

تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت دامغان با استفاده از زمین‌آمار

بهناز مستوفی‌پور^۱، فاطمه شکریان^{۲*}، منصوره کارگر^۳، لیلا غلامی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳. دکتری علوم مرتع، اداره کل منابع طبیعی و آب‌خیزداری استان البرز، کرج

۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۰/۰۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۱/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۴/۲۲)

چکیده

دشت دامغان در استان سمنان به دلیل کمبود منابع آب نیازمند بررسی وضعیت منابع آبی برای مدیریت بهتر است. منابع آبی قابل استفاده در این منطقه از چشمه و چاه تأمین می‌شود. پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و مقایسه آن‌ها در نقاط متفاوت سطح آبخوان با استفاده از روش‌های زمین‌آماري پرداخته است. متغیرهای اندازه‌گیری شامل (TDS, EC, pH, HCO_3^- , Cl^- , Ca^{++} , Na^+ , Na^+ %, SO_4^{2-}) هستند. نتایج حاصل از آمار توصیفی در چاه عمیق نشان داد بیشترین درصد تغییرات مربوط به متغیرهای Mg و SO_4^{2-} و کمترین درصد تغییرات به pH اختصاص دارد. بیشترین درصد تغییرات در چاه نیمه‌عمیق مربوط به متغیر HCO_3^- و در چشمه مربوط به Cl است. همچنین، بیشترین درصد تغییرات در قنات به کلر و کلسیم و کمترین درصد تغییرات به TDS اختصاص دارد. بیشترین درصد تغییرات در چاه نیمه‌عمیق به نیون بی‌کربنات اختصاص یافت و کمترین درصد تغییرات مربوط به pH است. در بین منابع آب زیرزمینی، چشمه نتایج بهتری از نظر ضرایب رگرسیونی و مدل‌های واریوگرامی از خود نشان داد. نتایج حاصل از تغییرات زمانی بیانگر آن بود که پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده بیشترین تغییرات را در فصل پاییز و اواخر بهار داشته‌اند. نتیجه کلی این تحقیق بیانگر آن است که روش کریجینگ با سمی‌واریوگرام‌های کروی روش مناسبی برای میانابایی ارزیابی مکانی متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت دامغان به شمار می‌رود.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، دشت دامغان، زمین‌آمار، کیفیت آب.

مقدمه

نیاز روزافزون انسان به آب از یکسو و کمبود آن از سوی دیگر، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، سبب افزایش بهره‌برداری از منابع آب، به‌خصوص منابع آب زیرزمینی شده است. منابع آب‌های زیرزمینی از حساسیت بسیار زیادی برخوردار است که متأسفانه مورد استفاده بی‌رویه قرار می‌گیرد. بنابراین، ضروری است منابع آب زیرزمینی به‌طور جدی‌تری مدیریت شده و بر چگونگی مصرف آن نظارت بیشتری شود [۱]. بشر از همان زمان‌های کهن، نیازهای خود به آب با کیفیت خوب را از منابع زیرزمینی تأمین کرده است. چشمه‌ها که در واقع جلوه آب زیرزمینی در سطح زمین به‌شمار می‌آیند، نقش کلیدی در سکونت و توسعه اجتماعی ایفا کرده است. با این همه تا دوره انقلاب صنعتی، توانایی انسان برای برداشت و آلوده ساختن آب زیرزمینی در مقایسه با منابع موجود ناچیز است [۲]. ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، مقیاسی از تناسب آن به عنوان منبع آبی برای مصارف انسانی، آبیاری و برای اهداف صنعتی را شامل می‌شود. بنابراین، کیفیت آب به معنای استفاده مطلوب از آب در جامعه است [۳]. تعیین مناطقی که در آن کیفیت آب از حد مجاز عبور می‌کند و به‌طور کلی تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است [۴ و ۵]. با توجه به دشواری انجام مطالعات کیفیت آب و تحقیقاتی که در آن، داده‌های جامع آب‌های زیرزمینی به‌آسانی در دسترس نیستند و همچنین، دشواری دستیابی به اطلاعات مرتبط با خصوصیات سفره آب، هیدروژئولیسیت‌ها استفاده از فناوری‌های جدید را برای انجام این نوع کار شروع کردند. یکی از فناوری‌های برجسته استفاده از زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. آنالیز زمین‌آمار به مفهوم بررسی پدیده‌های متغیر در زمان و مکان است. به‌طور کلی، از طریق این آنالیز می‌توان به‌راحتی یک نقشه یا سطح پیوسته‌ای از نقاط نمونه‌برداری شده را ایجاد کرد. داده‌های نقطه‌ای داده‌هایی هستند که در مکان یا مکان‌های معینی مانند چاه‌های آب اندازه‌گیری می‌شوند. به منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و مطالعه الگوهای مکانی، داده‌های نقطه‌ای طی فرایند درون‌یابی به سطح تعمیم می‌یابند. در این روش نتایج به صورت منحنی‌های هم‌ارزش نمایش داده می‌شود که یکی از مراحل اصلی جهت بررسی کیفیت است. صادقی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی

دشت کاشان طی یک دوره ۱۲ ساله ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار بیان داشتند که روش کریجینگ بر اساس ضریب تبیین بالاتر، روند تغییرات را بهتر نشان می‌دهد. همچنین، نتایج حاصل از دیاگرام شولر و ویلکاکس، نشان‌دهنده روند کاهشی کیفیت آب شرب و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه بوده است [۶]. فارابی (۱۳۹۹) با ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی و آلودگی نیترات منابع آب زیرزمینی دشت زیدون در استان خوزستان نشان داد آب زیرزمینی در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه کیفیت نامناسبی دارد، به طوری که میزان شوری آب زیرزمینی در بخش‌های میانی و شمالی دشت بیش از ۳ هزار میکروموس بر سانتی‌متر است [۷]. اسکندری و همکاران (۱۳۹۸) طی تحقیقی به ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زرد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌آمار پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد روش کریجینگ ساده با مدل واریوگرامی دایره‌ای با مقادیر RMSE معادل ۱۹/۱۷۸ و R معادل ۰/۸۱ برای پارامتر EC و روش کریجینگ معمولی با مدل واریوگرامی گوسی با مقادیر RMSE معادل ۳/۲۹ و R معادل ۰/۷۹ برای پارامتر SAR مناسب‌ترین روش‌ها در جهت پهنه‌بندی کیفیت منابع آب بودند [۸]. Ruybal و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان آراپاهو در استرالیا با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد عملکرد این روش برتر از روش کریجینگ فضایی سنتی برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی است [۹].

Bhadra و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از شاخص کیفیت آب به ارزیابی متغیرهای TDS، EC، Cl، SO₄، HCO₃، TH، Ca، Mg و Na سفره‌های ساحلی منطقه سندربن هند پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد آب منطقه برای نوشیدن کیفیت مناسبی ندارد [۱۰]. در خارج از کشور نیز مطالعاتی در این زمینه انجام گرفت که می‌توان به تحقیقات Bodrud-Doza و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی کیفیت آب زیرزمینی در بنگلادش مرکزی از آمار چندمتغیره و زمین‌آمار اشاره کرد. نتایج مطالعات یادشده بیانگر آن بود که مدل واریوگرام نمایی مناسب‌ترین مدل برازش‌شده در ارتباط با پارامترهای مورد بررسی بوده است. به طوری که مقدار کلسیم، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، آهن و آرسنیک منطقه، بیشتر از استانداردهای

شده است [۱۲]. از آنجا که تهیه و تدوین هر گونه راه‌کاری برای مقابله با بحران آب، نیازمند آگاهی کامل از روند تغییرات کمی و کیفی منابع آب بوده و بررسی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت دامغان استان سمنان، تا کنون انجام نشده است؛ بنابراین انجام این تحقیق، لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

