

الگوهای تغییرات مکانی و پهنه‌بندی زمین آماری نیترات و فسفات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد

الهام فتحی هفشجانی^۱ و حبیب‌اله بیگی هرچگانی^{*۲}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد beigi.habib@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۰

چکیده

در اکثر نقاط جهان آب زیرزمینی تأمین کننده اصلی آب شرب است. آب زیرزمینی شهرکرد نیز آب شرب ساکنان دشت را تأمین می‌کند. هدف از این پژوهش، بررسی زمین آماری غلظت نیترات و فسفات آبخوان دشت شهرکرد و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی نیترات و فسفات در این آبخوان است. برای این منظور از ۱۰۰ حلقه چاه کشاورزی طی سه نوبت در سال ۱۳۸۹ نمونه‌برداری و غلظت نیترات و فسفات اندازه‌گیری شد. نتایج این مقاله بر اساس میانگین سه بار نمونه‌برداری در سه تاریخ مختلف از هر چاه است. میانگین غلظت نیترات آبخوان ۲۵/۹ و میانگین غلظت فسفات ۰/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر بود. مقایسه نتایج این پژوهش با داده‌های سال ۱۳۸۶ نشان داد که غلظت نیترات و فسفات آب زیرزمینی دشت شهرکرد افزایش یافته است. از بین مدل‌های مختلف واریوگرام، مدل کروی توزیع داده‌های فسفات و نیترات را بهتر توجیه کرد. بررسی نقشه‌ها نشان داد که غلظت نیترات و فسفات در بخش‌های جنوبی دشت حداکثر است، به طوری که غلظت نیترات برخی از چاه‌ها در قسمت‌های جنوبی بیشتر از حد مجاز ۴۵ میلی‌گرم در لیتر بود. شاید دلیل اصلی بالا بودن غلظت نیترات در این بخش قرارگیری تصفیه‌خانه شهرکرد و کم عمق بودن سطح ایستابی و حرکت جریان آب به این سمت باشد.

کلید واژه‌ها: سفره آب، نیترات، فسفات، واریوگرام، کریجینگ، نقشه.

Spatial Variability of Nitrate and Phosphate and Their Mapping in the Shahrekord Groundwater

E. Fathi hafshejani¹ and H. Beigi Harchegani²

1- Graduate Student, Department of Soil, University of Shahrekord

2- Assistant Professor, Department of Soil, University of Shahrekord

Received: 29.Feb.2012

Accepted: 20.Nov.2012

Abstract

Groundwater in many parts of the world is the main source of drinking water. The Shahrekord aquifer (Iran) supplies the drinking water to the residents of Shahrekord. The aim of this research was to geostatistically analyze and map nitrate and phosphate concentrations in this aquifer. For this purpose, 100 agricultural wells, located in the Shahrekord plain, were sampled on three different dates during 2010 and water samples were analyzed for nitrate and phosphate. The results presented here are based on the average concentrations of the three samples. The mean concentrations of nitrate and phosphate were 25.9 and 0.09 mg/L, respectively. Comparison shows that these mean concentrations have increased since 2007. The spatial variability of nitrate and phosphate were better described by spherical semivariogram models. Examination of maps shows that the southeast of the aquifer had the highest concentrations of both nitrate and phosphate. In some wells, located in the southern part of the aquifer, the concentration of nitrate sometimes exceeded the permissible level of 45 mg/L. This may be attributed to the presence of the Shahrekord municipal wastewater treatment plant, the shallower water table in this part, and also due to the inflow of groundwater.

Keywords: Aquifer, Nitrate, Phosphate, Variogram, Kriging, Map.

مقدمه

در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم بیشترین توجه به کمیت سفره‌های آب زیرزمینی مناسب جهت تأمین آب زیرزمینی مورد نیاز شرب و کشاورزی معطوف گردیده است و این در حالی است که کمتر به حفظ کیفی آبخوان‌ها توجه می‌شود. در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک از آب‌های زیرزمینی جهت شرب و کشاورزی استفاده می‌شود. این آب‌ها ممکن است حاوی مقدار زیادی از آلاینده‌ها از جمله نترات و فسفات باشند (۱).

مزارع کشاورزی سالانه توسط کودهای شیمیایی نیتراته و فسفات کودپاشی می‌شوند و یون نترات و فسفات سرانجام به آب‌های زیرزمینی وارد و سبب کاهش کیفیت آب‌ها می‌شوند (۵). یون نترات به دلیل حلالیت بالا در آب و نیز شکل آنیونی آن، به سادگی می‌تواند توسط آب‌های فرورو به آبخوان منتقل شود. فسفات به خاطر جذب اختصاصی به ذرات خاک کمتر در معرض آیشویی قرار می‌گیرد. در مناطقی که بهره‌برداری از زمین شدید است، به دلیل استفاده از کودهای دامی که حاوی فسفات محلول هستند، احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی به فسفات وجود دارد (۱۸).

پژوهشگران عوامل مختلفی را به عنوان منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی به نترات و فسفات شناسایی کرده‌اند. در این میان فعالیت‌های کشاورزی و دامداری، کودپاشی و آبیاری (به ویژه آبیاری با پساب) و نیز ورود پساب‌های فاضلاب و صنعتی مهمترین عوامل افزایش غلظت نترات و فسفات در آبخوان شهرکرد معرفی شده‌اند. افزایش نترات بیش از ۴۵ میلی‌گرم در لیتر در آب شرب سبب بیماری مت‌هموگلوبینما^۱ در نوزادان و همچنین سرطان‌زایی در افراد بالغ می‌گردد. وجود فسفات در آب زیرزمینی مشکل بهداشتی شناخته شده‌ای را به وجود نمی‌آورد ولی با استحصال آب زیرزمینی و ذخیره آن در سطح ممکن است مشکلاتی در ظاهر، بو و مزه آب پدید آید و در این صورت هزینه‌ی تصفیه آب بالا می‌رود (۱۷). حداکثر مجاز فسفات را اداره بهداشت ملی کانادا ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، جامعه اقتصادی اروپا ۰/۵۴ میلی‌گرم بر لیتر (۲۳)، اداره حفاظت محیط زیست آمریکا (۲۴) و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۱) ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده‌اند.

