

## Application of Geostatistical Techniques for Assessment of Groundwater Quality, Foumanat Gilan

Abdollah Taheri Tizro<sup>\*1</sup>, Maryam Navabian<sup>2</sup>, Aida Badakhshan<sup>3</sup>

### Abstract

Groundwater is the main source of water for drinking and agricultural water demands purposes. Therefore, it is essential to be aware of its quality for the proper management of water resources. In this study, qualitative data of 42 observation wells of years (2004-2013) were used to determine the best method for analyzing spatial interpolation quality of the ground water to be used for agricultural purposes. No significant difference of empirical relationship between TDS and EC with respect to the global relationship was observed in the study area. It is also found that, SAR in the area was also affected by the concentration of Na. Based on the Wilcox classification, water quality is in the category of slightly saline. Analysis of the comparison between the methods of geostatistics (kriging, cokriging, and inverse distance weighted) showed that on the average, the kriging algorithm with the RMSE and MAE of 9.655 and 6.755 and  $R^2$  value of 0.6 had included better results for the estimation of qualitative parameters of the study area.

Examining the spatial distribution map of EC and SAR in the period of 5 years (2004-2008 and 2008-2013) showed that the EC and SAR values in the East of plain is more than in the West and there is an increasing trend in center of the Plain. West and south margins of the plain, which have lower values of EC and SAR are the best areas for agricultural purposes.

**Keywords:** Cokriging, Inverse distance weighted, Kriging, Wilcox.

Received: 2016/01/26  
Accepted: 2016/06/16

## کاربرد تکنیک زمین آمار برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت فومنات استان گیلان

عبدالله طاهری تیزرو<sup>\*۱</sup>، مریم نوابیان<sup>۲</sup>، آیدا بدخشان<sup>۳</sup>

### چکیده

آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب مورد نیاز شرب و کشاورزی می‌باشند بنابراین اطلاع از کیفیت آن جهت مدیریت صحیح منابع آب ضروری است. در این پژوهش از اطلاعات کیفی ۴۲ حلقه چاه پایش در طی سال‌های ۹۲-۸۳ به منظور تعیین بهترین روش میان‌یابی و تحلیل مکانی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی است. رابطه تجربی بین TDS و EC برای منطقه فومنات با رابطه جهانی آن تفاوت چندانی نداشت. همچنین مشخص شد SAR منطقه بیش‌تر متأثر از غلظت Na بود. کیفیت آب منطقه براساس طبقه‌بندی ویلکاکس در رده‌ی کمی شور و شور قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای بین روش‌های زمین آمار (کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله وزنی) نشان داد که روش کوکریجینگ به طور میانگین با RMSE به مقدار ۹/۶۵۵ و MAE به مقدار ۶/۷۵۵ و  $R^2$  به میزان ۰/۶ نتایج بهتری در برآورد غلظت پارامترهای کیفی در منطقه مورد بررسی داشت. با بررسی نقشه تغییرات مکانی EC و SAR در بازه ۵ ساله (۸۷-۸۲ و ۹۲-۸۷) مشخص شد که مقادیر آن‌ها در شرق دشت بیش‌تر از غرب و در مرکز دشت دارای روند افزایش بوده است. همچنین حاشیه‌های غرب و جنوب غربی دشت بهترین مناطق برای مصارف کشاورزی از نظر غلظت کم‌تر EC و SAR می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ، کوکریجینگ، معکوس فاصله وزنی، ویلکوکس.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۶  
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۲۷

1- Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Bu-Ali Sina University in Hamedan. Email: ttizro@yahoo.com.

2- Assistant Prof., Dept. of Water Engineering of faculty Agricultural Sciences, University of Guilan.

3- MSc of Water Resources, Bu Ali Sina University in Hamedan.

\*- Corresponding Author

۱- دانشیار گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

\*- نویسنده مسئول

## مقدمه

به در نظر گرفتن توزیع مکانی مؤلفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی نیست، از زمین آمار به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌گردد (نجاتی جهرمی و همکاران، ۱۳۸۸). به طور کلی می‌توان گفت زمین آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر مختلف آنها، فاصله و جهت قرار گرفتن آنها یک ارتباط فضایی وجود دارد. شعبانی (۱۳۸۷) با مقایسه روش‌های گوناگون میان‌یابی برای آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان  $TDS^T$  و pH تهیه نقشه تغییرات نتیجه‌گیری کردند که روش زمین آمار کریجینگ ساده و معمولی نسبت به روش‌های معین برتری دارد. سلاجقه و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی شهر کرج با استفاده از روش‌های زمین آمار به این نتیجه رسیدند که از بین روش‌های درون‌یابی استفاده شده در این تحقیق شامل کریجینگ، کوکریجینگ و روش عکس فاصله وزن دار با توان یک تا پنج روش کوکریجینگ نسبت به دو روش دیگر از دقت بالاتری برخوردار است. همچنین نقشه‌های تهیه شده با این روش نشان می‌دهد که میزان آلودگی از قسمت‌های جنوبی و مرکزی منطقه به سمت شمال و نیمه غربی در حال افزایش است که دلیل این امر ساختار زمین‌شناسی منطقه و تمرکز بافت شهری در قسمت‌های شمالی منطقه مورد تحقیق می‌باشد. یوسان و همکاران (۲۰۰۹) به مقایسه سه روش درون‌یابی معکوس فاصله وزنی، توابع پایه شعاعی و کریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات زمان و مکانی عمق آب زیر زمینی در کویر مین‌کین چین پرداختند. کتاتا و همکاران (۲۰۱۰) روند تغییرات متغیرهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی جنوب شرق تونس را با نرم‌افزار GIS<sup>۴</sup> بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان شوری و سایرمتغیر-های شیمیایی در طول زمان تغییر کرده و وضعیت آبخوان بیشتر به سنگ‌های تشکیل‌دهنده آن ارتباط داشت و مقدار فلوراید بیشتر از حد مجاز برای سلامتی بود. مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر درون‌یابی شده نشان داد که روش کریجینگ معمولی به عنوان روش بهینه جهت درون‌یابی عمق آب زیر زمینی است. محمدی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی قزوین نشان دادند که در فصول تر

منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به شمار می‌آیند. از سوی دیگر خطر آلودگی کمتر این منابع نسبت به دیگر روش‌های فرآوری آب باعث شده که حتی در مناطقی که کمبودی از لحاظ آب سطحی احساس نمی‌شود نیز استفاده از این منابع رونق داشته باشد، تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم‌اکنون خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور به ویژه در اراضی خشک می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی همچون آب سطحی همواره در حال تغییر است، اما این تغییرات نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد (معروفی و همکاران، ۱۳۸۹). آنالیز کیفیت آب یکی از قسمت‌های مهم مطالعات آب‌های زیرزمینی است، تنوع کیفی آب زیرزمینی از لحاظ فیزیکی و شیمیایی تابع خصوصیات زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی در هر منطقه می‌باشد. شوری آب آبیاری از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در اغلب نقاط جهان از جمله ایران می‌باشد. بهترین شاخص برای بیان شوری آب هدایت الکتریکی می‌باشد. هدایت الکتریکی معرف میزان املاح موجود در آب است که هرچه میزان آن افزایش پیدا کند آب کیفیت نامناسب‌تری خواهد داشت. هدایت الکتریکی در آب‌های زیرزمینی تابعی از مقدار مواد حل شده و درجه حرارت می‌باشد و با افزایش آن مقدار هدایت الکتریکی نیز بالا می‌رود (گناناچندراسمی، ۲۰۱۴). یکی از عوامل موثر بر سرعت نفوذ آب، کیفیت آب آبیاری است که ناشی از نسبت جذب سدیم ( $SAR^1$ ) و شوری ( $EC^2$ ) می‌باشد. کاتیون‌های سدیم دو ویژگی خاک را تغییر می‌دهند، اول این‌که موجب کاهش نفوذپذیری خاک و دوم موجب سخت شدن خاک می‌شوند. این دو عمل در نتیجه تبادل کاتیونی که طی آن کاتیون‌های سدیم جانشین کاتیون‌های کلسیم و منیزیم می‌شوند، اتفاق می‌افتد. میزان این جانشینی همان نسبت جذب سدیم می‌باشد. وجود تغییرات مکانی کیفیت آب امری طبیعی می‌باشد ولی شناخت این تغییرات جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری لازم و مفید است. از آنجا که آمار کلاسیک قادر

3- Total dissolved solids  
4- Geographical Information System

1- Sodium absorption ratio  
2- Electrical conductivity

انتقال رسوبات آبرفتی افزایش می‌یابد. در نیمه شرقی دشت به واسطه ضخیم بودن رسوبات آبرفتی حاوی آب شیرین مقادیر قابلیت انتقال بیش‌تر از نیمه غربی دشت می‌باشد. از مرکز دشت به سمت دریا به واسطه کاهش ضخامت رسوبات آبرفتی آب شیرین قابلیت انتقال رسوبات آبرفتی کاهش یافته و در اراضی ساحلی به کم‌تر از ۱۰۰ مترمربع در روز می‌رسد. در دشت فومنات در اراضی مخروط افکنه‌ای واقع در جنوب دشت آبخوان آبرفتی از نوع آزاد بوده که با حرکت به سمت شمال به واسطه حضور رسوبات رسی و سیلتی در بین رسوبات شن و ماسه‌ای حاوی قلوه‌سنگ و سنگ‌ریزه آبخوان چند لایه می‌گردد. به نحوی که سفره‌ای عمیق در قسمت اعظم دشت به ویژه در رسوبات میان دشتی گسترش دارد. در اراضی مابین شمال شهرستان فومن، شرق طاهرگوراب و غرب رشت لایه رسی سطحی با ضخامت متفاوت ۳۰ تا ۷۰ متر گسترش دارد که بیشینه ضخامت آن در جنوب رشت حدود ۷۰ متر می‌باشد. لازم به ذکر است که لایه رسی مذکور همراه با ماسه، شن و قلوه‌سنگ بوده و در برخی از نقاط لایه‌های قلوه‌سنگی، شنی همراه رس و ماسه به صورت به صورت میان لایه‌ای در بین آن‌ها مشاهده می‌گردد. در این پژوهش از اطلاعات کیفی ۴۲ حلقه چاه در سال‌های ۹۲-۸۳ که از شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان اخذ شده است، استفاده شد. محدوده مطالعاتی، جهت حرکت آب زیرزمینی و موقعیت چاه‌ها و رودخانه‌ها در شکل (۱) آمده است.

تخمین زمین آماری شامل دو مرحله می‌باشد. مرحله اول، شناخت و مدل‌سازی که به وسیله واریوگرام بررسی می‌شود و مرحله دوم، تخمین زمین آماری به روش‌های مختلف زمین آمار است که به مشخصات مدل واریوگرام برآزش داده شده در مرحله اول وابسته است. هدف اصلی از محاسبه واریوگرام این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. مشخصات واریوگرام شامل تعیین سه پارامتر اثر قطعه‌ای، دامنه تاثیر و سقف یا آستانه واریوگرام می‌باشد.

**الف) اثر قطعه‌ای ( $C_0$ ):** مقدار واریوگرام در مبدأ مختصات، یعنی به ازای  $h=0$  را اثر قطعه‌ای می‌نامند (شکل ۲). در حالت آرمانی مقدار اثر قطعه‌ای باید صفر باشد، اما در بیش‌تر مواقع بزرگ‌تر از آن است. در این حالت بخش تصادفی و یا ناساختار متغیر ظاهر می‌شود (شعبانی، ۱۳۸۷).