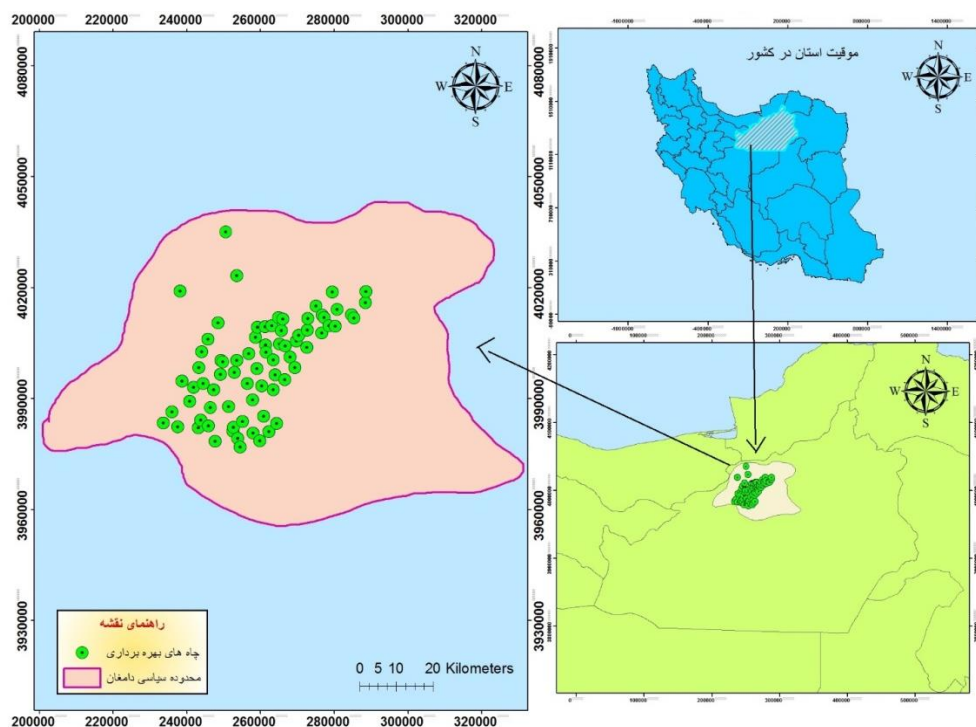
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

دامغان در استان سمنان واقع در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی از نظر تقسیمات حوزه‌ای در حوضه آبریز دشت کویر قرار گرفته است. از نظر ژئومورفولوژیکی این دشت واحد پیکرشناسی وسیع و نسبتاً همواری دارد که تقریباً از اطراف به گسل‌های متعدد در ارتباط با کوهستان‌های حاشیه قرار گرفته است. شیب ملایم و همگرا به سمت کویر چاه جام در مرکز دشت قرار دارد. شکل ۱ موقعیت پراکنش چاه‌ها را در سطح دشت دامغان نشان می‌دهد.

بنگلادش و بین‌المللی بوده است [۱۱]. DanobaSunkari و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای با هدف کشف ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و کیفیت آب‌های زیرزمینی در سفره‌های زیرزمینی توگو و داهومیان در منطقه بزرگ آکرا انجام دادند که برای این تحقیق ۳۷ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری و بررسی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد به دلیل غلظت بالای EC, TDS, Na^+ , Cl^- , F^- , Fe, Mn, Pb, Cr و Ni که از حداکثر حد مجاز ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی فراتر می‌رود، برای مصارف شرب مناسب نیستند [۳].

با توجه به مطالب یادشده، هدف از این تحقیق بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت دامغان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی است. از آنجا که دشت دامغان استان سمنان دارای آب‌وهوای خشک تا نیمه‌خشک است و به علت بارندگی کم و هوای گرم، رودهای منطقه بیشتر حالت فصلی دارند و جریان سطحی زیادی در منطقه وجود ندارد. بنابراین، عمده آب مورد نیاز مردم از آب زیرزمینی است و به دلیل برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق، دشت‌های منطقه دچار افت سطح آب و کاهش حجم مخزن آب زیرزمینی



شکل ۱. موقعیت پراکنش چاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور و استان

تجزیه و تحلیل زمین آماری، هر متغیر جهت آنالیز همسان گردی با استفاده از رسم تغییرنماها در جهات مختلف همسان گردی و ناهمسان گردی آنان کنترل شد. برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه با مختصات مختلف، بررسی اختلاف آن‌ها طبیعی ترین روش مقایسه است. برای این اساس برای تمام موقعیت‌ها می‌توان دوم این اختلاف را تحت عنوان نیمه‌واریانس به صورت فرمول ۱ محاسبه کرد:

$$\hat{y}(h) = 1 - \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (1)$$

که $y(h)$ نیمه‌واریانس برای فاصله h و $N(h)$ تعداد زوج نقاط مجزاشده با فاصله h $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقادیر متغیر اندازه‌گیری شده، Z به ترتیب در موقعیت‌های مکانی I و $i+h$ هستند. برای ویژگی‌هایی که توزیع تصادفی دارند، با افزایش فاصله تغییر کوچکی در نیمه‌تغییرنما ایجاد شده و تغییرنما ضرورتاً حالت صاف پیدا می‌کند (Robertson, 1994). همچنین، برای ویژگی‌هایی که دارای ساختار مکانی هستند، تغییرنماهای به‌دست‌آمده که جزء مدل‌های سقف‌دار هستند. پارامترهای این تغییرنما عبارت‌اند از دامنه تأثیر که حداکثر فاصله‌ای است که پس از آن ساختار مکانی دیگر وجود ندارد و تغییرنما به یک مقدار ثابت می‌رسد ($A0$). اغلب در عمل تغییرنما دارای عرض از مبدایی است که اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود که بیانگر واریانس تصادفی و بدون ساختار است. وقتی تغییرنما به مقدار ثابت خود می‌رسد، ارتفاع تغییرنما برابر حد آستانه یا سقف (Sill) تغییرنما است که برابر مجموع واریانس تصادفی ($C0$) و ساختاردار (C) است. اگر این نسبت دامنه کمتر از 0.25 باشد، وابستگی مکانی ضعیف، 0.25 تا 0.75 وابستگی مکانی متوسط و اگر بیشتر از 0.75 باشد وابستگی مکانی قوی است [۱۱]. در مرحله بعد برای درون‌یابی مکانی و تهیه نقشه مکانی ویژگی‌های آب زیرزمینی از روش کریجینگ استفاده شد. در نهایت، به کمک روش اعتبارسنجی Cross-Validation، ارزیابی صحت درون‌یابی صورت گرفت [۱]. در این روش اعتبارسنجی با حذف اطلاعات صورت می‌گیرد، معمولاً یک مشاهده حذف می‌شود و به کمک سایر داده‌ها تخمین زده می‌شود و سپس، تفاوت بین داده واقعی و تخمینی برای هر داده محلی محاسبه می‌شود [۱۵]. در واقع رگرسیون بین داده واقعی و تخمین صورت می‌گیرد و ضریب رگرسیون حاصله کمیتی برای تعیین نکوبی برازش است که هر چه به

بر اساس داده‌های اداره آب منطقه‌ای، دامغان دارای ۷۰ چاه بهره‌برداری، چشمه و قنات است. آمار اطلاعات کیفیت آب از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ برای این تحقیق استفاده شد.

تغییرات زمانی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت دامغان
کمیت و کیفیت آب همواره دو پارامتر اصلی در تعیین مصارف آب و طراحی سازه به حساب می‌آید. اندازه‌گیری دقیق این دو پارامتر می‌توان مصرف آب را بهینه کرد. در واقع، کیفیت و کمیت آب یک متغیر است که هم در بعد مکان هم بعد زمان در حال تغییر است. به این معنا که مقدار یک کمیت یا کیفیت مشخص از زمان شروع اندازه‌گیری آن (مثلاً در سال ۱۳۹۰) تا پایان زمان اندازه‌گیری (سال ۱۳۹۷) یکسان نخواهد بود.

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

در مطالعه حاضر متغیرهای اندازه‌گیری در چاه، چشمه و قنات شامل (Na^+ , Ca^{++} , Cl^- , HCO_3^- , EC, pH, TDS, SO_4^{2-} , %Na⁺) طی دوره آماری ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ با اطلاعات مکانی هستند. به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، ابتدا آزمون داده‌های پرت و آزمون نرمالیته روی داده‌ها انجام شد. برای این منظور، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد [۱۶].

