

کاربرد مدل تصمیم‌گیری FAHP باکلی در ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی ۹ شهر استان ایلام برای مصارف شرب و کشاورزی

حسین اقدر^۱، فاطمه محمدیاری^{۲*}، فوزیه بیگ‌محمدی^۳

۱ کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز
۲ دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشکده محیط‌زیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر
۳ کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۴/۲۶)

چکیده

پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی یک دشت از مهم‌ترین مراحل در مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. در این تحقیق، با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار، خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی شهرهای ایلام مورد بررسی قرار گرفته است. آب حاصل از ۷۸ چاه، در یک بازه زمانی ۱۳ ساله سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ برداشت و از لحاظ سدیم، کلر، هدایت الکتریکی، سولفات، TDS، SAR و TH آنالیز شیمیایی شد. نیم تغییرنمای تجربی هر یک از پارامترها با استفاده از نرم‌افزار GS⁺ محاسبه و مدل‌های مختلف برازش داده شد. نتایج نشان داد که داده‌های کیفی آب زیرزمینی در این منطقه دارای همبستگی قوی می‌باشد و ساختار مکانی آنها از مدل گوسین و کروی تبعیت می‌کند. سپس به کمک نرم‌افزار GIS درون‌یابی به روش کریجینگ صورت گرفت. در نهایت با استفاده از منطق فازی، طبقه‌بندی ویلکاکس و شولر و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره FAHP باکلی نقشه پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه برای مصارف شرب و کشاورزی تهیه شد. نقشه پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد، بر اساس روش شولر، ۲۱ درصد از مساحت منطقه آب با کیفیت خوب، ۳۶ درصد با کیفیت متوسط و ۴۳ درصد از منطقه دارای آب با کیفیت نامناسب از لحاظ شرب هستند و بر اساس روش ویلکاکس ۱۵ درصد از مساحت منطقه آب با کیفیت خوب، ۸ درصد با کیفیت متوسط و ۷۷ درصد از منطقه دارای آب با کیفیت نامناسب برای کشاورزی می‌باشند. پس می‌توان گفت که کیفیت آب منطقه مورد مطالعه برای شرب در حد متوسط و برای کشاورزی نامطلوب است.

کلید واژه‌ها: طبقه‌بندی شولر و ویلکاکس، کریجینگ، FAHP باکلی، شرب، کشاورزی

سرآغاز

آب‌های زیرزمینی بزرگترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین در کره زمین را تشکیل می‌دهند. با توجه به کاهش نزولات جوی و خشکسالی سال‌های اخیر و در نتیجه کمبود آب در پهنه وسیعی از کشور و افزایش میزان تقاضا برای مصارف مختلف، مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی از اهمیت و حساسیت بسیار زیادی برخوردار است (زمانی و محمودی، ۱۳۹۱). با این که ۷۵ درصد سطح زمین از آب پوشیده شده، تنها قسمت اندکی از آن به عنوان آب شیرین و قابل استحصال است که از این مقدار در حدود ۷۰ درصد به مصرف کشاورزی می‌رسد. کشور ایران از نظر وضعیت آب نسبت به متوسط جهانی در شرایط بحرانی‌تری قرار داشته و جز مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. بر این اساس تنها راه مقابله با مشکل کمبود آب، استفاده بیشتر و بهینه از منابع آب برای اهداف مختلف و به خصوص کشاورزی است. مهم‌ترین اقدام برای رشد تولید محصولات کشاورزی، تامین آب کافی و با کیفیت مناسب است (عبدی، ۱۳۸۵). امروزه بررسی‌های کیفی آب دامنه گسترده‌تری پیدا کرده و مسایل مربوط به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی را نیز شامل می‌شود. در اغلب نقاط جهان منابع آب زیرزمینی، از جمله مهم‌ترین منابع تامین آب شرب و کشاورزی می‌باشد. با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی و افزایش نیاز آبی جوامع بشری ذخیره این آب‌ها رو به کاهش است. از این رو نگهداری این منابع ضروری بوده و جلوگیری از آلودگی آنها دارای اهمیت می‌باشد (رهنما و همکاران، ۱۳۷۹). مهم‌ترین منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آب‌هایی است که به آن وارد می‌شود. برای کنترل آلودگی بایستی منشأ آلودگی را شناسایی کرد. در این راستا می‌توان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی را تهیه و پارامترهای کیفی آب را بررسی نمود (حسینی پاک، ۱۳۸۴). پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی در بسیاری مطالعات با روش‌های مختلفی صورت گرفته است. (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۶) پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق خشک و نیمه خشک مهران و دهلران را از لحاظ شرب با استفاده از روش‌های زمین آمار بررسی کردند. نتایج نشان داد که کیفیت آب منطقه مورد مطالعه برای شرب در حد مطلوب نیست. (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۵) کیفیت آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران را از لحاظ کشاورزی با روش‌های زمین آمار

ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کیفیت آب منطقه مورد مطالعه برای کشاورزی مطلوب نیست. (محمدیاری و اقدر، ۱۳۹۴) پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق خشک و نیمه‌خشک مهران و دهلران را از لحاظ کشاورزی با مدل کوکریجینگ و عکس فاصله^(۱) انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل کوکریجینگ دقت بالاتری نسبت به عکس فاصله دارد. (ساقی و همکاران، ۱۳۹۲) پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی بر اساس شاخص ویلکوکس را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به پراکنش نقاط در منحنی ویلکوکس می‌توان قضاوت نمود که وضعیت کیفی آب جهت کشاورزی در کلاس خوب و متوسط قرار دارد، اما افزایش تدریجی آلاینده‌ها و کاهش کیفیت آب رودخانه در منطقه پایین‌دست و میانی قابل توجه می‌باشد. (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱) شاخص کیفی آب زیرزمینی را با استفاده از منطق فازی در قنات‌های شهر یزد بر اساس ۲۴ پارامتر شیمیایی بررسی نموده و به این نتیجه رسیده‌اند که کیفیت آب پایین و استاندارد لازم برای مصارف آشامیدن را ندارد. (رجایی و همکاران، ۱۳۹۰) کیفیت شیمیایی آب شرب روستایی دشت بیرجند و قائن را به صورت آماری - توصیفی و با استفاده از دیاگرام شولر انجام و به تجزیه تحلیل پارامترهای آن (مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، کلر، سدیم، سولفات و سختی کل) پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که آب شرب مناطق مورد مطالعه در وضعیت خوب تا نامناسب قرار دارند همچنین (Yidana et al., 2008) کیفیت آب زیرزمینی دشت افرا در کشور غنا را از لحاظ فلوراید، EC و SAR برای ۱۴۳ حلقه چاه با استفاده از GIS مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بخش جنوب‌غربی منطقه مورد مطالعه مقادیر فلوراید، EC و SAR بالایی دارد و بخش‌های شمالی فلوراید کمتر از حد مجاز برای شرب دارند و آب این مناطق برای شرب مناسب نیست. (Sutharsiny et al., 2012) به بررسی کیفیت آب آبخوان دشت چوناکام سریلانکا برای کاربری کشاورزی با استفاده از دیاگرام شوری پرداختند که ۱۶ درصد نمونه‌ها با شوری متوسط و خطر قلیایی شدن کم برای کشاورزی مناسب شناخته شدند. (Ashraf et al., 2011) در مطالعه‌ای که بر روی تاثیرات آب زیرزمینی و کیفیت محصولات کشاورزی در محیط GIS در منطقه دامغان در استان سمنان انجام دادند، میزان عناصری از قبیل سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلر و هدایت الکتریکی

معروف‌ترین روش درون‌یابی، کریجینگ معمولی است که بهترین تخمین‌گر خطی ناریب (BLUE)^(۱) نام گرفته است (Journel & Huijbregts, 1987). روش فوق یک روش تخمین زمین آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند و بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است (قه‌روردی تالی، ۱۳۸۴) و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (۱)$$

که در آن $Z^*(x_0)$ مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه‌ی x_0 ، $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x_0 و λ_i وزن آماری است که به متغیر در نقطه x نسبت داده می‌شود این پارامتر نشان‌دهنده مقدار اهمیت و تاثیر نقطه i ام بر مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه x_0 است. به رغم محبوبیت عام، AHP به دلیل ناتوانی در ترکیب ابهام ذاتی و نبود صراحت مربوط به نگاشت ادراک‌های تصمیم‌گیرندگان با اعداد دقیق، مورد نقد است. (Deng, 1999) در پژوهش حاضر برای تعیین وزن‌های هر یک از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. روش Fuzzy AHP ارایه شده توسط باکلی، شکل تعمیم یافته‌ای از روش AHP کلاسیک است. در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد فازی و ذوزنقه‌ای و برای به دست آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده می‌شود. چرا که این روش به سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است و همچنین جواب یگانه‌ای برای ماتریس مقایسه‌ای زوجی تعیین می‌کند. در این روش شخص تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقایسه‌های زوجی المان‌های هر سطح را در قالب اعداد فازی ذوزنقه‌ای بیان کند (عطایی، ۱۳۸۹). اعداد فازی ذوزنقه‌ای به منظور مدیریت و کار با داده‌هایی که بی‌دقتی و عدم قطعیت ذاتی دارند، انتخاب شدند (جدول ۱).

الگوریتم روش باکلی را می‌توان در قالب چهار گام زیر بیان کرد (Kaya & Kahraman, 2011).

گام اول- برآورد اهمیت نسبی معیارها با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی. در این ارتباط برای ارزیابی اهمیت معیارها متغیرهای زبانی به اعداد فازی ذوزنقه‌ای تبدیل می‌شوند. گام دوم- با استفاده از عملگر میانگین‌گیری اعداد فازی ذوزنقه‌ای به صورت زیر تعریف می‌شود:

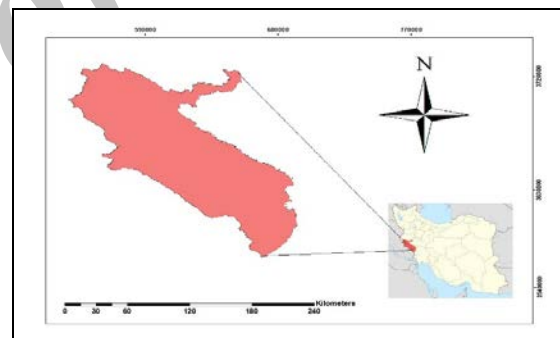
$$\tilde{c}_{jk} = \frac{1}{k} [\tilde{c}_{jk}^1 (+) \tilde{c}_{jk}^2 \dots (+) \tilde{c}_{jk}^k] \quad (۲)$$

ارزیابی و کمیته آن‌ها را برای استفاده در کشاورزی بررسی کردند. بنابر تحلیل آن‌ها، وضعیت کلی این عناصر در کشاورزی مطلوب بوده ولی روند افزایشی در کمیته عناصر دیده می‌شود. اهداف تحقیق حاضر بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی شهرهای ایلام با استفاده از امکانات نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی شهرهای ایلام برای مصارف شرب و کشاورزی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرهایی از استان ایلام است که در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۷ دقیقه شمالی قرار دارند. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن خشک و مساحت منطقه ۱۹۹۲۹ کیلومتر مربع می‌باشد شکل (۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه مطالعاتی