کیفیت آب زیرزمینی پایین آمده است، به طوری که با افزایش افت سطح آب مقادیر کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی آب‌هاب زیرزمینی مورد مطالعه روند صعودی داشته است. سمین و همکاران (۲۰۱۲)، از روش کریجینگ و کوکریجینگ معمولی برای تخمین نسبت جذب سدیم و کلر در آب‌های زیرزمینی ۹۰ حلقه چاه استان فارس استفاده کردند و بیان نمودند هر دو روش تخمین‌های قابل قبولی ارائه نمودند اما تخمین نسبت جذب سدیم و کلر با استفاده از روش کوکریجینگ دقیق‌تر از روش کریجینگ بود. گناناچندراسمی و همکاران (۲۰۱۴) کیفیت آب منطقه نگیپاتینم جنوب هند را با نرم‌افزار GIS و روش دورن‌یابی<sup>۱</sup> IDW مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج تحقیق نشان داد که کیفیت آب برای کشاورزی مناسب بود و استراتژی‌های مدیریتی برای سیستم آبخوان ضروری است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی دقت روش‌های زمین آمار در تهیه نقشه تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت فومنات گیلان و ارزیابی کیفیت آن برای مصارف کشاورزی از لحاظ شوری و نفوذ می‌باشد زیرا روند افزایش شوری و نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی در سال‌های اخیر نگران‌کننده بوده و در صورت عدم مدیریت این منابع ممکن است کاهش شدید در نفوذ در اراضی زراعی دشت فومنات روی بدهد.

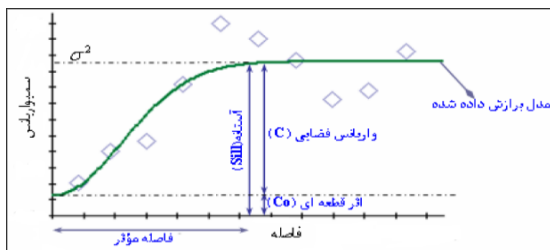
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی فومنات در استان گیلان قرار دارد. این محدوده بین طول‌های شرقی ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۷ درجه تا ۳۷ درجه و ۳۴ دقیقه قرار گرفته است (شکل ۱). وسعت محدوده مطالعاتی برابر  $3828/8$  کیلومترمربع است که ۵۳ درصد آن را دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. مساحت دشت بدون تالاب و اراضی شمالی آن برابر  $1787/3$  کیلومترمربع می‌باشد. تغذیه جانبی این آبخوان از ارتفاعات جنوبی مشرف بر دشت می‌باشد و خروجی زیرزمینی این آبخوان وارد تالاب انزلی می‌گردد. در دشت فومنات در اراضی مخروط افکنه‌ای و حاشیه دشت به علت کم بودن ضخامت اشباع آبخوان قابلیت انتقال رسوبات آبرفتی کم‌تر از ۱۰۰ مترمربع در روز می‌باشد که با حرکت در مرکز دشت به واسطه افزایش ضخامت اشباع مقادیر قابلیت

1- Inverse Distance Weighting

روند صعودی به تدریج از شیب آن کم شده و در فاصله معینی که دامنه تاثیر نامیده می‌شود، به سقف خود می‌رسد و در همین مقدار باقی می‌ماند. مدل نمایی مشابه مدل کروی بوده ولی و آهنگ صعود آن آرام‌تر از مدل کروی است و در عمل هیچ‌گاه به سقف معینی نمی‌رسد. مدل گوسی از مبداء گذشته ولی در نزدیکی مبداء رفتار سهمی‌گون دارد. شیب این مدل در نزدیکی مبداء صفر است که به تدریج افزایش می‌یابد تا به یک نقطه عطف برسد. در این نقطه شیب منحنی تغییر کرده و مانند مدل کروی با سرعت زیادی به سوی سقف خود صعود می‌کند، ولی برخلاف مدل کروی به آرامی به سقف نزدیک می‌شود.



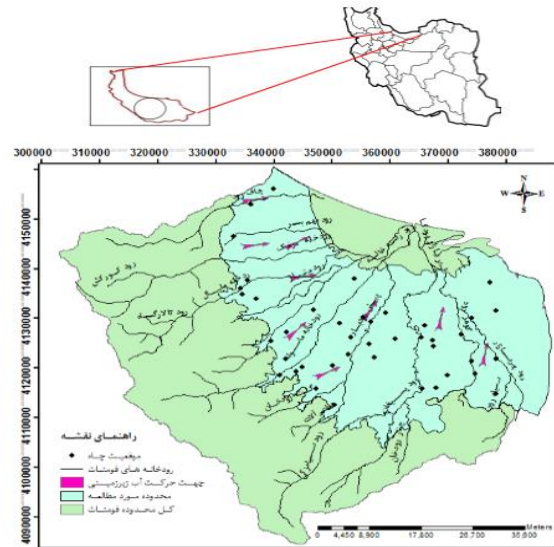
شکل ۲- نمای واریوگرام

**کریجینگ:** کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین گر خطی ناریب است (کناتا و همکاران، ۲۰۱۰). این تخمین گر به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

در این رابطه،  $Z^*(h)$  مقدار متغیر مکانی برآورد شده،  $Z(X_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $X_i$  و  $\lambda_i$  وزن آماری است که به نمونه  $X_i$  نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه  $i$  ام در برآورد است (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

**معکوس فاصله وزنی:** در این روش برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرند. سپس این وزن‌ها توسط توان وزنی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله نقاط را در نظر می‌گیرد، به طوری که نقاط دارای فاصله یکسان،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی فونتان.