کیفیت آب زیرزمینی در مکان تغییر می‌کند و وجود تغییرات مکانی امری طبیعی می‌باشد. شناخت این تغییرات جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری لازم و مفید است. از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی مولفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی نیست، از زمین آمار به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌گردد (۱۰).

نظری زاده و همکاران تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان را مطالعه کردند، در این پژوهش سه ویژگی هدایت الکتریکی، کلر و سولفات آب‌های زیرزمینی

اراضی سد بالارود مطالعه شد، واریوگرام‌های هدایت الکتریکی، کلر و سولفات که هر سه از مدل کروی تبعیت می‌کردند به ترتیب دارای دامنه تأثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰ و ۱۰۲۱۰۰ متر بودند، با بررسی نقشه‌های کریجینگ این سه ویژگی، مشخص شد که مقادیر هدایت الکتریکی، کلر و سولفات در جنوب غرب دشت بالارود بیشترین مقدار را دارا بود، از عوامل موثر بر نتایج و پهنه‌بندی به افزایش برداشت آب زیرزمینی، ورود فاضلاب‌های شهری- صنعتی، فعالیت‌های زیست محیطی، گسترش سازند گچساران و آغاچاری اشاره شد (۹). نظری زاده و همکاران (۱۳۸۵) همچنین تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی محدوده سد مخزنی خیرآباد واقع در شرق و جنوب شرقی بهمان را به روش زمین آماری بررسی کردند، EC، pH و Cl آب‌های زیرزمینی به ترتیب واریوگرام‌های EC، Cl و pH به ترتیب از ساختار خطی، کروی و نمایی تبعیت می‌کردند (۱۰). شعبانی (۱۳۸۷) الگوی تغییرات مکانی و مناسب‌ترین روش برای تهیه نقشه‌ی pH و TDS آب-های زیرزمینی در دشت ارسنجان را بررسی کرد، در این پژوهش به ترتیب مدل نمایی و کروی بر داده‌های pH و TDS برازش شد و مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی کریجینگ معمولی تشخیص داده شد (۴). نجاتی چهرمی و همکاران (۱۳۸۸) به منظور بررسی زمین آماری توزیع نترات در آبخوان دشت عقیلی از ۲۰ چاه منطقه نمونه‌گیری کردند، با برازش مدل واریوگرام کروی به داده‌ها و استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ مقدار RMSE حدود ۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از بین روش‌های مختلف کریجینگ، کریجینگ معمولی دارای RMSE کمتری بوده و از دقت خوبی برخوردار است (۸).

فلیپو و همکاران^۲ با نمونه‌گیری از ۲۴۳ حلقه چاه به ارزیابی آلودگی نتراتی در آبخوان گرند مارین^۳ در فرانسه، به وسعت ۲۷۰۰ کیلومتر مربع پرداختند، مدل واریوگرام کروی با دامنه تأثیر ۲۰۰۰ متر بهترین برازش را برای غلظت نترات آب‌های زیرزمینی داشت (۱۶). اویان و کی^۴ برای پهنه‌بندی غلظت نترات آب زیرزمینی شهر قونیه واقع در ترکیه از روش کریجینگ استفاده کردند، داده‌های غلظت نترات آب زیرزمینی از یک توزیع لوگ-نرمال و مدل واریوگرام کروی پیروی کرده و دارای وابستگی مکانی متوسطی (۶۰ درصد) بودند. دامنه تأثیر، سقف و اثر قطعه‌ای نیز به ترتیب ۲۳۳۰ متر، ۰/۲۰ و ۰/۱۲ شد، بر اساس نقشه توزیع مکانی آلودگی نترات در آب زیرزمینی بیشترین غلظت نترات در مرکز شهر احتمالاً به دلیل وجود مراکز صنعتی بود (۲۶).

در آبخوان‌های مختلف از مدل‌های مختلف واریوگرام برای توصیف الگوی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی و نترات استفاده شده است و به نظر می‌رسد الگوهای تغییرات مکانی شاخص‌های

2- Flipo et al.

3- Grand Morin aquifers

4- Uyan and Cay

1- Methaemoglobinaemia

می‌رسد که پهنه‌بندی نیترات بر اساس روش‌های زمین آماری می‌تواند ابعاد تغییرات مکانی نیترات را بهتر نشان دهد.

در سال‌های اخیر مطالعاتی در سطح جهان و ایران به بررسی تغییرات مکانی نیترات در آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی با استفاده از فنون زمین آماری پرداخته‌اند. این مطالعات نشان دهنده‌ی تناسب برخی از روش‌های زمین آماری برای بررسی تغییرات مکانی نیترات آب‌های زیرزمینی است. لیکن به نظر می‌رسد که منبع منتشر شده‌ای در مورد تغییرات مکانی فسفات نه در سطح جهان و نه در ایران وجود ندارد. از طرف دیگر تاکنون مطالعه‌ای برای بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی نیترات و فسفات آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات مکانی نیترات و فسفات آبخوان شهرکرد، پهنه‌بندی غلظت نیترات و فسفات با استفاده از روش میان‌یابی کربجینگ معمولی و ارزیابی روش‌های به کار رفته برای پهنه‌بندی نیترات و فسفات است.

مواد و روش‌ها

آبخوان مورد نظر در دشت شهرکرد واقع شده است. دشت شهرکرد با امتداد شمال غرب - جنوب شرق در بین $32^{\circ}07'$ تا $35^{\circ}32'$ عرض شمالی و $50^{\circ}38'$ تا $51^{\circ}10'$ طول شرقی قرار دارد. بزرگترین آبادی این دشت، شهرکرد با ارتفاع حدود ۲۰۶۰ متر از سطح دریا در بخش شمال دشت قرار دارد. سطح حوزه‌ی آبریز این دشت بالغ بر ۱۱۳۵/۵۷ کیلومتر مربع است (۱۲).

نقشه موقعیت دشت شهرکرد و برخی نقاط مهم در دشت شهرکرد در شکل (۱) آمده است.

آبخوان دشت شهرکرد از لحاظ تأمین آب کشاورزی و آب شرب منطقه دارای اهمیت زیادی می‌باشد. مهمترین ورودی به این آبخوان نفوذ از طریق بارندگی و مهمترین خروجی برداشت آب از طریق چاه‌های کشاورزی است. مهمترین فعالیت انسانی موجود در منطقه کشاورزی، دامداری و تا حدودی صنعت است (۱۲).