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا با استفاده از آمار کلاسیک توصیف آماری داده‌ها شامل میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف استاندارد و ضریب تغییرات برای همه متغیرهای اندازه‌گیری در آب زیرزمینی مورد مطالعه انجام شد. برای مقایسه میانگین خصوصیات آب زیرزمینی از آزمون میانگین واریانس یک‌طرفه استفاده شد. برای بررسی دقیق‌تر ارتباط بین ویژگی‌های آب زیرزمینی در هر چاه، چشمه و قنات نیز، همبستگی پیرسون محاسبه شد. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد.

تجزیه و تحلیل مکانی داده‌ها

ابتدا برای کاهش نوسان زیاد واریوگرام نرمال‌سازی داده‌ها انجام گرفت. توزیع نرمال داده‌ها بر اساس چولگی آن‌ها تخمین زده شد. به این صورت که داده‌های با چولگی بین ۱- تا ۱ به عنوان داده‌های دارای توزیع نرمال در نظر گرفته شد و آن‌هایی که نرمال نبودند، تبدیل شدند. قبل از کاربرد

عمیق نشان داد بیشترین درصد تغییرات در چاه عمیق مربوط به متغیرهای Mg و SO_4^{2-} و کمترین درصد تغییرات به pH اختصاص دارد. بیشترین درصد تغییرات در چاه نیمه‌عمیق مربوط به متغیر HCO_3^- و در چشمه مربوط به Cl و کمترین درصد تغییرات مربوط به TDS است. همچنین، بیشترین درصد تغییرات در قنات به کلر و کلسیم اختصاص دارد، در حالی که کمترین درصد تغییرات مربوط به TDS است.

۱ نزدیک‌تر باشد، برازش مدل بهتر صورت گرفته است. برای انجام آنالیزهای زمین آماری از نرم افزار GS^+ نسخه ۵ استفاده شد.

یافته‌ها

آمار توصیفی

آمار توصیفی پارامترهای کیفیت منبع آب چاه‌های عمیق، نیمه‌عمیق، چشمه و قنات در منطقه بررسی شد (جدول‌های ۱ تا ۴). نتایج حاصل از آمار توصیفی در چاه

جدول ۱. نتایج آمار توصیفی کاتیون و آنیون چاه عمیق

| پارامترها | تعداد | ماکزیمم | مینیمم | مجموع | میانگین | انحراف معیار | CV% |
|-----------|-------|---------|--------|---------|---------|--------------|-------|
| Na | ۷۱ | ۱۰۴۲ | ۴ | ۲۲۹۲ | ۱۵/۷۸ | ۱۰/۶۹ | ۶۷/۷۶ |
| Mg | ۷۱ | ۴۷۸/۱ | ۲/۵ | ۱۱۳۲/۵ | ۷/۲۴ | ۷/۵۶ | ۱۰۴/۴ |
| Ca | ۷۱ | ۴۳۹/۴ | ۲/۱ | ۹۶۷/۸ | ۶/۶۵ | ۴/۰۹ | ۶۱/۵۳ |
| Cl | ۷۱ | ۱۰۸۸/۵ | ۱/۲ | ۲۴۰۷ | ۱۶/۴۶ | ۱۱/۵ | ۶۹/۷۳ |
| HCO_3^- | ۷۱ | ۲۸۶ | ۲ | ۶۸۵ | ۴/۳۳ | ۳/۸۶ | ۸۹/۲ |
| pH | ۷۱ | ۴۹۵/۲ | ۰/۲ | ۱۰۰۳/۹ | ۷/۵ | ۰/۴ | ۵/۴ |
| TDS | ۷۱ | ۱۲۲۵۳۷۲ | ۵۸ | ۱۴۸۰۶۵۶ | ۱۹۱۰/۶۶ | ۱۱۰۶/۹۶ | ۵۷/۹ |
| EC | ۷۱ | ۲۷۷۸۸۲۱ | ۵۸ | ۳۱۶۴۵۵۵ | ۲۸۸۷/۲۸ | ۱۶۶۶/۹۸ | ۵۷/۷۴ |
| SO_4 | ۷۱ | ۵۷۰/۲ | ۱/۱ | ۱۲۱۲ | ۸/۶۴ | ۷/۹۴ | ۹۱/۹۵ |

جدول ۲. نتایج آمار توصیفی کاتیون و آنیون چاه نیمه‌عمیق

| پارامترها | تعداد | ماکزیمم | مینیمم | مجموع | میانگین | انحراف معیار | CV% |
|-----------|-------|---------|--------|---------|---------|--------------|-------|
| Na | ۳۸ | ۳۵/۷ | ۳ | ۱۶/۲۴ | ۱۶/۲۳ | ۸/۱ | ۴۹/۶۵ |
| Mg | ۳۸ | ۲۳/۱ | ۱/۹ | ۱۰/۷۸ | ۱۰/۷۷ | ۵/۹ | ۵۵/۱۷ |
| Ca | ۳۸ | ۲۲/۲ | ۲/۳ | ۱۰/۶۲ | ۱۰/۵۲ | ۶/۱ | ۵۸/۳۴ |
| Cl | ۳۸ | ۴۳ | ۴/۵ | ۱۶/۸۰ | ۱۶/۸ | ۹/۸ | ۵۸/۰۳ |
| HCO_3^- | ۳۸ | ۲۰/۹ | ۲/۲ | ۶/۴۸ | ۶/۵ | ۴/۳ | ۶۵/۸ |
| pH | ۳۸ | ۸ | ۶ | ۷/۲۷ | ۷/۳ | ۰/۴۳ | ۵/۹۲ |
| TDS | ۳۸ | ۳۷۵۰ | ۱۰۲۲ | ۲۲۸۷/۸۴ | ۲۲۸۷/۸ | ۸۸۹/۰۲ | ۳۸/۸۵ |
| EC | ۳۸ | ۵۶۲۰ | ۱۵۳۴ | ۳۴۴۲/۴۷ | ۳۴۴۲/۴ | ۱۳۲/۱۷ | ۳۸/۳۹ |
| SO_4 | ۳۸ | ۴۵/۶ | ۲/۶ | ۱۳/۶ | ۱۳/۶ | ۸/۱۱ | ۵۹/۶۶ |

جدول ۳. نتایج آمار توصیفی کاتیون و آنیون چشمه‌های موجود در منطقه

| پارامترها | تعداد | ماکزیمم | مینیمم | مجموع | میانگین | انحراف معیار | CV% |
|-----------|-------|---------|--------|-------|---------|--------------|--------|
| Na | ۷ | ۶/۵ | ۰/۷ | ۱۵/۹ | ۲/۲۶ | ۱/۹۷ | ۸۶/۹۵ |
| Mg | ۷ | ۸/۵ | ۰/۵ | ۱۶/۵ | ۲/۳۵ | ۲/۷ | ۱۱۶/۴۷ |
| Ca | ۷ | ۷ | ۰/۵ | ۱۶/۳ | ۲/۳۳ | ۲/۱۶ | ۹۲/۹۳ |
| Cl | ۷ | ۱۳ | ۰/۱ | ۱۹/۲ | ۲/۷۵ | ۴/۵۵ | ۱۶۵/۵۲ |
| HCO_3^- | ۷ | ۷ | ۰/۴ | ۱۲/۷ | ۱/۸ | ۲/۳۳ | ۱۲۸/۶۱ |
| pH | ۷ | ۲/۶ | ۱/۵ | ۱۵/۶ | ۲/۲۳ | ۰/۴۱ | ۱۸/۴۵ |
| TDS | ۷ | ۸/۴ | ۷/۲ | ۵۶/۳ | ۸/۰۴ | ۰/۴۲ | ۵/۱۷ |
| EC | ۷ | ۱۶۱۴ | ۲۱۴ | ۳۳۹۳ | ۴۸۴/۷ | ۵۰۳/۸۷ | ۱۰۳/۹۵ |
| SO_4 | ۷ | ۲۴۲۰ | ۳۲۱ | ۵۱۱۰ | ۷۳۰ | ۷۵۴/۹ | ۱۰۳/۴ |

