بررسی و ارزیابی تغییرات مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی جنوب دشت قروه و دهگلان با استفاده از روش‌های زمین آمار

مریم صفوی گردینی[۱]، ام‌البنی محمدرضاپور[۲]*، عرفان بهرامی[۳]، مرتضی محمدی صدیق[۴]، میثم سالاری جزی[۵]

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی سبب افت سطح ایستابی و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است. بنابراین بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی جهت مدیریت بهره‌برداری منابع آب و تعیین الگوهای کشت بهینه و اقتصادی ضروری است. روش‌های زمین‌آمار از ابزارهای مناسب و پرکاربرد برای پایش متغیرهای کیفی هستند. در این راستا تغییرات مکانی متغیرهای کیفی Na^{+}، TH، EC، SAR، Cl^{-}، SO_4^{2-}، Mg^{2+}، PH، TDS و K^{+} مربوط به ۷۰ حلقه چاه آبخوان جنوب دشت قروه و دهگلان واقع در استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت. دوره آماری داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مربوط به سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۶۳ می‌باشد. پس از تجزیه و تحلیل تغییرنما در نرم‌افزار GS^{+}، درون‌یابی داده‌ها با استفاده از سه روش کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و وزن‌دهی عکس فاصله با توان‌های ۱، ۲ و ۳ انجام شد. نتایج نشان داد که نیم‌تغییرنمای همه جهته برای کلیه متغیرها تقریبا همسان‌گرد می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده در تخمین اکثر متغیرهای کیفی خطای کمتری داشته‌اند. مقادیر آماره میانگین خطا (ME) در روش‌های کریجینگ نزدیک به صفر بوده که نشان‌دهنده وجود حداقل اریب در تخمین‌ها است. همچنین طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر شولر و ویل کاکس انجام شد که نتایج نشان داد، اکثر چاه‌ها در محدوده‌ی خوب و تعداد کمی در محدوده‌ی متوسط و بد قرار گرفتند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد کیفیت آب زیرزمینی در قسمت‌های غربی، جنوب و جنوب‌شرقی بهتر از سایر بخش‌ها بوده است. بنابراین جهت بهبود وضعیت کیفی آبخوان در مناطق با کیفیت آب نامطلوب لازم است مدیریت کاهش مصرف و تغییر الگوی کشت اعمال گردد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، پهنه‌بندی کیفیت، زمین‌آمار، قروه و دهگلان.

[۱] دانش آموخته مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. کرمان، ایران. ۰۹۱۴۲۴۲۲۳۹۷، maryam70safavi@gmail.com
[۲] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. زابل، ایران. 09113806033،nmohammadrezapour@yahoo.com
[۳] دانش آموخته مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. سنندج ، ایران. ۰۹۱۸۵۲۲۴۵۸۵، erfanbahrami9366@gmail.com
[۴] دانش آموخته مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. مشهد، ایران. ۰۹۳۸۱۵۴۸۲۸۶، smohamadi54@gmail.com
[۵] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گرگان، ایران. ۰۹۳۵۵۷۱۵۲۶۶، meysam.salarijazi@gmail.com

مقدمه

آب نقش مهم و حیاتی در زندگی بشری دارد و کمبود شدید آب بر همه جنبه‌های زندگی انسان تأثیر مستقیم می-گذارد. به دلیل ثابت و محدود بودن منابع آب از یک سو و افزایش جمعیّت جهان از سوی دیگر، سرانه‌ی آب برای هر فرد از ۴۰ هزار متر مکعب در سال ۱۸۰۰ میلادی به ۶۸۴۰ متر مکعب در حال حاضر کاهش یافته است که این رقم در سال ۲۰۲۵ میلادی به ۴۶۹۲ مترمکعب خواهد رسید (Etta et al, 2012). ویژگی‌های جغرافیایی ایران، میزان بارندگی و پراکندگی آن و کشورهای همسایه عمدتاً کم آب، بیانگر این مطلب است که مسئله بحران آب یکی از مهم‌ترین تهدیدهای بالقوه این سرزمین است و نیاز به اهتمام جدی از طرف پژوهشگران و صاحب‌نظران کشورمان را می‌طلبد. همان‌طور که اغلب در آمارهای رسمی و غیررسمی اعلام می‌گردد، متوسط بارندگی سالیانه در ایران ۲۸۹ میلی‌متر (حدود یک چهارم متوسط باران سالیانه کره‌زمین) است. حجم متوسط باران سالیانه در ایران حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب (یک هزارم میزان حجم باران سالیانه در دنیا) است که از این میزان حدود ۶۸ درصد آن تبخیر می‌شود. میزان آب قابل استحصال از جریانات سطحی کشور ۸۵ میلیارد متر مکعب و حجم منابع آب‌های زیرزمینی ۳۵ میلیارد مترمکعب برآورد گردیده است. بر این اساس، با توجه به تقسیم‌بندی سازمان ملل متحد، ایران نه تنها شرایط تنش ناشی از کمبود آب را تجربه کرده، بلکه وارد شرایط کم آبی شدید شده است (تجریشی و همکاران، ۱۳۸۳). و این امر مدیریت قابل قبول و کارامد بر این منابع را ایجاب می‌کند. پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی بر گستره منطقه مطالعاتی اولین قدم در برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد و زمین‌آمار[۱] ابزاری برای پایش متغیرهای کیفی می‌باشد. امروزه روش‌های زمین-آماری علی‌رغم پیچیدگی‌های آن‌ها به‌دلیل کاربرد نرم‌افزار-های کامپیوتری قوی نظیر ArcGIS و GS^+ در شاخه‌های مختلف علوم، کاربرد فراوانی دارند و متغیرهای محیطی را با روش‌های گوناگونی پهنه‌بندی می‌کنند که از آن جمله می-توان روش‌هایی چون انواع کریجینگ،[۲] کوکریجینگ،[۳] وزن-دهی عکس فاصله[۴]و منحنی پوش[۵]را نام برد. در تحقیقی که به بررسی تغییرات مکانی، زمانی و کیفیت آب زیرزمینی در دو حوضه آبخوان ساوه و اراک پرداخته شد، مشخص شد که کیفیت آب زیرزمینی در فصول تر نسبت به فصول خشک و در چاه‌های با عمق کمتر نامطلوبتر است (قلعه‌نی و همکاران، ۱۳۸۹). مقایسه روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ با روش میانگین حسابی در حوضه میان آب خوزستان بررسی شد. که روش کوکریجینگ در محاسبه سطح آب زیر زمینی بهتر از کریجینگ عمل کرده است. به طور متوسط روش‌های میانگین حسابی دقت پایینی را در برآورد سطح آب زیر زمینی داشته است (Salarijazi et al, 2011). تغییرات مکانی متغیرهای شیمیایی کیفیت آب زیرزمینی شامل کلر، قابلیت هدایت الکتریکی، منیزیم و نیترات در دهلی هند بررسی شد و این نتیجه بدست آمد که نیم‌تغییرنمای همه متغیرها از مدل کروی تبعیت می‌نماید (Dash et al, 2010). در تحقیقی تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی- زمانی شوری و عمق آب زیرزمینی در استان مازندران انجام شد. نتایج نشان داد که ساختار مکانی شوری از مدل نمایی و عمق آب به‌طور عمده از مدل کروی تبعیت می‌کند. نقشه پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی نشان داد که مقدار شوری در هر دو سال به‌طور مشابه از غرب به شرق استان افزایش نشان می‌دهد (دلبری و همکاران، ۱۳۸۹). در مطالعه دیگری ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی به منظور پهنه بندی کیفیت آب شهرستان آباده با استفاده از GIS، صورت گرفت و نتایج نشان دادند که از میان روش های میانیابی کریجینگ، IDW و SPLINE، روش کریجینگ با نیم‌تغییرنمای نمایی و دایرهای برای میان‌یابی و پهنه‌بندی کیفیت آب شرب مناسب‌ترین روش می‌باشد (مقامی و همکاران،۱۳۹۰). در مطالعه‌ای کیفیت آب استان بوشهر با دو پارامتر TDS و TH، جهت شرب سنجیده شد. در این مطالعه پهنه‌بندی کیفیت با روش کوکریجینگ و معکوس