نقشه کاربری اراضی دشت شهرکرد (۱۲) و چاه‌های نمونه‌برداری شده از دشت شهرکرد در شکل (۲) نشان داده شده است.

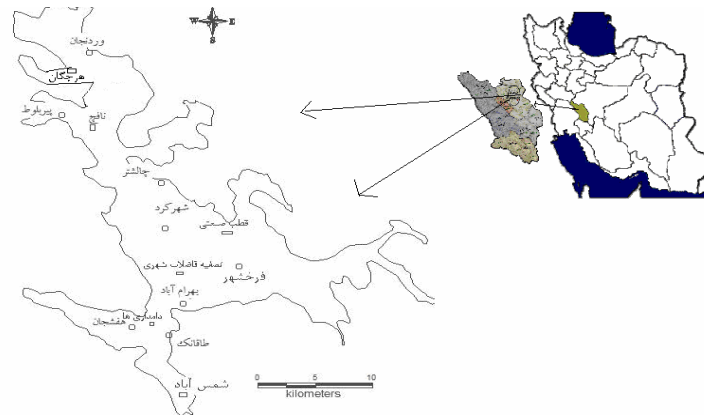
زمین‌شناسی آبخوان

بر اساس تقسیمات ساختمانی ناحیه مورد مطالعه در پهنه سسندج-سیرجان قرار می‌گیرد. این زون در اصل جزئی از ایران مرکزی است ولی با اختصاصات ویژه‌ای مشخص می‌شود و به صورت نوار طویل دگرگون شده‌ای در امتداد و به موازات روراندگی زاگرس از ارومیه و سسندج در شمال غربی تا سیرجان و اسفندقه، در جنوب شرقی گسترش دارد. از این نوار با نام‌های مختلف مانند پهنه یا زون ارومیه-اسفندقه، زاگرس داخلی و سرانجام زون سسندج-سیرجان یاد می‌شود. این زون جزء ناآرام‌ترین و به عبارتی فعال‌ترین زون‌های ساختمانی ایران به شمار می‌رود (۱۲).

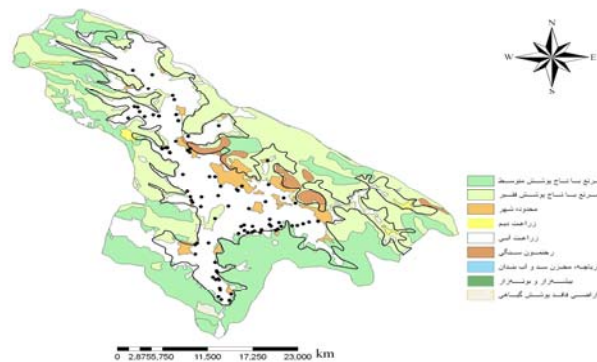
کیفی آب از یک آبخوان به آبخوان دیگر و از یک متغیر به متغیر دیگر متفاوت باشد. در عین حال به نظر می‌رسد هیچ منبع منتشر شده‌ای در مورد الگوهای تغییرات مکانی فسفات وجود ندارد. بنابراین تعیین مدل الگوهای تغییرات مکانی نیترات و فسفات دشت شهرکرد سزاوار مطالعه و بررسی است. از طرف دیگر، برای پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب از روش‌های مختلف میان‌یابی استفاده می‌شود که عموماً در محیط‌های نرم افزاری GIS اجرا می‌شوند. اصولی‌ترین روش پهنه‌بندی استفاده از مدل وارپوگرام و معمول‌ترین روش میان‌یابی کربجینگ است (۸). در این پژوهش از روش میان‌یابی کربجینگ معمولی برای پهنه‌بندی استفاده شده است.

تاکنون دو مطالعه روی نیترات و یکی بر روی فسفات آب زیرزمینی شهرکرد، از دشت‌های مهم استان چهارمحال و بختیاری، انجام گرفته است. در مطالعه اول، میرزایی ارزیابی آسیب‌پذیری و نقشه پتانسیل آلودگی آبخوان دشت شهرکرد را با استفاده از دو مدل دراستیک^۱ و سینتکس^۲ انجام داد، میانگین غلظت نیترات در ۹۶ حلقه چاه مورد مطالعه حدود ۱۸ میلی‌گرم در لیتر با کمینه و بیشینه به ترتیب حدود ۶ و ۴۱ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین غلظت فسفات ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر با کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۱۱ و ۰/۰۱۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد، غلظت نیترات و فسفات در همه‌ی ۹۶ حلقه چاه از حد توصیه شده توسط اداره حفاظت محیط زیست آمریکا پایین‌تر بود، کمینه‌ی غلظت نیترات و فسفات بالاتر از صفر بود که احتمالاً نشانه‌ی نفوذ نیترات و فسفات به آبخوان است (۱۲).

در مطالعه دوم، لاله‌زاری و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تغییرات ماهانه نیترات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد پرداختند، در این تحقیق از ۱۰ چاه مورد بهره‌برداری در طول ۱۲ ماه سال (تیر ۱۳۸۶ تا خرداد ۱۳۸۷) به صورت ماهانه نمونه‌برداری شد، میانگین غلظت نیترات بین ۲۱ تا ۲۴ میلی‌گرم بر لیتر در نوسان بود، نتایج نشان داد که بخش‌های میانی دشت در مقایسه با شمال و جنوب، از غلظت نیترات پایین‌تری برخوردارند و تغییرات کمتری را در طول فصول مختلف سال نشان می‌دهند. بیشترین غلظت نیترات در بخش‌هایی از جنوب دشت مشاهده شد که در دو ماه از حد استاندارد ۴۵ میلی‌گرم در لیتر نیز بیشتر بود (۶). این مطالعه نشان دهنده‌ی تغییرات زمانی نیترات آب زیرزمینی در طی سال بود. این پژوهش از لحاظ طول زمانی قابل توجه است ولیکن به نظر می‌رسد که تعداد ۱۰ چاه از یک دشت وسیع مثل دشت شهرکرد برای نتیجه‌گیری به ویژه در مورد میانگین نیترات و پهنه‌بندی آن کافی نباشد. در دو مطالعه اخیر از روش‌های زمین‌آماري برای بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی استفاده نشده است بلکه نقشه‌ها بر اساس خطوط هم‌ارز رسم شده‌اند. نتایج این دو مطالعه نشان‌دهنده‌ی اثر عوامل خارجی مانند عملیات کشاورزی، شهری، کشاورزی و دامداری بر غلظت نیترات است. همچنین به نظر



