

## ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار (مطالعه موردی: آبخوان دشت شهر بابک)

افشین جهانشاهی<sup>۱\*</sup> عین‌اله روحی مقدم<sup>۲</sup> و عبدالحمید دهواری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۱۲

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه زابل

<sup>۲</sup> و <sup>۳</sup> استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: afshin.jahanshahi@yahoo.com

### چکیده

آب‌های زیرزمینی از منابع مهم بهره‌برداری از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. هدف از این پژوهش ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی تعدادی از شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شهر بابک واقع در غرب استان کرمان می‌باشد. در این مطالعه ابتدا داده‌های کیفی ۵۶ حلقه چاه با توجه به پراکنش و صحت آن‌ها در سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ انتخاب، و سپس کنترل و بازسازی داده‌ها صورت گرفت. آزمون کلوموگروف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها نرمال نبوده و در نتیجه جهت نرمال‌سازی از داده‌ها لگاریتم گرفته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار GS+ بهترین مدل واریوگرام به ساختار فضایی داده‌ها برازش داده شد. نتایج نشان داد که برای این پارامترهای کیفیت، مدل‌های کروی، خطی و نمایی بهترین مدل نیم تغییرنماها می‌باشند. سپس تغییرپذیری آن‌ها با روش‌های مختلف درون‌یابی همچون کریجینگ، کوکریجینگ و عکس مجذور فاصله با توان‌های یک تا سه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد روش‌های زمین‌آمار برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش‌های معین داشته که روش کریجینگ بهترین روش است. در پارامترهای EC، TDS و CI کمترین میزان RMSE در روش کریجینگ معمولی با مدل کروی به ترتیب ۸۴۴/۶، ۱۲۱۴ و ۱۰/۶۱ محاسبه شده است. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی این سه عنصر با مناسب‌ترین روش در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم گردید. بررسی تغییرات مکانی و زمانی اکثر پارامترها همبستگی آن‌ها را با هم و روند نزولی بودن آن‌ها را در طول دوره مورد بررسی نشان داد. همچنین آبخوان دشت از لحاظ مصارف کشاورزی و شرب با استانداردهای ویلکاکس و شولر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج استاندارد ویلکاکس نشان داد که آب ۳۰ حلقه از چاه‌های واقع در این دشت در وضعیت نامناسب بوده‌اند و نتایج دیگرام شولر غیرقابل شرب بودن آب زیرزمینی در ۴۹/۳ درصد از مساحت دشت را تایید کرد.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، دشت شهر بابک، زمین‌آمار، شولر، کریجینگ، ویلکاکس

## Investigating Groundwater Quality Parameters Using GIS and Geostatistics (Case Study: Shahr-Babak Plain Aquifer)

A Jahanshahi <sup>\*1</sup> E Rouhi Moghaddam <sup>2</sup> and A Dehviri <sup>3</sup>

Received: 3 June 2013 Accepted: 3 September 2013

<sup>1</sup>- M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Univ., Zabol. Iran

<sup>2,3</sup>- Assist. Prof., Dept of Range and Watershed., Faculty of Natural Resources, Faculty Zabol Univ., Iran

\*Corresponding Author Email: afshin.jahanshahi@yahoo.com

### Abstract

Groundwater is one of the most important water resources in arid and semi-arid regions. The main aim of this study was to evaluate the accuracy of interpolation methods for predicting the spatial distribution of some groundwater quality indices for Shahr-Babak Plain in Kerman Province. First of all, the water quality data of about 56 wells in the period 2011-2012 were selected; based on their accuracy and scattering in 2011-2012; then the missing data were reconstructed and controlled. According to the Kolmogorov-Smirnov test, data were not normally distributed, so the logarithms of them were used. The results showed that for these water quality parameters, the best variogram models were the Spherical, Linear and Exponential ones. The variability of the data was investigated using different interpolation methods such as Kriging, Cokriging and IDW with powers 1 to 3. The results showed that the geostatistical methods had remarkable superiorities to the deterministic methods so that the Kriging method was the best one. For the parameters TDS, EC and Cl the lowest values of RMSE were calculated using Ordinary Kriging with the Spherical model, which were 844.6, 1214 and 10.61, respectively. Then the zoning maps of these three elements were drawn with the most appropriate method of ArcGIS software. The spatial and temporal variations of the most parameters were investigated and their correlations with the decreasing trends were shown during the period of the study. Also, the suitability of the plain aquifer water for agricultural and drinking uses was investigated with the Wilcox and Schoeller Standards. Wilcox standard results indicated that the water qualities of 30 wells were in unsuitable conditions, and the results of Schoeller diagram confirmed that in 49.3 percent of the plain area the groundwater was undrinkable.

**Keywords:** Geostatistics, Interpolation, Kriging, Schoeller, Shahr-Babak Plain, Wilcox

مقدمه‌ای بر تخریب منابع آب و سایر منابع چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به این منابع

مقدمه

تغییر در کیفیت آبهای زیرزمینی که معمولاً بر اثر مدیریت غلط بهره‌برداری از آب زیرزمینی رخ می‌دهد،

نیتراژ جهت تخمین‌های زمین‌آماري معرفی کردند. ارسلان (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در آبخوان دشت Bafra در کشور ترکیه با استفاده از داده‌های ۹۷ حلقه چاه در طی دوره‌ی آماری هفت ساله (از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰) میزان شوری را بررسی کرد. واریوگرام‌های مناسب برازش داده شده به داده‌ها شامل مدل‌های نمایی و کروی در روش کریجینگ معمولی<sup>۶</sup> و کریجینگ شاخص<sup>۷</sup> بودند. میزان روند شوری در ۳۱ درصد از دشت دارای شوری پنج دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۲۰۰۴ بوده که در مقایسه با سال ۲۰۱۰ این مقدار به اندازه ۹ درصد کاهش پیدا کرده است. در مطالعه‌ای ژایمینگ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ چاه واقع در دشت بهای<sup>۸</sup> در شمال کشور چین پرداخت. نتایج نشان داد که بهترین مدل‌های برازش داده شده به لگاریتم داده‌ها شامل تراز آب زیرزمینی و TDS مدل کروی، برای TH مدل نمایی و برای EC مدل گوسین بودند. با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که تراز آب زیرزمینی از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده و روند تغییرات TDS و EC به صورت افزایشی می‌باشند و بیشترین میزان TH مربوط به قسمت میانی و خط ساحلی دشت است. محمدآقایی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و ریسک آلودگی غلظت عناصر سنگین آرسنیک، سرب و کادمیم و همچنین بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی، TDS و سختی کل در آب زیرزمینی حوزه آبریز دشت قم از روش‌های زمین‌آماري استفاده کرد. نتایج حاصل از میان‌یابی نشان از برتری نیم تغییرنمای مدل نمایی (با داشتن حداقل RSS و حداکثر  $R^2$ ) برای عنصر آرسنیک و مدل کروی<sup>۹</sup> برای عناصر سرب و کادمیم جهت استفاده در روش کریجینگ معمولی به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی این عناصر دارد. زهتابیان و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای با عنوان