۱Geostatistics

۲Kriging
۳Co-Kriging
۴Inverse Distance Weighting (IDW)
۵Spline

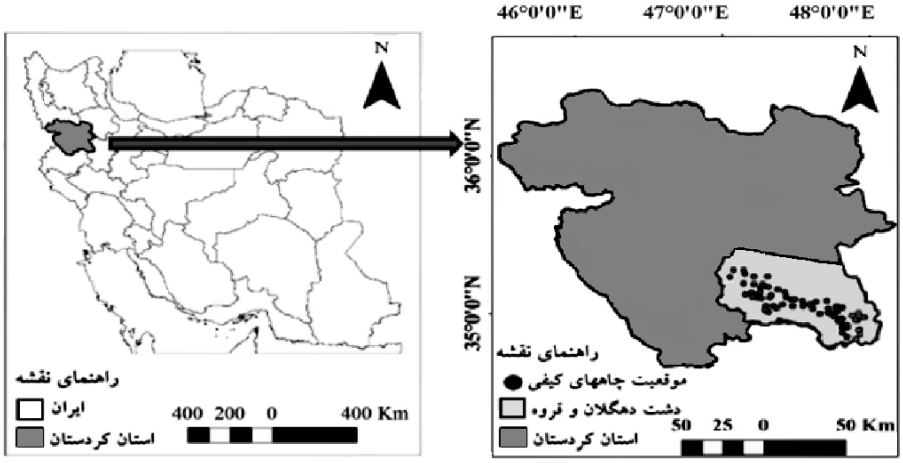
فاصله با استفاده از داده‌های ۲۰۵ چاه و در محیط نرم افزاری ArcGIS انجام شد؛ و نقشه‌های دو پارامتر یاد شده تهیه و بر اساس طبقه‌بندی شولر بررسی شد که آب شرب استان بوشهر در محدوده نامناسب قرار گرفت (صفوی و اسلامی، ۱۳۹۳). بررسی تغییرات مکانی تعدادی از متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی شامل SAR, EC و Na با استفاده از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و عکس فاصله با سه توان مختلف (۱، ۲ و ۳) در استان گیلان صورت گرفت. نتایج نشان داد که در مجموع روش کریجینگ با مدل کروی و روش معکوس فاصله با توان یک دقت بیش‌تری در میان‌یابی پارامترهای کیفی مورد مطالعه دارد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸). به نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نی‌ریز با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مانند کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده[1] و روش‌های معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی[2]بدست امد. نتایج حاکی از ان است که روش کریجینگ ساده جهت تهیه نقشه‌های شوری و نقشه تغییرات نیترات نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد (شعبانی، ۱۳۸۹). در تحقیقی برای بررسی وضعیت رودخانه باباامان برای مصرف کشاورزی از نمودار ویل کاکس بهره گرفته شد و این نتیجه بدست امد که کیفیت آب این رودخانه درمحدوده S_3-C_1 قرار دارد که نشان دهنده کیفیت مناسب این رودخانه برای مصارف کشاورزی می باشد (صهبائی لطفی، ۱۳۹۲). پهنه‌بندی متغیرهای شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا با استفاده از اطلاعات مربوط به ۸۰ حلقه چاه با به کارگیری روش‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس فاصله انجام شد. روش کریجینگ معمولی دقیق‌ترین و مناسب‌ترین روش برآورد معرفی و با استفاده از نتایج آن، پهنه‌بندی انجام شد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد آب‌های زیرزمینی نیمه جنوبی منطقه نسبت به نیمه شمالی از کیفیت نامطلوبتری برخوردار بوده است (زاهدی فر و همکاران ۱۳۹۲). توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی برای پیش‌بینی توزیع مکانی تعدادی از متغیرهای آب زیرزمینی شامل اسیدیته، شوری، سختی کل، نیترات و نیتریت در حوضه رودخانه هوایهی[3]مورد بررسی قرار گرفت. نتایج برتری روش کریجینگ معمولی برای درون‌یابی مکانی کیفیت آب زیرزمینی را نشان داد و در نهایت نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در حوضه با استفاده از همین روش ترسیم شد (Jiang et al, 2013). کیفیت آب زیرزمینی سفره‌های کم‌عمق آب در غرب دلتای نیل با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از غلظت بیش از حد مجاز نیترات بود، ضمن این‌که ۷۵٪ از آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دچار شوری و ۸۳٪ در خطر شوری بود (Alaa, 2014). در بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی که با استفاده از GIS و زمین‌آمار آبخوان دشت بابک انجام گردید. نتایج همبستگی و روند نزولی بودن آن‌ها را در طول دوره مورد بررسی نشان داد(جهان‌شاهی و همکاران، ۱۳۹۳). در تحقیقی در حوضه آل آلاولی واقع در عربستان به کیفیت آب‌های زیرزمینی و خواص هیدروشیمی پرداخته شد. نتایج نشان داد که آب‌های زیر زمینی منطقه مورد مطالعه به طور کلی سخت و کمی قلیایی در طبیعت هستند و کیفیت آب منطقه عمدتا توسط هوازدگی سنگ‌ها، تبخیر و واکنش‌های یونی کنترل می شود (Toumi et al, 2015). در استان کردستان بسیاری از مصارف شرب، کشاورزی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردد. بنابراین حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های این استان ضروری به نظر می‌رسد. تحقیق حاضر با هدف مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آماری جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی جنوب دشت دهگلان و قروه انجام شد. دو هدف اصلی این تحقیق شامل ۱- ارزیابی پارامترهای کیفی با بعضی روش‌های زمین آماری معین و مقایسه این روش‌ها باهم، ۲- بررسی روند تغییرات مکانی پارامترها در دشت می‌باشد. با این امید که این مطالعه نقطه شروعی جهت حل مسائل و تنگناهای موجود مدیریتی در این زمینه بوده و به مدیریت کارامد این منابع پر ارزش منجر شود که به نظر می‌رسد تاکنون در قسمت جنوبی دشت انجام نشده است.

۱Simple Kriging (SK)
۲Radial Basis Functions (RBF)
۳Huaihe

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت قروه و دهگلان که در شرق استان کردستان واقع است، از حاصلخیزترین مناطق کشور جهت کشت انواع محصولات کشاورزی می‌باشد (باقری سرنجیانه، ۱۳۸۳). جنوب این دشت دارای اقلیم خشک و سرد (روش دومارتن) و متوسط بارندگی ۳۶۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. ۳۰ درصد از منطقه مطالعاتی کوهستانی و شیب‌دار و ۷۰ درصد نیز دشت و دارای شیب کم‌تر از ۸ درصد است (دلبری و همکاران ۱۳۸۹). موقعیت جغرافیایی دشت و نقاط چاه‌های کیفیت آب زیرزمینی در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه چاه‌های در قسمت جنوبی دشت متمرکز شده اند مقایسه برای محدوده‌ای که چاه‌ها نمایش داده شده انجام شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان کردستان در ایران و موقعیت نقاط چاه‌ها در دشت دهگلان و قروه

در این تحقیق از اطلاعات مربوط به متغیرهای کیفی ۷۰ حلقه چاه مربوط به سال‌های ۹۱-۱۳۶۳ واقع در جنوب دشت دهگلان و قروه استان کردستان استفاده شده است. که پس از نرمال سازی داده‌ها، درونیابی پارامترها به سه روش زمین آماری (کریجینگ معمولی، و کوکریجینگ و IDW) استفاده انجام شده و سپس بر اساس بهترین روش میانیابی و با به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی اقدام به تهیه نقشه بعضی پارامترها و نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای کیفی مورد استفاده عبارتند از (Cl^-, SAR, EC, TH, Na^+, TDS, PH, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, و K^+) صورت گرفت. محاسبات و تجزیه و تحلیل‌های مربوط به این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، GS+، Arc GIS و Spss انجام شد.

