Na 94	کروی	۰/۰۰۱۰	۰/۴۲۱۵	۷۵۲۰	۱/۰۰۰	۰/۱۲۷	۰/۹۴۳
SAR 70	خطی پایه	۰/۰۰۱۰	۰/۲۰۰۳	۷۱۰۰	۰/۹۹۹	۰/۱۵۵	۰/۱۶۲
SAR 94	کروی	۰/۰۰۰۱۰	۰/۹۹۲۰۳	۷۶۴۰	۰/۹۹۹	۰/۱۲۹	۰/۶۳۷
$So_4$70	کروی	۰/۰۰۷۹۰	۰/۰۶۷۸۰	۸۱۷۰	۰/۸۸۳	۰/۰۳۶	۰/۰۲۳
So_4 94	کروی	۰/۰۰۰۱۰۰	۰/۰۵۹۲۰۰	۵۹۷۰	۰/۹۹۸	۰/۰۹۵	۰/۰۱۸
Cl 70	نمایی	۰/۰۴۰۹۰	۰/۰۸۲۸۰۰	۴۳۳۰۰	۰/۵۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۲۷
Cl 94	کروی	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۷۳۲۰	۶۷۶۰	۰/۹۹۹	۰/۰۵۸	۰/۰۳۸
TH 70	کروی	۰/۰۰۰۱۰۰	۰/۰۵۷۲۰۰	۵۵۲۰	۰/۹۹۸	۰/۰۳۵	۰/۰۱۰
TH 94	خطی پایه	۰/۰۰۰۱۰۰	۰/۰۶۴۲۰۰	۵۶۵۰	۰/۹۹۸	۰/۰۹۳	۰/۰۱۶

نتایج کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب

نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی منطقه از نظر شرب در شکل ۲ ارائه شده است. بر اساس شکل ۲ می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که منطقه از نظر یون کلر (Cl) در ابتدای دوره‌ی آماری شرایط بدی دارد که فقط بخش اندکی موقتاً قابل قبول است که در قسمت میانی دشت واقع شده است و در انتهای دوره‌ی آماری شرایط کمی بهبود پیدا کرده ولی همچنان قسمت میانی منطقه شرایط غیر قابل شرب را دارد. از نظر یون سدیم (Na) منطقه هم در دوره‌ی ابتدایی و هم در دوره‌ی انتهایی در قسمت میانی شرایط غیر قابل شرب را دارد ولی در قسمت شمالی و جنوبی دشت شرایط کمی بهتر است. از نظر یون سولفات(SO_4)، منطقه در ابتدا دوره‌ی آماری در قسمت شرق دشت آب زیرزمینی غیر قابل شرب است ولی در انتهای دوره قسمت اعظم دشت دارای وضعیتی نامناسب به جز بخش شمالی حوزه که دارای شرایط قابل قبول است. TDS هم در دوره‌ی ابتدایی و هم در دوره‌ی انتهایی شرایط بسیار بهتری نسبت به سایر پارامترها دارد فقط سطح کمی از منطقه دارای شرایط نامناسبی است. از نظر سختی کل(TH)، منطقه هم در دوره‌ی ابتدایی هم در دوره‌ی انتهایی کل دشت دارای شرایط قابل قبول و خوب است. با توجه به نقشه‌های تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، مشخص گردید که با گذشت زمان کیفیت آب از نظر شرب کاهش داشته است که می‌توان با مدیریت صحیح از جمله روش‌هایی برای اندازه‌گیری پارامترهای مهم در استاندارد شولر و همچنین عناصر سنگین موجود در آب و تعیین حد مجاز عناصر و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به آب زیرزمینی، کیفیت آب دشت مورد مطالعه را ارتقاء داد و از خطرات احتمالی جلوگیری کرد.