شکل ۱- نقشه موقعیت دشت شهرکرد (سمت راست) و برخی نقاط مهم در دشت شهرکرد (سمت چپ)



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی دشت شهرکرد (میرزایی، ۱۳۸۸) و چاه‌های نمونه‌برداری شده از دشت شهرکرد

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

جهت بررسی تغییرات نیترات و فسفات در آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت شهرکرد تعداد ۱۰۰ حلقه چاه کشاورزی طوری

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

انتخاب شدند که در سطح دشت پراکنده باشند. در سال ۱۳۸۹ از این چاه‌ها در سه نوبت (دو بار در تابستان و یک بار در پاییز) نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج ارائه شده در این مقاله بر اساس میانگین سه بار نمونه‌برداری از هر چاه است. موقعیت جغرافیایی چاه‌ها با GPS ثبت گردید. نمونه‌های آب در بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری پلی‌اتیلنی، که قبلاً اسیدشوئی و با آب مقطر شسته شده بودند، جمع‌آوری شد. برای جلوگیری از فعالیت‌های بیولوژیکی به هر بطری چند قطره تولوئن اضافه شد. بطری‌ها در زیر یخ داخل یخدان نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. یون نیترات و فسفات سریعاً با دستگاه اسپکتروفتومتر UV مدل DR/2010 اندازه‌گیری شد (۱۳).

برازش و انتخاب مدل واریوگرام

واریوگرام یکی از ابزارهای اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات مکانی است. مشخصه‌های واریوگرام مشتمل بر دامنه تأثیر، سقف و اثر قطعه‌ای می‌باشد. ابتدا واریوگرام تجربی $\gamma(h)$ نیترات و فسفات محاسبه گردید:

که در آن N : تعداد جفت مشاهدات، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$: مقدار مشاهدات متغیرها در نقطه‌های x_i و x_i+h است. مدل‌های تئوری واریوگرام در محیط variovin 2.21 (۲۱) به مشاهدات نیترات و فسفات برازش داده شد. مدل کروی به عنوان بهترین مدل برای هر دو آلاینده انتخاب گردید. معادله واریوگرام کروی به شکل زیر است:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \quad h \leq a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

که در آن $\gamma(h)$: واریوگرام در فاصله h است، h : فاصله لگ، C_0 : اثر قطعه‌ای، C_1 : سقف و a : دامنه تأثیر است (۲۲).

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت دو آلاینده نیترات و فسفات در آبخوان دشت شهرکرد

آلاینده	میانگین	میانه	حدافل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
					mg/L	(%)		
نیترات	۲۵/۹۰	۲۵/۵۰	۷/۲۰	۴۹/۱۵	۹/۵۴	۳۷	۰/۱۵	-۰/۷۰
فسفات	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۲	۲۲	۰/۰۴	-۰/۳۶

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i \times f_i \quad (۶)$$

که در آن $F(x, y)$: مقدار غلظت تخمین زده شده در نقطه‌ای با مختصات x و y است، n : تعداد نقاط اندازه‌گیری شده، w_i : وزن نسبت داده شده به هر نقطه i و f_i : مقادیر غلظت نیترات و فسفات در هر نقطه اندازه‌گیری i است. وزن در هر نقطه با استفاده از مدل واریوگرام به کار رفته تعیین می‌شود. در این مطالعه بر اساس مدل کروی و روش میان‌یابی کریجینگ، نقشه‌های پهنه‌بندی نیترات و فسفات در محیط Arc GIS 9.3 محصول شرکت اسری^(۱۵) ترسیم شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری نیترات و فسفات آب زیرزمینی دشت شهرکرد بر اساس سه نوبت نمونه‌برداری در سال ۱۳۸۹ در جدول (۱) آمده است. در این پژوهش قدر مطلق چولگی مشاهدات نیترات و فسفات کوچک است و از طرف دیگر میانه داده‌های نیترات و فسفات نزدیک به میانگین آن‌ها است (جدول ۱). این بدان معنی است که داده‌های نیترات و فسفات از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

میانگین نیترات و فسفات به ترتیب ۲۵/۹۰ و ۰/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر شد. میرزایی (۱۳۸۸) در تابستان ۱۳۸۶ در طی نمونه‌برداری از ۹۶ حلقه چاه، میانگین غلظت نیترات و فسفات آب زیرزمینی شهرکرد را، به ترتیب ۱۸ و ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آورد (۱۲). لاله‌زاری و همکاران از تیر ۱۳۸۶ تا خرداد ۱۳۸۷ با نمونه‌برداری از ۱۰ چاه، میانگین غلظت نیترات آب زیرزمینی شهرکرد را ۲۱ تا ۲۴ میلی‌گرم بر لیتر به دست آورد (۶). به نظر می‌رسد میانگین غلظت نیترات و فسفات از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ افزایش پیدا کرده باشد.

غلظت نیترات بین ۷ و ۴۹ و غلظت فسفات بین ۰/۰۵ و ۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر تغییر کرد. کمینه و بیشینه غلظت نیترات و فسفات در سال ۱۳۸۶ به ترتیب ۶ و ۴۱ و ۰/۰۱۵ و ۰/۱۱ میلی‌گرم بر لیتر بود (۱۲). بنابراین به نظر می‌رسد کمینه و بیشینه غلظت نیترات و فسفات نیز در عرض سه سال گذشته در آب زیرزمینی شهرکرد افزایش یافته است. فعالیت‌های شدید کشاورزی، کودپاشی و آبیاری بی‌رویه مهمترین عوامل افزایش غلظت نیترات و فسفات در آبخوان‌ها معرفی شده‌اند (۷).