بررسی ساختار مکانی داده ها:

تخمین‌گرهای زمین آماری مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و واریوگرام برآورد می‌کنند. واریوگرام مدل ریاضی است که به منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر به‌کار می‌رود. به این منظور مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h رسم گردید. معادله ۱ فرم محاسباتی از یک واریوگرام را نشان می‌دهد (شیخ گودرزی و همکاران ۱۳۹۱، معروفی و همکاران ۱۳۸۸):

$$Y(h) = \frac{1}{2n_{(h)}} + \sum_{i=1}^{n(h)} (z(xi) - z(x_{i+h})^2) \quad (۱)$$

که در آن $\gamma(h)$، مقدار نیم تغییر نما برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، n تعداد نقاط اندازه گیری و $Z(x_{i+h})$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد و $Z(x_i)$ پارامتر اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x_i می‌باشد. اگر نقاط در شبکه‌های منظم با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیم تغییر نما براساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می‌گردد. در حالت دیگر که پراکندگی نقاط فاقد نظم می‌باشد (مانند چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها)، معادلات تعدیل یافته و میانگین موزون نقاط برآورد می‌شود (عساکره ۱۳۸۷). واریوگرام‌ها از سه پارامتر اثر قطعه‌ای، شعاع تأثیر و حد آستانه تشکیل شده‌اند. مقدار نیم تغییر نما به ازای $h=0$ (در مبدا مختصات) را اثر قطعه‌ای می‌گویند که معمولا ناشی از خطای نمونه برداری و یا آنالیز داده‌ها است.
با افزایش h، مقدار نیم تغییرنما تا فاصله معینی اضافه شده سپس به حد ثابتی می رسد که این فاصله را شعاع تأثیر و مقدار نیم تغییرنما را که ثابت شده آستانه می‌گویند که همان واریانس مکانی متغیر مورد بررسی است (حسنی پاک ۱۳۷۷).

روش‌های میان‌یابی

کریجینگ معمولی

کریجینگ به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزن آماری را نسبت می‌دهد به گونه‌ای که ترکیب خطی (میانگین وزن‌دار) آن‌ها ناریب شود و در بین سایر تخمین‌گرهای خطی واریانس آن حداقل باشد. این تخمین‌گر به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\hat{Z}_{OK}(u) = \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i^{OK} . Z(u_i) \qquad (۱)$$

که در آن: $\hat{Z}(u)$ مقدار تخمین زده شده در موقعیت u، λ_i وزن نسبت داده شده به متغیر در نقطه u_i؛ $Z(u_i)$، مقدار متغیر مکانی مورد نظر در نمونه iام و $n(u)$ تعداد نقاط همسایگی است.
این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی نیز می‌نامند. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در صورتی‌که متغیر مورد نظر توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا می‌توان با تبدیل مناسب، داده‌ها را به توزیع نرمال تبدیل کرد و آن‌گاه روی داده‌های تبدیل یافته، کریجینگ خطی را انجام داد (Hutchinson, 1993).

کریجینگ ساده (SK)

در این روش علاوه بر فرض‌های مورد نیاز OK یعنی مستقل بودن میانگین از مختصات و عدم وجود روند در داده‌ها، فرض معلوم بودن مقدار میانگین متغیر m(u) نیز باید برقرار باشد. در SK مقدار متغیر در نقطه مورد تخمین از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد (Goovaerts,1997):

$$Z_{SK}(u)= \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i(u)[z(u_i) - m((u_i)] \qquad (۴)$$

که در آن $Z_{SK}(u)$ مقدار برآورد شده‌ی متغیر Z در نقطه نامعلوم u، $Z(u_i)$ مقدار متغیر Z در نقطه معلوم u_i، λ_i مقدار وزن نسبت داده شده به متغیر Z در نقطه معلوم u_i و $n(u)$ تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

کوکریجینگ (COK)

این روش نوعی کریجینگ چند متغیره می‌باشد که در آن از اطلاعات کمکی (بر اساس همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی)، برای تخمین بهتر استفاده می‌گردد. تخمین‌گر کوکریجینگ به‌صورت رابطه ۵ تعریف می‌گردد (Jiang et al,2013):

$$Z_{COK}(u)= \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i^{COK} . z(u_i) + \sum_{i=1}^{M(u)} W_j^{COK} \qquad (۵)$$

که در رابطه بالا ، λ_i و w_j به‌ترتیب وزن‌های نسبت داده شده به مقادیر مشاهده‌ای متغیرهای اصلی و کمکی در نقاط u_i و u_j می‌باشند.

وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)

در روش وزن دهی عکس فاصله که روشی معین است، رابطه اصلی تخمین که همان رابطه کریجینگ معمولی (معادله ۲) است، با این تفاوت که در این روش وزن‌ها تنها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد

تخمین، تعیین می‌شوند (Dash et al, 2010). مقدار وزن λ_i در این روش از معادله ۶ به‌دست می آید:

$$\lambda_i = \frac{Di^{-a}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-a}} \quad (۶)$$

که در آن λ_i وزن ایستگاه i ام، D_i فاصله i مین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین، α توان وزن‌دهی فاصله و n تعداد نقاط مشاهده شده است. اغلب روش توانی برای عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول مقدار آن بین ۱ تا ۵ است، ولی اغلب از توان ۲ استفاده می‌شود (اخوان و همکاران ۱۳۹۰). در این تحقیق از روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۳ استفاده شده است.

طبقه‌بندی آب به روش ویل کاکس

مقدار سدیم و املاح موجود در آب مهمترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی می‌باشد (علیزادهٔ ۱۳۸۶). در این مطالعه کیفیت آب زیرزمینی از جنبه آبیاری محصولات کشاورزی با استفاده از نمودار ویل کاکس مورد بررسی قرار گرفت. در این نمودار دو شاخص هدایت الکتریکی EC و نسبت جذب سدیم SAR با توجه به میزان تأثیری که بر محصولات و خاک کشاورزی دارد، به چهار گروه تقسیم و ۸۱ کلاس کیفیت آب از تلفیق این کلاس‌ها حاصل شده است، که تناسب آب برای استفاده در آبیاری را تعیین می‌کند .جداول ۱ و ۲ که در ادامه ارائه شده است مبنای طبقه‌بندی کیفیت آب به روش ویل کاکس است.

جدول۱- مبنای طبقه‌بندی کیفیت آب به روش ویل کاکس

هدایت الکتریکی			نسبت جذب سدیم		
کلاس	EC(dS/m)	امتیاز	کلاس	$SAR(mgr/lit)^{۰/۵}$	امتیاز
C_1	< ۰/۲۵	عالی	S_1	<۱۰	عالی
C_2	۰/۲۵ – ۰/۷۵	خوب	S_2	۱۰-۱۸	خوب
C_3	۰/۷۵ – ۲/۲۵	متوسط	S_3	۱۸-۲۶	متوسط
C_4	> ۲/۲۵	بد	S_4	>۲۶	بد

جدول ۲- کلاس‌های کیفیت آب به روش ویل کاکس

کلاس سدیم	میزان هدایت الکتریکی				
		C_1	C_2	C_3	C_4
	S_1	$C_1S_1^{*}$	$C_2S_1^{**}$	$C_3S_1^{***}$	C_4S_1
	S_2	$C_1S_2^{**}$	$C_2S_2^{**}$	$C_3S_2^{***}$	C_4S_2
	S_3	$C_1S_3^{***}$	$C_2S_3^{***}$	$C_3S_3^{***}$	C_4S_3
	S_4	C_1S_4	C_2S_4	C_3S_4	C_4S_4

***: آب‌های خیلی خوب **: آب‌های خوب ***: آب‌های متوسط و بقیه کلاس‌ها: آب‌های نامناسب**

پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب

مجموع مواد جامد محلول (TDS)[1]

مجموع مواد محلول در آب به جز رسوبات معلق، کلوئیدها و گازهای محلول شامل نمک‌های معدنی با غلظت کمی از عناصر شیمیایی نظیر کربنات، کلراید، سولفات، نیترات، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌باشد (صداقت ۱۳۸۷). هر چه میزان این مواد در آب بیش‌تر باشد میزان هدایت الکتریکی و شوری آن افزایش می‌یابد.

