نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره پنجم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

ارزیابی کیفیت آب شرب آبخوان دشت اردبیل با استفاده از کوکریجینگ و منطق فازی

*مهدی کرد[۱] و اصغر اصغری‌مقدم[۲]
[۱]استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه کردستان، [۲]استاد گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/٤/۹

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، بهره‌برداری و تخصیص منابع آب زیرزمینی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در این پژوهش، روش‌های کوکریجینگ و منطق فازی برای طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت اردبیل برای اهداف آشامیدنی استفاده شده است. به این منظور داده‌های کیفی مربوط به پارامترهای TDS، TH، pH، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Cl^{-}، Na^{+} و SO_4^{2-} هفتاد و شش چاه مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه شامل دو مرحله بود که در مرحله اول، توزیع هر یک از این پارامترها توسط روش درون‌یابی کوکریجینگ برای هر نقطه از دشت به‌دست آمد. سپس در مرحله دوم، از داده‌های درون‌یابی شده به‌عنوان ورودی‌های منطق فازی استفاده گردید. نقشه پهنه‌بندی کیفی دشت با استفاده از تعریف توابع عضویت برای هر یک از پارامترها در سه کلاس "مطلوب"، "قابل‌قبول" و "غیرقابل‌قبول" و نگرشی فازی به استاندارد آب شرب تولید شد. در مجموع، برای طبقه‌بندی کیفی آب تعداد ۱۰۵ قانون استخراج گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، ۳/۵ درصد از مساحت آبخوان دشت اردبیل دارای کیفیت مطلوب، ٦۸ درصد دارای کیفیت قابل‌قبول و ۲۸/۵ درصد غیرقابل‌قبول از نظر شرب می‌باشد. این نقشه پهنه‌بندی می‌تواند کمک شایانی به بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی کرده و دید خوبی از روند کیفی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی ارایه نماید.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، طبقه‌بندی کیفی، درون‌یابی، کوکریجینگ، منطق فازی

* مسئول مکاتبه: m.kord@uok.ac.ir

مقدمه

بحث کلیدی توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی، مدیریت عملی آن است. عملکردهای صحیح مدیریتی منابع آب زیرزمینی نیازمند اطلاع صحیح و به روز از ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌هاست. آن‌چه که مسلم است تنها با شناخت ویژگی‌های کیفی آب است که می‌توان برای بهره‌برداری و تخصیص هرچه بهتر منابع آب برنامه‌ریزی کرد.

استانداردهای مختلفی به‌عنوان شاخص کیفیت آب توسط سازمان‌های مختلف ارایه شده است. در ایران نیز برای تعیین کیفیت آب از استاندارد وزارت نیرو و سازمان ملی استاندارد ایران استفاده می‌شود (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۹۹۷).

حدود کیفی تعیین شده در استانداردها دارای عدم قطعیت بوده و بر حسب شرایط مختلف می‌توانند متفاوت باشند. از طرفی پارامترهای کیفی نمونه‌های آب نیز دارای مقادیری از عدم قطعیت هستند که از مرحله نمونه‌برداری تا پردازش داده‌ها را شامل می‌شوند، بنابراین تصمیم‌گیری در مورد کیفیت یک نمونه آب در چنین شرایطی دشوار می‌باشد. این مسأله زمانی که یک نمونه آب از نظر کیفی، در مرز حدود تعیین شده استاندارد قرار گیرد، حادتر خواهد شد. بنابراین در نظر گرفتن یک فاصله تدریجی به جای استفاده از یک مرز مطلق می‌تواند مشکل عدم قطعیت را در سنجش کیفیت آب، مرتفع سازد (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۸).

اطلاعات به‌دست آمده از آبخوان‌ها معمولاً براساس نمونه‌برداری و پایش چاه‌های آب می‌باشد. بسیاری از پژوهشگران تلاش نموده‌اند که با ارایه روش‌های مناسب و مستدل اقدام به تولید داده‌های کیفی، برای تمام نقاط دشت کرده و از این طریق بدون نیاز به حفر چاه‌های بیش‌تر، به کیفیت آب زیرزمینی در هر نقطه از دشت پی ببرند.

محیط‌های زمین‌شناسی به‌طور ذاتی ناهمگن هستند. یکی از روش‌های کارا در ارزیابی چنین محیط‌هایی زمین‌آمار می‌باشد. در واقع زمین‌آمار با تعمیم اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای، دارای کاربرد است.

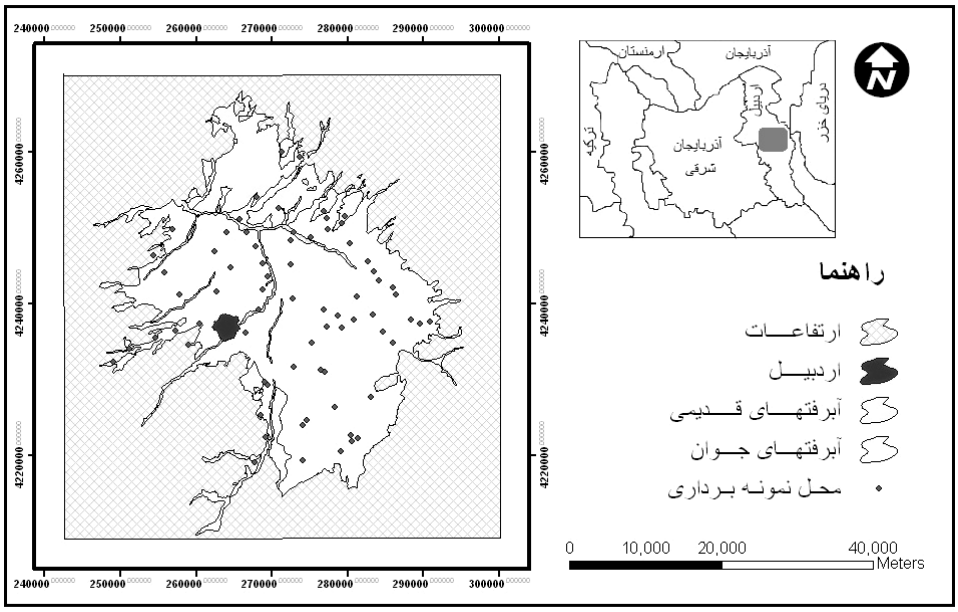
مطالعات گوناگونی در زمینه طبقه‌بندی کیفی آب صورت گرفته که در ادامه برخی از آن‌ها ذکر می‌گردد. قره‌محمدلو و همکاران(۲۰۰۸) کیفیت آب رودخانه اترک را تنها در یک ایستگاه هیدرومتری و با روش‌های سنتی و گرافیکی برای مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و دام بررسی کردند. تقی‌زاده‌مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از زمین‌آمار توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های کیفی

آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان را ارزیابی کردند. آن‌ها پس از بررسی انواع مختلف روش‌های درون‌یابی نتیجه‌گیری کردند که روش کوکریجینگ برای برآورد پراکنش مکانی کیفیت آب زیرزمینی از دقت بهتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است. داگوستینو و همکاران (۱۹۹۸) تغییرات زمانی و مکانی نیترات در آب‌های زیرزمینی را به کمک روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در پایان نتیجه گرفتند که روش کوکریجینگ با دقت بیش‌تری غلظت نیترات را برآورد می‌کند. موزر و ریزو (۲۰۰٤) از روش کوکریجینگ برای بررسی کیفیت برخی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استفاده کردند. بررسی آن‌ها نشان داد که این روش از دقت مناسبی برای برآورد کیفیت آب‌های زیرزمینی برخوردار می‌باشد. نوروزیان و همکاران (۲۰۰۱) پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود را به‌وسیله منطق فازی انجام دادند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که تکنیک طبقه‌بندی فازی می‌تواند طریقی مؤثر و کارآمد برای تصمیم‌گیری در مدیریت کیفیت آب رودخانه‌ها باشد. چانگ و همکاران (۲۰۰۱) در یک بررسی مقایسه‌ای، کارایی تکنیک استنتاج فازی را در ارزیابی کیفی آب با نتایج به‌دست آمده از روش سنتی شاخص کیفی آب، مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که این تکنیک در تعدیل عدم قطعیت و اختلافات ذاتی داده‌ها همچنین در تفسیر شرایط پیچیده، به‌طور موفقی عمل می‌کند. هاشمی و همکاران (۲۰۰۸) سیستم استنتاج فازی را برای بررسی کیفیت شیمیایی آب در چاه بهره‌برداری به‌کار بردند. آن‌ها از ۹ پارامتر برای ارزیابی کیفیت آب شرب ۲۹ چاه در ۹ شهر مختلف استان اصفهان استفاده کردند.

در کارهای تعیین کاربری آب که در بالا ذکر گردید، تنها به تعیین کیفیت تک‌چاه‌های آب شرب پرداخته شده و کاری در خصوص کل آبخوان صورت نگرفته است و یا تنها به مقایسه کارایی روش‌های درون‌یابی در پهنه‌بندی عناصر بسنده شده است. بنابراین پس از بررسی‌های انجام شده که مشخص گردید تمام چاه‌های آب شرب دشت اردبیل دارای آب با کیفیت مناسب برای شرب نمی‌باشند، سعی بر آن شد تا با استفاده از توانایی‌های روش کوکریجینگ و منطق فازی، محل‌های مناسب بهره‌برداری برای آب شرب در کل آبخوان دشت اردبیل تعیین شود. از این‌رو به‌منظور پهنه‌بندی کیفی آبخوان دشت اردبیل، پس از درون‌یابی هر یک از پارامترهای کیفی به‌وسیله کوکریجینگ، از منطق فازی به‌عنوان عامل تصمیم‌گیرنده- به‌دلیل در نظر گرفتن مرزهای مطلق استاندارد به‌صورت فاصله تدریجی و در نتیجه کاهش عدم قطعیت- استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نحوه داده‌برداری: حوضه آبخیز دشت اردبیل در محدوده طول جغرافیایی ٤٨ درجه تا ٤٨ درجه و ٤٠ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است. از نظر توپوگرافی بخش پیرامونی منطقه، کوهستانی بوده و بخش مرکزی آن دشت آبرفتی است. آب و هوای این منطقه از نوع سرد با زمستان‌های به‌نسبت طولانی و تابستان‌های ملایم می‌باشد. مقدار ریزش‌های جوی در این منطقه به‌طور متوسط ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. ٥٦٤٣٦٥ نفر در دشت اردبیل در وسعتی حدود هزار کیلومترمربع زندگی می‌کنند که در دوشهر و ۸۸ روستا ساکن می‌باشند (مرکز آمار ایران، ۲۰۱۱). در گذشته بیش‌ترین بهره‌برداری از منابع آب در دشت اردبیل از طریق چشمه‌ها، قنوات و رودخانه‌ها صورت می‌گرفت، ولی در حال حاضر بیش‌ترین بهره‌برداری از طریق چاه‌ها صورت می‌گیرد (مهندسین مشاور قدس نیرو، ۲۰۰۸). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