بیشتر است، اثر تخریبی به علت ضعف طبیعی در منابع آب و خاک شدت بیشتری خواهد داشت. لذا ضرورت مطالعه و بررسی کیفیت آن در این مناطق می‌تواند به مدیریت صحیح استفاده از منابع آبی کمک نماید (زهتابیان و همکاران ۱۳۸۹). در این میان استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کیفی سفره‌های آب زیرزمینی زمان بر و پرهزینه است. از این رو روش‌های زمین‌آماري به توجه به داشتن توانمندی‌هایی چون کاهش تعداد نمونه‌برداری، کاربرد توام و ارائه برآوردهای دقیق‌تر از وضعیت مکانی متغیرها، به لحاظ استفاده می‌توانند باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت برآوردها شود. این دانش در سایر علوم همچون هواشناسی کشاورزی، اقلیم‌شناسی، خاکشناسی و زیست‌شناسی کاربرد فراوان دارد. از سویی دیگر در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری به کمک روش‌های زمین‌آماري مبادرت به تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی نموده‌اند (حیبی‌اربطانی و همکاران ۱۳۸۸، شیخ‌گودرزی و همکاران ۱۳۹۱). تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای در دشت یزد به تحلیل مکانی پاره‌ای از ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از سه روش عکس مجذور فاصله<sup>۱</sup>، کریجینگ<sup>۲</sup> و کوکریجینگ<sup>۳</sup> پرداخت. ارزیابی نتایج حاصل بر اساس ریشه متوسط مربعات خطا<sup>۴</sup> نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش معیار دیگر برتری داشته و در پایان به عنوان روش نهایی و مناسب برای تهیه نقشه ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه انتخاب شد. ماریا و لوئیس (۲۰۱۰) در یک بررسی زمین‌آماري جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی غلظت نیتراژ<sup>۵</sup> حاصل از شستشوی کود ازته در آب زیرزمینی بیست هزار هکتار از اراضی کشاورزی تحت کشت ذرت در شمال شرقی کشور پرتغال از روش تخمین زمین‌آماري کریجینگ متقاطع بهره جستند. ایشان مدل نیم تغییرنمای کروی را به عنوان کاراترین مدل نشان‌دهنده همبستگی مکانی غلظت

<sup>1</sup> Inverse Distance Weighting (IDW)

<sup>2</sup> Kriging

<sup>3</sup> Cokriging

<sup>4</sup> Root Mean Square Error (RMSE)

<sup>5</sup> NO<sub>3</sub>

<sup>6</sup> Ordinary Kriging (OK)

<sup>7</sup> Indicator Kriging (IK)

<sup>8</sup> Bohai

<sup>9</sup> Spherical

شاخص نسبت جذب سدیم<sup>۲</sup> کیفیت آبهای زیرزمینی استان در مجموع مناسب است ولی از نظر هدایت الکتریکی کیفیت آبهای زیرزمینی استان خصوصا در مناطق مرکزی و مرکزی متمایل به شرق همجوار با دریا پایین بوده می‌باشد. محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی تغییرات زمانی و مکانی تراز و کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان‌های دشت اراک و ساوه پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طی ۷ سال در ۵۷ حلقه چاه محدوده اراک برابر ۳/۳۸ متر و در ۶۳ حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان ساوه برابر ۱۰/۱۹ متر بوده است. آن‌ها همچنین آب زیرزمینی این دو آبخوان را بر اساس روش ویلکاکس<sup>۴</sup> جهت مصارف کشاورزی تقسیم‌بندی کردند که آبخوان ساوه به ۴ دسته و آبخوان اراک به ۳ دسته طبقه‌بندی شدند. دشت شهربابک در غرب استان کرمان و در حاشیه شمالی کفه نمک کویر سیرجان یکی از کویرهای داخلی ایران و فاقد آب سطحی دائمی است که جزء مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی بوده که از پتانسیل مناسبی در بخش کشاورزی برخوردار است، آنچه باعث شده‌است در این تحقیق به مطالعه و پیشگویی کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی در این منطقه پرداخته شود، به خاطر اهمیتی که آب‌های زیرزمینی برای منطقه مورد نظر دارند. سه هدف اصلی این تحقیق شامل ۱- ارزیابی پارامترهای کیفی با بعضی روش‌های زمین‌آماري و معین و مقایسه این روش‌ها با هم ۲- بررسی روند تغییرات مکانی پارامترها در دشت و ۳- پهنه‌بندی آبخوان دشت از لحاظ مصارف شرب و کشاورزی می‌باشند. با این امید که این مطالعه نقطه شروعی جهت حل مسائل و تنگناهای موجود مدیریتی در این زمینه بوده و به مدیریت کارآمد این منابع پرارزش منجر شود که به نظر می‌رسد تاکنون در این دشت انجام نشده است.

بررسی و تحلیل مکانی ویژگی‌های کیفی آبهای زیرزمینی در حوزه آبخیز گرمسار واقع در استان سمنان با استفاده از روش‌های میان‌یابی زمین‌آمار و معین با مقایسه معیار ریشه متوسط مربعات خطا و دیگر عامل‌های ارزیابی به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آماري نسبت به روش‌های معین دقت بالاتری دارند، به گونه‌ای که از بین روش‌های زمین‌آماري، روش کوکریجینگ و از میان روش‌های معین، روش تابع شعاعی از دقت بالاتری برای بیشتر عامل‌ها برخوردار بود. در تحقیقی مشابه حبیبی‌اربطانی و همکاران (۱۳۸۸) به برآورد بهترین روش مدل‌سازی توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به کمک روش‌های زمین‌آماري و معین پرداخت. نتایج این پژوهش حاکی از دقت بالاتر روش‌های زمین‌آماري به ویژه در شرایط استفاده از متغیرهای کمکی نسبت به روش‌های معین در اکثر موارد می‌باشد. شعبانی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل مکانی آلودگی آبهای زیرزمینی منطقه ارسنجان خصوصیات کیفی آبهای زیرزمینی منطقه را از نظر شوری، pH، نیترات و کل نمک‌های محلول در آب<sup>۱</sup> با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و معین مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که روش زمین‌آماري کریجینگ نسبت به روش‌های معین در تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی آبهای زیرزمینی دشت ارسنجان از دقت بالاتری برخوردار بوده و دارای ارجحیت می‌باشد. رضایی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای تغییرات مکانی شاخص‌های مهم کیفیت آب زیرزمینی شامل EC، Na و SAR را در سطح استان گیلان با استفاده از آمار در ۱۳۵ حلقه چاه انتخابی مربوط به شهریور سال ۸۶ با روش‌های کریجینگ معمولی و عکس مجذور فاصله با توان‌های ۱، ۲ و ۳ را بررسی و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی را رسم کردند. نتایج نشان داد مدل کروی بهترین مدل برای برازش واریوگرام<sup>۲</sup> می‌باشد و در مجموع روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله با توان یک دقت بیشتری در درون‌یابی این خواص داشته‌اند. در پایان مشخص شد از نظر