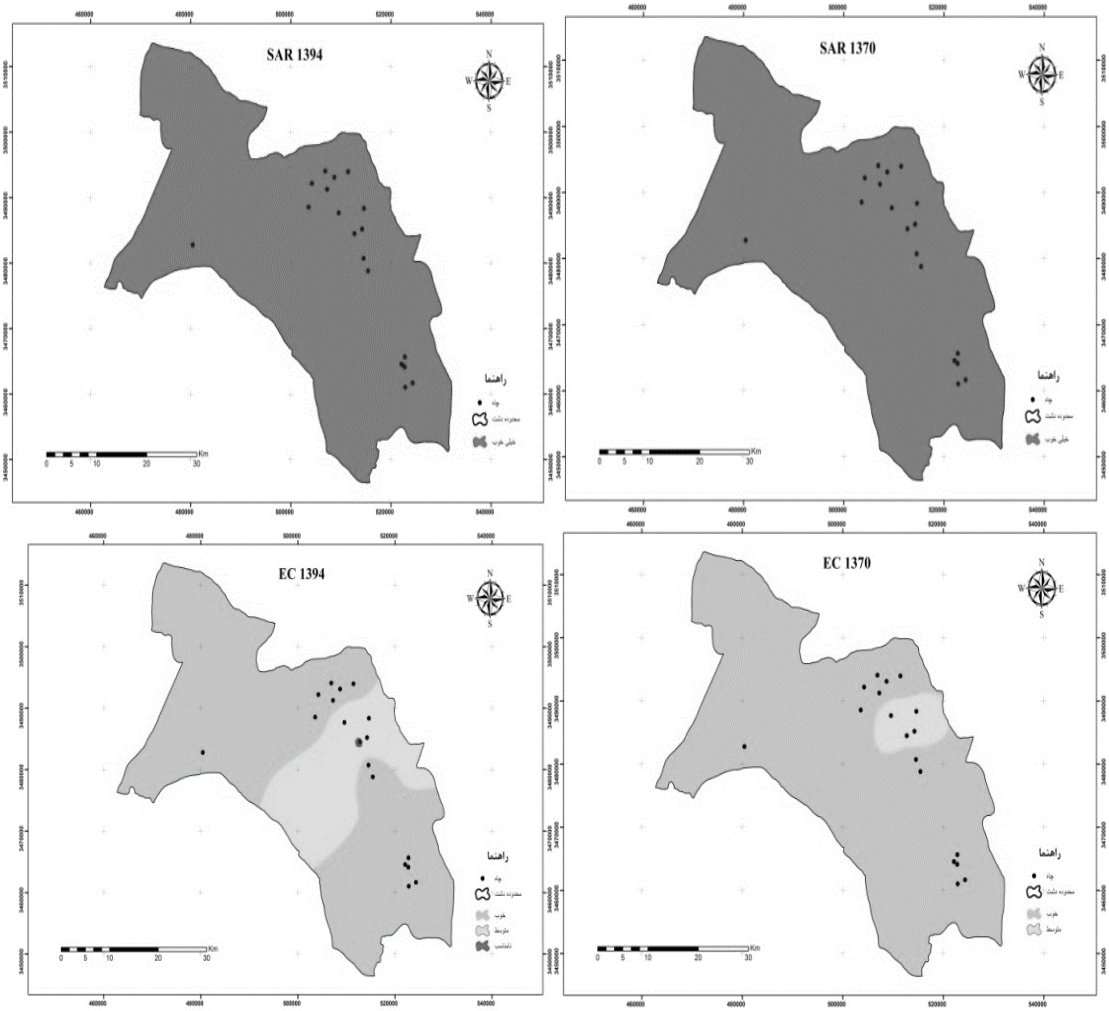

CL 1394
CL 1370
Na 1394
Na 1370
So4 1394
So4 1370
راهنما
N
S
W
E
Km



شکل (۲):: نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب

نتایج کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی

در مورد کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی کلاس‌های کیفی ویلکاکس شامل: SAR و EC می‌باشد که مورد تحلیل قرار گرفت و نقشه‌های گسترش این دو پارامتر در سال‌های ابتدایی و انتهایی دوره‌ی آماری کیفیت آب زیرزمینی (۱۳۷۰-۱۳۹۴) ترسیم شد که در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل (۳): نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی

منطقه از لحاظ کیفیت آب در مصارف کشاورزی شرایطی مطلوب‌تر نسبت به مصارف شرب دارد. بر همین اساس پارامتر SAR در دو دوره‌ی آماری در کل منطقه شرایط خیلی خوبی را داراست همچنین از نظر EC منطقه دارای شرایط خوبی است فقط در بخش میانی منطقه شرایط متوسط برقرار است. با استفاده از نتایج در منطقه به لحاظ کشاورزی، کشاورزان مشکل خاصی از نظر کیفیت آب ندارند.