### روش‌های زمین آمار

**(ب) دامنه تاثیر:** فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی رسیده و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، دامنه یا شعاع تاثیر نامیده می‌شود (شکل ۲). این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای برآورد مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. بدیهی است که دامنه‌ی تاثیر بزرگ‌تر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تری دارد (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

**(ج) سقف یا آستانه واریوگرام:** به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه‌ی تاثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه‌ی تغییرنا بکار رفته‌اند (استواری و همکاران، ۱۳۹۰). در روش کریجینگ، واریوگرام‌هایی که به سقف مشخص می‌رسند، اهمیت بیشتری دارند (شکل ۲). در مورد‌هایی واریوگرام‌هایی بدست می‌آید که در محدوده فاصله‌های مورد نظر تمایلی به نزدیک شدن به حدی ثابت ندارند، این واریوگرام‌ها می‌توانند نشان دهنده‌ی وجود روند در داده‌ها و یا عدم ایستایی آن‌ها باشند.

مدل‌های کروی، نمایی و گوسی از جمله مدل‌های تئوری واریوگرام محسوب می‌شوند که قابلیت برآزش بر روی پارامترهای مختلف را دارند. مدل کروی از مبداء مختصات شروع شده و در نزدیکی مبداء رفتار خطی دارد. پس از طی

روش را نشان می‌دهند. اگر نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، کم‌تر از ۰/۲۵ شود نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد، بیانگر همبستگی مکانی متوسط و چنان‌چه این نسبت بزرگتر از ۰/۷۵ گردد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود. ضریب تبیین بیش‌تر از ۵۰ درصد نیز کارایی بیش‌تر روش برای تخمین را نشان می‌دهد.

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

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

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i(o) - x(mean)]^2 - \sum_{i=1}^n [x_i(o) - x(p)]^2}{\sum_{i=1}^n [x_i(o) - x(mean)]^2} \quad [6]$$

n تعداد نقاط مشاهده‌ای،  $Z^*(x_i)$  و  $x(p)$  مقدار برآورد شده در نقطه نام،  $Z(x_i)$  و  $x_i(o)$  مقدار مشاهده‌ای برای نقطه نام و  $x(mean)$  میانگین مشاهدات می‌باشد.

#### نتایج و بحث

به منظور ارزیابی دقت روش‌های زمین آمار در تهیه نقشه تغییرات غلظت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، ابتدا صحت‌سنجی داده‌های هیدروشیمیایی براساس قوانین برابر بودن مقدار آنیون‌ها با کاتیون‌ها، کم‌تر بودن خطای تفاوت میان مجموع آنیون‌ها از کاتیون‌ها به میزان سه درصد، همبستگی میان مجموع آنیون‌ها با EC/100، همبستگی مجموع کاتیون‌ها با EC/100 و در نهایت همبستگی مجموع کاتیون در مقابل مجموع آنیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که خطای تفاوت میان آنیون‌ها از کاتیون‌ها کم‌تر از ۳ درصد بود و همبستگی بالا بین موارد مورد بررسی وجود داشت.

آنالیز همبستگی پیرسون یکی از ابزارهای مناسب در مطالعات کیفیت آب‌های زیرزمینی است که می‌تواند وابستگی میان پارامترها نشان دهد. در این تحقیق از نرم افزار SPSS16 (دیویس، ۲۰۰۲؛ بی نام، ۲۰۰۷) به منظور محاسبه ضریب همبستگی پیرسون برای ۱۰ سال و مشخص نمودن پارامتر کمکی در روش کوکریجینگ مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ضرایب همبستگی در هر سال مشخص شد، TDS همبستگی بالایی با کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم دارد که نشان-

وزن یکسانی خواهند داشت. فرمول کلی روش معکوس فاصله وزنی به صورت فرمول (۲) است.

$$Z^*(h) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad [7]$$

در این رابطه،  $Z^*(h)$  مقدار متغیر مکانی برآورد شده،  $Z(X_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $X_i$  و  $\lambda_i$  وزن‌های است که به هر نقطه اندازه‌گیری که استفاده می‌شود نسبت می‌دهیم که این وزن‌ها با فاصله کاهش می‌یابد.

**کوکریجینگ:** همان طوری که در آمار کلاسیک

روش‌های چند متغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ براساس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین زد. این خصوصیت می‌تواند باعث دقت بیش‌تر تخمین‌ها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها (با نمونه-برداری کمتر) شود (کتاتا و همکاران، ۲۰۱۰). این تخمین‌گر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(h) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \sum_{k=1}^n \lambda_k Y(X_k) \quad [8]$$

در این رابطه،  $Z^*(h)$  مقدار متغیر مکانی برآورد شده،  $Z(X_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $X_i$  و  $Y(X_k)$  مقدار متغیر کمکی مشاهده شده در نقطه  $X_k$  و  $\lambda_i$  وزن آماری است که به نمونه  $X_i$  نسبت داده می‌شود و  $\lambda_k$  وزن آماری مربوط  $\lambda_i$  به متغیر کمکی است.

روش‌های مختلفی برای اعتبارسنجی روش‌های درونیابی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها روش اعتبارسنجی تقاطعی می‌باشد. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای، که معمولاً تنها ابزار مقایسه می‌باشند، تخمین با به‌کارگیری روش درونیابی مورد نظر انجام می‌گیرد و سپس مقدار تخمین با مقدار مشاهده‌ای مقایسه می‌گردد. در این پژوهش از معیارهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup>، میانگین خطا مطلق<sup>۲</sup>، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه  $(\frac{C_0}{C+C_0})$  و ضریب تبیین روش تخمین‌گر<sup>۳</sup> ( $R^2$ ) جهت اعتبارسنجی روش‌های درونیابی استفاده شد. روابط ۴ تا ۶ این معیارها را نشان می‌دهد. معیارهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا و میانگین مربعات خطا هر چه قدر بع‌صفر نزدیک‌تر باشند، دقت بیش‌تر