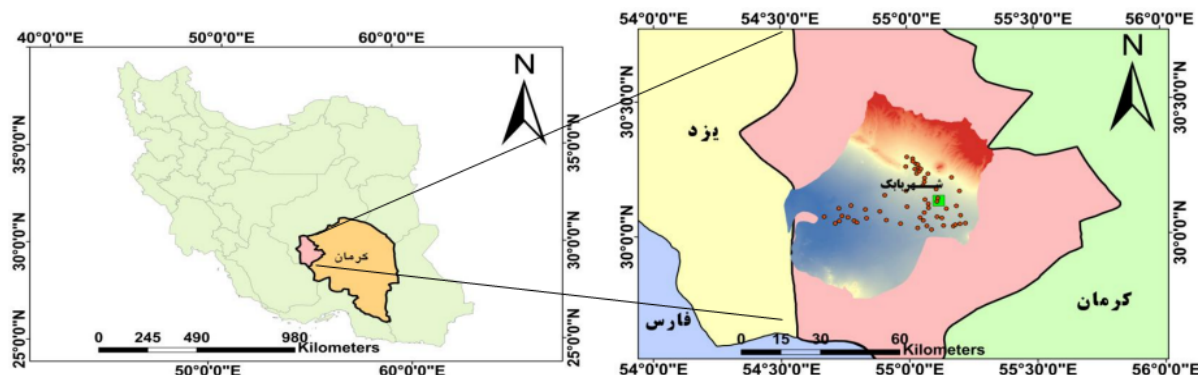
<sup>3</sup> SAR<sup>4</sup> Wilcox<sup>1</sup> TDS<sup>2</sup> Variogram

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

درصد آن را دشت آبرفتی تشکیل می‌دهد. با اخذ آمار بدست آمده از سالنامه‌ی آماری سال ۱۳۹۱ از اداره هواشناسی استان کرمان مشخص شد که جمع بارندگی سالانه در سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ برابر با ۱۱۳/۲ میلی‌متر که ۲۳/۳ درصد از مقدار میانگین بلند مدت بارش کمتر می‌باشد و میانگین دمای سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ برابر با ۱۵/۴ درجه سلسیوس که یک درصد از میانگین دمای بلند مدت بیشتر بود. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن از نوع خشک می‌باشد. دشت شهربابک فاقد جریان دائمی آبهای سطحی است و سیلاب‌های حاصل از ریزش باران از دامنه کوه به سوی پهنه میانی دشت در آبراه‌ها جریان یافته تا بخشی از سفره آب زیرزمینی را تغذیه نماید (بی‌نام ۱۳۸۹). شکل ۱ موقعیت دشت شهربابک را در نقشه ایران، استان کرمان، شهرستان شهربابک و نقاط نمونه‌برداری مورد مطالعه (چاه، چشمه و قنات) نشان می‌دهد.

حوزه آبریز شهربابک- خاتون‌آباد با وسعت ۳۱۹۷ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی واقع گردیده و از شمال به بخش انار و شهرستان مهریز یزد از شرق به شهرستان رفسنجان، از جنوب به قسمتی از استان فارس، از غرب به ارسنجان و بخشی از استان فارس محدود است. حداکثر ارتفاع حوضه در ناحیه شمالی ۳۴۴۰ متر و گودترین نقطه آن در کویر ۱۵۳۰ متر می‌رسد. این حوضه به دو زیرحوضه شهربابک به وسعت ۱۹۳۵ کیلومتر مربع و خاتون‌آباد با وسعت ۱۲۶۲ کیلومتر مربع تقسیم می‌گردد. دشت شهربابک در ناحیه شمال غرب استان کرمان در حوزه آبریز ابرقو سیرجان واقع شده است این محدوده دارای وسعتی حدود ۴۱۱۲ کیلومتر مربع بوده که حدود ۶۹



شکل ۱- موقعیت دشت شهربابک در نقشه ایران، استان کرمان، شهرستان شهربابک و موقعیت نقاط نمونه‌برداری.

روش میانجی و به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی اقدام به تهیه نقشه بعضی پارامترها و نقشه‌های پهنه‌بندی دشت از لحاظ مصارف شرب و کشاورزی بر اساس استانداردهای شولر و ویلکاکس گردید.

### بررسی ساختار مکانی داده‌ها

تخمین‌گرهای زمین‌آماري مقادير مجهول را با استفاده از مقادير معلوم و واریوگرام برآورد می‌کنند. واریوگرام مدلی ریاضی است که به منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر بکار می‌رود. به این منظور

### روش پژوهش

در این مطالعه جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی کیفیت آب زیرزمینی از نتایج تجزیه شیمیایی ۵۶ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق، چشمه و قنات موجود در دشت شهربابک (تهیه شده از سازمان آب منطقه‌ای کرمان) استفاده گردید. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، درونیابی پارامترها با روش IDW و سه روش زمین‌آماري (کریدجینگ ساده، معمولی و کوکریدجینگ) انجام گردید. به منظور ارزیابی روش‌های درونیابی از آزمون ارزیابی متقابل استفاده شد. سپس بر اساس بهترین

آستانه گویند که همان واریانس مکانی متغیر مورد بررسی است (حسینی پاک ۱۳۷۷).

روش‌های زمین‌آماری

کریجینگ

کریجینگ برآوردگری است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده بصورت ترکیبی خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد و برای برآورد نقاط ناشناخته، به هریک از نمونه‌ها وزنی نسبت داده و بهترین برآورد کننده خطی ناریب است (معادله ۲).

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad [2]$$

که در آن مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان  $(x_i)$ ،  $Z_0$  مقدار برآورد شده متغیر در نقطه  $(x_i)$ ،  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه  $i$  ام که بر اساس مقدار کمیت وابسته به نمونه در نقاط معلوم، به پارامتر مورد نظر داده می‌شود و  $n$  تعداد نقاطی که متغیر در آن‌ها اندازه‌گیری شده است (تعداد چاه، چشمه و قنات). شرط استفاده از این برآوردگر این است که متغیر دارای توزیع نرمال باشد (زهتابیان و همکاران ۱۳۸۹، رضایی و همکاران ۱۳۸۹).

کوکریجینگ

همانطوری که در آمار کلاسیک، روش‌های چند متغیره برای برآورد وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان به کمک روش کوکریجینگ بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف برآورد انجام داد که این ویژگی می‌تواند باعث دقت بیشتر برآوردها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها شود (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران ۲۰۰۸). در این تحقیق نیز با بررسی همبستگی بین متغیرها این روش بررسی شد که از بعضی از متغیرها به عنوان پارامتر کمکی استفاده شده است.

وزندهی عکس فاصله

در روش وزندهی عکس فاصله که روشی معین است، رابطه اصلی تخمین همان رابطه کریجینگ معمولی (معادله ۲) یعنی تخمینگر کریجینگ 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 نحوه

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 (شیخ‌گودرزی و همکاران ۱۳۹۱، معروفی و همکاران ۱۳۸۸).

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

که در آن  $\gamma(h)$ ، مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند،  $n$  تعداد نقاط اندازه‌گیری و  $Z(x_i+h)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیری که به فاصله  $h$  از  $x$  قرار دارد و  $Z(x_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان  $x_i$ . اگر نقاط در شبکه‌های منظم و با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیم تغییرنا بر اساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می‌گردد. در حالت دیگر که وضعیت معمول است و بر ایستگاه‌های هواشناسی صدق می‌کند، پراکندگی نقاط فاقد نظم می‌باشد (مانند چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها)، بنابراین معادلات تعدیل یافته و میانگین موزون نقاط برآورد می‌شود (عساکره ۱۳۸۷). مقدار  $h$  برابر با میانگین فواصل جفت نقاط در هر گام مکانی است. در دشت شهربابک که فاصله نقاط از هم ثابت نیست نقش انتخاب مقدار گام یا کوچکترین واحد فاصله<sup>۱</sup> در به تصویر کشیدن واقعیت ساختار مکانی کمیت مورد بررسی بسیار می‌گردد پس با کم و زیاد کردن این گام باید مقدار خطا به کمترین مقدار و ضریب همبستگی ( $r$ ) به بیشترین مقدار برسند که این عمل در نرم افزار GS+ انجام شد.