نتایج بررسی روند پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی

بعد از آزمون همگنی داده‌ها برای پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی اقدام به آنالیز روند با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در محیط نرم‌افزار MAKESENS 1.0 شد. جدول ۲ نتایج روند پارامترهای مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی را ارائه می‌دهد.

جدول (۲): آنالیز روند پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی با آزمون من - کندال

چاه	TDS		Cl		TH		Na		SO_4		SAR		EC	
	روند	Z	روند	Z	روند	Z	روند	Z	روند	Z	روند	Z	روند	Z
	معنی داری		معنی داری		معنی داری		معنی داری		معنی داری		معنی داری		معنی داری	
امیران	مثبت	2.13	منفی	-0.50	مثبت	2.86	منفی	-2.81	منفی	-0.69	مثبت	1.75	مثبت	0.98
آلونی مرادان	مثبت	3.69	مثبت	1.37	مثبت	3.98	منفی	-1.79	مثبت	2.29	منفی	-2.57	مثبت	3.55
بابا احمد	مثبت	2.55	مثبت	1.23	مثبت	2.96	مثبت	2.17	مثبت	0.95	مثبت	0.86	مثبت	2.41
بابا منصور	مثبت	3.92	مثبت	2.32	مثبت	4.22	مثبت	0.00	مثبت	1.19	منفی	-2.25	مثبت	3.97
باغ بهزاد	مثبت	3.55	مثبت	1.43	مثبت	3.07	منفی	-0.81	منفی	-1.15	منفی	-1.82	مثبت	3.55
برجویی	مثبت	2.36	منفی	-0.55	مثبت	3.01	منفی	-3.30	منفی	-0.29	منفی	-3.46	مثبت	2.48
تل ماران	مثبت	3.62	مثبت	1.88	مثبت	1.41	مثبت	-0.05	منفی	0.52	مثبت	1.35	مثبت	3.99
دومکان	مثبت	2.20	مثبت	1.52	مثبت	2.80	مثبت	-3.60	منفی	-1.02	منفی	-3.13	مثبت	2.52
ده ترکان	مثبت	4.53	مثبت	4.58	مثبت	4.52	مثبت	4.41	مثبت	3.33	مثبت	4.93	مثبت	4.44
ده رشید	مثبت	2.27	مثبت	4.26	مثبت	2.56	مثبت	1.24	مثبت	-0.07	منفی	-0.23	مثبت	2.03
ده صحرا	مثبت	0.21	مثبت	0.45	مثبت	0.73	مثبت	0.84	مثبت	-0.75	منفی	-0.68	منفی	0.21
سینی	مثبت	5.00	مثبت	1.81	مثبت	3.83	مثبت	0.50	مثبت	0.92	منفی	-0.68	مثبت	4.16
قلعه مزعل	منفی	-3.74	منفی	-1.19	مثبت	3.49	منفی	-4.50	مثبت	1.97	منفی	-4.39	منفی	-4.16
کرتگل	مثبت	3.20	مثبت	1.07	مثبت	3.10	منفی	-2.07	مثبت	0.95	منفی	-3.00	مثبت	3.18
کلواری	مثبت	2.80	مثبت	0.02	مثبت	2.71	منفی	-0.54	مثبت	0.00	منفی	-1.64	مثبت	2.90
مالخلیفه	مثبت	3.48	مثبت	1.28	مثبت	3.95	مثبت	0.16	مثبت	0.12	منفی	-2.62	مثبت	3.18
مرادان	مثبت	2.22	مثبت	2.07	مثبت	3.37	منفی	-1.06	مثبت	1.21	منفی	-2.57	مثبت	1.94
میان تلان	مثبت	3.62	مثبت	1.70	مثبت	3.56	منفی	-0.02	مثبت	2.43	منفی	-1.50	مثبت	3.62