1- Root Mean Square Error

2- Mean Absolute Error

3- Coefficient of determination

سال‌های ۸۵، ۸۶ و ۸۷ بارندگی کاهش داشته و در سال ۸۸ باران بیش‌تری نسبت به سال ۸۷ باریده است. همچنین در سال ۹۲ باران بیش‌تری نسبت به سال ۹۱ باریده است که این امر باعث کاهش غلظت در شوری در سال‌های ۸۸ و ۹۲ شده است. نسبت جذب سدیم با کاتیون‌های منیزیم و کلسیم رابطه عکس و با کاتیون سدیم رابطه مستقیم دارد. جهت مشخص کردن این که در دشت فومنات نسبت جذب سدیم بیش‌تر از کدام یک از کاتیون‌ها تاثیر می‌پذیرد، نمودار روند تغییرات آن‌ها (شکل ۴) رسم شد. براساس روند تغییرات پارامترها و همچنین نتایج آنالیز همبستگی بین آن‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که نسبت جذب سدیم منطقه در مرتبه اول بیش‌تر متأثر از سدیم و در مرتبه بعدی به ترتیب از منیزیم و کلسیم تاثیر می‌پذیرد.

#### جدول ۱- نتایج رده‌بندی کیفیت آب براساس دیاگرام

سال	ویلکاکس	
	میانگین هدایت الکتریکی	نسبت جذب سدیم
۸۳	۷۰۳/۴۷۶	۰/۷۳۹
۸۴	۶۷۸/۶۶۷	۰/۸۴۰
۸۵	۷۵۹/۹۷۵	۰/۹۱۲
۸۶	۷۵۳/۴۱۵	۰/۸۴۴
۸۷	۷۵۱/۲۸۶	۱/۰۲۰
۸۸	۶۳۶/۵۹۵	۰/۹۸۴
۸۹	۶۲۳/۶۶۷	۰/۸۳۹
۹۰	۶۷۱/۴۱۰	۰/۸۴۴
۹۱	۷۵۳/۲۲۰	۱/۰۳۶
۹۲	۵۹۷/۹۳۰	۱/۰۰۲

دهنده انحلال مواد معدنی در آب زیرزمینی است. همچنین همبستگی بالای TDS و EC و همچنین SAR و Na نشان- دهنده ارتباط مستقیم این دو پارامتر است. رابطه تجربی بین TDS و EC منطقه مورد مطالعه فومنات براساس مقدار مشاهده‌ای این دو پارامتر در ۴۲ حلقه چاه در طی ۱۰ سال بدست آمد (رابطه ۷) که با رابطه تجربی جهانی بین این دو پارامتر (رابطه ۸) تفاوت چندانی نداشته است.

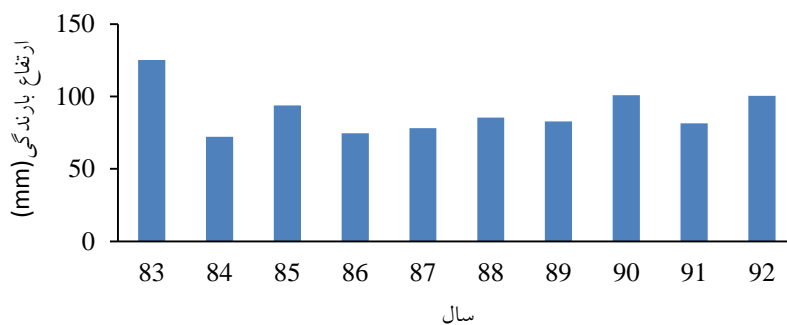
$$TDS \left( \frac{mg}{lit} \right) = 0.6324 EC \left( \frac{\mu S}{cm} \right) \quad [7]$$

$$R^2=0.9863$$

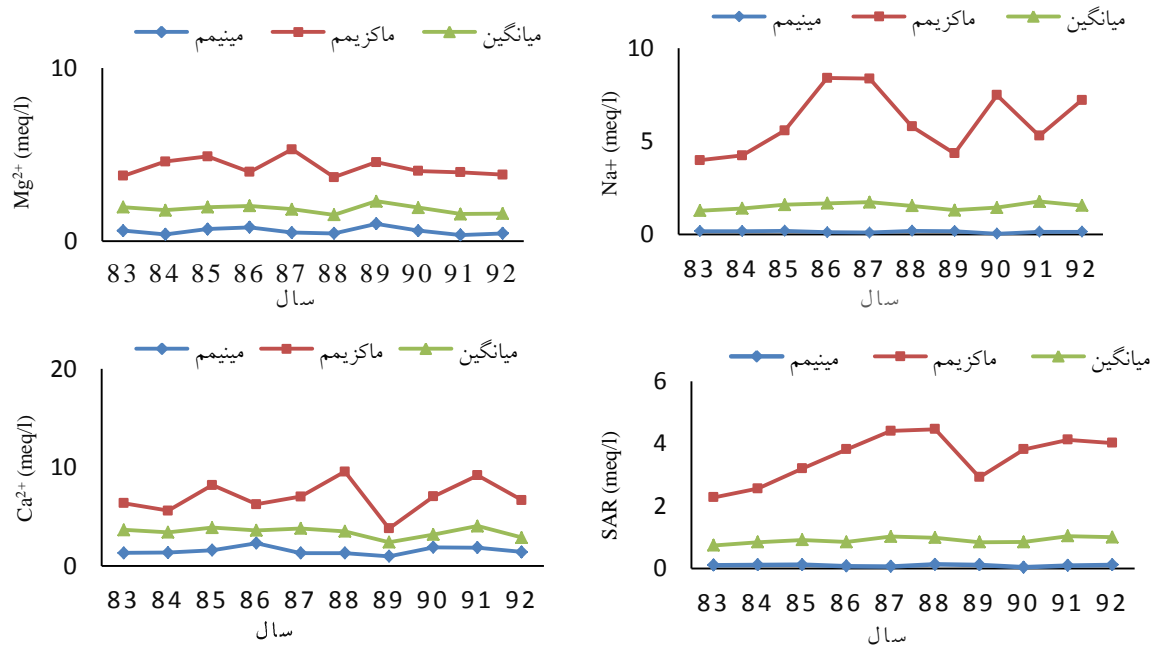
$$TDS \left( \frac{mg}{lit} \right) = 0.64 EC \left( \frac{\mu S}{cm} \right) \quad [8]$$