روش پژوهش

این تحقیق از نوع کاربردی می‌باشد و جهت انجام تحقیق از نرم‌افزارهای Arc GIS 10، GS⁺ و Spss16 استفاده شده است. در این مطالعه جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی کیفیت آب زیرزمینی از نتایج تجزیه شیمیایی ۷۸ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق، تهیه شده از سازمان آب منطقه‌ای ایلام استفاده شد. به منظور قابل مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری (به ازای شاخص‌های گوناگون) باید از بی‌مقیاس کردن یا همان استانداردسازی استفاده نمود، که بدان طریق عناصر شاخص‌های تبدیل شده بدون بعد اندازه‌گیری می‌شوند (اصغرپور، ۱۳۸۵). تابع تبدیل فازی کوچک زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقادیر ورودی کوچک‌تر برای عضویت مجموعه مناسب‌تر هستند. این تابع برای حالات خطی کاهنده به کار می‌رود یعنی مقادیر ورودی کوچک‌تر مقدار عضویت نزدیک به یک را دارند.

گام چهارم - وزن‌های فازی ذوزنقه‌ای غیرفازی و نرمال‌سازی شد. به منظور غیرفازی‌سازی اعداد فازی ذوزنقه‌ای، معادله زیر استفاده شده است:

$$w_j = \frac{\frac{a_j}{d} + 2\left(\frac{b_j}{c} + \frac{c_j}{b}\right) + \frac{d_j}{a}}{6} \quad \text{رابطه (۶)}$$

به منظور استاندارد سازی و نرمال کردن وزن‌های قطعی معادله زیر به کار برده می‌شود:

$$w_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۷)}$$

به منظور ارزیابی آب شهرهای ایلام در مرحله نخست از ۷۸ حلقه چاه موجود در منطقه نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها از لحاظ TH، SAR، TDS، سدیم، سولفات، هدایت الکتریکی و کلر مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. سپس نیم تغییر نمای تجربی داده‌های کیفی در نرم‌افزار GS⁺ محاسبه و بهترین مدل برای هر کدام از پارامترها انتخاب شد.

در طبقه‌بندی شولر، آب‌ها از نظر مصرف آشامیدنی به ۶ گروه شامل شرب، قابل قبول، قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامناسب و غیرقابل شرب تقسیم می‌شود (جدول ۲).

برای تعیین کیفیت آب کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکوکس که یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه می‌باشد، استفاده شده است. در این طبقه‌بندی آب کشاورزی بر اساس میزان هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) به چهار گروه با کیفیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب جدول‌های (۳ تا ۱۰) ورده تقسیم‌بندی شد (جدول ۴).

جدول (۲): معیارهای کیفیت آب شرب طبق نظر شولر (mg/l)

ردیف	کیفیت	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄	TDS	TH
۱	خوب	<۱۱۵	<۱۷۵	<۱۴۵	<۵۰۰	<۲۵۰
۲	قابل قبول	۱۱۵-۲۳۰	۱۷۵-۳۵۰	۱۴۵-۲۸۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۵۰-۵۰۰
۳	متوسط	۲۳۰-۴۶۰	۳۵۰-۷۰۰	۲۸۰-۵۸۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰
۴	نامناسب	۴۶۰-۹۲۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۵۸۰-۱۱۵۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۵	کاملاً نامطلوب	۹۲۰-۱۸۴۰	۱۴۰۰-۲۸۰۰	۱۱۵۰-۲۲۴۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰
۶	غیرقابل شرب	>۱۸۴۰	>۲۸۰۰	>۲۲۴۰	>۸۰۰۰	>۴۰۰۰

بخش ساختاری واریانس به کل واریانس داده‌ها را که با $C/(C+CO)$ نشان می‌دهند، هر اندازه به یک نزدیک تر باشد، بهتر بوده و نشان دهنده همبستگی قوی‌تری می‌باشد. برای توجیه همسانی مدل‌های پارامترها، از تجزیه‌ی همبستگی به روش پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS₁₆ استفاده شد جدول (۶ و ۷)، شاید بتوان همسانی مدل‌ها را به وجود همبستگی

جدول (۱): ارزیابی مقیاس فازی

تعریف زبانی	امتیاز فازی
کاملاً قوی	(۵/۲، ۳، ۷/۲، ۴)
خیلی قوی	(۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲)
نسبتاً قوی	(۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳)
کمی قوی	(۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲)
یکسان	(۱، ۱، ۱، ۱)
کمی ضعیف	(۲/۵، ۱/۲، ۲/۳، ۱)
نسبتاً ضعیف	(۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳)
خیلی ضعیف	(۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱/۲)
کاملاً ضعیف	(۱/۴، ۲/۷، ۱/۳، ۲/۵)

منبع: (Kaya & Kahraman, 2011)

نظرات و عملکردهای انفرادی کارشناسان گروه‌بندی می‌شوند که k تعداد کارشناسان و \tilde{c}_{jk} ارزیابی k امین تصمیم‌گیرنده بین معیارهای زام و k ام در ماتریس مقایسه زوجی است.