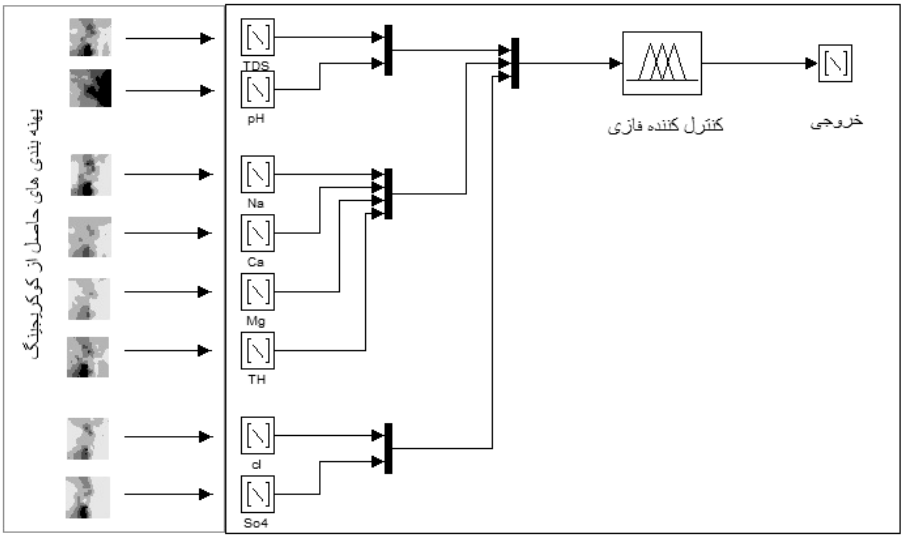
شکل ۱- موقعیت دشت اردبیل و محل نقاط نمونه‌برداری.

در این پژوهش برای پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از اطلاعات مربوط به ۷۶ چاه بهره‌برداری در سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ دشت اردبیل، شامل TDS، TH، pH، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Cl^-، Na^+ و SO_4^{2-} استفاده شده است. بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی معمولاً یک بار در فصل پرآبی و یک بار در فصل کم‌آبی صورت می‌گیرد. از آن‌جا که کیفیت آب زیرزمینی در فصل کم‌آبی (مهرماه) به‌دلیل برداشت زیاد آب، نبود بارندگی، تبخیر بالاتر و نیز آب برگشتی از کشاورزی دارای کیفیت کم‌تری است، بنابراین برای تعیین محدوده‌های با کیفیت خوب آبخوان، در فصل کم‌آبی اقدام به نمونه‌برداری گردید. مسلماً مناطق تعیین شده در فصل کم‌آبی که دارای کیفیت مطلوب هستند، در بقیه فصل‌ها نیز دارای کیفیت مطلوب خواهند بود. به‌منظور اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌ها، از هر چاه دو نمونه توسط ظرف پلی‌اتیلن به آزمایشگاه آب دانشگاه تبریز انتقال یافت و از آن‌ها آنالیز شیمیایی به عمل آمد (شکل ۱). پارامترهای EC و pH نیز در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. در راستای بررسی و مطالعه بهتر وضعیت آبخوان سعی گردید تا محل‌های نمونه‌برداری به‌گونه‌ای انتخاب شوند تا محدوده دشت را به خوبی پوشش دهند. خصوصیات آمار توصیفی آنالیزهای شمیایی از نمونه‌های آب زیرزمینی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات آمار توصیفی داده‌های اندازه‌گیری شده در محل‌های نمونه‌برداری.

پارامتر	واحدها	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی
هدایت الکتریکی (EC)	میکروموس بر سانتی‌متر	۳۰۰	۷۱۵۰	۱۳۷۱/۷٤	۱۲۷٦/۲۵	۲/٤۲
کل جامد محلول (TDS)	میلی‌گرم بر لیتر	۲۲۷	۳۹۰۹	۹۵۷/٦٦	۷۷۹/۰٦	۱/۸
pH	-	۷/۳۲	۸/۹۱	۸/۳٤	۰/۳٤	-۰/۵۹
سختی کل (TH)	میلی‌گرم بر لیتر	۵۵/۹۹	۲۷۵۹/۹٦	٤۵٦/٤٤۸	۵۰٤/۲۹۱	۲/٦۷
Ca^{2+}	میلی‌گرم بر لیتر	۱۲/۸۳	٦۵۷/٦٤	۱۱٦/٤۵	۱۲۱/۳۳	۲/۵۷
Mg^{2+}	میلی‌گرم بر لیتر	۵/۸۳	۲۷۲/۱٦	٤۱/۰۳	٤۹/۹۲	۲/۷۳
Na^+	میلی‌گرم بر لیتر	۷/۹۵	٤۰۰/٤۳	۱۰۵/۳٦	۸۳/٦۵	۱/۳۱
K^+	میلی‌گرم بر لیتر	۰/٤۸	۲۹/۱٦	۵/٤۸	٦/۵۳	۱/۸
HCO_3^-	میلی‌گرم بر لیتر	۱۰۰/۰٤	۱۰۲۰	۳۰۵/٤۱	۱۵۱/۵٦	۱/۹۹
CO_3^{2-}	میلی‌گرم بر لیتر	۰	۰	۰	۰	۰
Cl^-	میلی‌گرم بر لیتر	۸	۱۱۹۹/٦۳	۱۵٦/۵۱	۲۰٦/۵٤	۲/٦۳
SO_4^{2-}	میلی‌گرم بر لیتر	٦	۱٤۰۰	۲۲۷/٤۳	۳۲٤/٤۵	۲/۰۳

مقادیر هریک از این پارامترها، در هر مکان، به‌وسیله روش کوکریجینگ در محیط نرم‌افزار ArcGIS9.3 برآورد گردیده است. سپس این داده‌ها به‌عنوان ورودی‌های سیستم استنتاج فازی در نظر گرفته شده‌اند. برای به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی از نرم‌افزار MATLAB, 2011 استفاده گردیده است. مراحل پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- اجزای مختلف سیستم طراحی شده برای طبقه‌بندی کیفی آب.