سختی کل (TH)

آب سخت، آبی است که حاوی نمک‌های معدنی از قبیل ترکیبات ، کلسیم، منیزیم و غیره است. سختی به طور عمده بر اساس دو فلز کلسیم و منیزیم سنجیده می‌شود. به طور کلی عوامل سختی کاتیون‌ها می‌باشند؛ مانند آلومینیوم، آهن، منگنز و روی که در سختی آب شرکت می‌کنند؛ ولی تأثیر کلسیم و منیزیم بسیار بالاتر است. بنابراین سختی کل (TH) مجموع مقدار کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg) می‌باشد.

بررسی کیفیت آب از لحاظ شرب

یکی از استانداردهای طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب، استاندارد شولر می‌باشد که این تقسیم‌بندی در جدول ۳ نشان داده است. جدول طبقه‌بندی شولر که بر اساس استانداردهای پیشنهادی آب آشامیدنی انسان طراحی شده است می‌تواند برای تعیین قابلیت شرب نمونه‌های آب بر اساس غلظت یون‌های عمده به کار رود.

۱Total Dissolved Solids

جدول (۳) معیارهای کیفیت آب

شرب طبق روش شولر

ردیف	کیفیت آب	TDS (mg/lit)	TH(mg/lit $CaCO_3$)	Na^+ (mg/lit)	Cl^- (mg/lit)	SO_4^{-2} (mg/lit)
۱	خوب	< ۵۰۰	< ۲۵۰	< ۱۱۵	< ۱۷۵	< ۱۴۵
۲	قابل قبول	۱۰۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۲۵۰	۲۳۰-۱۱۵	۳۵۰-۱۷۵	۲۸۰-۱۴۵
۳	نامناسب	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۴۶۰-۲۳۰	۷۰۰-۳۵۰	۵۸۰-۲۸۰
۴	بد	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۹۲۰-۴۶۰	۱۴۰۰-۷۰۰	۱۱۵۰-۵۸۰
۵	موقتاً قابل شرب	۸۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۱۸۴۰-۹۲۰	۲۸۰۰-۱۴۰۰	۲۲۴۰-۱۱۵۰
۶	غیر قابل شرب	> ۸۰۰۰	> ۴۰۰۰	> ۱۸۴۰	> ۲۸۰۰	> ۲۲۴۰

معیارهای ارزیابی

پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات درونیابی به‌وسیله روش‌های مذکور بررسی گردید. در این تحقیق از روش اعتبارسنجی متقابل[۱] معیارهای جذر میانگین مربع خطا[۲](RMSE) و میانگین خطا[۳](ME) برای ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف میان‌یابی استفاده گردید. آماره ME نشان‌دهنده وجود اریب است. مقادیر مثبت آن تخمین بیش از مقدار واقعی و مقادیر منفی آن تخمین کم‌تر از مقدار واقعی را نشان می‌دهد. هر اندازه مقدار ریشه میانگین مربع خطا کوچک‌تر باشد پیش‌بینی روش درون‌یابی از صحت بیش‌تری برخوردار است. در حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند، مقدار RMSE برابر با صفر است.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{z}(u_i) - z(u_i))^2} \qquad (۷)$$

$$\mathrm{ME} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{u}(\hat{z}(u_i) - z(u_i)) \qquad (۸)$$

که در آن $\hat{z}(u_i)$ مقدار برآورد شده در نقطه‌ی u_i، $z(u_i)$ مقدار مشاهده شده در نقطه‌ی ui و n تعداد مشاهدات می‌باشد. بر اساس این معیارها بهترین روش، روشی است که حداقل RMSE را داشته باشد (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

۱Cross Validation
۲Root Mean Square Error
۳Mean Error

نتایج و بحث

جدول ۴ آمار توصیفی مربوط به متغیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر بالای چولگی در متغیرهای TH، SAR و Ca^{+2} از تبدیل لگاریتمی برای نرمال‌سازی این متغیرها استفاده شد. به منظور بررسی همسان‌گردی متغیرهای معرفی شده، نیم‌تغییرنمای جهت دار برای چهار جهت ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با استفاده از نرم‌افزار GS+ رسم گردید. مشخصات مربوط به مدل نیم تغییرنمای برازش داده شده در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان داد نیم‌تغییرنمای همه جهته کلیه متغیرها تقریبا همسان‌گرد می‌باشد. مقادیر بالای ساختار مکانی که نشان‌دهنده درصد بالای بخش ساختاردار واریانس به بخش بدون ساختار آن است، دلالت بر همبستگی مکانی بالای متغیر مورد مطالعه در سطح منطقه دارد. ساختار نیم-تغییرنمای کریجینگ در موارد ذکر شده از مدل کروی پیروی می‌کند، که نتایج این بخش از پژوهش با نتایج (Dash et al, ۲۰۱۰)، (شعبانی ۱۳۹۰) و (زاهدی فر ۱۳۹۲) مبنی بر برتری نیم‌تغییرنمای کروی نسبت به سایر نیم‌تغییر نماها برای متغیرهای مورد بررسی مطابقت دارد. حداکثر آستانه مربوط به Na^{+} می‌باشد که نشان‌دهنده بالا بودن واریانس داده‌های Na^{+} و هم‌چنین حداکثر مقدار این متغیر در دوره آماری می‌باشد. حداقل آستانه و حداکثر شعاع تأثیر (فاصله‌ای که متغیر در آن فاصله وابستگی مکانی نشان می‌دهد) نیز مربوط به متغیر PH و کم‌ترین مقدار شعاع تأثیر مربوط به Na^{+} می‌باشد. همچنین میزان اثر قطعه‌ای از ۰/۰۰۴۲ تا ۰/۲۴ به‌ترتیب برای متغیرهای PH و Na^{+} متغیر بود. در حالی‌که درصد اثر قطعه‌ای در PH بیش-ترین و در K^{+} کم‌ترین مقدار بود، که به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی و ضعیف بین این متغیرها می‌باشد. زیرا نسبت اثر قطعه‌ای به سقف، معیاری برای بیان استحکام یک ساختار مکانی می‌باشد. در واقع اگر این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، نشان‌دهنده وابستگی قوی متغیر مکانی و اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد نشان‌دهنده وابستگی معمولی (میانه) متغیر مکانی است. اما اگر این نسبت بزرگتر از ۷۵ درصد باشد وابستگی متغیر مکانی بسیار ضعیف است (زاهدی فر ۱۳۹۲). به عبارت دیگر از آن‌جا که اثر قطعه‌ای به دلیل تغییرات در فواصل کم و یا خطا در نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی نمایان می‌شود، بنابراین بیش‌تر بودن درصد اثر قطعه‌ای برای PH و کم‌تر بودن آن برای K^{+} نشان می‌دهد که میزان تغییرپذیری در فواصل کم و یا خطا در نمونه‌برداری و اندازه‌گیری نسبت به سایر ویژگی‌ها برای PH بیش‌تر و برای K^{+} کم‌تر بوده است. مشخصات مدل‌های برازش داده شده به داده‌ها در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۴. تجزیه آماری کیفیت آب زیرزمینی دشت دهگلان و قروه