واریوگرام‌ها از سه پارامتر اثرقطعه‌ای<sup>۲</sup>، شعاع تاثیر<sup>۳</sup> و حد آستانه<sup>۴</sup> تشکیل شده‌اند. مقدار نیم تغییرنا به ازای  $h=0$  (در مبدا مختصات) را اثرقطعه‌ای می‌گویند. که معمولاً ناشی از خطای نمونه‌برداری و یا آنالیز داده‌ها است. با افزایش  $h$ ، مقدار نیم تغییرنا تا فاصله معینی اضافه شده سپس به حد ثابتی می‌رسد که این فاصله را شعاع تاثیر و مقدار نیم تغییرنا که ثابت شده را حد

<sup>1</sup> Lag

<sup>2</sup> Nugget effect

<sup>3</sup> Range

<sup>4</sup> Sill

که در آن  $Z^*(x_i)$  مقدار برآورد شده متغیر در  $x_i$ ،  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر در  $x_i$  و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد. بهترین راهکار روشی است که دارای کمترین مقدار RMSE باشد و هر چه معیار MBE به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل درونیابی متغیر موردنظر را به طور دقیق‌تری برآورد می‌کند. (ذبیهی و همکاران ۱۳۹۰، ایساک و سریواستاوا ۱۹۸۹، گوارتز ۱۹۹۷).

#### بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و شرب انسان

جهت مصارف کشاورزی یک طبقه‌بندی در سال ۱۹۴۸ توسط ویلکاکس ارائه گردیده است که از روش‌های متداول برای طبقه‌بندی آب آبیاری جهت مصرف کشاورزی بر حسب هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم می‌باشد. این روش ضمناً به روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا مرسوم است، بر اساس آن نمودار معروف ویلکاکس بر اساس دو عامل نامبرده رسم و هریک از عوامل به چهار قسمت تقسیم شده که در مجموع، باعث پدید آمدن ۱۶ گروه کیفیت آب می‌گردند (مهدوی ۱۳۷۸). جهت مصارف شرب یک استاندارد به نام شولر ارائه شده است برای طبقه‌بندی آب شرب از دیاکرام شولر استفاده شده است. در این دیاکرام بر اساس مقادیر سدیم ( $Na^+$ )، کلر ( $Cl^-$ )، یون سولفات ( $SO_4$ )، کل مواد جامد (TDS) و سختی کل (TH) کیفیت آب به شش کلاس تقسیم‌بندی می‌شود که پارامترهای آن در جدول ۱ آمده است (مهدوی ۱۳۷۸).

پراکندگی نقاط حول نقطه مورد تخمین، تعیین می‌شوند. به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص داده می‌شود (دلبری و همکاران ۱۳۸۹). مقدار وزن ( $\lambda_i$ ) در این روش از معادله ۳ بدست می‌آید:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad [3]$$

که در آن  $\lambda_i$  وزن ایستگاه  $i$  ام،  $D_i$  فاصله  $i$  مین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین،  $\alpha$  توان وزن دهی فاصله و  $n$  تعداد نقاط مشاهده شده است. اغلب روش اغلب توانی<sup>۱</sup> 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، یعنی عکس مجذور فاصله (اخوان و همکاران ۱۳۹۰). در این تحقیق از روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۳ استفاده شده است.

#### تعیین مناسب‌ترین روش درونیابی و معیار ارزیابی

پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات درونیابی بوسیله روش‌های مذکور بررسی گردید. برای ارزیابی روش‌های میانابی از روش ارزیابی متقابل و شامل مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده شده است (معادلات ۴ و ۵). در این روش یک نقطه به طور موقتی حذف شده و با اعمال روش موردنظر برای آن نقطه، مقداری برآورد گردید. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده شده و برای سایر نقاط به صورت مجزا این برآورد صورت گرفت. این کار برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای تکرار شد، به گونه‌ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای برآورد وجود خواهد داشت (حسینی پاک ۱۳۷۷).

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i))^2} \quad [4]$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i)) \quad [5]$$

<sup>1</sup> Power

جدول ۱- استاندارد شولر جهت مصارف شرب.

رديف	کيفيت	Na <sup>+</sup> (meq/L)	CL <sup>-</sup> (meq/L)	SO <sub>4</sub> (meq/L)	TDS(mg/L)	TH(mg/L)
۱	خوب	<۱۱۵	<۱۷۵	<۱۴۵	<۵۰۰	<۲۵۰
۲	قابل قبول	۱۱۵-۲۲۰	۱۷۵-۳۵۰	۱۴۵-۲۸۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۵۰-۵۰۰
۳	نامناسب	۲۲۰-۴۶۰	۳۵۰-۷۰۰	۲۸۰-۵۸۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰
۴	بد	۴۶۰-۹۲۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۵۸۰-۱۱۵۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۵	موقتا قابل شرب	۹۲۰-۱۸۴۰	۱۴۰۰-۲۸۰۰	۱۱۵۰-۲۲۴۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰
۶	غير قابل شرب	>۱۸۴۰	>۲۸۰۰	>۲۲۴۰	>۸۰۰۰	>۴۰۰۰

## نتایج و بحث

تجزیه‌ی همبستگی در محیط نرم افزار SPSS استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. طبق این جدول مولفه‌های مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد با یکدیگر رابطه معنی‌داری دارند. در این روش، پس از تشکیل ماتریس همبستگی برای پیش‌بینی کیفیت آب از عاملی به عنوان متغیر کمکی استفاده شده است که دارای بیشترین همبستگی با متغیر مورد نظر باشد. با توجه به جدول ۴ جهت برآورد TDS از EC، برآورد Cl از TDS و برآورد EC از Cl و همچنین برآورد TH از آنیون استفاده گردید. نمونه‌ای از واریوگرام‌های مربوطه به پارامترهای مورد بررسی ترسیم شده در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است که در آن‌ها محور قائم مقدار نیم تغییرنا (معادله ۱) و محور افقی دامنه تاثیر (h) می‌باشند.

در ابتدا جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف توسط نرم‌افزار SPSS استفاده شد، که مشخص شد کلیه پارامترهای مورد بررسی غیرنرمال بوده لذا به کمک لگاریتم‌گیری معمولی (در پایه ده)، علاوه بر نرمال شدن داده‌ها، چولگی به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و از لگاریتم داده‌ها استفاده شد.