کوکریجینگ: همان‌طورکه در آمارکلاسیک روش‌های چندمتغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ براساس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین زد. معادله کلی کوکریجینگ به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد:

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . Z(X_i) + \sum_{k=1}^{m} \lambda_k . Y(X_k) \qquad (1)$$

که در آن، $Z^*(X_0)$: مقدار تخمین زده شده برای نقطه X_0، λ_{1i}: وزن مربوط به متغیر Z، λ_k: وزن مربوط به متغیر کمکی Y، m و n: تعداد جفت‌های مقایسه برای متغیرهای کمکی و اصلی، $Z(X_i)$: مقدار مشاهداتی متغیر اصلی و $Y(X_k)$: مقدار مشاهداتی متغیر کمکی است.

برای تخمین با این روش نیاز به محاسبه واریوگرام متقابل بین هر زوج از متغیرها به‌صورت رابطه ۲ است:

$$\gamma(ZY)h = \frac{1}{2}n[Z(X_i+h)-Z(X_i)]\times[Y(X_k+h)-Y(X_k)] \qquad (۲)$$

که در آن، $\gamma(ZY)h$: واریوگرام متقابل بین متغیرهای Z و Y، $Y(X_k)$: متغیر کمکی و $Z(X_i)$ و $Z(X_i+h)$: مقادیر متغیر به‌ترتیب در نقاط X_i و X_i+h می‌باشد.

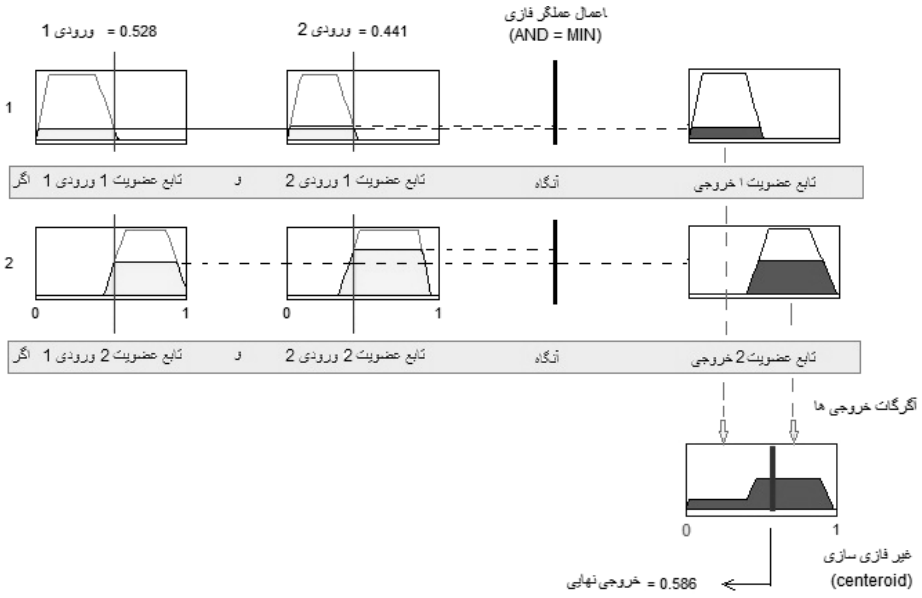
وقتی تعدادی متغیر هم‌بسته با هم تخمین زده می‌شوند، کوکریجینگ نسبت به روش‌های کریجینگ یک‌متغیره برتری دارد؛ حتی وقتی از همه متغیرها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد، باز هم کوکریجینگ، ترکیبی از روش کریجینگ یک‌متغیره است (حسنی‌پاک، ۱۹۹۸).

منطق فازی: سیستم‌های استنتاج فازی، مدل‌های غیرخطی هستند که رابطه بین ورودی و خروجی‌های مدل را، با استفاده از قوانین اگر- آن‌گاه فازی توصیف می‌کنند (جک‌کویین و شمس‌الدین، ۲۰۰۶). بر خلاف مجموعه‌های کلاسیک که اعضای آن‌ها به‌طور کامل عضو آن مجموعه هستند در مجموعه‌های فازی اعضاء دارای درجه عضویت می‌باشند که می‌تواند از صفر تا یک تغییر کند. فرم کلی یک مجموعه فازی به‌صورت رابطه ۳ می‌باشد:

$$A = \left\{ \left(x,\ \mu_{\tilde{A}}(x)\right)\ ,\ x \in X \right\} \qquad (۳)$$

که در آن، x: عضوی از X بوده و $\mu_{\tilde{A}}$: درجه عضویت x می‌باشد که می‌تواند بین صفر تا یک متغیر باشد. برای در نظرگرفتن درجه عضویت از توابع عضویت استفاده می‌شود که شامل توابع عضویت مثلثی[1]، ذوزنقه‌ای[2]، گوسی[3]، گوسی دوطرفه[4]، سیگموئیدی[5] می‌باشند (راجاسکاران و ویجایالاکشمی، ۲۰۰۵). شکل ۳ دیاگرامی از یک سیستم فازی ممدانی را در حالت کلی، برای دو متغیر ورودی و یک خروجی که هر یک دارای دو تابع عضویت هستند با دو قانون اگر- آن‌گاه، نشان می‌دهد.

1- Triangular
2- Trapezoidal
3- Gaussian
4- Two-Sided Gaussian
5- Sigmoidal



شکل ۳- سیستم فازی ممدانی.

نتایج و بحث

پس از بررسی نرمال بودن داده‌های به‌دست آمده از آنالیز شیمیایی و تبدیل داده‌های غیرنرمال به نرمال، همبستگی بین پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب همبستگی بین پارامترها در جدول ۲ آورده شده. سپس الگوهای واریوگرام رسم و بهترین الگوی واریوگرام براساس حداقل مقدار RSS[1] و استحکام ساختار فضایی قوی‌تر انتخاب گردید. برای درون‌یابی هر یک از متغیرها به روش کوکریجینگ از متغیر دیگری که دارای بیش‌ترین همبستگی با متغیر مورد نظر بود، به‌عنوان متغیر کمکی استفاده گردید. جدول ۳ مدل مناسب برازش داده شده بر روی واریوگرام و عوامل مربوطه را نشان می‌دهد. همچنین بهترین واریوگرام به‌دست آمده برای هر یک از پارامترها در شکل ٤ نشان داده شده است.