پارامتر	وضعیت	میانگین نمونه ها	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
کلر	غیر لگاریتمی	۰/۵۰	۰/۲۵	۰/۵۶	۱/۰۰۹	۰/۱۹۸	۰/۳۶	-۱
اسیدیته	غیر لگاریتمی	۷/۷۵	۰/۴۳	۰/۰۵	۸/۱۶	۸/۶۱	-۱/۲۱	۰/۶
مواد جامد محلول	لگاریتمی	۵/۹۴	۰/۲۸	۰/۰۴۷	۶/۴۴	۵/۴۲	-۰/۴۰	-۰/۵۷
سختی کل	لگاریتمی	۵/۴۹	۰/۳۱	۰/۰۵۶	۶/۱۵	۵/۰۹	۰/۴۸	-۰/۹
نسبت جذب سدیم	لگاریتمی	-۰/۲۲	۰/۶۱	۲/۶۶	۰/۷۶	-۱/۲۹	-۰/۱۲	-۰/۷۲
هدایت الکتریکی	لگاریتمی	۶/۳۸	۰/۲۷	۰/۴۳	۶/۹	۵/۸۶	-۰/۳۴	-۰/۴۹
پتاسیم	غیر لگاریتمی	۰/۰۵۴	۰/۰۳	۰/۵۷	۰/۱۰۹	۰/۰۱	۰/۲۱	- ۱/۲۵
سدیم	غیر لگاریتمی	۱/۵۳	۰/۸۲	۰/۵۳	۲/۹۳	۰/۳۸	۰/۲۱	-۱/۲۱
منیزیم	غیر لگاریتمی	۱/۶۴	۰/۶۵	۰/۳۹	۳/۰۲	۰/۷۸	۰/۷۸	-۰/۲۲
کلسیم	لگاریتمی	۱/۲۳	۰/۳۱	۰/۲۵	۱/۹۵	۰/۸۷	۰/۶۷	-۰/۵۶
سولفات	لگاریتمی	۰/۰۵	۰/۷۵	۱۴/۱۵	۰/۶۷	-۱/۵۴	۰/۶۹	-۱/۰۴

جدول ۵. مدل مناسب برازش داده شده به نیم‌تغییرنمای متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در دشت دهگلان و قروه

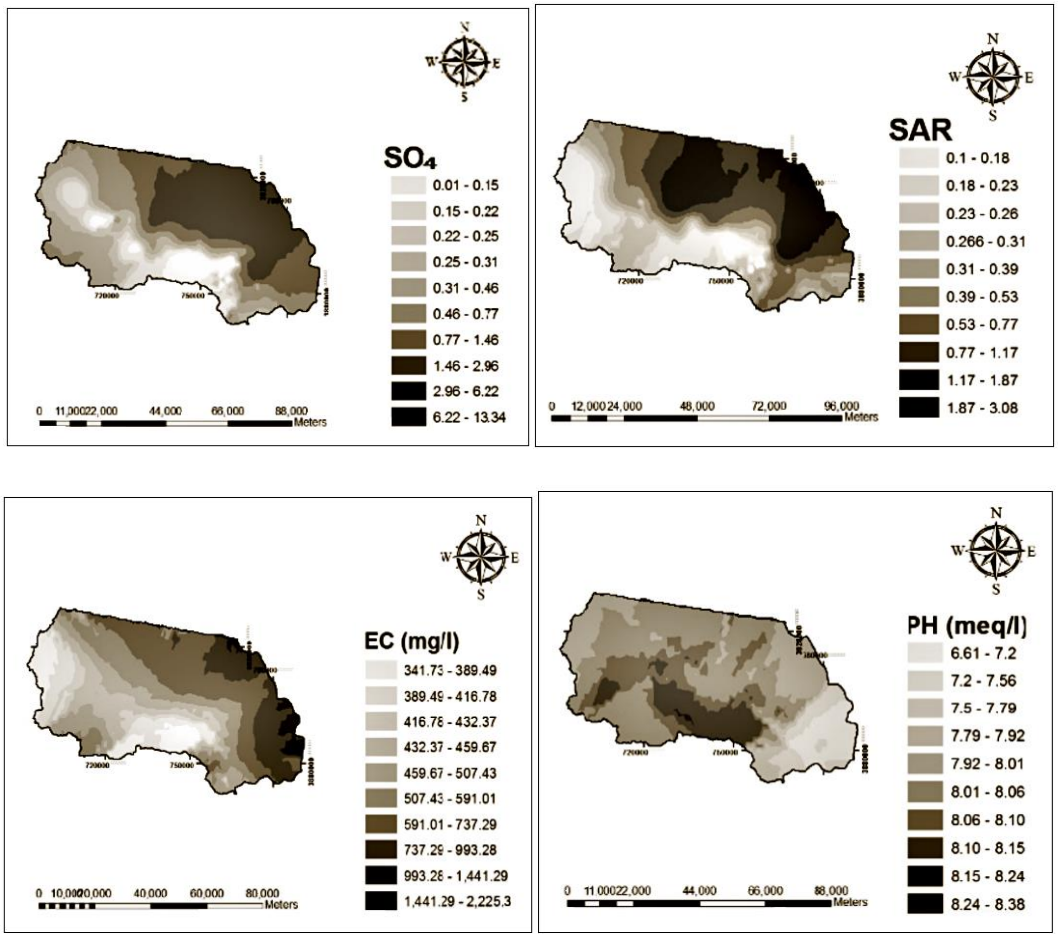
متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای $(m)^2$	آستانه $(m)^2$	دامنه تاثیر (m)	تناسب مکانی C./C.+C	تناسب مکانی C/C.+C	ضریب همبستگی مکانی $(R)^2$	مجموعه مربعات باقیمانده (RSS)
منیزیم	کروی	۰/۰۷۵	۰/۲۴۶	۲۴۶۳۰	۳۰/۴۸	۰/۶۹۵	۰/۷۶۱	۰/۰۰۷۷۱
هدایت الکتریکی	کروی	۰/۰۴۷	۰/۱۵۲	۲۳۱۴۰	۳۰/۹۲	۰/۶۹۱	۰/۴۶۰	۰/۰۰۹
نسبت جذب سدیم	کروی	۰/۰۵۸	۰/۵۷۲	۸۱۰۰	۱۰/۱۳	۰/۸۹۹	۰/۲۱۳	۰/۳۶۱
سختی کل	کروی	۰/۰۵۲۹	۰/۱۷۴	۲۰۲۹۰	۳۰/۴۰	۰/۶۷۹	۰/۷۱۵	۰/۰۰۶۶۳
مواد جامد محلول	کروی	۰/۰۳۵	۰/۱۵۳	۲۱۴۱۰	۲۲/۸۷	۰/۷۷	۰/۵۴۱	۰/۰۰۹۸
اسیدیته	گوسین	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۷	۹۸۱۲۰	۱۱۳/۵۱	۰/۸۸۷	۰/۶۳۷	۰/۰۰۰۰۲۴
کلر	کروی	۰/۱۳۷	۰/۳۵۱	۲۰۱۰۰	۳۹/۰۳	۰/۶۰۸	۰/۷۰۴	۰/۰۱۵۷
پتاسیم	کروی	۰/۰۴	۰/۵۳۴	۱۸۵۷۰	۷/۴۹	۰/۹۲۵	۰/۸۳۷	۰/۰۳۳۱
کلسیم	کروی	۰/۰۳۷	۰/۱۸۲	۲۱۵۳۰	۲۰/۳۲	۰/۷۹۳	۰/۸۵۱	۰/۰۰۳۰۸
سدیم	کروی	۰/۲۴۶	۰/۶۶۶	۱۸۲۷۰	۳۶/۹۳	۰/۶۳۱	۰/۳۴۹	۰/۱۹۴