## تجزیه و تحلیل زمین‌آماري

به منظور بررسی بهترین مدل بر روی واریوگرام تجربی از میزان RSS<sup>۱</sup> (مجموع مربعات باقیمانده) کمتر و استحکام ساختار فضایی (پیوستگی مکانی) قوی‌تر استفاده شد. بدین صورت که هر چه نسبت  $C/(C_0+C)$  کوچک‌تر باشد، ساختار فضایی متغیر بهتر ترسیم می‌گردد (شای و همکاران ۲۰۰۷، شیخ-گودرزی و همکاران ۱۳۹۱). نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متغیرها در جدول ۲ ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده، بهترین مدل برازش داده شده برای پارامتر سدیم مدل خطی و پارامترهای آنیون و SO<sub>4</sub> مدل نمایی و برای بقیه پارامترها مدل کروی می‌باشد. در رابطه با ساختار فضایی پارامترها یون‌های سدیم دارای پیوستگی مکانی قوی (کوچکتر از ۰/۲۵) و TDS، EC، pH و TH دارای پیوستگی مکانی متوسط (بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵) و کلسیم، SAR، SO<sub>4</sub>، HCO<sub>3</sub> و آنیون پیوستگی مکانی ضعیف (بیشتر از ۰/۷۵) می‌باشند. در روش کوکریجینگ ابتدا بین پارامترهای مورد بررسی از

<sup>1</sup> Residual Sum of Squares



جدول ۲- مشخصات بهترین مدل‌های برازش شده به نیم تغییرنماهای تجربی لگاریتم پارامترها.

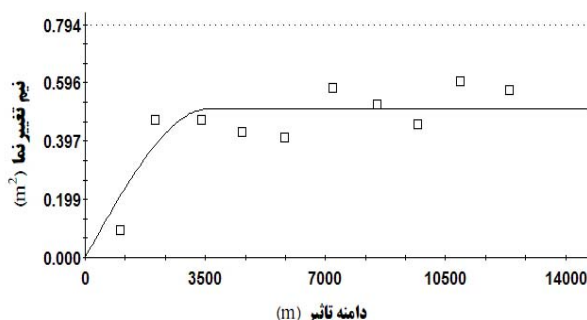
پارامتر	مدل	اثرقطعه‌ای (m <sup>2</sup> )	آستانه (m <sup>2</sup> )	دامنه تاثیر (m)	C/(C <sub>0</sub> +C)	ضریب همبستگی مکانی (r)	مجموع مربعات باقیمانده (RSS)
TDS (mg/L)	کروی	۰/۱۳۷	۰/۳۵۸	۱۶۶۷۰	۰/۶۹۶	۰/۶۵۹	۰/۰۲۲
EC (dS/m)	کروی	۰/۰۶۴	۰/۱۷۸	۱۵۴۰۰	۰/۶۳۷	۰/۷۹۷	۶/۹×۱۰ <sup>-۳</sup>
pH	کروی	۷/۷×۱۰ <sup>-۳</sup>	۱/۶×۱۰ <sup>-۳</sup>	۳۳۵۰۰	۰/۵۲۸	۰/۶۷	۸/۷×۱۰ <sup>-۸</sup>
Cl (meq/L)	کروی	۰/۰۰۱	۰/۵۰۷	۳۶۱۰	۰/۹۹۸	۰/۷۱۲	۰/۰۵۹
TH (mg/L)	کروی	۰/۳۰۲	۰/۷۰۹	۹۱۱۰۰	۰/۵۷۴	۰/۶۱	۰/۰۲۶
SAR (meq/L)	کروی	۰/۰۰۰۱	۰/۱۴۴	۲۴۵۸۰	۰/۹۹۹	۰/۹۲۴	۱/۴×۱۰ <sup>-۳</sup>
Na (meq/L)	خطی	۶/۶۶×۱۰ <sup>-۳</sup>	۶/۸۶×۱۰ <sup>-۳</sup>	۳۶۱۶۳	۰/۰۳	۰/۳۶۳	۱/۱۵×۱۰ <sup>-۵</sup>
SO <sub>4</sub> (meq/L)	نمایی	۰/۰۳۸	۰/۳۶۶	۳۰۹۶۰	۰/۸۹۶	۰/۷۲۸	۰/۰۲۰۸
HCO <sub>3</sub> (meq/L)	کروی	۰/۰۳۹	۰/۲۵۳	۳۰۴۹۰	۰/۸۴۴	۰/۹۳۷	۲/۵۴×۱۰ <sup>-۳</sup>
Anions (meq/L)	نمایی	۰/۱۶۶	۱/۰۶	۵۴۴۹۰	۰/۸۴۴	۰/۸۱۲	۰/۰۱۹

جدول ۳- خصوصیات ماتریس همبستگی کیفیت آب زیرزمینی دشت شهر بابک.

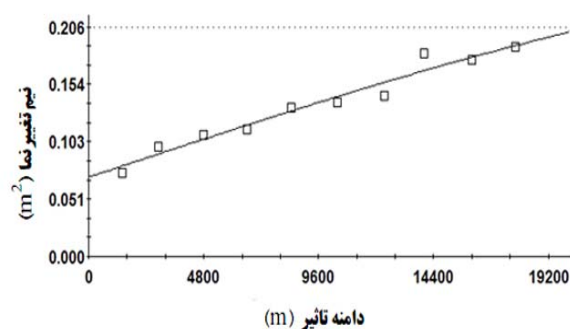
پارامتر	TDS(mg/L)	EC(dS/m)	pH	Cl(meq/L)	TH(mg/L)	SAR(meq/L)	Na(meq/L)	SO <sub>4</sub> (meq/L)	HCO <sub>3</sub> (meq/L)	Anions
TDS (mg/L)	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EC (dS/m)	۰/۹۶۵	۱	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-۰/۲۷	-۰/۲۱	۱	-	-	-	-	-	-	-
Cl (meq/L)	۰/۹۶	۰/۹۵	-	۱	-	-	-	-	-	-
TH (mg/L)	۰/۵۶	۰/۶۳	-	۰/۷۱	۱	-	-	-	-	-
SAR (meq/L)	۰/۸۹	۰/۸۷	-	۰/۷۳	۰/۴۷	۱	-	-	-	-
Na (meq/L)	۰/۵۹	۰/۶۳	-	۰/۷۷	۰/۳۷	۰/۴۶	۱	-	-	-
SO <sub>4</sub> (meq/L)	۰/۵۴	۰/۴۳	-	۰/۷۱	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۱۱	۱	-	-
HCO <sub>3</sub> (meq/L)	۰/۳۷	۰/۳۴	-۱/۱۲	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۲۲	۱	-
Anions (meq/L)	۰/۳۳	۰/۳۹	-	۰/۳۶	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۷۵	۰/۳۲	۱

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متقابل در روش کوکریجینگ.

متغیر اصلی	متغیر کمکی	اثرقطعه‌ای (m <sup>2</sup> )	آستانه (m <sup>2</sup> )	دامنه تاثیر (m)	C/(C <sub>0</sub> +C)	ضریب همبستگی مکانی (r)	مجموع مربعات باقیمانده (RSS)
TDS (mg/L)	EC (dS/m)	۰/۱۴	۰/۴۹۳	۴۰۰۲۰	۰/۷۱۲	۰/۸۲۹	۸/۹×۱۰ <sup>-۳</sup>
Cl (meq/L)	TDS (mg/L)	۰/۰۰۱	۰/۴۴۶	۳۰۹۰	۰/۹۹۸	۰/۶۷	۰/۰۵۵۴
EC (dS/m)	Cl (meq/L)	۰/۰۷۱	۰/۲۵۵	۳۸۷۷۰	۰/۷۲۱	۰/۹۵۹	۵/۲۸×۱۰ <sup>-۳</sup>
TH (mg/L)	Anions (meq/L)	۰/۳۰۳	۰/۷۰۱	۹۱۱۰۰	۰/۵۶۸	۰/۵۹۵	۰/۰۲۶



شکل ۲- نیم تغییرنمای تجربی و بهترین مدل برازش شده برای متغیر Cl.