برای ارزیابی مدل‌های واریوگرام کروی و روش کریجینگ معمولی از مدول x -valid نرم افزار 1.2.1 Geo-Ease استفاده و دو معیار ارزیابی زیر محاسبه شد:

$$ME = \sum_{i=1}^n \frac{(X_p)_i - (X_m)_i}{n} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((X_p)_i - (X_m)_i)^2}{n}} \quad (۴)$$

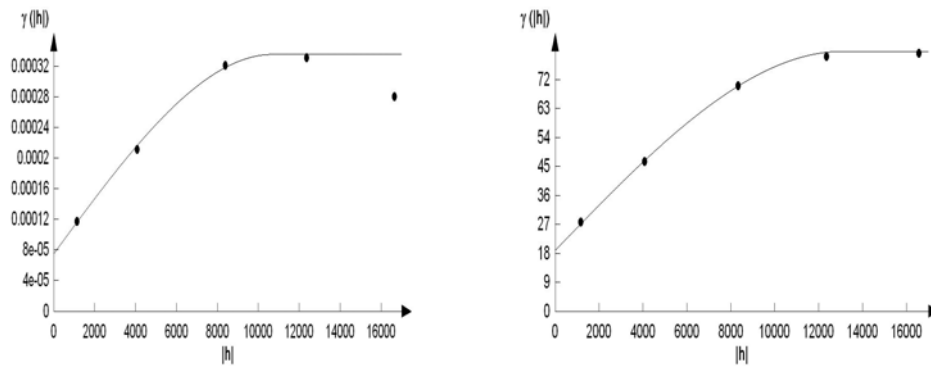
که در آن‌ها ME : میانگین خطا، $RMSE$: ریشه میانگین مربعات خطا، $(X_p)_i$: مقادیر برآورد شده نیترات و فسفات، $(X_m)_i$: مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات و فسفات و n : اندازه نمونه می‌باشد. آماره ME نشان دهنده وجود اربیبی است. مقادیر مثبت آن تخمین بیش از مقدار واقعی و مقادیر منفی آن تخمین کمتر از مقدار واقعی را نشان می‌دهد. هر اندازه آماره ME به صفر نزدیک‌تر باشد، پیش‌بینی روش درون‌یاب بهتر و دقیق‌تر است (۲). هر اندازه مقدار $RMSE$ کوچک‌تر باشد پیش‌بینی روش درون‌یابی از صحت بیشتری برخوردار است. مقدار $RMSE$ در حالت بهینه یا حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند برابر با صفر می‌باشد. معیار $RMSE$ نسبت به داده‌های پرت حساس است، به همین دلیل می‌توان از $RMSE\%$ استفاده کرد. با استفاده از معادله (۴) معیار سوم: یعنی $RMSE\%$ محاسبه شد:

$$\%RMSE = \left(\frac{RMSE}{M} \right) * 100 \quad (۵)$$

که در آن M : میانگین داده‌ها است. اگر $RMSE\%$ کمتر از ۴۰ درصد باشد، حاکی از دقت قابل قبول مدل‌های واریوگرام و تخمین‌ها است و $RMSE\%$ بالاتر از ۷۱ درصد باشد به معنی عدم دقت در مدل و تخمین نظر گرفته شده است (۱۹).

روش میان‌یابی کریجینگ معمولی

روش کریجینگ با استفاده از مدل واریوگرام به میان‌یابی می‌پردازد. معادله‌ی اساسی کریجینگ معمولی به شکل زیر است:



شکل ۳- واریوگرام‌های تجربی و مدل کروی برازش شده به نیترات (سمت راست) و فسفات (سمت چپ) در آبخوان دشت شهرکرد

جدول ۲- نتایج برازش مدل واریوگرام کروی به نیترات و فسفات آب زیرزمینی دشت شهرکرد

آلاینده	مدل	دامنه تأثیر (متر)	آستانه تأثیر (C ₀ +C)	اثر قطعه‌ای (C ₀)	$\frac{C_0}{C_0 + C}$	کلاس وابستگی مکانی
نیترات	کروی	۱۳۰۰۹۰	۸۱	۱۹/۱۱	۰/۲۳	قوی
فسفات	کروی	۱۰۰۷۰۹	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۲۳	قوی

کروی تغییرات مکانی نیترات و فسفات در آب زیرزمینی را بهتر از مدل‌های دیگر توصیف کرد. در آبخوان‌های دیگر هم از مدل کروی برای توصیف تغییرات مکانی نیترات استفاده شده است. مثلاً اویان و کی (۲۶) در قونیه ترکیه، فیلیپو و همکاران (۱۶) در آبخوان گرنند مارین فرانسه و نجاتی چهارمی (۸) در آبخوان دشت عقیلی از مدل کروی برای توصیف تغییرات مکانی داده‌های نیترات استفاده کردند. با این حال، به نظر می‌رسد منبع منتشر شده‌ای در مورد الگوی تغییرات مکانی فسفات در آب زیرزمینی وجود ندارد.

میانگین دامنه‌ی تأثیر نیترات بزرگ‌تر از فسفات بود. اندازه دامنه تأثیر تحت تأثیر تراکم نمونه‌برداری (تعداد نمونه بر مساحت دشت) قرار می‌گیرد. مثلاً اویان و کی (۲۶) دامنه تأثیر را برای نیترات ۲،۳۳۰ متر و فیلیپو و همکاران (۱۶) دامنه تأثیر ۲۰،۰۰۰ متر به دست آوردند. از آنجایی که در مطالعات مختلف تراکم نمونه‌برداری متفاوت است، طبیعی است که دامنه‌ی تأثیر شاخص‌های کیفی آب مطالعه شده متفاوت باشد. در مطالعه حاضر تراکم نمونه‌برداری برای نیترات و فسفات یکی است بنابراین بزرگ‌تر بودن دامنه تأثیر نیترات از فسفات حاکی از آن است که غلظت‌های نیترات در فاصله بیشتری تغییر می‌کنند و وابستگی مکانی خود را تا فاصله بزرگ‌تری حفظ می‌کنند.