#### طبقه‌بندی کیفیت آب دشت براساس دیاگرام ویلکاکس

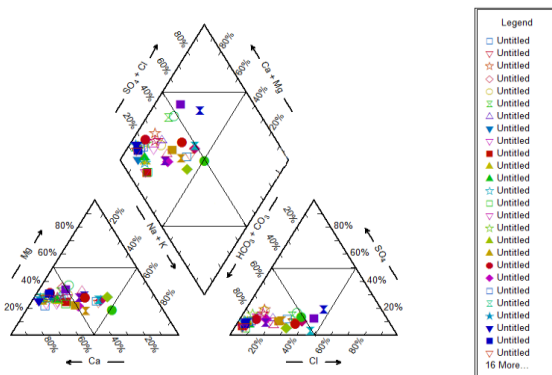
کاربرد دیاگرام ویلکاکس (ویلکاکس، ۱۹۵۵) در رده-بندی کیفیت آب از نظر کشاورزی می‌باشد و با استفاده از ارقام هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم ترسیم می‌شود. برای این طبقه‌بندی از اطلاعات میانگین هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم چاه‌ها در ۱۰ سال استفاده شد و نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. همانطور که مشخص است کیفیت آب منطقه در سال‌های (۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰ و ۹۲) در رده کمی شور قرار گرفت که برای کشاورزی تقریباً مناسب است و در سال‌های (۸۵، ۸۶، ۸۷ و ۹۱) در رده شور قرار می‌گیرد که با تمهیدات لازم می‌توان از آن برای کشاورزی استفاده نمود. بنابر نتایج روش ویلکاکس اگر شوری آب زیرزمینی دشت فومنات از حد آستانه تحمل گیاه برنج کم‌تر است اما روند افزایش شوری در سال‌های اخیر نگران‌کننده است و لزوم توجه بیش‌تر به مدیریت این منابع آب را نشان می‌دهد. با بررسی میانگین بارندگی سالانه دشت (شکل ۳) مشخص شد که در



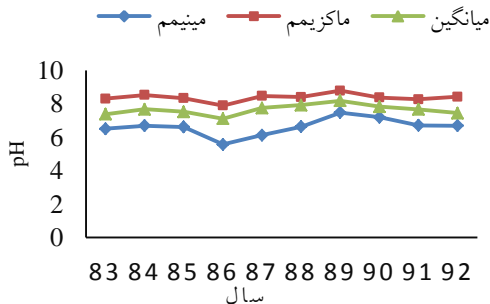
شکل ۳- هیستوگرام میانگین بارندگی سالانه



شکل ۴- روند تغییرات نسبت جذب سدیم، سدیم، منیزیم و کلسیم در ۱۰ سال



شکل ۵- نمودار پایپر



شکل ۶- روند تغییرات pH در ۱۰ سال

به منظور تعیین تیپ و رخساره آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نمودار پایپر استفاده شد. نتایج بدست آمده از نمودار پایپر حاکی از آن است که ۲۹ نمونه آب از نظر غلظت کاتیون از نوع کلسیمی هستند به جز ۱۳ نمونه که تیپ خاصی ندارند. از نظر غلظت آنیون ۴۰ نمونه از نوع بی‌کربناته هستند به جزء ۲ نمونه که تیپ خاصی ندارند. بنابراین تیپ اغلب چاه‌ها از نوع بی‌کربنات کلسیم می‌باشد به جزء ۲ نمونه که از نوع تیپ مختلط هستند (شکل ۵). اگر چه طبق نتایج نمودار پایپر، قالب کاتیون‌ها و آنیون‌های دشت از نوع کلسیم و بی‌کربنات است اما بررسی روند تغییرات نسبت جذب سدیم نشان از تاثیر کمتر کلسیم نسبت به سدیم داشت. بررسی روند تغییرات pH (شکل ۶) می‌تواند تا حدودی عامل کم‌تر بودن اثر کلسیم را توجیه نماید بدین صورت که در شرایط قلیائیت (pH) حدود ۸ که میانگین ۱۰ سال آماری در دشت فومنات است، تمایل برای ترسیب کربنات کلسیم وجود دارد و بدین ترتیب با کم‌تر شدن حضور کلسیم در فاز محلول، نسبت جذب سدیم از تغییرات سدیم تاثیر بیش‌تری می‌پذیرد.

قرار گیرد، بیانگر همبستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بزرگتر از ۰/۷۵ گردد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود. نتایج اثر قطعه‌ای بر آستانه نشان از تغییرات مکانی زیاد پارامترهای مورد بررسی داشت. بنابراین کیفیت هر چاه موجود را می‌بایست بسته به موقعیت مکانی آن وابسته دانست. ضریب تبیین پارامترهای pH و K با مقادیر به ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۴۹ دقت مناسبی را برای درون‌یابی نشان نمی‌دهد این مسئله با حداقل شعاع تاثیر در میان سایر پارامترها بیش از پیش نمایان می‌شود اگر چه مقادیر کم اثر قطعه‌ای (C<sub>0</sub>) نشان از کمتر تصادفی بودن این دو پارامتر دارد اما به نظر می‌رسد عوامل متفاوت و تاثیر گذار دیگری به غیر از تغییرات مکانی بر روند تغییرات این پارامترها تاثیر می‌گذارند.