گام سوم - وزن‌های فازی \tilde{w}_j به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\tilde{a}_j = \left[\prod_{k=1}^n a_{jk} \right]^{1/n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_{j=1}^n a_j \quad \text{رابطه (۴)}$$

به طور مشابه می‌توان b_j ، c_j ، d_j و d را نیز تعریف کرد. سپس وزن‌های فازی w_j به صورت زیر تعریف می‌شوند (Chen et al., 2006).

$$\tilde{w}_j = \left(\frac{a_j}{d}, \frac{b_j}{c}, \frac{c_j}{b}, \frac{d_j}{a} \right) \quad \text{و} \quad v_j \quad \text{رابطه (۵)}$$

یافته‌ها

در این مطالعه برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، به کمک نرم‌افزار GS⁺ نیم تغییر نمای تجربی محاسبه شد. سپس بهترین مدل نیم تغییر نما به هر کدام از پارامترها برازش داده شد (شکل ۲). مناسب‌ترین مدل با توجه به کمترین RSS و R² که در جدول (۵) ارائه شده است، تعیین شد. نسبت

جدول (۳): معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی

رده	SAR (mg/l)	رده	EC (ds/m)	کیفیت آب
S ₁	<۱۰	C ₁	<۲۵۰	عالی
S ₂	۱۰-۱۸	C ₂	۲۵۰-۷۵۰	خوب
S ₃	۱۸-۲۶	C ₃	۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط
S ₄	>۲۶	C ₄	>۲۲۵۰	نامناسب

منبع: (Wilcox, 1955)

جدول (۴): رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس (Wilcox, 1955)

رده آب	نوع کیفیت آب برای کشاورزی	ردیف
C ₁ S ₁	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی ضرر	۱
C ₂ S ₁ , C ₂ S ₂ , C ₁ S ₂	کمی شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب	۲
C ₃ S ₃ , C ₃ S ₂ , C ₃ S ₁ , C ₂ S ₃ , C ₁ S ₃	شور- برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم	۳
C ₄ S ₁ , C ₄ S ₂ , C ₄ S ₃ , C ₄ S ₄ , C ₃ S ₄ , C ₂ S ₄ , C ₁ S ₄	خیلی شور- مضر برای کشاورزی	۴

جدول (۵): پارامترهای نیم تغییر نمای تجربی

RSS	R ²	C/(CO+C)	AO	CO+C	CO	نوع مدل	پارامترها
۱/۷۳	۰/۷۲۲	۰/۸۲۱	۲۲۷۲۰۰	۴/۶۹۰	۰/۸۴۰۰	Gaussian	Na ⁺
۰/۹۳۱	۰/۷۵۱	۰/۷۵۵	۲۲۰۲۰۰	۳/۹۴۸	۰/۹۶۹۰	Gaussian	Cl ⁻
۰/۷۷۸	۰/۲۶۹	۰/۷۰۵	۴۰۸۹۰۰	۳/۶۵۷	۱/۰۸۰۰	Gaussian	SO ₄
۰/۳۶۷	۰/۱۰۳	۰/۶۴۵	۴۱۳۳۰۰	۱/۵۳۸	۰/۵۴۶۰	Gaussian	TDS
۰/۵۰۸	۰/۰۲۹	۰/۷۴۸	۲۰۳۰۰	۰/۶۳۰	۰/۱۵۹۰	Spherical	TH
۰/۳۰۴	۰/۰۸۱	۰/۵۹۳	۴۰۹۰۰۰	۱/۳۱۴	۰/۵۳۵۰۰	Gaussian	EC
۱/۰۱	۰/۶۷۷	۰/۸۵۴	۴۴۰۴۰۰	۲/۸۴۰۰	۰/۴۱۵۰	Spherical	SAR