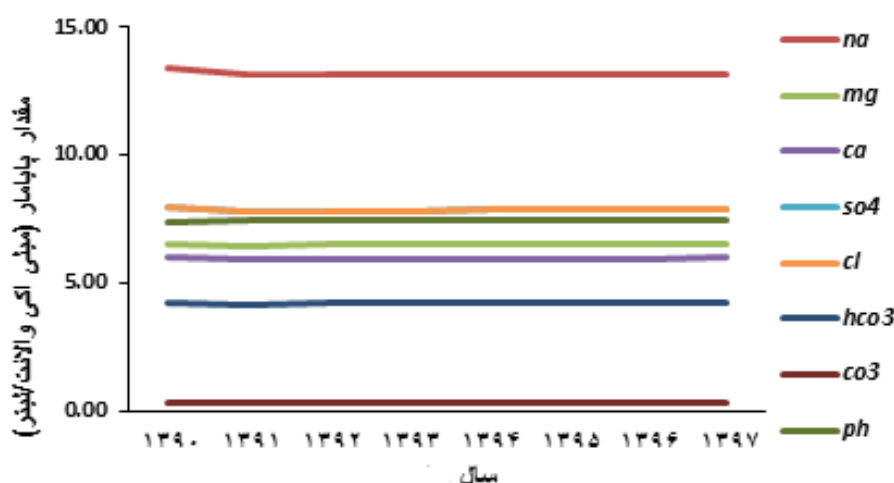
جدول ۴. نتایج آمار توصیفی کاتیون و آنیون قنات‌های موجود در منطقه

| پارامترها | تعداد | ماکزیمم | مینیمم | مجموع | میانگین | انحراف معیار | CV% |
|------------------|-------|---------|--------|--------|---------|--------------|-------|
| Na | ۲۰ | ۱۵/۷۳ | ۷/۹۶ | ۲۳۳/۵۷ | ۱۱/۶۷ | ۲/۲ | ۱۸/۸ |
| Mg | ۲۰ | ۱۳ | ۲ | ۱۲۱ | ۶/۰۴ | ۴/۲ | ۶۹/۹ |
| Ca | ۲۰ | ۱۸ | ۱/۵ | ۱۳۱/۵ | ۶/۵۷ | ۶/۲ | ۹۴/۷ |
| Cl | ۲۰ | ۲۳/۸۸ | ۱/۳۵ | ۱۵۸/۶۷ | ۷/۹ | ۷/۶ | ۹۶/۵ |
| HCO ₃ | ۲۰ | ۱۵/۴ | ۸/۱ | ۲۴۳/۹ | ۱۲/۱۹ | ۱/۷ | ۱۴/۲۷ |
| pH | ۲۰ | ۸ | ۲ | ۸۶ | ۴/۳ | ۱/۹ | ۴۴/۷ |
| TDS | ۲۰ | ۷/۸ | ۶/۷ | ۱۴۶/۷ | ۷/۳۳ | ۰/۳۶ | ۵ |
| EC | ۲۰ | ۲۴۷۰ | ۹۴۱ | ۳۰۹۰۹ | ۱۵۴۵/۴۵ | ۴۵۸/۷ | ۲۹/۶۸ |
| So ₄ | ۲۰ | ۳۷۱۰ | ۱۴۰۶ | ۴۶۲۹۹ | ۲۳۱۴/۹ | ۶۸۱/۹ | ۲۹/۴۶ |

تجزیه و تحلیل زمانی چاه‌های دشت دامغان

بررسی مقادیر هریک از متغیرها طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ نشان داد این متغیرها تغییرات چندانی نداشته‌اند. با مشاهده دوره‌های زمانی بیشترین تغییرات مربوط به اواخر فصل بهار و تابستان بوده است. یکی از دلایل اصلی این تغییرات، استفاده از چاه‌ها برای مصارف کشاورزی و صنعتی در منطقه است. شکل ۲ نتایج متغیرهای Ca، Na، Mg، Cl، SO₄، HCO₃، CO₃ و pH را طی دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. مقدار سدیم در آذر ۱۳۹۴ کمترین مقدار و در آبان ۱۳۹۳؛ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. به طور کلی، بیشترین مقدار این متغیر در فصل پاییز ثبت شده است. کاتیون منیزیم نیز در مهرماه ۱۳۹۲ کمترین مقدار و در آبان ۱۳۹۳ بیشترین

مقدار را به خود اختصاص داده است؛ کمترین مقدار اسیدیته در پاییز ۱۳۹۲ و بیشترین آن در خرداد ۱۳۹۶ بوده است. یون بی‌کربنات نیز کمترین مقدار آن در ۱۳۹۰ و بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده در تیرماه ۱۳۹۶ است. آنیون کلر در دی‌ماه ۱۳۹۵ کمترین مقدار و در آذرماه ۱۳۹۳ بیشترین مقدار را دارد. آنیون سولفات در تیرماه ۱۳۹۵ کمترین مقدار اندازه‌گیری شده و در اردیبهشت ۱۳۹۶ نیز بیشترین مقدار را داشته است. به طور کلی، متغیرهای کیفی اندازه‌گیری شده بیشترین تغییرات را در فصل پاییز و اواخر بهار داشته‌اند. برداشت‌های مکرر و استفاده برای مصارف گوناگون در منطقه می‌تواند دلیلی برای تغییرات کیفی متغیرها باشد.



شکل ۲. نمودار تغییرات زمانی پارامترهای کیفی

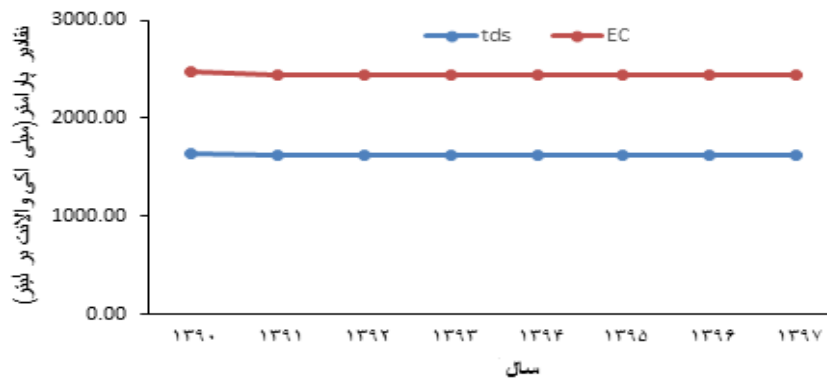
ملایمی هستند. مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی با استفاده از روش کریجینگ، پارامتر منیزیوم و مدل کروی است. این مدل دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین و بنابراین، مناسب‌ترین مدل برای برازش انتخاب شده است.

تجزیه و تحلیل مکانی پارامترها در منابع آب چاه نیمه عمیق

با آنالیز پارامترهای کیفیت چاه نیمه عمیق با روش کریجینگ مشخص شد که از کاتیون‌ها سدیم و از آنیون‌ها کلر بیشترین مقدار ضریب تبیین را به خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج جدول ۸ مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی با استفاده از روش کریجینگ، کاتیون منیزیوم و مدل نمایی است. این مدل بیشترین مقدار ضریب تبیین دارد، بنابراین مناسب‌ترین مدل برای برازش انتخاب شده است.

نتایج نشان داد کمترین مقدار EC و TDS در تیر ۱۳۹۱ برای چشمه بوده و بیشترین مقدار آن در خرداد ۱۳۹۴ برای چاه عمیق است (شکل ۳). به طور کلی، با مشاهده وضعیت متغیرها می‌توان گفت که طی دوره آماری موجود مقدار دو متغیر تغییر چندانی نداشته و تقریباً به صورت یک حد ثابت است.