**انتخاب بهترین مدل تئوری واریوگرام و واریوگرام متقابل**  
برای انتخاب بهترین مدل تئوری واریوگرام و واریوگرام متقابل در هر سال از نرم‌افزار GS+ استفاده شد و بهترین مدل برای روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ از بین مدل‌های نمایی، کروی و گوسی براساس R<sup>2</sup> بیش‌تر انتخاب شد. در جدول (۲) برای نمونه نتایج بهترین مدل تئوری واریوگرام متقابل در سال ۸۷ ارائه شده است. همچنین در شکل‌های (۷) و (۸) دو نمونه واریوگرام و واریوگرام متقابل برازش داده شده بر روی داده‌های SAR و EC آورده شده است. همان طور که در جدول (۲) مشخص است به غیر از پارامترهای پتاسیم و کلر بقیه پارامترها از مدل کروی تبعیت نمودند. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، کم‌تر از ۰/۲۵ شود نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵

جدول ۲- نتایج بهترین مدل تئوری واریوگرام متقابل در سال ۸۷

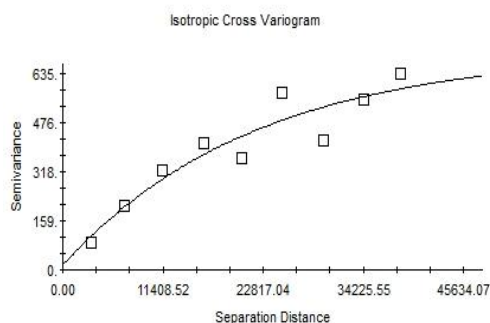
کوکریجینگ									
همبستگی مکانی	$\frac{C_0}{C_0+C}$	R <sup>2</sup>	دامنه تاثیر	C <sub>0</sub> +C	C <sub>0</sub>	همسانگردی	مدل تغییر نما	پارامتر کمکی	پارامتر
قوی	۰/۱۴۶	۰/۷۶۹	۲۶۸۰۰	۲۲۷/۷	۳۳/۳	همسانگرد	کروی	EC	Ca <sup>2+</sup>
قوی	۰/۱۶۰	۰/۸۳۶	۳۴۳۳۰	۳۴۱/۳	۵۴/۵	همسانگرد	کروی	EC	Mg <sup>2+</sup>
قوی	۰/۰۷۶	۰/۷۱۳	۴۶۶۱۰	۸۱۲/۶	۶۲	همسانگرد	نمایی	EC	Cl <sup>-</sup>
قوی	۰/۱۳۹	۰/۸۸	۳۸۲۱۰	۹۴۰۰۰	۱۳۱۰۰	همسانگرد	کروی	TDS	EC
قوی	۰/۱۳۹	۰/۸۸	۳۸۲۱۰	۹۴۰۰۰	۱۳۱۰۰	همسانگرد	کروی	EC	TDS
قوی	۰/۱۵۰	۰/۸۴۶	۹۲۱۰۰	۷۲۹/۵	۰/۸۶	همسانگرد	کروی	SAR	Na <sup>+</sup>
قوی	۰/۰۰۱	۰/۸۱	۲۹۲۹۰	۸۹/۹	۰/۱	همسانگرد	کروی	TDS	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
قوی	۰/۰۰۲	۰/۴۹۳	۱۳۷۱۰	۵/۴۳۱	۰/۰۱	همسانگرد	نمایی	EC	K <sup>+</sup>
قوی	۰/۱۵۰	۰/۸۴۶	۹۲۱۰۰	۵/۷۲۹	۰/۸۶	همسانگرد	کروی	Na <sup>+</sup>	SAR
قوی	۰/۰۰۰۳	۰/۲۸۴	۱۴۱۲۰	۰/۰۲۶۰۲	۰/۰۰۰۰۱	همسانگرد	کروی	K <sup>+</sup>	pH
قوی	۰/۰۹۵	۰/۹۵۲	۶۶۳۲۰	۴۶۴/۱	۴۴	همسانگرد	کروی	TDS	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
قوی	۰/۰۸۷	۰/۹۵۲	۶۷۴۳۰	۴۷۰/۲	۴۱	همسانگرد	کروی	TDS	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>

همان طور که مشخص است کوکریجینگ به عنوان بهترین روش در نظر گرفته شد، که میزان درستی رنج RMSE برای پارامتر TDS و EC با توجه به واحد آن با یافته‌های محمدی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. همچنین مقدار MAE باید کوچک‌تر از RMSE باشد که درستی آن نیز با یافته‌های معروفی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. با مقایسه میانگین

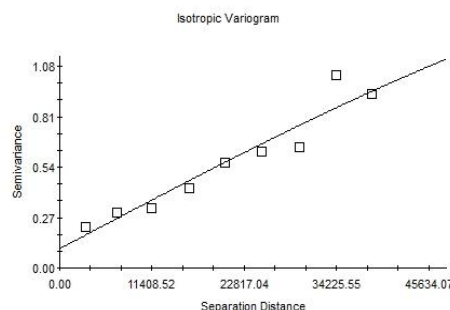
به کمک داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده توسط نرم‌افزار GIS میزان معیارهای اعتبارسنجی برای سه روش معکوس فاصله وزنی، کریجینگ، کوکریجینگ بدست آمد که با مقایسه آن‌ها روش درون‌یابی برای هر پارامتر مشخص شد. در جدول (۳) نتایج اعتبارسنجی بهترین روش درون‌یابی در سال ۹۲ که دارای کمترین خطا بود با توجه به واحد ارائه شده است،



$R^2$  در سال‌های آماری مورد بررسی نشان داد که درونیابی بهتری برای پارامترهای EC ، TDS ،  $Na^+$  ، SAR ،  $Cl^-$  و  $Mg^{2+}$  صورت گرفته است اما پارامترهای  $HCO_3^-+CO_3^{2-}$  ،  $HCO_3^-$  ،  $Ca^{2+}$  ،  $SO_4^{2-}$  ،  $K^+$  و pH ضریب تبیین کمتری داشتند.