شکل ۳- مدل نیم تغییرنمای متقابل تجربی برآزش داده شده برای پارامترهای EC-Cl، در روش کوکریجینگ.

جدول ۵- نتایج حاصل از ارزیابی متقابل پارامترهای مورد بررسی در روش‌های مورد استفاده.

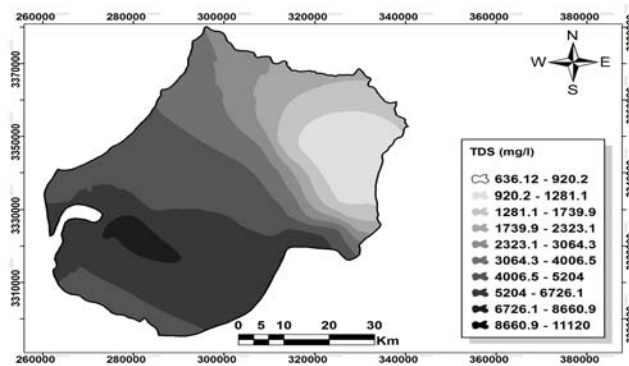
پارامتر	مدل	معیار ارزیابی	کریجینگ معمولی	کریجینگ ساده	عکس مجذور فاصله (IDW)		
					توان یک	توان دو	توان سه
TDS (mg/L)	کروی	RMSE	۸۴۴/۶	۱۳۰۵	۱۱۸۰	۱۱۹۳	۱۲۰۷
		MBE	۴/۰۶	۸۶/۰۹	۳۹/۰۳	۳۶/۷۳	۴۳/۱۲
EC (dS/m)	کروی	RMSE	۱۲۱۴	۱۸۹۰	۱۳۸۱	۱۳۸۷/۷	۱۳۹۴/۳
		MBE	۳/۷۷	۱۸/۳۴	-۲۷/۳۷	-۳۳/۰۹	-۳۷/۶۲
pH	دایره‌ای	RMSE	-۰/۲۸	-۰/۲۳	-۰/۳۰۱	-۰/۳۷	-۰/۴۴
		MBE	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۱۲	-۰/۰۲۴	-۰/۰۳۸
Cl (meq/L)	کروی	RMSE	۱۰/۶۱	۲۰/۲۴	۱۲/۰۳	۱۴/۲۲	۱۲/۱۱
		MBE	-۰/۰۶	۱/۷۱	-۰/۲۳	-۰/۲۴	-۰/۲۷
TH (mg/L)	کروی	RMSE	۵۵۶/۵	۵۳۲/۸	۵۱۶/۵	۵۲۳/۴	۵۳۱/۹
		MBE	۲۴/۵	۱۸/۴۸	۱۸/۸۷	۱۸/۶۱	۱۹/۰۲
SAR (meq/L)	کروی	RMSE	۱/۶۹	۱/۷	۱/۹۲	۲/۰۷	۲/۲۱
		MBE	۰/۰۱۵	۰	-۰/۰۲۵	-۰/۰۴۴	-۰/۰۶۳
Na (meq/L)	خطی	RMSE	۸/۳	۸/۵۷	۷/۹۹	۸/۲۳	۸/۴
		MBE	۰/۰۷۴	-۰/۱۶	-۰/۱۵	-۰/۲۳	-۰/۵
SO <sub>4</sub> (meq/L)	نمایی	RMSE	۳/۹۹	۳/۷۸	۴/۳۵	۴/۳۷	۴/۵۴
		MBE	-۰/۵۹	-۰/۴۸	-۰/۲۲	-۰/۳۷	-۰/۴۹
HCO <sub>3</sub> (meq/L)	کروی	RMSE	۱/۲۱	۱/۱۹	۱/۲۱	۱/۰۶	۱/۳۷
		MBE	-۰/۰۲۴	-۰/۰۲	-۰/۱۱	-۰/۰۷	-۰/۰۹
Anions (meq/L)	نمایی	RMSE	۲۰/۸۷	۲۰/۵۷	۲۱/۰۶	۲۰/۷	۲۱
		MBE	۱	۱/۰۷	-۰/۶۱	-۰/۵۷	-۰/۶۴

این دو معیار ارزیابی مشاهده می‌شود که در روش IDW توان ۱ نسبت به توان‌های ۲ و ۳ دارای خطای کمتری است و پس از روش کریجینگ و کوکریجینگ می‌تواند روش مناسب درونیابی باشد. شکل‌های ۴ تا ۵ نقشه‌های پهنه‌بندی بعضی عناصر مورد بررسی با مناسب‌ترین روش‌های بدست آمده برای هر پارامتر را نشان می‌دهند.

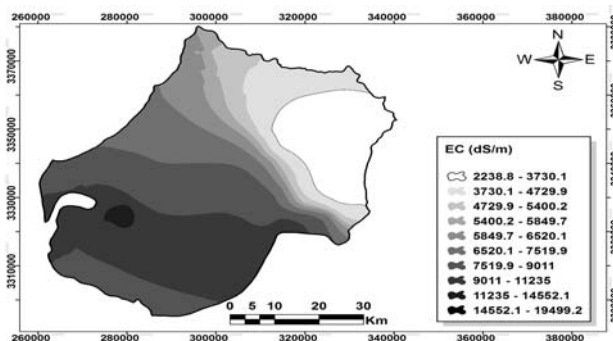
برای تعیین مناسب‌ترین روش درونیابی از میان روش‌های مورد استفاده، از دو معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده شد. جدول‌های ۵ و ۶ مقادیر این دو معیار را برای هر یک از روش‌های معین و زمین‌آماری نشان می‌دهد. بر اساس این دو معیار مناسب‌ترین روش درونیابی برای پارامترهای TH، SO<sub>4</sub>، HCO<sub>3</sub>، pH و آنیون روش کریجینگ ساده و برای پارامترهای TDS، EC، Cl، SAR و Na روش کریجینگ معمولی می‌باشد. بر اساس

جدول ۶- نتایج حاصل از ارزیابی متقابل پارامترهای مورد بررسی در روش کوکریجینگ.

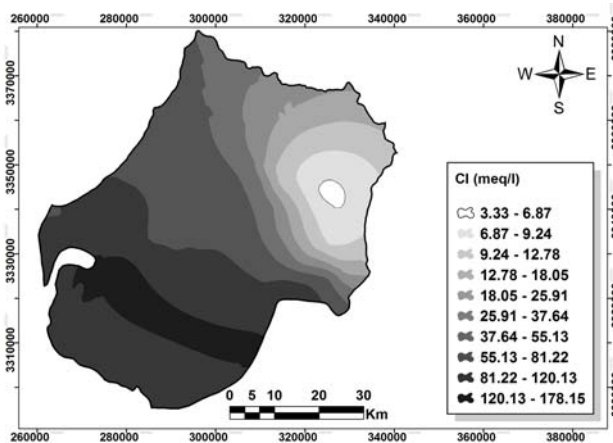
متغیر اصلی	متغیر کمکی	مدل	RMSE	MBE
TDS (mg/L)	EC (dS/m)	کروی	۱۱۴۸	۱۰۴/۹
Cl (meq/L)	TDS (mg/L)	کروی	۱۰/۸۳	۲۱/۱۶
EC (dS/m)	Cl (meq/L)	کروی	۱۷۲۷	۵۵۱۵
TH (mg/L)	Anion (meq/L)	کروی	۵۳۹/۴	۲۸/۶۱



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی TDS (mg/L) با روش کریجینگ معمولی



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی EC (dS/m) با روش کریجینگ معمولی.