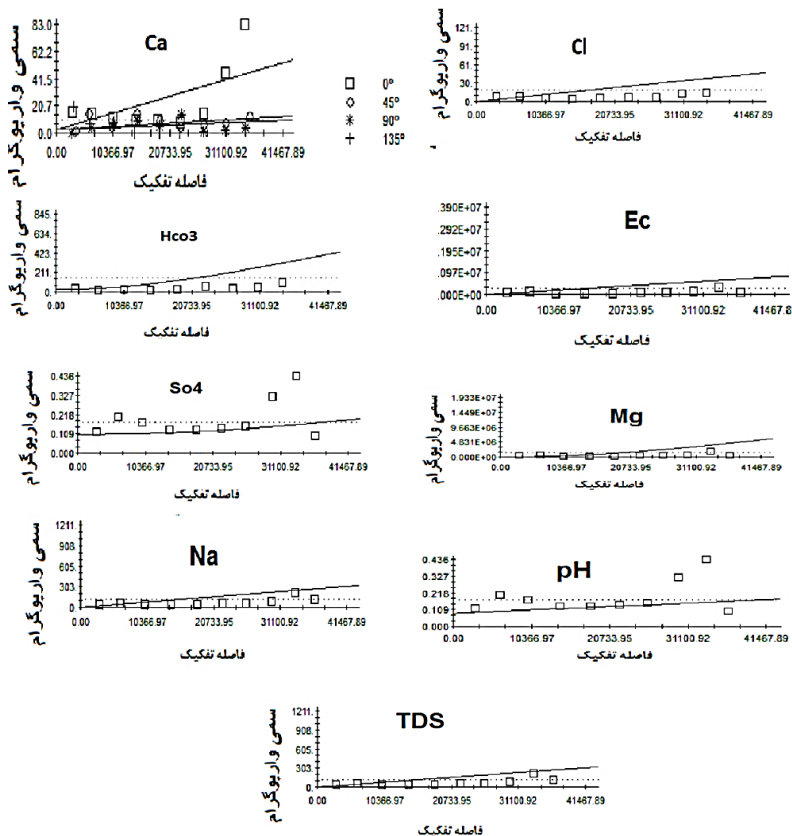
تجزیه و تحلیل مکانی پارامترها در منابع آب چاه عمیق بر اساس نتایج آنالیز متغیرهای کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت دامغان با روش کریجینگ مشخص شد که از میان پارامترهای بررسی شده کاتیون کلسیم، دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین مقدار خطای استاندارد است (جدول ۵). نتایج نمودارهای صحت‌سنجی نشان داد متغیرهای Ca، pH و SO_4^{2-} دارای پراکنش نقاط بالاتر از خط میانگین یا رگرسیونی است ولی سایر متغیرها دارای شیب صعودی



شکل ۳. نمودار تغییرات زمانی پارامترهای کیفی EC و TDS

جدول ۵. نتایج اعتبارسنجی درون‌یابی با روش کریجینگ برای داده‌های کیفی منابع آب چاه عمیق

| پارامترهای کیفی | ضریب رگرسیون | خطای استاندارد | ضریب تبیین | خطای استاندارد تخمین |
|------------------|--------------|----------------|------------|----------------------|
| Na | ۰/۹۹۸ | ۰/۳۴۲ | ۰/۱۳۸ | ۱۰/۱۲ |
| Mg | ۰/۷۶۶ | ۰/۳۴۳ | ۰/۰۸۶ | ۷/۸۴ |
| Ca | ۱/۰۸۲ | ۰/۲۰۳ | ۰/۳۳۲ | ۱۱/۸۵ |
| So ₄ | ۰/۹۸۹ | ۰/۲۴۵ | ۰/۲۳۵ | ۷/۳۲ |
| Cl | ۱/۰۶۴ | ۰/۳۷۵ | ۰/۱۳۲ | ۱۱/۶۱ |
| HCO ₃ | ۰/۵۳۳ | ۰/۲۹ | ۰/۰۶ | ۳/۰۱ |
| pH | ۰/۵۲۲ | ۰/۲۸۲ | ۰/۱۱ | ۰/۳۹۴ |
| TDS | ۱/۰۵۶ | ۰/۲۵۲ | ۰/۲۴۹ | ۱۰۰۴/۵۹ |
| EC | ۱/۰۴۹ | ۰/۲۵۳ | ۰/۲۴۵ | ۱۵۱۵/۶۴ |



شکل ۴. نمودار واریوگرم پارامترهای کیفیت منابع آب چاه عمیق

جدول ۶. پارامترهای انواع مدل‌ها برای داده‌های کیفیت منابع آب چاه عمیق

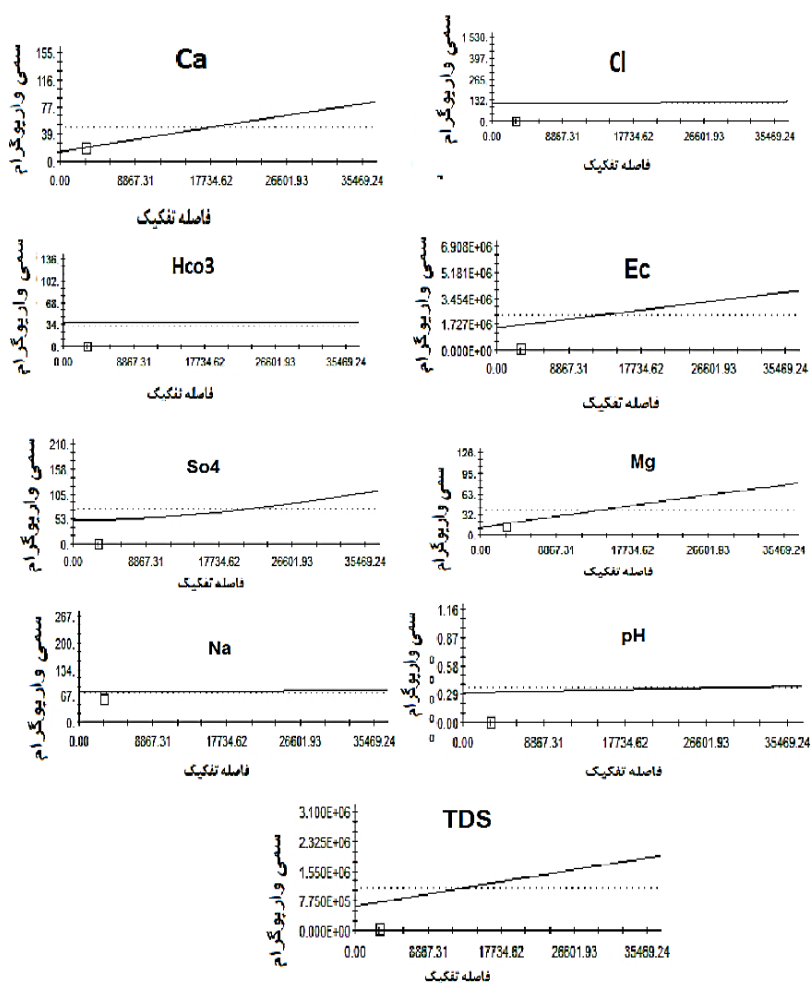
| پارامتر کیفی | نوع مدل | مدل واریوگرم | کلاس وابستگی | R ² | RSS |
|------------------|-----------|--------------|--------------|----------------|--------|
| Na | همسان‌گرد | کروی | قوی | ۰/۳۱۷ | ۵/۶ |
| Mg | همسان‌گرد | کروی | متوسط | ۰/۹۳۴ | ۸/۲ |
| Ca | همسان‌گرد | کروی | متوسط | ۰/۰۰۵ | ۷/۱ |
| So4 | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۰۸۱ | ۴/۴۵ |
| Cl | همسان‌گرد | کروی | قوی | ۰/۹۳۴ | ۹/۶۸ |
| HCO ₃ | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۰۸۱ | ۷/۵ |
| pH | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۱۵۳ | ۴/۱ |
| TDS | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۱۶۸ | ۰/۱۸۷۴ |
| EC | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۰۰۲ | ۰/۶۵ |