جدول (۶): ضرایب همبستگی پیرسون بین مولفه‌های

کیفی آب برای مصرف کشاورزی

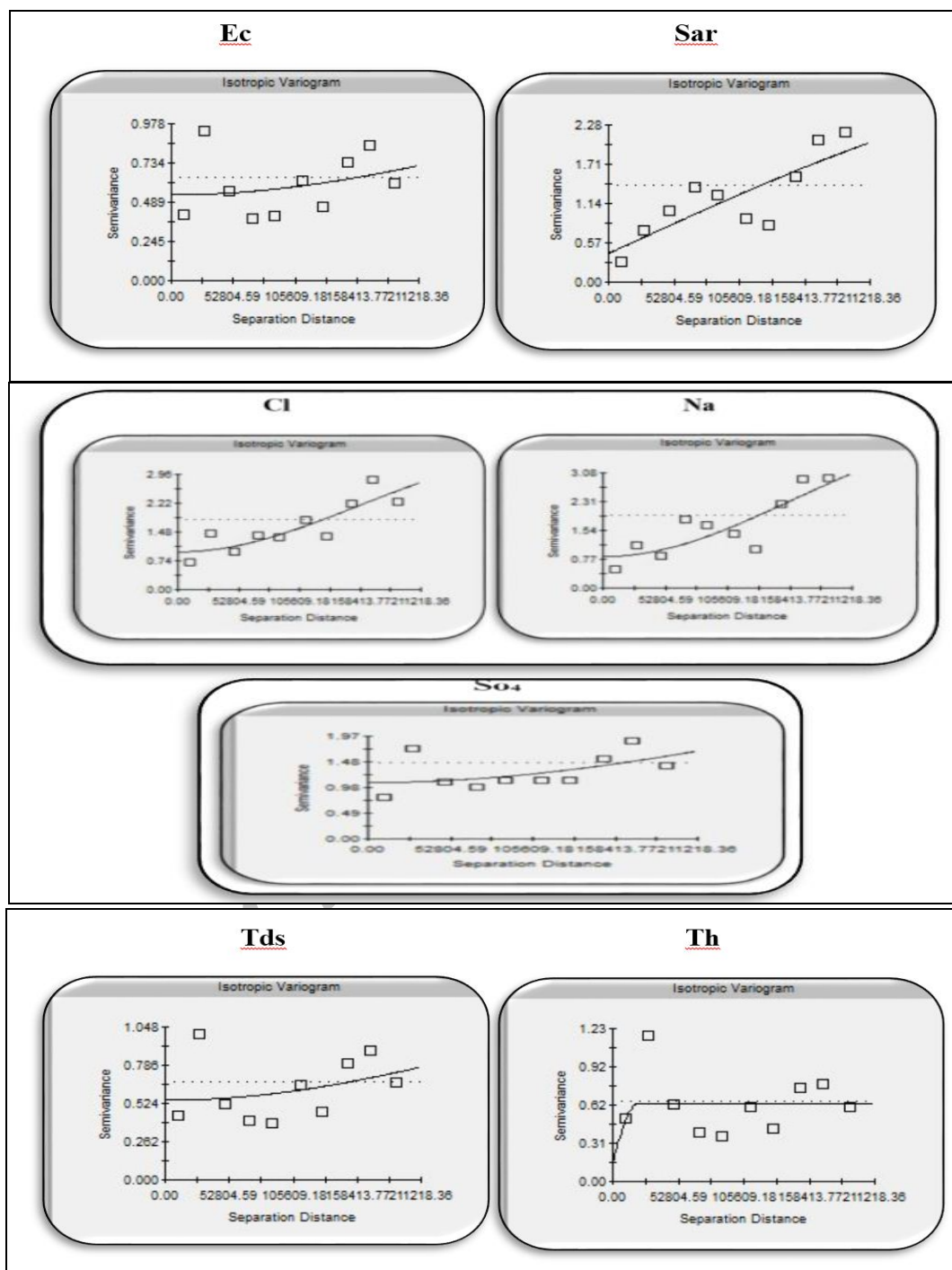
Sar	EC	پارامترها
	۱	EC
۱	۰/۶۹۵	Sar

در نهایت با تلفیق نقشه‌های فازی و ضرب وزن هر پارامتر در نقشه مربوط به آن پارامتر به روش ترکیب خطی وزنی، نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب طبق روش شولر و کشاورزی طبق روش ویلکاکس تهیه شد (شکل ۴ و جدول ۱۰).

معنی‌دار بین این شاخص‌ها نسبت داد. طبق این جدول مولفه‌های مورد بررسی در سطح خطای ۵٪ با یکدیگر رابطه معناداری داشتند ($P < 0/05$).

سپس با داشتن بهترین مدل‌ها، در محیط نرم‌افزار ARC GIS10 هر کدام از پارامترها به روش کریجینگ درون‌یابی و با استفاده از روش فازی، استاندارد سازی شدند (شکل ۳).

با استفاده از مدل FAHP و مقایسات زوجی که توسط کارشناسان انجام گرفت وزن‌های مربوط به هر یک از پارامترهای موثر برای کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب و کشاورزی محاسبه شد جدول‌های (۸ و ۹).