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل کیفیت آب از نظر شرب و کشاورزی براساس طبقه‌بندی ویلکاکس و شولر از داده‌های کیفیت آب زیرزمینی شامل ۷ پارامتر (Cl، Na، SO4، TDS، TH، SAR و EC) در ۱۸ حلقه چاه در طول دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۷۰ استفاده گردید. برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی پارامترهای کیفی در نرم‌افزار ArcGIS از دو روش وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ استفاده شد که با توجه به خطای کمتر روش وزن‌دهی عکس فاصله نسبت به روش کریجینگ که نشان دهنده دقت بالا آن می‌باشد، روش وزن‌دهی عکس فاصله برای درون‌یابی انتخاب شد. نتایج این تحقیق نشان داد که منطقه از نظر یون کلر (Cl)، سدیم (Na)، سولفات (SO_4) و مجموع مواد جامد محلول (TDS) دارای تغییراتی در ابتدا و انتهای دوره بوده است. به طوری که کلر در ابتدای دوره‌ی آماری شرایط بدی دارد که فقط بخش اندکی موقتاً قابل قبول است که در قسمت میانی دشت واقع شده و در انتهای دوره‌ی آماری شرایط کمی بهبود پیدا کرده است ولی همچنان قسمت میانی منطقه شرایط غیر قابل شرب را دارد. از نظر یون سدیم (Na) منطقه هم در دوره‌ی ابتدایی و هم در دوره‌ی انتهایی در قسمت میانی شرایط غیر قابل شرب را دارد ولی در قسمت شمالی و جنوبی دشت شرایط کمی بهتر است. از نظر یون سولفات (SO_4)، منطقه در ابتدای دوره‌ی آماری در قسمت شرق دشت آب زیرزمینی غیر قابل شرب است ولی در انتهای دوره قسمت اعظم دشت دارای وضعیتی نامناسب به جز بخش شمالی حوزه که دارای شرایط قابل قبول است. TDS هم در دوره‌ی ابتدایی و هم در دوره‌ی انتهایی شرایط بسیار بهتری نسبت به سایر پارامترها دارد فقط سطح کمی از منطقه

دارای شرایط نامناسبی است. از نظر TH، منطقه هم در دوره‌ی ابتدایی هم در دوره‌ی انتهایی کل دشت دارای شرایط قابل قبول و خوب است. پارامتر SAR در دو دوره‌ی آماری در کل منطقه شرایط خیلی خوبی را داراست همچنین از نظر EC منطقه دارای شرایط خوبی است فقط در بخش میانی منطقه شرایط متوسط برقرار است. با استفاده از نتایج در منطقه به لحاظ کشاورزی، کشاورزان مشکل خاصی از نظر کیفیت آب ندارند. بر اساس نتایج روندیابی نیز مشاهده می‌شود که پارامترهای کیفی TDS، TH، EC، SO4 و Cl دارای روندی مثبت می‌باشند و می‌توان نتیجه گرفت که با گذشت زمان فرسایش انحلالی در سازندهای مستعد موجود در منطقه دارای روندی افزایشی بوده و موجب انحلال مواد در آب‌های زیرزمینی گردیده است. میزان پارامترهای کیفی SAR و Na در دشت مورد مطالعه دارای روندی نزولی است و مقدار آن‌ها در آب‌های زیرزمینی با گذشت زمان کمتر شده است.

منابع

اژدری، ز. و س.ز. حسینی. ۱۳۹۷. تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از زمین آمار (مطالعه موردی: دشت سگزی، اصفهان). علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، شماره ۳، ص ۸۰-۶۴.

حسنی‌پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران. ص۳۱۴.

دلبری، م.، پ. افراسیاب و س.ر. میرعمادی. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی- زمانی شوری و عمق آب زیرزمینی (مطالعه موردی: استان مازندران). مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۳، شماره ۴، ص ۳۷۴-۳۵۹.

عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش (مطالعه موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین). جغرافیا و توسعه، دوره ۶، پیاپی ۱۲، ص ۴۲-۲۵.

محمدیاری، ف.، ح. اقدر و ر. بصیری. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب با استفاده از روش‌های زمین آمار، مطالعه موردی: مناطق خشک مهران و دهلران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۶، شماره ۱۰۱، ص ۲۰۸-۱۹۹.

صفوی گردینی، م.، ا. محمدرضاپور، ع. بهرامی، م. محمدی‌صدیق و م. سالاری‌جزی. ۱۳۹۷. بررسی و ارزیابی تغییرات مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی جنوب دشت قروه و دهگلان با استفاده از روش‌های زمین آمار. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال نهم، شماره سی و سوم، ص ۱۸۳-۱۶۷.

معروفی، ص.، س. سلیمانی، م. قبادی، ق. رحیمی و ح. معروفی. ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل‌های DRASTIC و SINTACS و SI. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۳، ص ۱۷۱-۱۴۱.