جدول ۷. نتایج اعتبارسنجی درون‌یابی با روش کریجینگ برای داده‌های کیفیت منابع آب چاه نیمه‌عمیق

| پارامترهای کیفی | ضریب رگرسیون | خطای استاندارد | ضریب تعیین | خطای استاندارد تخمین |
|------------------|--------------|----------------|------------|----------------------|
| Na | -۳/۱۸۸ | ۱/۰۳۳ | ۰/۶۶۹ | ۴/۹۵ |
| Mg | ۰/۶۷۷ | ۱/۱۶۸ | ۰/۱۴۶ | ۵/۹۷ |
| Ca | ۱/۷۲ | ۰/۶۵۳ | ۰/۶۱۷ | ۵/۷۶ |
| So ₄ | ۱/۲۸۷ | ۱/۰۸۱ | ۰/۱۶۸ | ۷/۸۳ |
| Cl | -۴/۵۳ | ۰/۴۵۷ | ۰/۵۳۴ | ۲/۷۵ |
| HCO ₃ | -۱/۱۲۶ | ۱/۴۳ | ۰/۰۸۱ | ۵/۳۴۳ |
| pH | -۱/۴۹ | ۱/۳۳ | ۰/۱۵۳ | ۰/۵۵ |
| TDS | -۰/۱۳۷ | ۱/۳۳ | ۰/۰۰۲ | ۱۰۵۶/۸۹ |
| EC | -۰/۲۵۵ | ۱/۳۳ | ۰/۰۰۵ | ۱۵۳۱/۷۶ |

جدول ۸. پارامترهای انواع مدل اعمال شده برای داده‌های کیفی منابع آب چاه نیمه عمیق

| پارامتر کیفی | نوع مدل | مدل واریوگرام | کلاس وابستگی | R ² | RSS |
|------------------|-----------|---------------|--------------|----------------|------|
| Na | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۴۱۲ | ۴/۲ |
| Mg | همسان‌گرد | نمایی | متوسط | ۰/۶۷۴ | ۳/۶ |
| Ca | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۱۲۴ | ۸/۰۵ |
| So ₄ | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۰۸۶ | 2/35 |
| Cl | همسان‌گرد | گوسی | قوی | ۰/۶۷۱ | 8/۲۵ |
| HCO ₃ | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۲۱۴ | ۶/۸ |
| pH | همسان‌گرد | گوسی | قوی | ۰/۳۲۵ | 4/۱ |
| TDS | همسان‌گرد | نمایی | متوسط | ۰/۱۶۸ | ۴/۳۲ |
| EC | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۱۱۱ | ۵/۱ |



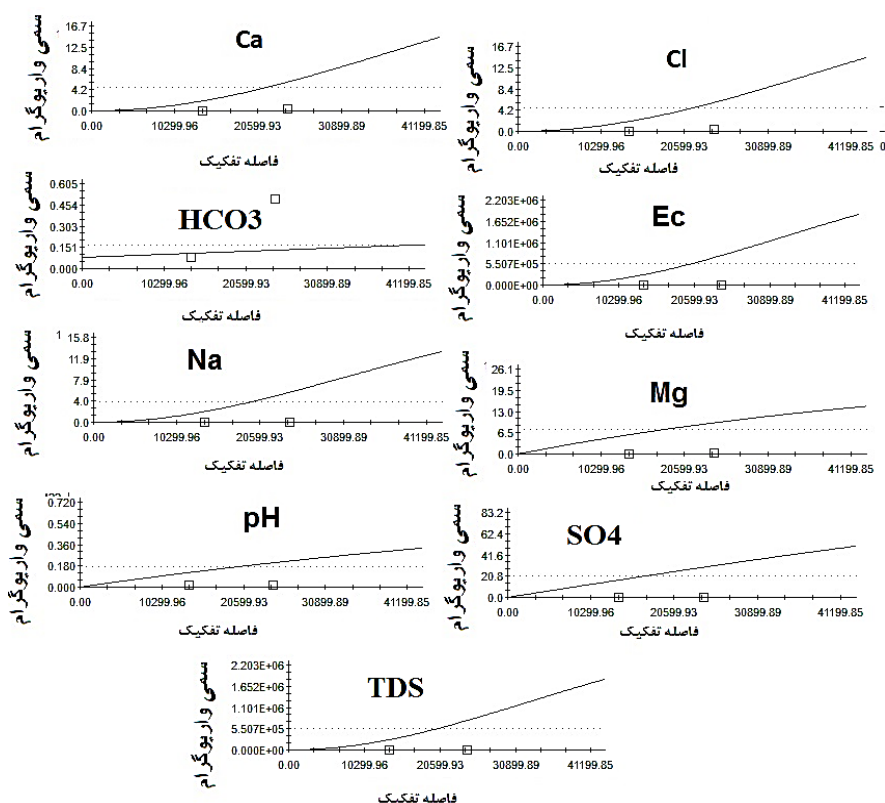
شکل ۵. نمودار واریوگرام پارامترهای کیفی منابع آب چاه نیمه عمیق

مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی با استفاده از روش کریجینگ، کاتیون منیزیم و مدل همسان‌گرد گوسی است. این مدل دارای بیشترین مقدار ضریب تعیین بوده و مناسب‌ترین مدل برای برازش انتخاب شده است.

تجزیه و تحلیل مکانی پارامترها در منابع آب چشمه بین پارامترهای مورد بررسی کاتیون منیزیم نسبت به سایر پارامترها دارای ضریب تبیین (R²) بیشتری است. همچنین، کمترین خطای استاندارد به آنیون بی‌کربنات اختصاص دارد (جدول ۹). بر اساس نتایج جدول ۱۰

جدول ۹. نتایج اعتبارسنجی درون‌یابی با روش کریجینگ برای داده‌های کیفی منابع آب چشمه

| پارامترهای کیفی | ضریب رگرسیون | خطای استاندارد | ضریب تعیین | خطای استاندارد تخمین |
|------------------|--------------|----------------|------------|----------------------|
| Na | -۴/۷۲ | ۱/۹۹ | ۰/۵۳ | ۱/۳۵ |
| Mg | -۵/۲۹ | ۱/۸۸ | ۰/۶۱ | ۱/۷۱ |
| Ca | -۵/۵۸ | ۲/۱۹۵ | ۰/۵۶۴ | ۱/۴۳ |
| So4 | -۴/۸۶ | ۲/۱۳ | ۰/۵۱۱ | ۳/۱۸ |
| Cl | -۴/۸۹ | ۲/۱۷ | ۰/۵۰۵ | ۱/۶۴ |
| HCO ₃ | -۳/۵۲ | ۰/۳۸۱ | ۰/۴۷ | ۱/۲۱ |
| pH | -۳/۴۳ | ۱/۴۹ | ۰/۵۱۴ | ۰/۲۹ |
| TDS | -۵/۱۹۹ | ۲/۱۳۳ | ۰/۵۴۳ | ۳۴۰/۶۴ |
| EC | -۵/۲۱ | ۲/۱ | ۰/۵۵۲ | ۵۰۵/۴۸ |