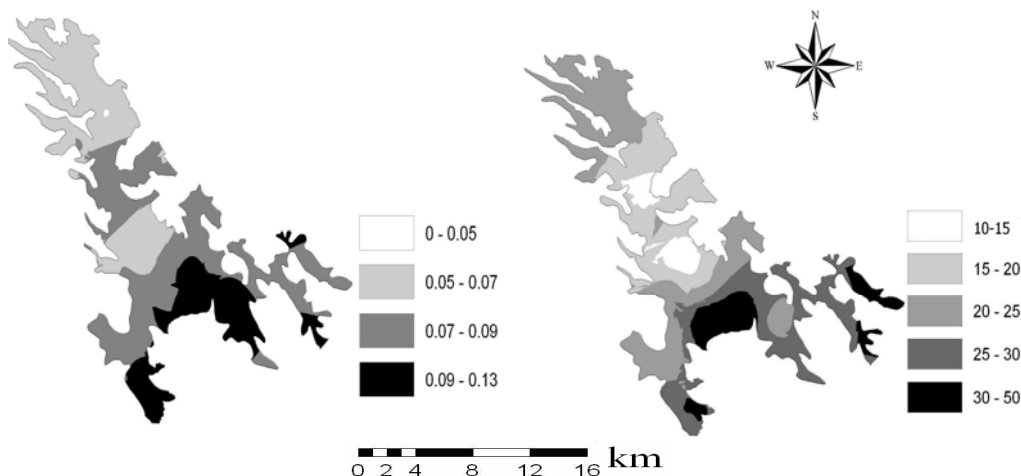
نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه‌ی تأثیر شاخصی از قدرت ساختار مکانی متغیرها است. چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ شود نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی خواهد بود (۱۴). در آبخوان شهرکرد، متوسط نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه‌ی تأثیر (C₀/C₀+C) برای

حد توصیه شده غلظت نیترات و فسفات توسط اداره حفاظت محیط زیست آمریکا به ترتیب ۴۵ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر (۲۴) و استاندارد ایران برای غلظت نیترات و فسفات به ترتیب ۵۰ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. حد مطلوب فسفات برای آشامیدنی در ایران ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است (۱۱). بنابراین هنوز میانگین غلظت‌های نیترات و فسفات زیر حد توصیه شده می‌باشد، اگرچه در برخی نقاط دشت (جنوب) غلظت بیشینه از این حد تجاوز می‌کند.

ضریب تغییرات غلظت نیترات (۳۷ درصد) بیشتر از فسفات (۲۲ درصد) بود. ضریب تغییرات کمتر از ۳۰ درصد یکنواختی نسبی غلظت‌ها را نشان می‌دهد (۳). پس غلظت فسفات در دشت شهرکرد دارای یکنواختی نسبی بوده در حالی که غلظت نیترات تغییرات مکانی بیشتری را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات زیاد، معیاری از پراکندگی زیاد مشاهدات است که می‌تواند ناشی از کاربری اراضی و عوامل بیرونی اثرگذار بر وضعیت هیدرولوژی باشد (۲). این بدان مفهوم است که تفاوت غلظت نیترات در چاه‌های مختلف بیشتر از تفاوت غلظت در فسفات آن‌ها است.

الگوهای تغییرات مکانی نیترات و فسفات

تغییرات مکانی نیترات و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد بر اساس واریوگرام سطحی همسانگرد بودند. شکل ۳ واریوگرام‌های تجربی نیترات و فسفات و مدل کروی برازش شده به آن‌ها را نشان می‌دهد. نتایج برازش مدل‌های واریوگرام به نیترات و فسفات آب زیرزمینی در جدول (۲) ارائه شده است. مدل واریوگرام



شکل ۴ - نقشه‌های پهنه‌بندی نیترات (سمت راست) و فسفات (سمت چپ) در آب زیرزمینی شهرکرد

قسمت‌های دیگر دشت است (۱۲). علت اصلی آلودگی این بخش از دشت را می‌توان به شدت بیشتر فعالیت‌های کشاورزی، ورود پساب‌ها به آب‌های زیرزمینی، وجود دام بیشتر و کم عمق بودن سطح ایستایی نسبت داد. با توجه به این که جهت گرادیان هیدرولیکی از شمال دشت به قسمت‌های جنوبی است (۱۲)، انتقال نیترات از نواحی دیگر (شمالی) به این بخش از آبخوان را نیز می‌توان محتمل دانست.

تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد در نزدیکی روستای بهرام آباد واقع شده است (شکل ۱). از طرف دیگر، اکثر چاه‌های آب این روستا در میان مناطق مسکونی قرار گرفته‌اند. احتمالاً ورود فاضلاب‌های خانگی و پساب شهری به این چاه‌ها سبب افزایش غلظت نیترات شده است. میرزایی هم آسیب‌پذیرترین بخش سفره شهرکرد را به جنوب شرقی دشت و بخش‌هایی از جنوب غربی دشت دانسته است (۱۲).

در قسمت جنوب غربی دشت که شامل نواحی طاقانک، هفشجان و شمس آباد است (شکل ۱)، نیز غلظت نیترات نسبتاً بالا است در این نواحی فعالیت‌های دامداری شدت دارد. ولی در نواحی شمالی و میانه دشت که شامل شهرکرد، چالستر، روستاهای کاکلک، پیربلوط و هرچگان است غلظت نیترات نسبتاً کم تا کم بود. چاه‌ها در قسمت شمال دشت از تراکم کمتری نسبت به جنوب دشت برخوردار هستند. لاله‌زاری و همکاران به این نتیجه رسید که در قسمت‌های میانی دشت غلظت نیترات پایین‌تری از جاهای دیگر است (۶).

تغییرات غلظت فسفات نشان داد که غلظت فسفات نیز در قسمت‌های جنوبی بیشتر از قسمت‌های شمالی است. میرزایی به این نتیجه رسید که بخش‌هایی از جنوب شرقی و جنوب غربی غلظت فسفات نسبت به سایر بخش‌های دشت افزایش یافته است. این بخش‌ها شامل فرخشهر، هفشجان و طاقانک است (۱۲). دلیل افزایش غلظت فسفات را در این نواحی احتمالاً می‌توان به تراکم دامداری‌ها و نشست فسفات محلول از فضولات دامی در این ناحیه

فسفات و نیترات کمتر از ۰/۲۵ است که نشان دهنده‌ی وابستگی قوی مکانی در محدوده‌ی دامنه‌ی تأثیر آن‌ها است. این بدان معنا است که مقادیر غلظت‌های نیترات و یا فسفات در محدوده دامنه تأثیرشان به هم نزدیک و یا مشابه می‌باشد.