1- Residual Sum of Squares

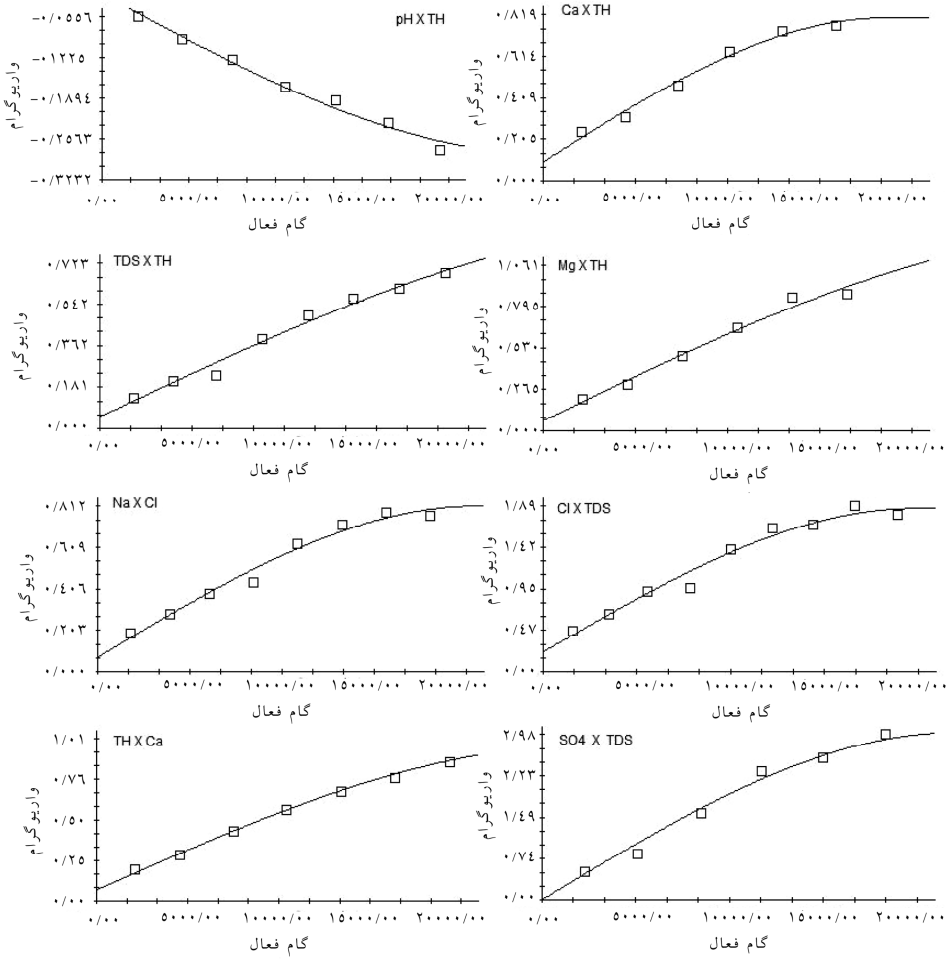
جدول ۲- ضریب همبستگی بین متغیرها.

	pH	TDS	Ca	Mg	Na	Cl	SO_4	TH
pH	۱							
TDS	-۰/۷۳۱	۱						
Ca	-۰/۷۱۶	۰/۹۱٤	۱					
Mg	-۰/٦۹۳	۰/۹٤٦	۰/۸۹٤	۱				
Na	-۰/٤۷٥	۰/۷۳۲	۰/٤٦۲	۰/٦۰٤	۱			
Cl	-۰/٦۷۷	۰/۹۲۱	۰/۷۷۸	۰/۸۷۱	۰/۷٥٥	۱		
SO_4	-۰/٥٦۱	۰/۸۸۸	۰/۸۲۷	۰/۸۷۳	۰/٦٥٥	۰/۷۸۹	۱	
TH	-۰/۷۳۲	۰/۹٥۱	۰/۹۸٦	۰/۹٥٥	۰/٥۳۲	۰/۸۳۳	۰/۸٦۱	۱

جدول ۳- مناسب‌ترین مدل برازش داده شده بر واریوگرام و مشخصات مربوط به آن برای هر یک از متغیرها.