شکل ۶. نمودار واریوگرم پارامترهای کیفی منابع آب چشمه

جدول ۱۰. پارامترهای انواع مدل اعمال شده به مدل برای داده‌های کیفی منابع آب چشمه

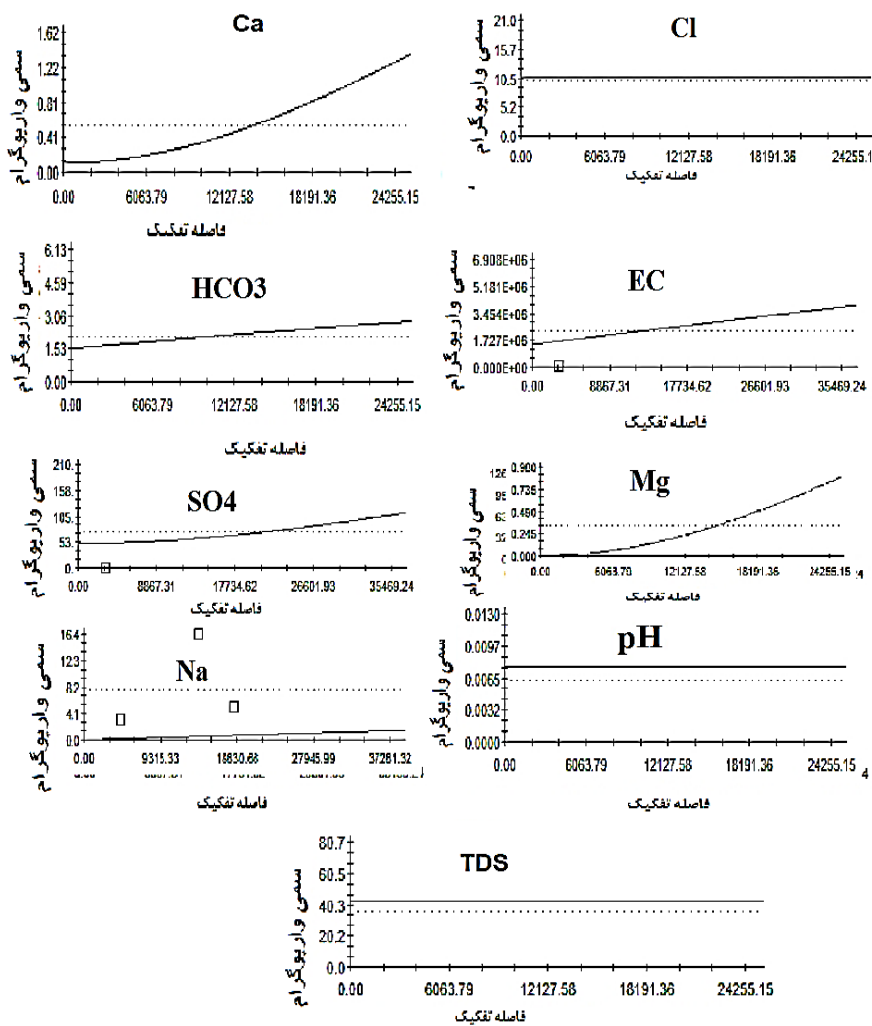
| پارامتر کیفی | نوع مدل | مدل واریوگرم | کلاس وابستگی | R ² | RSS |
|------------------|-----------|--------------|--------------|----------------|------|
| Na | همسان‌گرد | نمایی | متوسط | ۰/۶۲ | ۶/۷ |
| Mg | همسان‌گرد | گوسی | قوی | ۰/۷۴ | ۱۰/۳ |
| Ca | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۳۲۱ | ۵/۲ |
| So ₄ | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۰۰۱ | ۶/۲ |
| Cl | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۱۴۲ | ۵/۱ |
| HCO ₃ | همسان‌گرد | نمایی | متوسط | ۰/۰۳ | ۵/۷ |
| pH | همسان‌گرد | گوسی | قوی | ۰/۲۴۱ | ۲/۳ |
| TDS | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۱۸۲ | ۶/۰۱ |
| EC | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۲۲ | ۲/۵ |

درون‌یابی با روش کریجینگ مناسب‌ترین مدل پهنه‌بندی مربوط به متغیر اسیدیته با مدل نمایی است. این پارامتر دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد نسبت به سایر پارامترها است.

تجزیه و تحلیل مکانی پارامترها در منابع آب قنات طبق جدول ۱۱ پارامتر اسیدیته بیشترین ضریب تبیین را به خود اختصاص داد. همچنین بیشترین مقدار خطای استاندارد مربوط به پارامتر TDS است. بر اساس نتایج

جدول ۱۱. نتایج اعتبارسنجی درونیابی با روش کریجینگ برای داده‌های کیفی منابع آب قنات

| پارامترهای کیفی | ضریب رگرسیون | خطای استاندارد | ضریب تعیین | خطای استاندارد تخمین |
|------------------|--------------|----------------|------------|----------------------|
| Na | -۱/۶۵ | ۱/۸۹ | ۰/۲۷ | ۲/۳۶ |
| Mg | -۲/۰۱۸ | ۱/۶۱ | ۰/۴۴ | ۰/۴۳ |
| Ca | -۱/۸۵ | ۱/۲۷ | ۰/۵۱۵ | ۰/۵۱۸ |
| So ₄ | -۱/۲۱۴ | ۱/۳۴ | ۰/۳۲۴ | ۱/۵۱۷ |
| Cl | -۱/۵۳ | ۰/۹۴ | ۰/۵۷ | ۲/۰۷۹ |
| HCO ₃ | -۰/۰۴۹ | ۰/۷۸ | ۰/۷۷ | ۰/۶۸ |
| pH | -۹/۱۹۴ | ۱/۶۶ | ۰/۹۴ | ۰/۱۰۴ |
| TDS | -۱۲۸/۰۵ | ۳۷/۸۱ | ۰/۸۵ | ۱۷۷/۴۲ |
| EC | -۱/۵۲ | ۰/۶۵ | ۰/۲۱۸ | ۶/۰۲ |



شکل ۷. نمودار واریوگرام متغیرهای کیفی منابع آب قنات

جدول ۱۲. پارامترهای انواع مدل اعمال شده به مدل برای داده‌های کیفی منابع آب قنات

| پارامتر کیفی | نوع مدل | مدل وار یوگرام | کلاس وابستگی | R ² | RSS |
|------------------|-----------|----------------|--------------|----------------|-------|
| Na | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۵۲ | ۸/۱۲ |
| Mg | همسان‌گرد | گوسی | قوی | ۰/۲۲ | ۱۰/۲۵ |
| Ca | همسان‌گرد | نمایی | متوسط | ۰/۴۶ | ۹/۲ |
| So ₄ | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۱۲ | ۸ |
| Cl | همسان‌گرد | گوسی | قوی | ۰/۳۲ | ۷/۷ |
| HCO ₃ | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۱۴ | ۳/۴ |
| pH | همسان‌گرد | نمایی | قوی | ۰/۶۲ | ۱/۳ |
| TDS | همسان‌گرد | نمایی | متوسط | ۰/۱۵ | ۷/۳ |
| EC | همسان‌گرد | گوسی | متوسط | ۰/۳۱ | ۱/۸ |

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آمار توصیفی در چاه عمیق نشان داد بیشترین درصد تغییرات در چاه عمیق مربوط به متغیرهای منیزیم و سولفات و کمترین درصد تغییرات به pH اختصاص دارد. بیشترین درصد تغییرات در چاه نیمه‌عمیق مربوط به آنیون بی‌کربنات است که می‌تواند ناشی از تغییرات میزان کربنات در منابع آب زیرزمینی با وجود سنگ‌های کربناته باشد. همچنین، تغییرات کاتیون و آنیون منابع آب زیرزمینی نیز دلیل بر افزایش برداشت از این منابع است. در چشمه بیشترین درصد تغییرات مربوط به یون کلر و کمترین درصد تغییرات مربوط به TDS است. همچنین، بیشترین درصد تغییرات در قنات به کلر و کلسیم اختصاص دارد، در حالی که کمترین درصد تغییرات مربوط به TDS است. Goovaerts و همکاران (۱۹۹۷) در ارتباط با وار یوگرام پهنه‌بندی کاتیون کلسیم اذعان داشتند که مدل کروی با ضریب تعیین بالا مناسب‌ترین مدل پهنه‌بندی بوده است. همچنین، آن‌ها یکی از دلایل تغییرات کاتیون و آنیون را تبخیر و بهره‌برداری زیاد اشاره کردند [۱۴]. Pirzadeh و همکاران (۲۰۱۰) در تحلیل تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در دشت سیرجان با روش‌های زمین‌آماري بیان داشتند که مدل‌های کروی و نمایی دارای مقادیر خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌های استفاده شده بوده‌اند و مناسب‌ترین روش آنالیز و تعیین تغییرات کیفی منابع آب در مناطق دشتی است [۱۶]. نتایج آماری پهنه‌بندی نمونه‌های برداشت‌شده از چاه نیمه‌عمیق با استفاده از مدل کریجینگ بیانگر این مطلب بود که روابط قوی بین یون‌های Na، Cl در جهت معکوس وجود دارد و