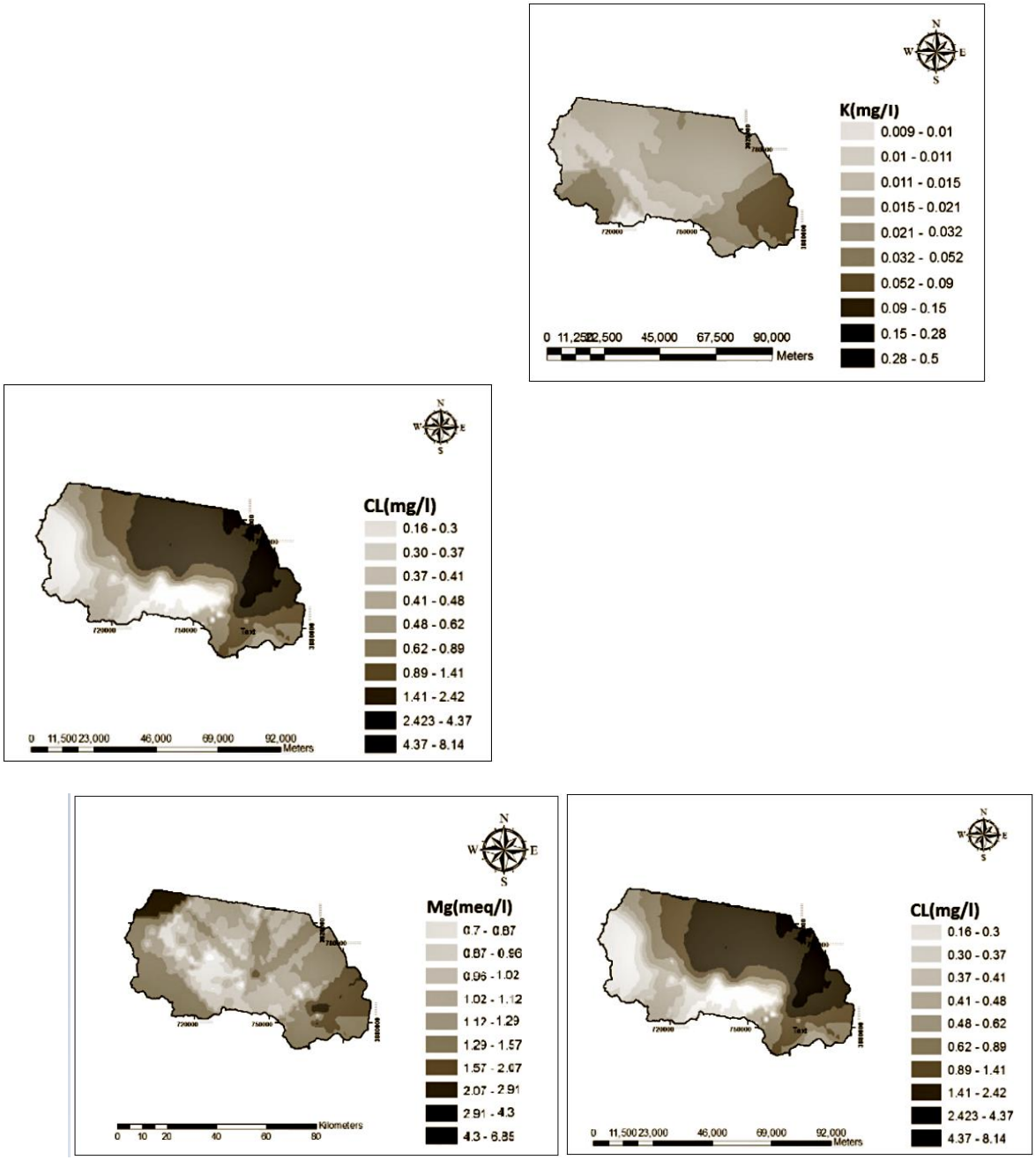
جدول ۶. اعتبارسنجی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت دهگلان و قروه

متغیر (mgl^{-1})	معیار ارزیابی	کریجینگ معمولی	کریجینگ ساده	IDW درجه ۱	IDW درجه ۲	IDW درجه ۳
مواد جامد محلول	ME	۳/۵۰۳	۳/۹۵۸	۱۳/۵۶۰	۱/۶۴۳	۱/۶۴۳
	RMSE	۱۰۳/۷۰۰	۱۰۰/۶۰۰	۱۰۵/۸۰۰	۱۰۹/۱۰۰	۱۰۹/۱۰۰
نسبت جذب سدیم	ME	۰/۰۲۱	۰/۰۶۰	۰/۰۹۰	۰/۰۶۵	۰/۰۳۶
	RMSE	۰/۳۲۶	۰/۳۴۸	۰/۴۱۳	۰/۳۱۷	۰/۳۱۸
سختی کل	ME	۰/۸۹۵	۰/۷۳۵	۴/۳۱۲	-۲/۰۱۱	-۲/۰۱۱
	RMSE	۷۹/۸۸۰	۷۸/۴۶۰	۷۸/۵۳۰	۸۰/۴۴۰	۸۰/۴۴۰
سدیم	ME	۰/۰۰۱	۰/۰۶۳	۰/۱۴۴	۰/۰۶۹	۰/۰۰۰
	RMSE	۰/۶۶۱	۰/۶۲۹	۰/۶۸۹	۰/۶۱۷	۰/۶۴۷
منیزیم	ME	-۰/۰۵۱	۰/۰۱۷	۰/۰۵۹	-۰/۰۲۰	-۰/۰۷۷
	RMSE	۰/۶۸۲	۰/۶۲۳	۰/۶۵۰	۰/۶۸۵	۰/۷۳۵
سولفات	ME	-۰/۰۰۶	۰/۰۳۲	۰/۰۸۹	۰/۰۱۳	-۰/۰۵۸
	RMSE	۰/۵۳۴	۰/۵۹۵	۰/۵۸۵	۰/۵۶۹	۰/۵۹۳
کلر	ME	۰/۰۰۷	۰/۰۱۰	۰/۰۳۹	۰/۰۱۵	-۰/۰۰۹
	RMSE	۰/۲۵۲	۰/۲۴۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۲۷۲
اسیدیته	ME	-۰/۰۱۸	-۰/۰۱۸	-۰/۰۲۴	-۰/۰۳۰	-۰/۰۳۲
	RMSE	۰/۳۸۴	۰/۳۸۴	۰/۳۶۴	۰/۳۶۵	۰/۳۷۸
هدایت الکتریکی	ME	۵/۵۵۲	۶/۱۲۳	۲۱/۲۳۰	۲/۵۳۵	-۱۲/۷۵۰
	RMSE	۱۶۲/۷۰۰	۱۵۸/۱۰۰	۱۶۶/۱۰۰	۱۷۰/۶۰۰	۱۸۰/۰۰۰
پتاسیم	ME	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
	RMSE	۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵

پس از تجزیه و تحلیل تغییرنما، درون‌یابی داده‌ها با استفاده از سه روش کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و وزن‌دهی عکس فاصله با توان‌های ۱، ۲ و ۳ بررسی شد. با توجه به نتایج جدول ۶ در اکثر متغیرها روش‌های

کریجینگ دارای مقدار خطای کمتری می‌باشد و مناسب‌ترین نقشه‌ها را جهت پهنه‌بندی ارائه می‌دهد که با نتایج (Jiang et al, 2013)، (شعبانی ۱۳۹۰) و (زاهدی‌فر ۱۳۹۲) در برتری روش کریجینگ معمولی و پهنه‌بندی کیفیت با این روش زمین‌آماری مطابقت دارد که در شکل ۲ ارائه شده است. نقشه توزیع مکانی SAR نشان داد کم‌ترین میزان این متغیر در نواحی جنوبی، جنوب‌غربی و غرب می‌باشد و هرچه به سمت مرکز پیش می‌رویم بر مقدار آن افزوده می‌شود. در رابطه با PH می‌توان گفت در اکثر نواحی ایران میزان اسیدیته تقریبا در محدوده ۷/۵ تا ۸ قرار دارد. با این حال کم‌ترین میزان اسیدیته، (PH≤ ۷/۵) در جنوب شرق و حداکثر مقدار اسیدیته (PH≥ ۸) در نواحی جنوبی اتفاق می‌افتد. نتایج پهنه‌بندی آنیون SO_4^{-2} نشان می‌دهد کم‌ترین مقادیر این متغیر در نواحی جنوبی و غربی و بیش‌ترین مقادیر در نواحی شرقی و در بخش‌های کوچکی از نواحی شمالی رخ می‌دهد. به طور مشابه نقشه پهنه‌بندی Cl^- نیز نشان داد کم‌ترین مقادیر این متغیر در نواحی غربی و جنوبی و بیش‌ترین مقدار آن در بخش کوچکی از نواحی شرقی رخ می‌دهد. در رابطه با مقدار TH نیز می‌توان گفت تغییرات مکانی این متغیر در سطح منطقه مورد مطالعه نسبت به سایر متغیرها پراکنده‌تر است.