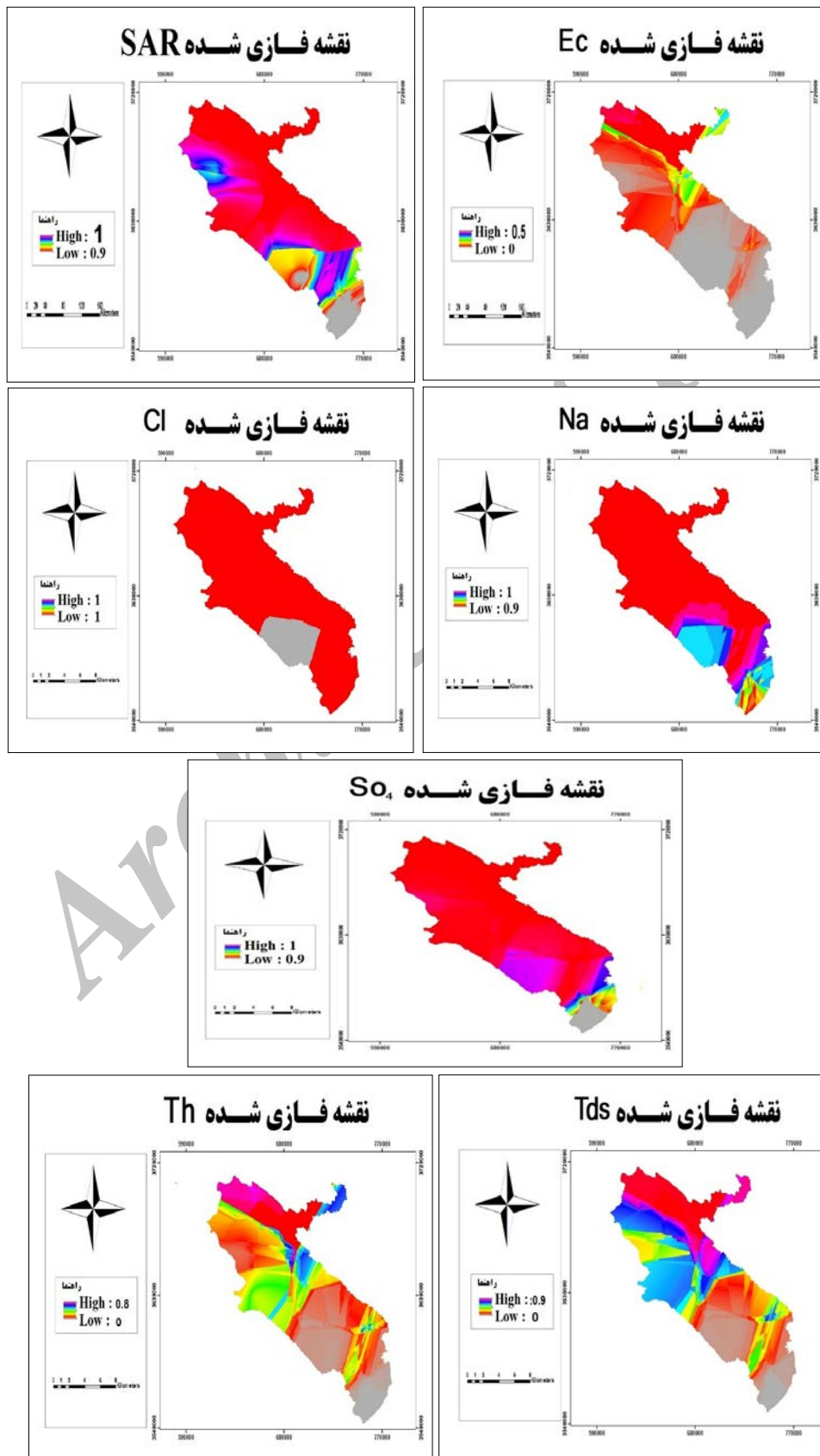


شکل (۲): نیم تغییر نمای تجربی و مدل برازش داده شده به پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

جدول (۷): ضرایب همبستگی پیرسون بین مولفه‌های کیفی آب برای مصرف شرب

TH	TDS	SO ₄	Cl ⁻	Na ⁺	پارامترها
				۱	Na ⁺
			۱	۰/۹۱۵	Cl ⁻
		۱	۰/۶۲۶	۰/۸۱۱	SO ₄

	۱	۰/۹۳۹	۰/۸۵۵	۰/۹۳۵	TDS
۱	۰/۹۶۴	۰/۹۶۲	۰/۷۴۰	۰/۸۳۰	TH



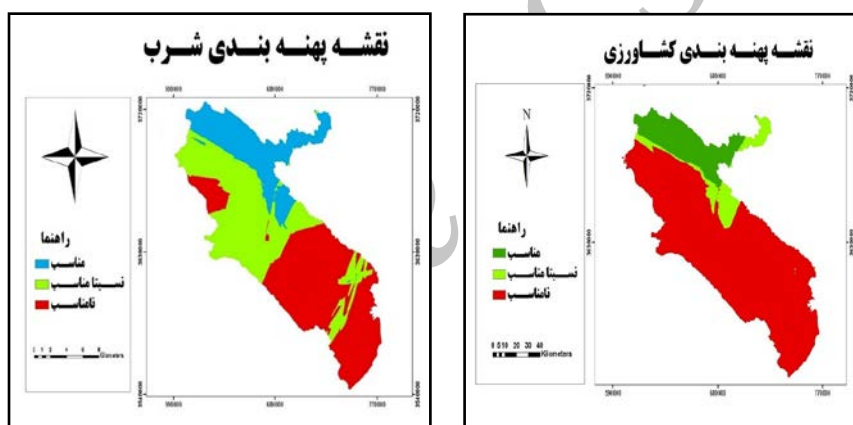
شکل (۳): نقشه‌های فازی شده

جدول (۸): ارزیابی فازی پارامترهای کیفی آب (کشاورزی)

وزن نهایی	اوزان فازی	Sar	EC	معیارها
۰/۶	۰/۴۸، ۰/۶۱، ۰/۵۲، ۰/۹۶	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۱، ۱، ۱، ۱	EC
۰/۴	۰/۲۲، ۰/۲۷، ۰/۳۴، ۰/۴۵	۱، ۱، ۱، ۱	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	Sar

جدول (۹): ارزیابی فازی پارامترهای کیفی آب (شرب)

وزن نهایی	اوزان فازی	TH	TDS	SO ₄	Cl ⁻	Na ⁺	معیار
۰/۳۴	۰/۲، ۰/۲۹، ۰/۴۲، ۰/۶	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲	۱، ۱، ۱، ۱	Na ⁺
۰/۱	۰/۰۷، ۰/۱، ۰/۱۴، ۰/۲	۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱/۲	۲/۵، ۱/۲، ۲/۳، ۱	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۱، ۱، ۱، ۱	۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱	Cl ⁻
۰/۱	۰/۰۵، ۰/۰۷، ۰/۱۱، ۰/۱۷	۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	۱، ۱، ۱، ۱	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	SO ₄
۰/۲	۰/۱۰، ۰/۱۴، ۰/۲۱، ۰/۳۳	۲/۵، ۱/۲، ۲/۳، ۱	۱، ۱، ۱، ۱	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	TDS
۰/۲۶	۰/۱۳، ۰/۲، ۰/۲۹، ۰/۴۳	۱، ۱، ۱، ۱	۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	TH



شکل (۴): نقشه‌های پهنه‌بندی

جدول (۱۰): مساحت کلاس‌های منطقه از نظر کیفیت آب زیرزمینی

کشاورزی		شرب		کلاس‌ها
مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	
۱۵	۲۹۰۲/۵۷۸۳	۲۱	۴۱۳۶/۱۸	منطقه مناسب
۸	۱۵۰۹/۷۳۳۹	۳۶	۷۱۹۹/۵۷	منطقه نسبتاً مناسب
۷۷	۱۵۵۱۷/۱۲۱۷	۴۳	۸۵۹۳/۳۹	منطقه نامناسب
۱۰۰	۱۹۹۲۹/۱۶	۱۰۰	۱۹۹۲۹/۱۶	مجموع

بحث و نتیجه‌گیری

نمونه‌برداری به درستی انتخاب شده‌اند. در واقع می‌توان گفت تعداد این نقاط مناسب بوده و دارای پراکنش خوبی هستند. در انتخاب بهترین مدل نیم تغییرنا مدل گوسین به‌عنوان بهترین مدل برای تمام پارامترها به جز TH و SAR انتخاب و دارای مناسب‌ترین معیارهای ارزیابی بوده است. این مطلب با نتایج