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی Cl (meq/L) با روش کریجینگ معمولی.

### طبقه‌بندی آب زیرزمینی دشت شهرباک جهت مصارف شرب انسان و کشاورزی

در جدول ۶ مساحت‌های مربوط به طبقه‌بندی آب شرب بر اساس دیاگرام شولر و در شکل ۷ هر یک از این طبقات نشان داده شده است، با توجه به این جدول دشت شهرباک از لحاظ شرب در ۵ وضعیت قابل قبول، نامناسب، بد، موقتا قابل شرب و قابل قبول قرار می‌گیرند که وضعیت غیرقابل شرب، بیشترین درصد (۴۹/۳) را به خود اختصاص داده است. در جدول ۷ طبقات کیفیت آب زیرزمینی دشت شهرباک

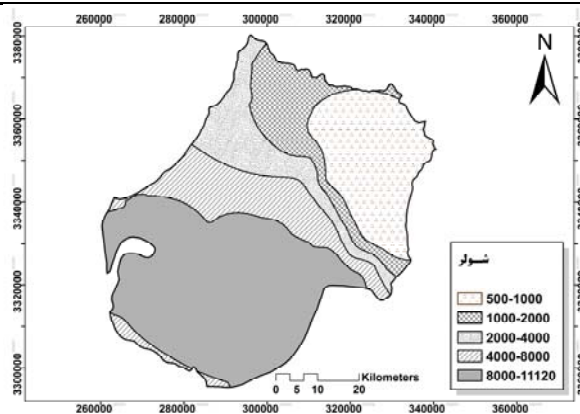
از لحاظ مصارف کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس به ۶ ناحیه تقسیم شده است (شکل ۸). در جدول مشاهده می‌شود تعداد ۳۰ حلقه از چاه‌های دشت شهرباک در وضعیت نامناسب قرار می‌گیرند که با ادامه این روند ممکن است در چند سال آینده آبی با کیفیت مطلوب برای کشاورزی در محدوده‌ی شهرستان و روستاهای دشت شهرباک که یکی از دشت‌های حاصلخیز استان کرمان می‌باشد، وجود نداشته باشد.

جدول ۶- مساحت گروه‌های مختلف آب بر اساس دیاگرام شولر.

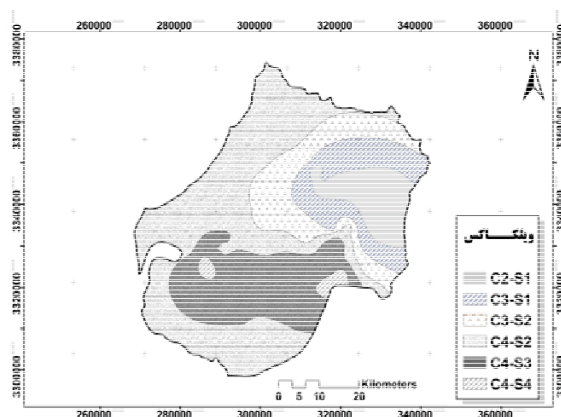
گروه	TDS(mg/L)	وضعیت	مساحت (Km <sup>2</sup> )	مساحت (%)	گروه	TDS(mg/L)	وضعیت	مساحت (Km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
اول	۰-۵۰۰	خوب	-	-	چهارم	۲۰۰۰-۴۰۰۰	بد	۵۰۹/۸۷	۱۲/۴
دوم	۵۰۰-۱۰۰۰	قابل قبول	۳۸۲/۴۲	۹/۳	پنجم	۴۰۰۰-۸۰۰۰	موقتا قابل شرب	۶۶۲/۰۵	۱۶/۱
سوم	۱۰۰۰-۲۰۰۰	نامناسب	۵۲۰/۴۴	۱۲/۹	ششم	>۸۰۰۰	غیرقابل شرب	۲۰۲۷/۲۲	۴۹/۳

جدول ۷- طبقه‌بندی ویلکاکس جهت مصارف کشاورزی.

طبقه	تعداد چاه	وضعیت	درصد	EC (dS/m)	SAR(meq/L)	طبقه	تعداد چاه	وضعیت	درصد	EC (dS/m)	SAR(meq/L)
C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	۵	خوب	۱۲/۳	۲۵۰-۷۵۰	۰-۱۰	C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	۱۵	نامناسب	۳۱/۳۴	۴۰۰۰	۱۰-۱۸
C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	۳	متوسط	۱۱/۱۲	۷۵۰-۲۲۵۰	۰-۱۰	C <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	۱۳	نامناسب	۲۹/۹	۴۰۰۰	۱۸-۲۶
C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	۶	متوسط	۱۳/۶	۷۵۰-۲۲۵۰	۱۰-۱۸	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	۲	نامناسب	۱/۷۴	۴۰۰۰	>۲۶



شکل ۷- نقشه کیفیت آب زیرزمینی دشت شهرباک بر اساس دیاگرام شولر.



شکل ۸- نقشه کیفیت آب زیرزمینی دشت شهربابک از نظر مصارف کشاورزی بر اساس دیگرام ویلکاکس.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از ارزیابی متقابل نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ برتری ندارد ولی مقدار خطای آن کمتر از روش IDW می‌باشد که می‌توان اینگونه بیان کرد که روش‌های زمین‌آمار دارای برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش‌های معین در تحلیل مکانی خصوصیات آبهای زیرزمینی می‌باشند. نتایج این پژوهش با نتایج داگوستینو و همکاران (۱۹۹۸) و احمدالی و همکاران (۱۳۸۷) که نشان‌دهنده برتری روش کوکریجینگ بر کریجینگ می‌باشند، مطابقت ندارد. در نهایت نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های کرسیک (۱۹۹۷)، احمد (۲۰۰۲)، زهتابیان و همکاران (۱۳۸۹) و ژایمینگ و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت که همه آن‌ها نیاز به نمونه‌برداری کمتر و به طبع کاهش هزینه نمونه‌برداری با استفاده از روش‌های زمین‌آمار اشاره دارند. از طرفی با هدف بهره‌برداری کشاورزی و آشامیدنی از منابع آبی در دشت شهربابک، در این پژوهش اقدام به پهنه‌بندی آب از لحاظ مصارف شرب و کشاورزی گردید (شکل‌های ۷ و ۸). نتایج حاصل از پهنه‌بندی کیفیت آب شرب و رسم نقشه‌های پهنه‌بندی TDS، EC و Cl جدای از میزان دقیق صحیح پهنه‌بندی آب شرب، نشان‌دهنده سه محدوده در شرق، جنوب-شرق و جنوب منطقه است که دارای شرایط نامطلوب از نظر آب شرب است که در برخی از این نواحی بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط استانداردهای ارائه شده قرار می‌گیرد و تعداد ۳۰ حلقه از چاه‌های دشت در همین