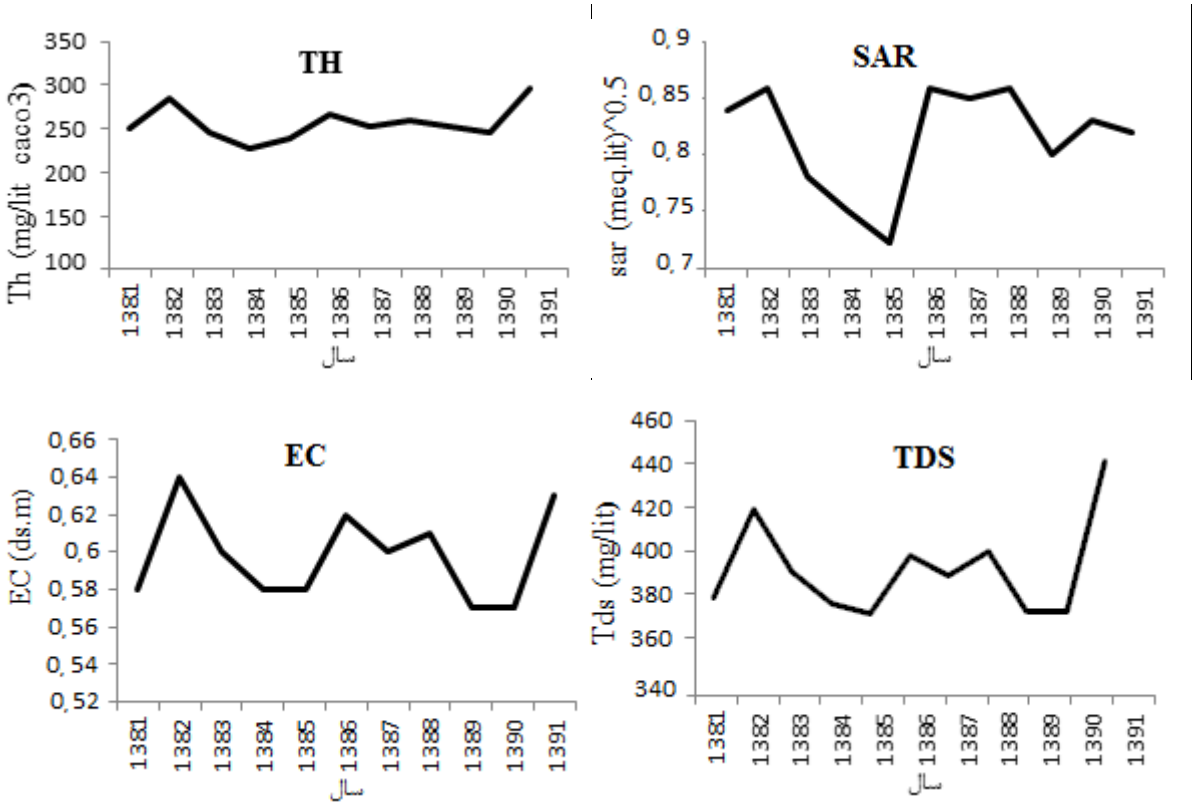


شکل ۲. پهنه‌بندی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت دهگلان و قروه به روش کریجینگ

بررسی روند پارامترهای کیفیت آب

نمودارهای TDS و TH برای سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ در شکل ۳ به ترتیب آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده و همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود مواد جامد محلول و سختی کل آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۱ مدام در حال افزایش است که می‌تواند به دلیل برداشت بی‌رویه، خشکسالی‌های اخیر، استفاده از سموم کشاورزی و یا ورود فاضلاب اتفاق افتاده باشد. در شکل دیده می‌شود که مواد جامد محلول و سختی کل آب زیرزمینی در دشت دهگلان و قروه روند صعودی داشته است. در شکل ۳

روند متغیرهای کیفی SAR و EC نشان داده شده است که بیانگر روند تقریبا ثابت در تمامی سال‌ها می‌باشد.



شکل۳-روند متغیرهای کیفی آب طی دوره آماری ۱۰ سال

طبقه‌بندی قابلیت شرب آب به روش استاندارد شولر

برای طبقه‌بندی آب شرب ۵ پارامتر کیفیت TDS، TH ، CL^-، Na^+ و SO_4 در ۷۰ چاه مورد بررسی نمونه برداری شده است. برای طبقه‌بندی آب شرب بر اساس استاندارد شولر، با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مقادیر ۵ پارامتر کیفیت TDS، TH، CL^-، Na^+ و SO_4 رتبه‌بندی هر یک از پارامترها با توجه به جدول ۳ انجام شده است. به این ترتیب کلاس کیفیت و طبقه آب شرب هر یک از چاه‌ها تعیین شد. با توجه به جدول ۳ و مقادیر شکل ۳ نتایج نشان می‌دهد داد که اکثر چاه‌ها در محدوده‌ی خوب و قابل قبول قرار دارند و تعداد کمی از جمله وینسار در محدوده بد قرار دارند.

تعیین کلاس کیفیت آب در کشاورزی به روش نمودار ویل کاکس

با توجه به نتایج بدست آمده آب چاه‌های مبارک آباد، چراغ آباد، سرنجیانه جوانمرد آباد، دهگلان، آب باریک، احمد آباد، پنجه، توبره ریز، هلیز آباد، کبود خانی، عباسجوب، سلسله، قاملو، عالی آباد، کامشگران، گنجی، شهابیه، کنگره، سراب قحط، شانوره، شجاع آباد، خلیل آباد، کروندان، زاغه، حاجی پموق، حسینی، سعید آباد، قوریچای، تلوار، قوریچای، چرخه بیان، قلعه، سنگین آباد، قاسم آباد، دیوزند، جنیان، سریش آباد، مظفر آباد، قروه، خریله، قاسم آباد، حسن آباد امام، سیاه گله، ناظم آباد، مجین، شکوه آباد، دزج، ناظم آباد و شهاب الدین در محدوده خوب قرار دارد، به این معنی که استفاده از آب این چاه‌ها برای کشاورزی بلامانع

می‌باشد . و همچنین آب چاه‌های آونگان، قادر آباد ، وینسار، زنگ آباد، جداقیه، دوسر، نارنجک و صندوق آباد در محدوده-ی متوسط قرار دارند و همچنین آب دو چاه در وینسار برای کشاورزی نباید استفاده شود. قابل ذکر است که کیفیت آب اکثر چاه‌های نمونه‌برداری شده در این منطقه به روش ویل کاکس در محدوده کیفی خوب و متوسط قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

ساختار مکانی متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی جنوب دشت دهگلان و قروه، همسان‌گرد بوده و از مدل کروی پیروی می‌کند. در بین روش‌های تخمین به کار برده شده برای تمامی متغیرها، روش کریجینگ دقیق‌ترین و مناسب‌ترین روش برآورد معرفی و با استفاده از نتایج آن، پهنه‌بندی انجام شد. طبقه‌بندی چاه‌ها از نظر شرب مورد بررسی قرار گرفت و اکثر چاه‌ها در محدوده خوب قرار گرفتند و تعداد معدودی در محدوده‌ی متوسط و قابل قبول قرار گرفتند که با مدیریت صحیح از جمله روش هایی برای اندازه گیری عناصر موجود در آب و نعیین حد مجاز عناصر و جلوگیری از ورود عناصر آلاینده به آب می‌توان کیفیت آب منطقه را بهبود بخشید و از خطرات احتمالی جلوگیری کرد. همچنین برای مناطقی که عناصر آلاینده بیش از حد مجاز می باشد راهی برای حذف و یا کاهش آن ها در نظر گرفت. کیفیت آب زیرزمینی در قسمت‌های غربی، جنوب و جنوب-شرقی بهتر از سایر بخش‌ها بود. بنابراین لازم است در بخش‌هایی که کیفیت آب نامطلوب است، مدیریت منابع آب و استفاده از الگوهای کشاورزی با حساسیت بیش‌تری انجام شود تا از وخیم‌تر شدن کیفیت آب زیرزمینی در این مناطق جلوگیری به عمل آید. نقشه‌های پهنه بندی تهیه شده می-توانند در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و غیرشرب، به کارگیری روش‌های کشاورزی و آبیاری، تعیین نوع گیاهان مناسب برای کشت در منطقه، مدیریت آبخیزها و مرتع‌داری، در منطقه مورد مطالعه راه‌گشا باشند و به حفظ منابع آب و خاک و استفاده پایدار از آن‌ها کمک کنند. توانایی روش کریجینگ معمولی که در این پژوهش از آن استفاده شد، در مشخص کردن ارزش غلظت‌های مختلف یک پارامتر آلوده کننده از کم‌ترین مقدار تا بیش‌ترین مقدار آن می‌باشد، اما قادر به ارائه محدوده و درصد آلودگی در منطقه نمی‌باشد. بدین جهت پیشنهاد می‌شود از روش زمین‌آماری کریجینگ شاخص برای ارائه نقشه پهنه‌بندی خطر آلودگی متغیرها در جنوب دشت دهگلان و قروه استفاده شود. در پایان پیشنهاد میگردد پس از مشخص کردن مناطقی که کیفیت آب به شدت کاهش پیدا کرده و اولویت بندی محدوده هایی که نیاز به اقدامات حفاظتی دارند، بهینه سازی در مصرف آب از طریق استفاده از سامانه های نوین آبیاری در بخش کشاورزی انجام شود. همچنن به مدیران پیشنهاد می شود از پمپاژ غیر قانونی جلوگیری شود.