قوی‌ترین رابطه مثبت برای کاتیون کلسیم است. نتایج آماری پهنه‌بندی نمونه‌های برداشت‌شده از چاه عمیق با استفاده از مدل کریجینگ نشان داد ضریب رگرسیونی مقادیر مثبت و بیشتر از ۱ را دارند. به بیانی رابطه مناسبی بین داده‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی انجام‌شده وجود دارد و نتایج پیش‌بینی دارای دقت مناسبی است. اما بر اساس همبستگی داخلی و ضریب تعیین قوی‌ترین رابطه برای یون Ca است. نتایج آماری پهنه‌بندی نمونه‌های برداشت‌شده از چاه نیمه‌عمیق با استفاده از مدل کریجینگ بیانگر روابط قوی بین یون‌های Cl و Na در جهت معکوس است. با تمرکز روی ضریب تعیین و بررسی روابط بین یونی قوی‌ترین همبستگی نیز بین Na، Cl قرار دارد. به طور کلی، رابطه مناسبی بین داده‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی انجام شده و نتایج دارای دقت مناسبی است. نتایج آماری نمونه برداشت‌شده از چشمه با استفاده از مدل کریجینگ به طور کلی رابطه مناسبی بین داده‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی انجام شده و نتایج پیش‌بینی دارای دقت مناسبی است. مقادیر یون Ca در جهت مثبت و یون Na در جهت معکوس با بیشترین مقدار R² قرار گرفته‌اند. محققان با درون‌یابی تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی دشت رفسنجان با روش‌های عکس فاصله وزنی و کریجینگ نشان دادند مدل کریجینگ کارایی بیشتری دارد [۱۷].

محققان یکی از دلایل تغییرات کاتیون و آنیون را تبخیر و بهره‌برداری زیاد اشاره کردند. در این ارتباط AnTran و همکاران (۲۰۲۱) برای ارزیابی جامع از کیفیت آب‌های زیرزمینی در دلتای مکنونگ (ویتنام) و خطرات بالقوه آن‌ها برای سلامت انسان، ۲۸۲ نمونه آب زیرزمینی را

- [4] Sharifikia M, Afzali AA, Shayan S. Extraction and evaluation of the effects of geomorphological phenomena due to subsidence in Damghan plain. *Geomorphology Research*.2015; 4 (2): 60-74[Persian].
- [5] Soltani A, Soltani M. Soleimani K. Shu city groundwater quality assessment for drinking. *Echo Hydrology*.2018; 5(4): 1135-1146 [Persian].
- [6] Sadeghi M, Babaali HR. Spatial and Temporal Analysis of Groundwater and Surface Water Quality Parameters of Al-Shater Plain by ANOVA and Statistical Models. *New Findings in Applied Geology*.2020; 14(27): 72-84 [Persian].
- [7] Farabi M. Evaluation of Factors Affecting Chemical Quality and Nitrate Pollution of Groundwater Resources, Case Study: Zidon Plain Aquifer. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*.2020; 10 (40): 191-209. [Persian]
- [8] Eskandari Dameneh H, Khosravi H, Abolhasani Zarjoo A. Assessing the Effect of Land Use Changes on Groundwater Quality of Zarand Plain using Satellite Images and Geostatistical. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2019; 8(20):68-82. [Persian]
- [9] Ruybal CJ, Hogue TS, McCray JE. Evaluation of Groundwater Levels in the Arapahoe Aquifer Using Spatiotemporal Regression Kriging. *Water Resources Research*. 2019; 55(4):2820-2837.
- [10] Bhadra T, Hazra S, Sinha Ray SP, Barman BCH. Assessing the groundwater quality of the coastal aquifers of a vulnerable delta: A case study of the Sundarban Biosphere Reserve, India. *Groundwater for sustainable development*. 2020;11: 1-34.
- [11] Bodrud-Doza MD, Bhuiyan M, Bhuiyan M, IslamDidar Y, Authors M, Safiur Rahman M, et al. Delineation of trace metals contamination in groundwater using geostatistical techniques: A study on Dhaka City of Bangladesh. *Groundwater for Sustain Develop*.2019; 9: 1-42.
- [12] Mohammadi S, Salajeghe A. Investigation of spatial and temporal changes in groundwater quality with the help of the best geostatistical estimator (Case study: Kerman plain). *Water Management Science and Engine*. 2017; 11 (39):60-49 [Persian].
- [13] Saberi A, Soltani gerd faramarzi S, Miryaghoobzadeh MH. Drought assessment using meteorological indicators and remote sensing (Case study: West Azerbaijan province). *Journal of the Earth and Space Physics*: 2018;44(2):439-461 [Persian].
- طی سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ مورد آزمایش قرار دادند. بررسی پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم (SAR)، باقی‌مانده بی‌کربنات سدیم (RSBC)، درصد سدیم محلول (SSP)، شاخص نفوذپذیری (PI) و خطر منیزیم (MH)، نشان داد نمونه‌ها به ترتیب دارای $EC < 2250 \mu S/cm$ ، $SAR < 26$ ، $RSBC < 1.25$ ، $SSP < 60\%$ ، $PI > 75\%$ و $MH < 50\%$ هستند، که از لحاظ محتوی یونی مناسب است [۱۸]. با توجه به نتایج به دست آمده روش‌های زمین‌آمار استفاده شده در این پژوهش کارایی مناسبی برای تعیین وضعیت کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت دامغان دارند و بر اساس نتایج به دست آمده یکی عامل مهم در تعیین کیفیت در دشت دامغان وجود لایه‌های مختلف آهک و سازندهای دوره چهارم زمین‌شناسی است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده میزان غلظت عناصری همچون جیوه، آرسنیک، کادمیوم و یون نیترات در آب‌های زیرزمینی به صورت دوره‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد تا از لحاظ کیفی اطلاعات دقیق و مدون از آب‌های زیرزمینی در دسترس باشد. همچنین، شناخت و پیدا کردن چاه‌های غیرمجاز حفر شده در محدوده دشت دامغان و جلوگیری از برداشت بی‌رویه امری لازم به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود به دلیل اهمیت پارامترهای عمق تا سطح ایستابی، ضریب انتقال، جنس محیط اشباع و غیر اشباع و برای تعیین دقیق آن‌ها در منطقه مورد مطالعه چاه‌های بیشتری حفاری شود.

منابع

- [1] Hejazi SA, Akbari B. The importance of water resources management in Iran with emphasis on groundwater. 7th National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. Tehran, Center for Strategies for Achieving Sustainable Development-Mehr Arvand Higher Education Institute. 2017. [Persian]
- [2] Foster SSD, Chilton PJ. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philos Trans R Soc London B*. 2003; 358:1957-1972.
- [3] DaanobaSunkari E, Seidu J, Ewusi A. Hydrogeochemical evolution and assessment of groundwater quality in the Togo and Dahomeyan aquifers, Greater Accra Region, Ghana. *Environmental Research*, 2022; 208: 112679.

- [14] Goovaerts P. Geostatistics of natural resources evaluation. Oxford University Press, New York;1997.
- [15] Webster R, Oliver MA. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. UK; 2001.
- [16] Pirzadeh B, Asoor T. Analysis of spatial and temporal changes of groundwater quality parameters using geostatistical methods and GIS (Case study: Sirjan plain). Journal of Irrigation and Water Engineering. 2010; 11 (42):266-275. [Persian]
- [17] Taghizadeh mehrgerdi RA, Zareian jahromi M, Mahmood SH, Heidari A, Sarmadian F. Investigation of spatial interpolation methods to determine spatial variations in groundwater quality characteristics of Rafsanjan plain. Iranian. Journal of Watershed Management Science. Engineering.2008; 2 (5): 63-70 [Persian].
- [18] AnTran D, Tsujimura M, HuuLoc H, HuyDang D, Vo PL, Thu Ha D, et al. Groundwater quality evaluation and health risk assessment in coastal lowland areas of the Mekong Delta, Vietnam. Groundwater for Sustainable Development, 2021;15:100679.