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

Goovaerts, P. (1997). Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York.

Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.

Konkey, S., U.B. Chitranshi and R. Dev Garag. 2014. Groundwater Quality Analysis and Mapping using GIS Techniques. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 6(8): 474-488.

Lettenmeier, D.P. 1988. Multivariate nonparametric tests for trend in water quality. Water Resources Bulletin, 24: 505–512.

Levêque, J.G. and R.C. Burns. 2019. Water quality perceptions and natural resources Extraction: A matter of geography? Journal of Environmental Management, 234: 379-386.

Li, D. and Sh. Liu. 2019. Chapter 11–Groundwater Quality Detection. Water Quality Monitoring and Management, 269-302.

Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend, Econometrica, 13:163-171.

Moharir, K., C. Pande and S. Patil. 2017. Inverse modeling of aquifer parameters in basaltic rock with the help of pumping test method using MODFLOW software. Geoscience Frontiers, 8(6): 1385-1395.

Pande, Ch.B. and K. Moharir. 2018. Spatial analysis of groundwater quality mapping in hard rock area in the Akola and Buldhana districts of Maharashtra, India. Applied Water Science, 8(106): 1-17.

Ranjan, R.K., A.L. Ramanathan, P. Parthasarathy and A. Kumar. 2013. Hydro chemical characteristics of groundwater in the plains of Phalgu River in Gaya, Bihar, India. Arabian Journal of Geosciences, 6(9): 3257-3267.

Robertson, G.P. 2000. GS+: Geostatistics for the environment sciences. GS+ User´s Guide Version 5: Plainwell, Gamma design software, 200.

Salman, S.A., M. Arauzo and A. Elnazer. 2019. Groundwater quality and vulnerability assessment in west Luxor Governorate, Egypt. Groundwater for Sustainable Development, 8: 271-280.

Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. Journal of American Statistical Association, 63: 1379-1389.

Umamaheswari, J., R. Anjali, S. Abinandan, S. Shanthakumar, G.P. Ganapathy and M. Kirubakaran. 2015. Assessment of Groundwater Quality Using GIS and Statistical Approaches. Asian Journal of Earth Sciences, 8: 97-113.

Vrba, J. and A. Zoporozec. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contribution for Hydrogeology, 16(7): 131.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب
ایران سال دهم. شماره سی و نهم. بهار ۱۳۹۹

Investigation of Spatio-Temporal Variation in Groundwater Resource Quality using Geo-Statistical Methods (Case Study: Lordegan Plain, Chaharmahal and Bakhteyari Province)

Sayed Abdoulreza Musavi[1], Karim Solaimani[2], Fatemeh Shokrian*[3], Sayed Hussein Roshun[4]

Abstract

Groundwater resources are considered as the most important sources of drinking water, agriculture and industry. investigation of quality changes and decreases is necessary in groundwater level due to excessive exploitation of these resources. In this research, investigated the spatiotemporal variations of groundwater quality parameters for drinking and agriculture in 18 wells during the statistical period of 1991-2015 in Lordegan plain of Chaharmahal and Bakhteyari province. The studied parameters were including Cl^-, TH, TDS, Na^+, SO_4^{-2}, SAR and EC. In order to estimating the semivariance model and determining the best interpolation method used the GS^+ 5.1.1 software and RMSE and MBE criteria. Finally, spatial variation of parameters was calculated using IDW method in ArcGIS10.3 and parameters variations trend investigated using nonparametric Man-Kendall test in MAKESENS 1.0 software. The results showed that the TDS and TH parameter is better condition in plain than Cl^-, Na^+ and SO_4^{-2} Also; in agricultural aspect the SAR and EC parameters have a very good condition during the statistical period in this plain. Trend analysis results showed that the TDS, TH, EC, SO_4^{-2} and Cl^- parameters have positive and SAR and Na^+ have descended trend.

Keywords: Mann-Kendall Test, Trend Analysis, Water Hardness, Kriging

1- M.Sc. Graduated Student, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. abdolrezamousavi71@gmail.com

2- Professor, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. solaimani2001@yahoo.co.uk

3- Assistant Professor, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, *(Corresponding author), F.Shokrian@sanru.ac.ir

4- Ph.D. Candidate Student, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. H.Roshun2011@gmail.com