در این تحقیق نرمال کردن پارامترها با توجه به آزمون آماری کولموگروف اسمیرنوف بررسی شد و مشخص شد که داده‌های تمام پارامترها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند ($P > 0.05$). برخورداری داده‌ها از توزیع نرمال نشان‌دهنده این است که نقاط

قسمت‌ها می‌باشد. نمونه‌برداری‌های انجام شده صحت نتایج را نشان می‌دهد به صورتی که میزان نیترات در ایستگاه‌های شمال شرق و جنوب دارای بیشترین مقدار می‌باشند. در بسیاری از منابع آب به‌خصوص منابع زیرزمینی افزایش مقادیر نیترات به دلیل توسعه فعالیت‌های کشاورزی مشاهده شده است. طبق رهنمودهای کیفیت آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی به علت امکان وجود هم‌زمان نیتريت و نیترات در آب آشامیدنی، مجموع نسبت غلظت هر کدام به مقادیر توصیه شده نباید از ۱ میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند. همچنین وجود بیش از حد نیتريت و نیترات که احتمالاً مهم‌ترین علت این امر افزایش تولید فاضلاب‌ها، توسعه شهرنشینی و وجود زمین‌های کشاورزی و به تبع آن استفاده از کودهای ازته و نشر ازت موجود در این کودها، به منابع آب زیرزمینی است به دلیل مخلوط شدن با منابع آب‌های سطحی منطقه مشکلات بهداشتی ایجاد نمی‌کند لیکن توصیه می‌شود پایش‌های لازم صورت گیرد تا در صورت روند رو به رشد نیتريت در منابع آب زیرزمینی، اقدامات کنترلی لازم اعمال شود. با توجه به نتایج نوع سازندهای زمین‌شناسی منطقه و تحلیل آن‌ها کمک شایانی به تایید نتایج این تحقیق می‌کند. در استان ایلام رخساره‌های گچی، نمکی و محدودکننده گچساران خصوصاً در نواحی مرکزی به طرف جنوب و شمال شرق رخنمون زیادی دارند. این سازند به علت خواص شدید پلاستیکی، ناشی از وجود لایه‌های ضخیم گچی و ماری و نمکی موجب دگر شکلی و بهم ریختگی طبقات شده و به سبب قابلیت انحلال نمک‌ها و گچ و فرسایش‌پذیری رسوبات عامل محدودکننده منابع آب عبوری و موجب نامطلوبی و شوری آب‌ها می‌شود. به همین دلیل با تغییر جنس سازندها در جهت مرکز به جنوب و شمال شرق و توسعه سازند گچساران، در نقاط انتهایی منطقه کیفیت آب تنزل می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بالا بودن میزان سختی و سایر عناصر از قسمت‌های مرکز به جنوب شرق و شمال شرق روند افزایشی دارد و به دلیل جانشین شدن رسوبات آبرفتی با سازند گچساران مقدار سختی و دیگر عناصر افزایش می‌یابد و در قسمت‌های جنوب شرقی دشت به حداکثر خود می‌رسد بنابراین، می‌توان عامل اصلی کاهش کیفیت آب‌ها را سازند گچساران دانست پس می‌توان تاثیر سازندهای زمین‌شناسی در تنزیل و یا تغییر کیفیت آب زیرزمینی و نوع استفاده‌های ممکن از آب را تایید کرد. همچنین نتایج نشان داد که روش‌های زمین آماری از کارایی بسیاری در تخمین نقاط

بسیاری از تحقیقاتی که از روش‌های زمین آماری در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند، مطابقت دارد. پس می‌توان مدل گوسین را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل قابل برازش نیم تغییرنا در تحقیقات مرتبط با سطح آب زیرزمینی به حساب آورد. نتایج این تحقیق مبنی بر کارایی روش کریجینگ در مطالعات (قمیشیان، ۱۳۸۹؛ رضایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Taghizade Mehrjardi et al, 2008؛ Kresic, 1997 و Vijay & Remadevi, 2006) نیز تایید شده است. با توجه به نقشه‌های فازی شکل (۳) و معیار کیفیت آب پارامتر SAR در رده S_2 و کیفیت خوب قرار گرفت و EC در رده C_3 و C_4 و دارای کیفیت متوسط و نامناسب بود. خطر شوری و خطر سدیم در آب زیرزمینی منطقه با استفاده از نمودار ویلکوکس به دست آمد. بر اساس نمودار ویلکوکس، ۱۵ درصد نمونه‌ها در کلاس C_2S_1 ، ۸ درصد در کلاس C_3S_1 و ۷۷ درصد در کلاس C_4S_1 قرار گرفتند. بنابراین، آب زیرزمینی منطقه از لحاظ شوری مشکلی برای خاک ندارد ولی از نظر (EC) برای خاک مشکل‌زا می‌باشد. همچنین پارامترهای مورد بررسی برای شرب طبق روش شولر در طبقات خوب تا متوسط قرار گرفتند. نوآوری صورت گرفته در این پژوهش استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای افزایش دقت نتیجه نقشه پهنه‌بندی برای مصارف شرب و کشاورزی می‌باشد. مدل تصمیم‌گیری به کار رفته الگوریتم FAHP باکلی، یکی از دقیق‌ترین روش‌های وزن‌دهی می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد، بر اساس روش شولر، ۲۱ درصد از مساحت منطقه آب با کیفیت خوب، ۳۶ درصد با کیفیت متوسط و ۴۳ درصد از منطقه دارای آب با کیفیت نامناسب از لحاظ شرب هستند و بر اساس روش ویلکاکس ۱۵ درصد از مساحت منطقه آب با کیفیت خوب، ۸ درصد با کیفیت متوسط و ۷۷ درصد از منطقه دارای آب با کیفیت نامناسب برای کشاورزی می‌باشند (جدول ۱۰). پس می‌توان گفت که کیفیت آب منطقه مورد مطالعه برای شرب در حد متوسط و برای کشاورزی نامطلوب است. با توجه به شکل (۴) قسمت شمال شرقی، جنوب شرق و قسمت‌هایی از غرب برای مصرف شرب و قسمت‌های جنوب، شرق و غرب منطقه برای کشاورزی دارای آسیب‌پذیری بالاتری نسبت به سایر نواحی می‌باشند که در واقع این مساله نشان‌دهنده این موضوع است که فعالیت‌های انسانی در این حدود در صورت تمرکز دارای اثرگذاری بیشتری بر این