تشکر و قدردانی: بدینوسیله نویسنده مسئول مقاله، از دانشگاه زابل که این پژوهش با حمایت مالی این دانشگاه با کد پژوهانه UOZ-GR-9618-18 صورت گرفته است کمال تشکر و سپاسگزاری را دارد.

منابع

اخوان، ر.، م. کرمی خرم آبادی و ج. سوسنی. ۱۳۹۰. کاربرد دو روش کریجینک و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط (مطالعه موردی: منطقه کاکارضای خرم آباد لرستان). مجله جنگل ایران، سال سوم، ص ۳۰۵-۳۱۶.

اسماعیلی ساری، ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست. انتشارات نقش مهر. ص ۴۱.

باقری سرنجیانه، ص. ۱۳۸۳. نقش خشکسالی و ترسالی بر آب‌های زیرزمینی جنوب دهگلان. پایان نامه کارشناسی ارشد، اقلیم شناسی، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

تجریشی، م. و ا. ابریشم چی. ۱۳۸۳. مدیریت تقاضای منابع آب در کشور، اولین همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی. تهران، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.

حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران.

جهانشاهی، ا.، ع. روحی مقدم و ا. دهواری. ۱۳۹۳. ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین آمار. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۲، ص ۱۹۷-۱۸۳.

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

رضایی، م.، م. دواتگر، خ. تاجداری و ا. ابولپور. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک. جلد ۲۴، شماره ۵، ص ۹۴۱-۹۳۲.

زاهدی فر، م.، س. ع. ا. موسوی و م. رجبی. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا با استفاده از روش‌های زمین آماری. نشریه آب و خاک. جلد ۲۷، شماره ۴، ص ۸۲۲-۸۱۲.

شیخ گودرزی، م.، س. ح. موسوی و ن. ا. خراسانی. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی دشت تهران-کرج). مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۵، ص ۹۳-۸۳.

شعبانی، م. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد بارندگی سالانه‌ی استان فارس. مجله مهندسی منابع آب. دوره ۳، شماره۶، ص ۳۴-۲۷.

صداقت، م. ۱۳۸۷. زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی). انتشارات دانشگاه پیام‌نور. ص ۱۷۱.

صفوی، م. و ح. اسلامی. ۱۳۹۳. بررسی آب زیرزمینی بوشهر برای استفاده از آب شرب با توجه به TDS و TH. همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منایع طبیعی. ۸ صفحه.

عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینک در میان‌یابی بارش. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، ص ۴۲-۲۵.

علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و دوم، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).

محمدی قلعه‌نی، م.، ک.ابراهیمی و ش. عراقی نژاد. ۱۳۸۹. ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های ساوه و اراک). دانش آب و خاک، دوره ۲۱، شماره ۲، ص ۱۰۸-۹۳.

معروفی، ص.، ا. ترنجیان و ح. زارع ابیانه. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و PH زه آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان-بهار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲، ص ۱۸۷-۱۶۹.

مقامی، ی.، ر. قضاوی، ع. ولی عباس و س. شرفی. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهرستان آباده). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره ۲، ص ۱۸۲-۱۷۱.

Alaa, A.M. 2014. Groundwater quality assessment of the shallow aquifers west of the Nile Delta (Egypt) using multivariate statistical and geostatistical techniques. Journal of African Earth Sciences, 95: 123-137.

Dash, J.P., A. Sarangi. and D. K. Singh. 2010. Spatial variability of groundwater depth and quality parameters in National Capital Territory of Delhi. Environmental Management, 45: 640-650.

Etaat, J. and E. Varzesh. 2012. Hirmand Hydropulitik, causes, effects and consequences. The study of human geography, 80: 193-212. [Persian].

Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press.

Hutchinson, M. F. 1993. On thin plate splines and kriging. Computing Science and Statistics, 25: 104-113.

Isaaks, E.H. and R.M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press.

Jiang, Y., W. Ma, H. Luo. And W. Huang. 2013. Analysis of spatial distribution of goundwater quality in Huaihe river basin. In: Geoinformatics (GEOINFORMATICS), 21st International Conference on (pp. 1-7). IEEE.

Moslemzadeh, M., M. Salarizazi and S. Soleymani. 2011. Application and assessment of kriging and cokriging methods on groundwater level estimation. J Am Sci, 7(7): 34-39.

Toumi, N., B. H. Hussein and S. Rafrafi. 2015. Groundwater quality and hydrochemical properties of Al-Ula region, Saudi Arabia. Environmental monitoring and assessment, 187(3):84.

Geostatistical Assessment of spatial and temporal variations of ground water quality parameters in Qorveh and Dehgolan South Plain

Maryam Safavi gerdini[1], Omolbani Mohammadrezapour[2*1] , Erfan Bahrami[1], Morteza Mohamadi sedigh[1], Meysam Salarijazi[3]

Abstract

In recent years, overuse of ground waters has led to a significant decrease in water levels and has also reduced groundwater quality. Therefore, qualitative analysis of ground water reservoirs is deemed necessary to manage exploitation of these resources and determine the most optimal and economic cropping patterns. Geostatistical methods are the most widely used and appropriate tools for monitoring qualitative variables. In this regard, the spatial variations of qualitative variables such as Na^+, TH, EC, SAR, Cl^-, SO_4^{2-}, Mg^{2+}, PH, TDS and K^+ driven from 70 wells on aquifers of Ghorveh and Dehgolan Plain located in Kurdistan province were studied. The statistical period of the data used in this study covers the years 1984-2012. After analyzing the variogram by GS+ software, data interpolation was performed using three methods of ordinary kriging, simple kriging, and inverse distance weighing with the powers of 1, 2 and 3, respectively. The results shows that the omni-directional semivariogram for all variables is nearly identical. The results also indicate that using ordinary kriging and simple kriging methods cause fewer errors in estimating most qualitative variables. The values of mean error (ME) statistics in the kriging method are close to zero, indicating the least bias in estimations. Also, water quality was classified in terms of Schuler and Will Cox terms methods, so that the results reveal that most of the wells are within an optimal range, yet a few are in medium and bad ranges. Zoning results demonstrated that groundwater quality in the western, southern, and southeastern zones is better than those of other sectors. Thus, it is necessary for management to reduce consumption and change cropping patterns to improve water quality in areas with poor water quality.

Keywords: Groundwater, Quality Zoning, Qorveh and Dehgolan, Geostatistics.

[1] Graduate M.Sc. of Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol. Kerman. Iran. .9142422397, maryam70safavi@gmail.com

[1] Graduate M.Sc. of Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol. Sanandaj. Iran. .9185224585, erfanbahrami9366@gmail.com

[1]Graduate M.Sc. of Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol. Mashhad. Iran. .09381548286, smohamadi54@gmail.com

[2] Associated Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol. Zabol. Iran. 09113806033, nmohammadrezapour@yahoo.com

[3] Assistant Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran. 09355715266, meysam.salarijazi@gmail.com