پهنه‌بندی نیترات و فسفات

نقشه‌های هم غلظت نیترات و فسفات آبخوان شهرکرد که بر اساس مشخصات وارپوگرام کروی مربوط به هر آلاینده و کریجینگ معمولی ترسیم شده‌اند در شکل (۴) دیده می‌شوند.

چون پهنه‌بندی آلاینده‌های نیترات و فسفات بر اساس الگوی تغییرات مکانی مولفه‌ها صورت می‌گیرد و در نتیجه در نقشه‌ای که تهیه می‌شود موقعیت مناطق با آلودگی کم و زیاد مشخص می‌شود و می‌توان با دانستن موقعیت مناطق آلوده به عوامل آلوده‌کننده آن مناطق پی برد.

دو نقشه شکل (۴) نشان دهنده‌ی تشابه در روند آلودگی نیتراتی و فسفاتی آب زیرزمینی شهرکرد است. آلودگی نیتراتی و فسفاتی در شمال غربی آبخوان کمترین و در بخش جنوبی و جنوب شرقی به حداکثر می‌رسد. بایستی توجه داشت که اکثر صنایع و دامداری‌های فشرده در بخش جنوبی و جنوب شرقی واقع است. موقعیت شهرکرد و تصفیه‌خانه آن نیز به آلودگی در بخش جنوبی دامن می‌زند. زیرا در بخش جنوبی سطح ایستایی حداقل فاصله را با سطح زمین دارد و ثانیاً جهت گرادیان هیدرولیکی از شمال غربی به این سمت است (۱۲). با توجه به شکل (۴)، غلظت نیترات نمونه‌ها در نواحی جنوب و جنوب شرقی دشت زیادتر از نواحی دیگر است. این قسمت‌ها شامل فرخشهر، شهر کیان و روستای بهرام‌آباد هستند. در برخی از چاه‌های بخش جنوبی غلظت نیترات بیشتر از حد استاندارد اداره محیط زیست آمریکا، ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر شد. لاله‌زاری و همکاران و میرزایی نیز به این نتیجه رسیدند که در قسمت جنوبی دشت مقدار آلودگی نیتراتی بیشتر از

جدول ۳- درصد و مساحت پهنه‌های آلوده به نیترات و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد

نیترات		
بازه / پهنه (mg/L)	%	km ²
۱۰-۱۵	۵/۹۲	۳۲/۶۲
۱۵-۲۰	۲۳/۴۸	۱۲۹/۳۶
۲۰-۲۵	۳۶/۳۰	۲۰۰/۰۴
۲۵-۳۰	۲۲/۷۰	۱۲۵/۱۲
۳۰-۵۰	۱۱/۶۰	۶۳/۸۶
فسفات		
بازه / پهنه (mg/L)	%	km ²
۰-۰/۰۵	۱/۰۶	۰/۳۱
۰/۰۵-۰/۰۷	۳۵/۱۰	۱۹۳/۳۶
۰/۰۷-۰/۰۹	۴۳/۴۸	۲۳۹/۶۱
۰/۰۹-۰/۱۳	۲۱/۳۶	۱۱۷/۷۲

جدول ۴- ارزیابی مدل واریوگرام کروی و روش کریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی نیترات و

فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد

آلاینده	RMSE	ME	R ²	RMSE
	mg/L			
نیترات	۶/۶	۰/۱۷	۰/۵۰	۲۵
فسفات	۰/۰۱	۰/۰۰۰۸	۰/۴۷	۱۵

حاکی از دقت قابل قبول مدل‌های واریوگرام در تخمین این دو آلاینده در آب زیرزمینی شهرکرد است (۱۹). این دقت در مورد فسفات بیشتر از نیترات است.

همبستگی اسپیرمن مشاهدات نیترات و فسفات ۰/۴۹ بود. همبستگی نقشه‌های تولید شده نیترات و فسفات ۰/۶۷ است. بنابراین الگوهای تغییرات مکانی و روش پهنه‌بندی کریجینگ معمولی اصالت مشاهدات را حفظ کرده و این هم تأکیدکننده نظرات قبلی مبنی بر تناسب روش‌های به کار رفته در این مطالعه برای نقشه‌کشی نیترات و فسفات است.

نتیجه‌گیری

الگوی تغییرات مکانی نیترات و فسفات آب زیرزمینی دشت شهرکرد با یک مدل واریوگرام کروی به خوبی قابل بیان است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر (C₀/C₀+C) در نیترات و فسفات نشان داد که هر دو آلاینده دارای ساختار مکانی قوی در دامنه تأثیرشان هستند. در این مطالعه، کریجینگ معمولی روش مناسبی برای تخمین و پهنه‌بندی نیترات و فسفات آب زیرزمینی شهرکرد تشخیص داده شد.

مقادیر کم ME، RMSE%، RMSE و مقادیر نسبتاً خوب R² و نیز برتری همبستگی نقشه‌های هم غلظت نیترات و

خصوصاً در اطراف شهر هفشجان نسبت داد. احتمالاً کمی عمق تا سطح ایستابی و جهت‌گردان هیدرولیکی در دشت نیز به آلودگی فسفاتی این بخش از دشت دامن زده است. با این حال، فعلاً غلظت فسفات چاه‌ها از حد استاندارد محیط زیست آمریکا و ایران (۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) کمتر است. اگر چه غلظت بیشینه فسفات در قسمت‌های جنوبی از حد مطلوب ایران (۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) بیشتر است.

جدول (۳) درصد و مساحت پهنه‌های آلوده به نیترات و فسفات را نشان می‌دهد. طبق جدول (۳) حداقل نیترات در آبخوان شهرکرد ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و حدود ۶درصد آبخوان شهرکرد دارای مقدار نیتراتی بین ۱۰ تا ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر است. حدود ۱۲درصد آبخوان نیز بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات دارد. بیش از ۹۹درصد آبخوان شهرکرد دارای غلظت فسفات بیشتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر است که در برخی نقاط این غلظت به ۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد.