1. Inverse Distance Weighted

نامعلوم برخوردارند و نقشه‌های حاصل می‌تواند ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری مدیران در بخش‌های گوناگون باشد.

یادداشت‌ها

فهرست منابع

- اصغرپور، م. ۱۳۸۵. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران.
- حسینی، ق.؛ محوی، ا.؛ ناصری، س.؛ عرب علی بیگ، ح.؛ یونسین، م. و قریبی، ح. ۱۳۹۱. طراحی شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی، مجله سلامت و بهداشت اردبیل، ۳ (۱): ۱۸-۳.
- حسینی پاک، ع. ۱۳۸۴. زمین آمار (ژئواستاتستیک)، چاپ سوم، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- رهنما، م.؛ بارانی، م. و مرادی، م. ۱۳۷۹. پیش‌بینی پراکنش آلاینده‌ها در سفره‌های آب زیرزمینی، سومین همایش ملی بهداشت محیط زیست، ۱۲-۱۰.
- راهنمای نرم‌افزار ArcGIS10.
- رجایی، ق.؛ مهدی نژاد، م. و حساری مطلق، س. ۱۳۹۰. بررسی کیفیت شیمیایی آب شرب روستایی دشت بیرجند و قائن در سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸، مجله تحقیقات نظام سلامت، ۷ (۶): ۷۴۵-۷۳۷.
- رضایی، م.؛ دواتگر، ن.؛ تاجداری، خ. و ابولپور، ب. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار، نشریه آب و خاک، ۲۴ (۵): ۹۴۱-۹۳۲.
- زمانی، ا. و محمودی، ر. ۱۳۹۱. بررسی کاربرد روش ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در میانمایی سطح آب زیرزمینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲۲ ص.
- ساقی، م.؛ صمدی، م.؛ رحمانی، ع. و محسنی بندپی، ا. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی بر اساس شاخص WILCOX استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز.
- عبدی، پ. ۱۳۸۵. بررسی فرصت‌ها و چالش‌های منابع آب استان زنجان، کنفرانس توسعه کشاورزی زنجان.
- عطائی، م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- قمشیان، م. ۱۳۸۹. پیش‌بینی فضایی کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی در دشت سمنان - سرخه با استفاده از تکنیک زمین‌آمار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان.
- قهرودی تالی، م. ۱۳۸۴. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی ArcGIS، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم.
- محمدی، م.؛ محمدی قلعه‌نی، م. و ابراهیمی، ک. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین، مجله پژوهش آب ایران، شماره ۸، ۵۲-۴۱.
- محمدیاری، ف.؛ اقدر، ح. و بصیری، ر. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: مناطق خشک مهران و دهلران)، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۶، شماره ۱۰۱، ۱۹۹-۲۰۸.
- محمدیاری، ف.؛ توکلی، م. و اقدر، ح. ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران از لحاظ کشاورزی با روش‌های زمین آمار، علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۴، ۸۳-۷۱.
- محمدیاری، ف. و اقدر، ح. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ کشاورزی با مدل کوکریجینگ و عکس فاصله (مطالعه موردی: مناطق خشک و نیمه خشک مهران و دهلران)، اولین همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی، تهران.
- Ashraf, sh.; Afshari, H. & Ebadi, A.Gh. 2011. Application of GIS for Determination of Ground Water Quality Suitable in Corps Influenced by irrigation water in the Damghan region of Iran. International Journal of the physical sciences. 6(4): 843-854.
- Chen, C.; lin, C. & Huang, s. 2006. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, International journal of production economics, 102. 289-301.
- Deng, H. 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparisons, International Journal of Approximate Reasoning, 21:231-215.
- Journel, A.G. & Huijbregts, C.J. 1987. Mining Geostatistics, academic press, 600.
- Kaya, T. & Kahraman, c. 2011. An integrated fuzzy AHP- ELECTRE methodology for environmental impact assessment, Expert Systems with Applications.8554-8555.
- Kresic, N. 1997. Hydrogeology and groundwater modeling, Lewis Publishers, 35 pp.
- Taghizade Mehrjardi, R.M., Zareian Mahmodi, S.h & Heidari, A. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain), World Applied Science Journal, 4(1): 9-17.

- Sutharsiny, A.; Pathmarajah, S.; Thushyanthy, M. & Meththinka, V. 2012. Characterization of Irrigation Water Quality of Chunnakam Aquifer in Jaffna Peninsula, Tropical Agricultural Research, 23(3): 237-248.
- Vijay, K. & Remadevi, J. 2006. Kriging of groundwater levels (a case study), Journal of Spatial Hydrology, 1: 81-92.
- Wilcox, L.V. 1955. Classification and Use of Irrigation Waters, US DA, Circular 969, Washington.
- Yidana, S. M.; Ophori, D. & Yakubo, B. B. 2008. Groundwater Quality Evaluation for Productive Uses the Afram Plains Area, Ghana. J. Irrig. and Drain. Engrg : 134(2): 222-227.

Archive of SID