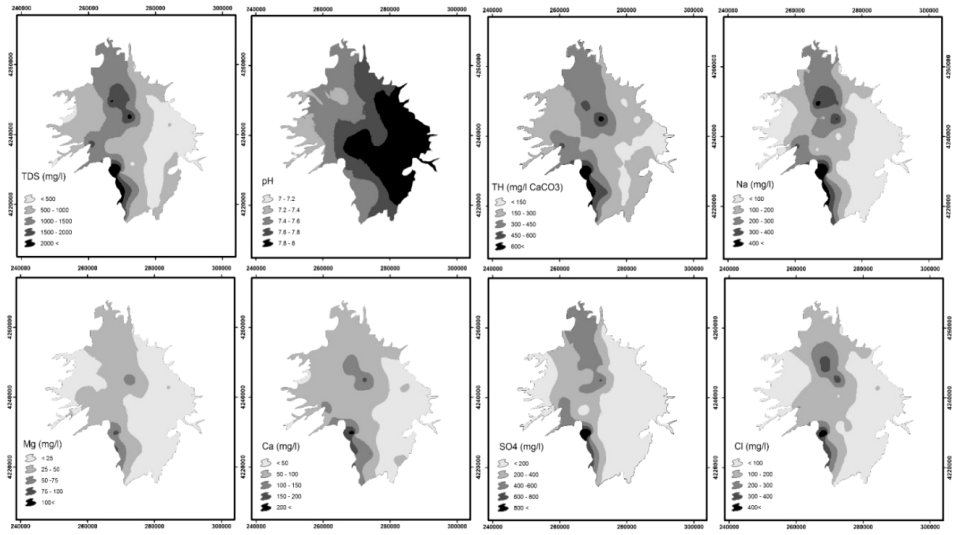
پارامترها	مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	شعاع تأثیر	نسبت اثر قطعه‌ای به سقف	R^2	RSS
TDS	کروی	۰/۰٥۱۰	۰/۹۱۰۰	۳۳۸۹۰	۰/۰٥٦	۰/۹۸۲	۰/۰۰٥۱
pH	کروی	-۰/۰۱۷۹	-۰/۲۸۰۸	۲٥٥٦۰	۰/۰٦٤	۰/۹۷٥	۰/۰۰۱٦
Na^+	کروی	۰/۰۷۰۰	۰/۸۱۳	۲۰٥۸۰	۰/۰۸٦	۰/۹۷۸	۰/۰۰۸۲
Ca^{2+}	کروی	۰/۰۹۲۰	۰/۸۰۳۰	۱۸٤٦۰	۰/۱۱٥	۰/۹۸٦	۰/۰۰۳٤
Mg^{2+}	کروی	۰/۰٦٤۰	۱/۲۹٤۰	۳۲۲۹۰	۰/۰٤۹	۰/۹۸۱	۰/۰۰۷٤
TH	کروی	۰/۰٦۸۰	۰/۹٦۱۰	۲٦٥٦۰	۰/۰۷۱	۰/۹۸۷	۰/۰۰۹٦
Cl^-	کروی	۰/۲۲۳	۱/۸٦۷	۱۹۸٥۰	۰/۱۱۹	۰/۹۷٤	۰/۰٥۸٦
SO_4^{2-}	کروی	۰/۰۰۱	۳/۰۱۲	۲۲۰٤۰	۳/۳۲۰	۰/۹۸۸	۰/۰۷۱۹

نسبت اثر قطعه‌ای به سقف می‌تواند به‌عنوان یک معیار برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها در نظر گرفته شود. مقادیر کم‌تر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی، مقادیر بین ۷۵-۲۵ درصد وابستگی مکانی متوسط و مقادیر بیش‌تر از ۷۵ درصد وابستگی مکانی ضعیف را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳ برای تمامی پارامترها این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد بوده و تمامی آن‌ها دارای استحکام فضایی قوی می‌باشند. شکل ۵ پهنه‌بندی هر یک از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل را نشان می‌دهد که با استفاده از کوکرجینگ و اعمال بهترین واریوگرام به‌دست آمده است.



شکل ٤- واریوگرام‌های متقابل مربوط به پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل.

محور قائم مقدار واریوگرام‌های تجربی و محور افقی گام فعال برای محاسبه واریوگرام را نشان می‌دهد.



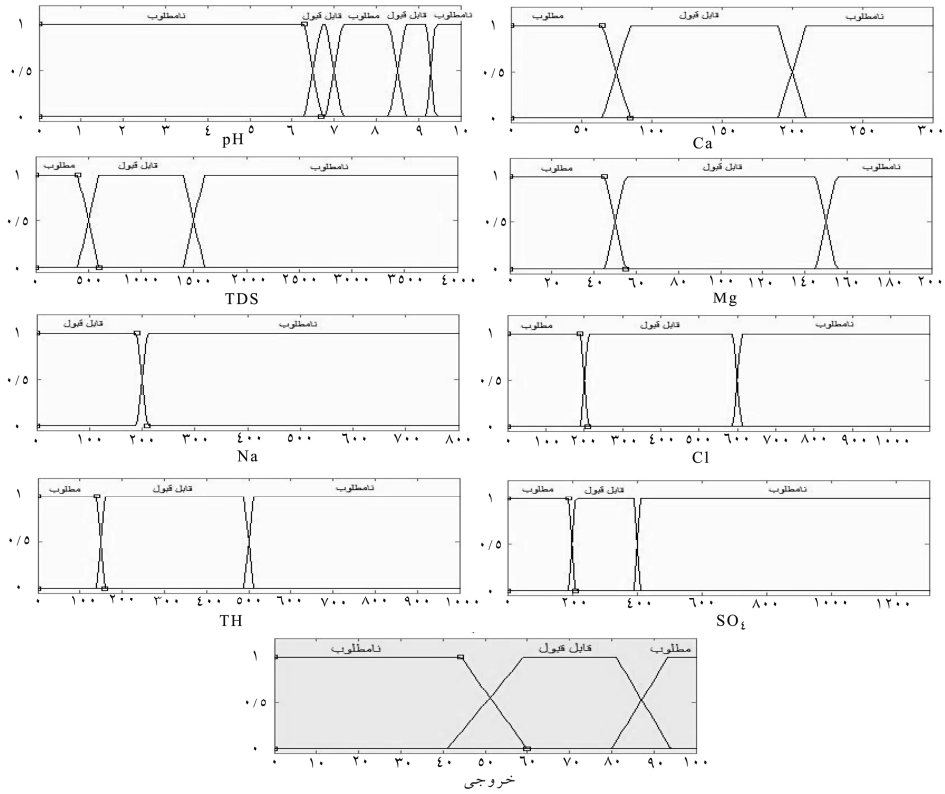
شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی به‌دست آمده از کوکریجینگ برای هر یک از پارامترهای کیفی آبخوان دشت اردبیل.