محدوده‌ها واقع شده است (شکل‌های ۴ تا ۶). با مشاهده شکل‌های ۴ تا ۶ مشخص شد که از سمت شمال به سمت غرب، جنوب‌شرق و جنوب دشت روند تغییرات عامل-های کیفی آب زیرزمینی تقریباً مشابه با یکدیگر می‌باشد و بر میزان کلر، شوری و TDS افزوده می‌شود و نیز با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ که نشان‌دهنده پهنه‌های آب جهت مصارف کشاورزی و شرب به ترتیب در روش-های ویلکاکس و شولر می‌باشند، مشاهده می‌شود که بدترین کیفیت آب شرب و کشاورزی مربوط به همین مناطق می‌باشد و آب زیرزمینی دشت روند صعودی (کاهش کیفیت) دارد که علت افت شدید کیفیت به سمت جنوبی و جنوب‌شرقی دشت را وجود کفه نمک (که احتمالاً ادامه کفه نمک کویر سیرجان می‌باشد) دانست که باعث نفوذ جبهه آب شور به آبخوان این دشت شده و همچنین از علل دیگر کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌توان به تجمع روستاها و زمین‌های کشاورزی در این قسمت از دشت اشاره کرد که بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در این بخش نسبت به سایر نواحی دشت صورت می‌گیرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود مطالعاتی مبنی بر این که پایین بودن کیفیت نواحی جنوبی آبخوان دشت شهربابک متأثر از نفوذ جبهه آب شور کویر نمک سیرجان می‌باشد، صورت گیرد. در جنوب دشت پیشنهاد عملی به مدیران منطقه‌ای می‌تواند جلوگیری از پمپاژ غیرقانونی آبخوان در مناطق روستایی باشد. نتایج این بخش از تحقیق را با نتایج محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۰) که در دشت‌های

اقدامات حفاظتی دارند، بهینه‌سازی در مصرف آب از طریق استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی انجام شود. همچنان با توجه به فراوانی وقوع باران‌های سیلابی در چند دهه اخیر، اجرای پروژه‌های پخش سیلاب می‌تواند گزینه‌ی مناسبی جهت احیای منابع آب زیرزمینی منطقه باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئولان محترم اداره مطالعات پایه منابع آب استان کرمان به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های موردنیاز این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

اراک و ساوه کیفیت آب را بررسی کردند می‌توان مطابقت داد که ایشان یکی از علل کاهش کیفیت آب در دشت ساوه را متأثر از مجاور بودن این دشت با لایه‌های نمکی سازند قم می‌دانند. پهنه‌بندی صورت گرفته می‌تواند به عنوان راهنمایی برای تعیین نواحی مناسب بهره‌برداری کشاورزی و شرب، همراه با در نظر گرفتن سایر پارامترهای کیفی آب در محدوده مطالعاتی، مورد استفاده قرار گیرد و در پایان پیشنهاد می‌گردد پس از مشخص کردن مناطقی که کیفیت آب آبخوان به شدت کاهش پیدا کرده و اولویت‌بندی محدوده‌هایی که نیاز به

### منابع مورد استفاده

- احمدالی خ، نیک‌مهر س و لیاقت ع، ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (مطالعه موردی: اراضی منطقه بوکان). مجله پژوهش آب ایران، جلد ۲، شماره ۳، صفحه‌های ۵۵ تا ۶۴.
- اخوان ر، کرمی خرم‌آبادی م و سوسنی ج، ۱۳۹۰. کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج پوشش جنگل‌های شاخه زاد بلوط (مطالعه موردی: منطقه کاکارضای خرم آباد لرستان). مجله جنگل ایران، سال سوم، شماره ۴، صفحه‌های ۳۰۵ تا ۳۱۶.
- بی‌نام، ۱۳۸۹. گزارش منابع آب زیرزمینی دشت شهر بابک. شرکت سهامی آب منطقه‌ای، استان کرمان.
- حبیبی‌اربطانی و، احمدی ع و فتاحی م، ۱۳۸۸. مدل‌سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی به کمک روش‌های زمین‌آماري. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۲، شماره ۷، صفحه‌های ۲۳ تا ۳۴.
- حسنی‌پاک ع، ۱۳۷۷. زمین‌آمار. انتشارات دانشگاه تهران.
- دلبری م، افراسیاب پ و میرعمادی سر، 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، صفحه‌های ۳۵۹ تا ۳۷۴.
- ذبیحی ع، سلیمانی ک، شعبانی م و آبروش ص، ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آماري (مطالعه موردی: استان قم). مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صفحه‌های ۱۰۱ تا ۱۱۲.
- رضایی م، دواتگر ن، تاجداری خ و ابولپور ب، ۱۳۸۹. بررسی تغییرات برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار. نشریه آب و خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)، جلد ۲۴، شماره ۵، صفحه‌های ۹۳۲ تا ۹۴۱.
- زهدت‌بایان غر، جان‌فزا ع، محمدعسکری ح و نعمت‌اللهی م، ۱۳۸۹. مدل‌سازی توزیع برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی در حوزه آبخیز گرمسار)، فصلنامه مرتع و بیابان، جلد ۱۷، شماره ۱، صفحه‌های ۶۱ تا ۷۳.
- شعبانی م، ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان. فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۳. صفحه‌های ۷۱ تا ۸۲.

شیخ‌گودرزی م، موسوی سح و خراسانی ن، ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت تهران-کرج). مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۵، شماره ۱. صفحه‌های ۸۳ تا ۹۳.

عساکره ح، ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲. صفحه‌های ۲۵ تا ۴۲. محمدآقایی م، ۱۳۸۹. تغییرات مکانی پارامترهای کیفی و ارزیابی خطر فلزات سنگین در حوزه آبریز دشت قم. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.

محمدی قلعه‌نی م، ابراهیمی ک و عراقی‌نژاد ش، ۱۳۹۰. ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های ساوه و اراک). مجله دانش آب و خاک (دانشگاه تبریز)، جلد ۲۱، شماره ۲. صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۸.

معروفی ص، ترنجیان ا و زارع‌ایبانه ح، ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲. صفحه‌های ۱۶۹ تا ۱۸۷.

مهدوی م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران.

Ahmed S, 2002. Groundwater monitoring network design: Application of geostatistic with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region. Groundwater Hydrology Journal, Tokyo, Japan 2: 37-57.

Arsalan H, 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. Agricultural Water Management 113: 57-63.

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

Goovaerts P, 1997. Geostatistics for Natural Resource Evaluation. Oxford University Press, New York.

Isaaks EH and Srivastava RM, 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.

Kresic N, 1997. Hydrology and Groundwater. Lewis Publishers, Boca Raton, New York.

Maria PM and Luis R, 2010. Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using Disjunctive kriging. Science of the Total Environment 5: 1021-1034.

Shi J, Wang H, Xu J, Wu J, Liu X, Zhu H and Yu C, 2007. Spatial Distribution of heavy metals in soils: a case study of Changing, China. Environmental Geology 52: 1-10.

Taghizadeh Mehrjerdi R, Zareian M, Mahmodi Sh and Heidari A, 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistic (case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal 4(1): 7-9.

Zaiming Z, Guanghui Z, Mingjiang Y and Jinzhe W, 2012. Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the Bohai Sea, North China. Environmental Monitoring and Assessment 184(6): 3697-3710.