جدول (۴) نشان می‌دهد که کریجینگ معمولی روش مناسبی برای تخمین نیترات و فسفات در آبخوان دشت شهرکرد می‌باشد. مقدار ME نیترات و فسفات ناآرایی نسبی و صحت قابل قبول مدل واریوگرام کروی را نشان می‌دهد. مقدار RMSE% هم برای نیترات و هم برای فسفات کمتر از ۴۰درصد به دست آمد که

میلی گرم بر لیتر) فراتر می‌رود، ولی از استاندارد ایران (۵۰ میلی گرم بر لیتر) فراتر نمی‌رود. اگر چه بخش‌های جنوبی به فسفات هم آلوده‌اند، ولی حداکثر غلظت فسفات به دست آمده از حد مجاز اداره محیط زیست آمریکا، اداره بهداشت ملی کانادا و استاندارد ایران برای آشامیدن (۰/۲ میلی گرم بر لیتر) کمتر است ولی از حد مطلوب ایران (۰/۱ میلی گرم بر لیتر) بیشتر می‌باشد.

فسفات بر هم‌بستگی مشاهدات نیترات و فسفات (۰/۶۷) در برابر (۰/۴۹) همگی حاکی از دقت قابل قبول مدل‌های واریوگرام در تخمین و نیز تناسب روش کریجینگ معمولی برای تخمین و پهنه‌بندی نیترات و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد است. نتایج پهنه‌بندی نیز نشان داد که در بخش‌های شمالی آبخوان شهرکرد، آلودگی نیتراتی و فسفاتی کمتر و در قسمت‌های جنوبی آلودگی نیتراتی و فسفاتی بیشتر است. غلظت نیترات در بعضی از قسمت‌های جنوبی آبخوان از حد استاندارد جهانی (۴۵

منابع

- ۱- جلالی، م. و ز. کلاه‌چی. ۱۳۸۴. غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه همدان. مجله علوم آب و خاک، جلد نهم، شماره دو، صفحات ۲۰۱-۱۹۴.
- ۲- رضایی، م.، دوانگر، ن.، تاجداری، خ. و ب. ابولپور. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. مجله آب و خاک، جلد ۲۴، شماره پنجم، صفحات ۹۴۱-۹۳۳.
- ۳- رضائی، ع. و ع. ل. میرمحمد میبیدی. ۱۳۸۴. آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، چاپ اول، ۵۸۶ صفحه.
- ۴- شعبانی، م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین روش زمین آمار در تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات pH و TDS آب‌های زیرزمینی در دشت ارسنجان. مجله مهندسی آب، سال اول، پاییز، صفحات ۵۷-۴۷.
- ۵- علیزاده، م. ۱۳۸۲. روش‌های اندازه‌گیری آلودگی آب. انتشارات موج سبز، تهران، چاپ، ۱۱۲ صفحه.
- ۶- لاله‌زاری، ر.، طباطبایی، س. ح. و ن. یارعلی. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات ماهانه نیترات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد و پهنه‌بندی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش آب ایران، جلد سوم، شماره چهارم، صفحات ۱۷-۹.
- ۷- ناصری، م.، رقمی، م.، یخکشی، م. ا.، شاه‌پسندزاده، م. و ح. دهقان. ۱۳۸۵. بررسی عوامل موثر در تغییرات مکانی غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز قره سو، استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۳، شماره یک، صفحات ۱۱۵-۱۰۸.
- ۸- نجاتی‌چهرمی، ز.، چیت‌سازان، م. و ی. میرزایی. ۱۳۸۸. بررسی زمین آماری توزیع نیترات در آبخوان آبرفتی دشت عقیلی (شمال شهرستان شوشتر در استان خوزستان) در محیط GIS. مجموعه مقالات شانزدهمین همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه برداری کشور، ۲۳ - ۲۰ اردیبهشت.
- ۹- نظری‌زاده، ف.، ارشادیان، ب. و ک. زند وکیلی. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. مجموعه مقالات اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود (فرصتها و چالشها)، دانشگاه شهرکرد، صفحات ۱۲۴۰-۱۲۳۶.
- ۱۰- نظری‌زاده، ف.، ارشادیان، ب. و ب. زلفی. ۱۳۸۵. تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی محدوده سد مخزنی خیرآباد به روش ژئواستاتستیک. مجموعه مقالات نخستین همایش منطقه ای آب، بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، ۵ و ۶ اسفند.
- ۱۱- بی‌نام. ۱۳۸۸. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و میکروبی آب آشامیدنی. استاندارد ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۸ صفحه.
- ۱۲- میرزایی، س. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب پذیری و تهیه نقشه‌های خطر آلودگی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از GIS و مدل‌های DRASTIC و SINTACS. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ۱۷۰ صفحه.
- 13- Anonymous. 1998. Standard methods for examination of water and wastewater 20th edition. American Public Health Association, Washington, DC.

- 14- Anonymous. 1995. Quality criteria for water. United States Environmental Protection Agency 440/5-86-001.
- 15- Anonymous. 2008. ArcGIS™. Version 9.3, ESRI Incorporation, www.esri.com.
- 16- Flipo, N., Jeanneeb, N., Poulin, M., Evena, S. and E. Ledoux. 2007. Assessment of nitrate pollution in the Grand Morin aquifers (France), combined use of geostatistics and physically based modeling. *Environmental Pollution*, 146: 241-256.
- 17- Handa, B. K. 1990. Contamination of groundwater by phosphates. *Bhujal News*, 5: 24-36.
- 18- Hemilton, P. A. and D. R. Helsel. 1995. Effect of agriculture on groundwater quality in five regions of the United States. *Groundwater Journal*, 33:217-226.
- 19- Hengel, T. Huvelink, G. B. M. and A. Stein. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression kriging. *Geoderma*, 120:75-93.
- 20- Pannatier, Y. 1998. Variowin: Software for data analysis in 2D. Version 2.21, Springer Verlag, 93p.
- 21- Scott, D. H. 2000. Soil physics, agricultural and environmental applications. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 410 p.
- 22- Smith, P. C. and G. Schrale. 1982. Proposed rehabilitation of an aquifer contaminated with cheese factory wastes. *AWAA Water*, 9(1):21-24.
- 23- Smith, P.C. and G. Schrale. 1982. Proposed rehabilitation of an aquifer contaminated with cheese factory wastes. *Water (Australia) Journal*, 9(1):21-24.
- 24- Uyan, M. and T. Cay. 2010. Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. 3rd International Conference on Cartography and GIS, 12-20 June, 2010, Nessebar, Bulgaria.