پس از تعیین مقادیر و نحوه توزیع هر یک از پارامترها در محدوده مورد مطالعه، از آن‌ها به‌عنوان ورودی‌های منطق فازی استفاده گردید. در این پژوهش از سیستم فازی ممدانی و توابع عضویت ذوزنقه‌ای برای در نظر گرفتن حدود کیفی هر یک از پارامترها براساس استاندارد کیفی شماره ۱۰۵۳ استفاده گردیده است. حدود کیفی آب در جدول ٤ آورده شده است.

جدول ٤- استاندارد شماره ۱۰۵۳، حدود کیفی آب شرب (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۹۹۷).

پارامتر کیفی	علامت شیمیایی	حداکثر مقدار مطلوب (میلی‌گرم بر لیتر)	حداکثر مقدار مجاز (میلی‌گرم بر لیتر)
کل مواد جامد محلول باقی‌مانده	TDS	۵۰۰	۱۵۰۰
سختی کل بر حسب کربنات کلسیم	TH	۱۵۰	۵۰۰
کلسیم	Ca^{2+}	۷۵	۲۰۰
منیزیم	Mg^{2+}	۵۰	۱۵۰
سولفات	SO_4^{2-}	۲۰۰	٤۰۰
کلرور	Cl^-	۲۰۰	٦۰۰
اسیدیته	pH	۷-۸/۵	٦/۵-۹/۲
سدیم	Na^+	-	۲۰۰

توابع عضویت مربوط به پارامترهای ورودی (پارامترهای کیفی آب) و همچنین خروجی سیستم فازی در شکل ٦ آورده شده است.

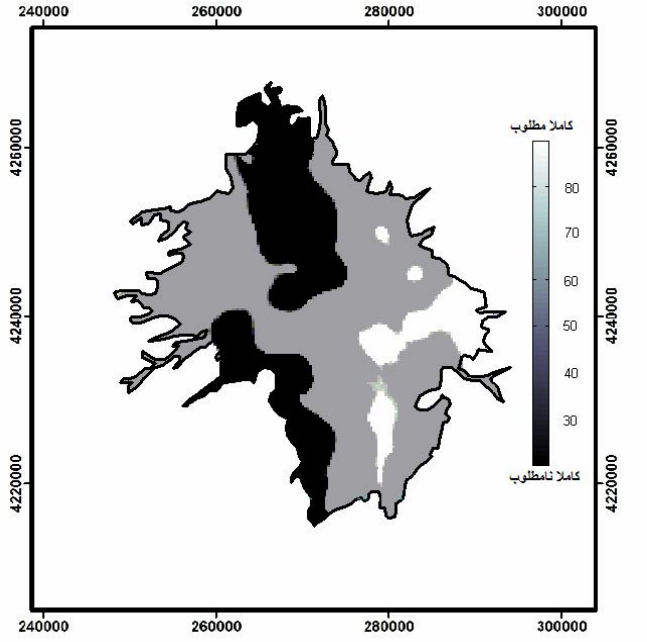


شکل ٦- توابع عضویت ورودی مربوط به پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و توابع عضویت خروجی. محور قائم مقدار تابع عضویت و محور افقی حدود کیفی استاندارد را نشان می‌دهد.

تنظیم پایگاه قواعد فازی که مجموعه قوانین منطقی بیان‌کننده رابطه بین متغیرهای فازی است، مهم‌ترین بخش یک سیستم فازی به‌شمار می‌رود زیرا رابطه بین توابع عضویت ورودی و توابع عضویت خروجی به‌وسیله تعریف قوانین برقرار می‌گردد. بعد از تعریف توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی، اقدام به تنظیم قوانین فازی گردید. با توجه به تعداد ورودی‌ها و نیز حدود

استاندارد هر یک از پارامترها، تعداد حالات ممکن برای تعریف این قوانین بسیار زیاد می‌شد. بنابراین برای کاستن تعداد قوانین به‌طوری‌که تمام حالات ممکن نیز در نظر گرفته شود، با توجه به ماهیت پارامترها، آن‌ها در سه گروه به‌صورت: TDS و pH در گروه اول، Na^{+}، Mg^{2+}، Ca^{2+} و TH در گروه دوم و Cl^{-} و SO_4^{2-} در گروه سوم دسته‌بندی شدند. به این ترتیب نتیجه هر گروه برای تولید نتیجه نهایی به‌کار رفت. در اجرای سیستم فازی در مجموع ۱۰۵ قانون تعریف گردیده که شامل تمام حالت‌های مربوط به قوانین هر گروه به تنهایی و قوانین مربوط به مجموع گروه‌ها می‌باشند.

هر یک از لایه‌های ورودی منطق فازی، دارای ابعاد ۱۳۷×۱٤۰ (۱۹۱۸۰ سلول) بوده که در نهایت پس از اجرای سیستم استنتاج فازی، به یک لایه با همین ابعاد تبدیل می‌شوند. در واقع سیستم استنتاج فازی به مانند یک شخص خبره، با در نظر گرفتن هم‌زمان داده‌های کیفی آبخوان که در هشت فایل رستر ذخیره شده‌اند، نقشه کیفی آب شرب آبخوان را تولید می‌کند. این خروجی نهایی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی کیفی نهایی آبخوان دشت اردبیل.

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که نمونه‌برداری از تمام نقاط محدوده مطالعاتی مقدور نیست، با استفاده از روش‌های درون‌یابی که ابزار قدرتمندی در تخمین داده‌ها بر مبنای ساختار مکانی هستند، می‌توان به تقریب قابل اعتمادی از نقاط مورد مطالعه دست یافت. از سوی دیگر، نتایج آنالیزهای شیمیایی و نیز حدود در نظر گرفته شده برای عناصر در استانداردهای کیفی دارای عدم قطعیت می‌باشند که می‌توان با نگرشی فازی این عدم قطعیت را پوشش داد. براساس نتایج به‌دست آمده استفاده از این دو روش در کنار یکدیگر می‌تواند راه‌حل بسیار مناسب و ساده‌ای برای تولید نقشه کیفی آبخوان و ابزار مدیریتی مناسبی برای تخصیص و کاربری آب برای مصارف آشامیدنی باشد. زیرا این روش قادر است به‌طور مستقیم از داده‌های ناپیوسته نمونه‌برداری، نقشه کاربری آب زیرزمینی تولید نماید. با استفاده از نقشه نهایی می‌توان محدوده‌های مناسب برای حفر چاه‌های آب شرب جدید را مشخص کرد و از وضعیت چاه‌های قبلی که در محدوده‌های نامناسب کیفی قرار دارند، آگاهی یافت. از برتری‌های دیگر این روش، انعطاف زیاد آن بوده و مانند یک شخص خبره با دید کارشناسی، با دقت بسیار بالا و در کم‌ترین زمان ممکن عمل می‌کند. از روش نام‌برده می‌توان در ارزیابی کیفیت آب کشاورزی، صنعتی، پایش آلودگی و حتی در دیگر علوم محیطی مانند پایش کیفیت هوا استفاده کرد.

براساس نتایج به‌دست آمده، ۳/۵ درصد از مساحت آبخوان دشت اردبیل دارای کیفیت مطلوب، ٦٨ درصد دارای کیفیت قابل‌قبول و ۲۸/۵ درصد غیرقابل‌قبول از نظر شرب می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از کارکنان سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل، به‌خصوص بخش مطالعات پایه منابع آب و بخش ارتباط با دانشگاه به‌خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان و در اختیار گذاشتن امکانات برای نمونه‌برداری سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

1.Chang, N.B., Chen, H.W., and Ning, S.K. 2001. Identification of river water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach. J. Environ. Manage. 63: 3. 293-305.

2.Dagostino, V., Greene, E.A., Passarella, B., and Vurro, G. 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. Environmental Geology. 36: 285-295.

3.Garah Mahmoodloo, M., Raghimi, M., Khodaei, K., and Seyied, M. 2008. Classification of water quality for drinking, agriculture, industry and livestock (Atrak River case study). 3th Iran Water Resources Management. University of Tabriz. 11p. (In Persian)
4.Ghods Niroo Consulting Engineers. 2008. Mathematical model of Ardabil plain aquifer. Semi-comprehensive project of groundwater and utilization management. 5: 85. (In Persian)
5.Hashemi, S.E., Mousavi, S.F., Taheri, S.M., and Qarah-Chahi, A. 2008. Application of fuzzy inference system in evaluating the quality of drinking water. 3th Iran Water Resources Management (Paper abstracts). University of Tabriz. 9p. (In Persian)
6.Hassani Pak, A.A. 1998. Geostatistics.Tehran University Publications. 314p. (In Persian)
7.Institute of Standard and Industrial Research of Iran (ISIRI). 1997. Characteristics of Drinking Water. Standard No. 1053. The 5th editions, Commission of The standard and drink water Characteristics. 18p. (In Persian)
8.Jacquin, A.P., and Shamseldin, A.Y. 2006. Development of rainfall-runoff models using Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System. J. Hydrol. 329: 1-2. 154-173.
9.Mouser, P., and Rizzo, D. 2004. Evaluation of geostatistics for combined hydrochemistry and microbial community fingerprinting at a waste disposal site. Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management. Pp: 1-11.
10.Norouzian, K., Tajrish, M., and Abrishamchi, A. 2001. Water quality zoning of rivers by the technique of fuzzy clustering analysis. J. Esteghlal. 20: 1. 55-68. (In Persian)
11.Rajasekaran, S., and Vijayalakshmi Pai, G.A. 2005. Neural networks, fuzzy logic, genetic algorithms synthesis and applications. Prentice-Hall of India, New Delhi. 439p.
12.Statistical Center of Iran. 2011. Implementation of the 2011 Iranian Population and Housing Census. 61p.
13.Taghizadeh Mehrjardi, R., Zareian Jahromi, M., Mahmodi, Sh., and Heidari, A. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). World Appl. Sci. J. 4: 1. 9-17.
14.WHO. 2008. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 1: Recommendations. WHO Press, Geneva, Switzerland, 668p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Evaluation of drinking water quality of Ardabil plain aquifer by cokriging and fuzzy logic

***M. Kord[1] and A. Asghari-Moghaddam[2]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Geology, University of Kurdistan,
[2]Professor, Dept. of Earth Science, University of Tabriz
Received: 02/01/2013; Accepted: 06/30/2013

Abstract

In arid and semi arid regions like Iran, exploitation and allocation of groundwater resources is of great importance. In this study, the methods of cokriging and fuzzy logic have been used for qualitative classification of groundwater in Ardabil plain for drinking purpose. Thus, qualitative data related to the TDS, TH, pH, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, Na^{+} and SO_4^{2-} parameters of seventy-six wells were used. This study included two stages that in the first one distribution of these parameters by cokriging interpolation method (for each point of the plain) has been derived. Then in the second stage, these interpolated data have been used as fuzzy logic inputs. The qualitative spatial distribution map of plain was generated with identifying membership functions for each of parameters in three classes "Desirable", "Acceptable" and "Not-acceptable" and with fuzzy attitudinal to drinking water quality standard. In general, to classify groundwater quality, 105 rules were specified. According to obtained results, 3.5, 68 and 28.5 percents of Ardabil plain area have Desirable, Acceptable and Not-acceptable classes of quality for dinking, respectively. This spatial distribution map can be helpful for exploitation of groundwater resources and offer a good insight of groundwater qualitative trend in this study area.

Keywords: Groundwater, Quality classification, Interpolation, Cokriging, Fuzzy logic

* Corresponding Author; Email: m.kord@uok.ac.ir