شکل ۸- مدل نمایی واریوگرام متقابل EC سال ۹۱



شکل ۷- مدل نمایی واریوگرام SAR سال ۸۹

جدول ۳- نتایج اعتبارسنجی بهترین روش درونیابی در سال ۹۲

$R^2$	MAE	RMSE	مدل یا توان	روش مناسب	پارامتر
۰/۵۸۴	۰/۴۱۳	۰/۵۴۲	نمایی	کوکریجینگ	$Mg^{2+}$
۰/۸۰۱	۰/۵۰۳	۰/۸۲۸	نمایی	کوکریجینگ	$Cl^-$
۰/۹۳۴	۳۱/۸۰۱	۶۷/۵۱۰	نمایی	کوکریجینگ	EC
۰/۹۲۷	۲۴/۷۹۰	۴۸/۹۳۵	نمایی	کوکریجینگ	TDS
۰/۹۲۸	۰/۲۵۷	۰/۴۵۸	کروی	کوکریجینگ	$Na^+$
۰/۰۷۷	۰/۴۱۰	۰/۶۵۶	نمایی	کوکریجینگ	$SO_4^{2-}$
۰/۲۳۴	۰/۰۲۰	۰/۰۳۴	نمایی	کوکریجینگ	$K^+$
۰/۹۱۴	۰/۱۹۹	۰/۳۱۳	گوسی	کوکریجینگ	SAR
۰/۰۴۴	۰/۲۳۶	۰/۳۳۲	نمایی	کوکریجینگ	pH
۰/۳۰۷	۰/۶۸۹	۰/۸۸۵	نمایی	کوکریجینگ	$Ca^{2+}$
۰/۲۵۹	۰/۵۲۳	۰/۷۴۲	کروی	کوکریجینگ	$HCO_3^-$
۰/۲۵۵	۰/۵۲۶	۰/۷۴۴	کروی	کوکریجینگ	$HCO_3^-+CO_3^{2-}$

از غرب و در مرکز دشت دارای روند افزایش غلظت بوده است. همچنین حاشیه‌های غرب و جنوب غربی دشت بهترین مناطق از نظر غلظت کم‌تر هدایت الکتریکی می‌باشد. جهت روند افزایش غلظت هدایت الکتریکی یعنی از غرب و جنوب غربی به سمت شمال و شمال غربی را می‌توان با جهت حرکت آب زیرزمینی در ارتباط دانست. طبق گزارش آب منطقه‌ای استان گیلان (طرح مطالعات کمی و کیفی منابع آب دشت فومنات، ۱۳۸۳) رودخانه پیربازار که موقعیت آن در شکل (۱) نمایان

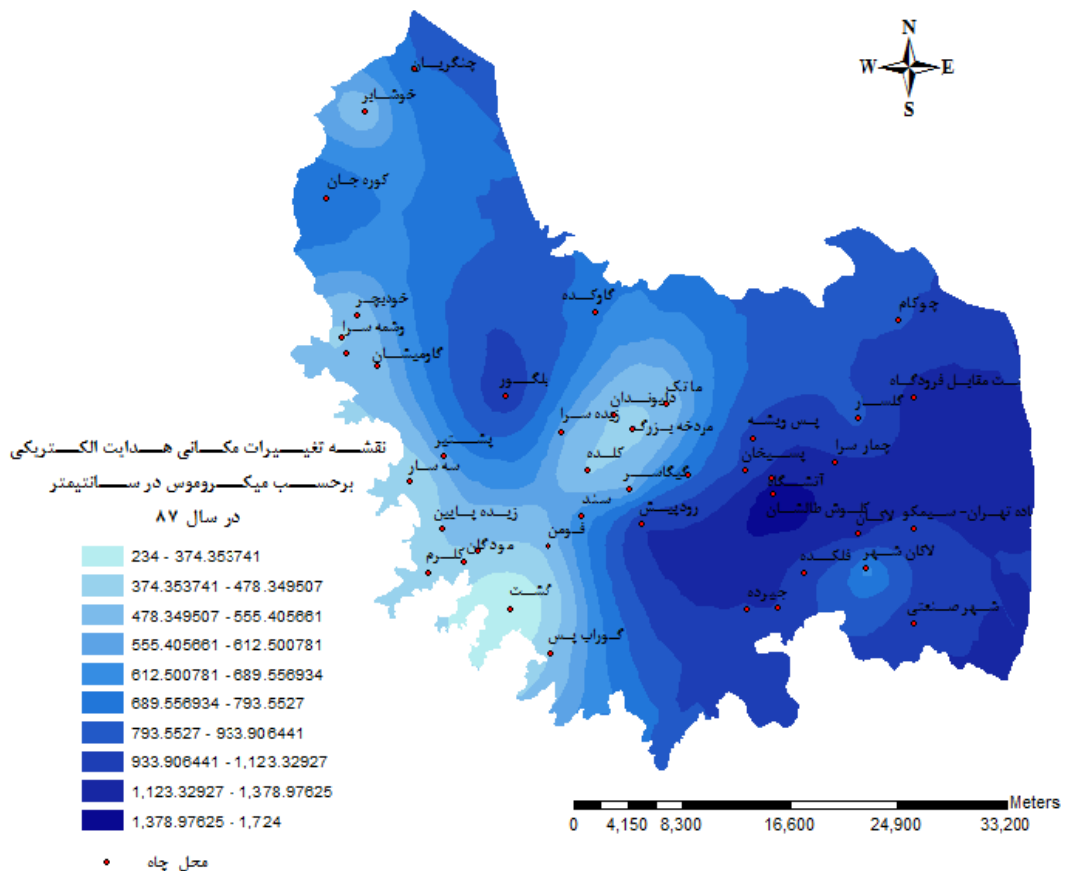
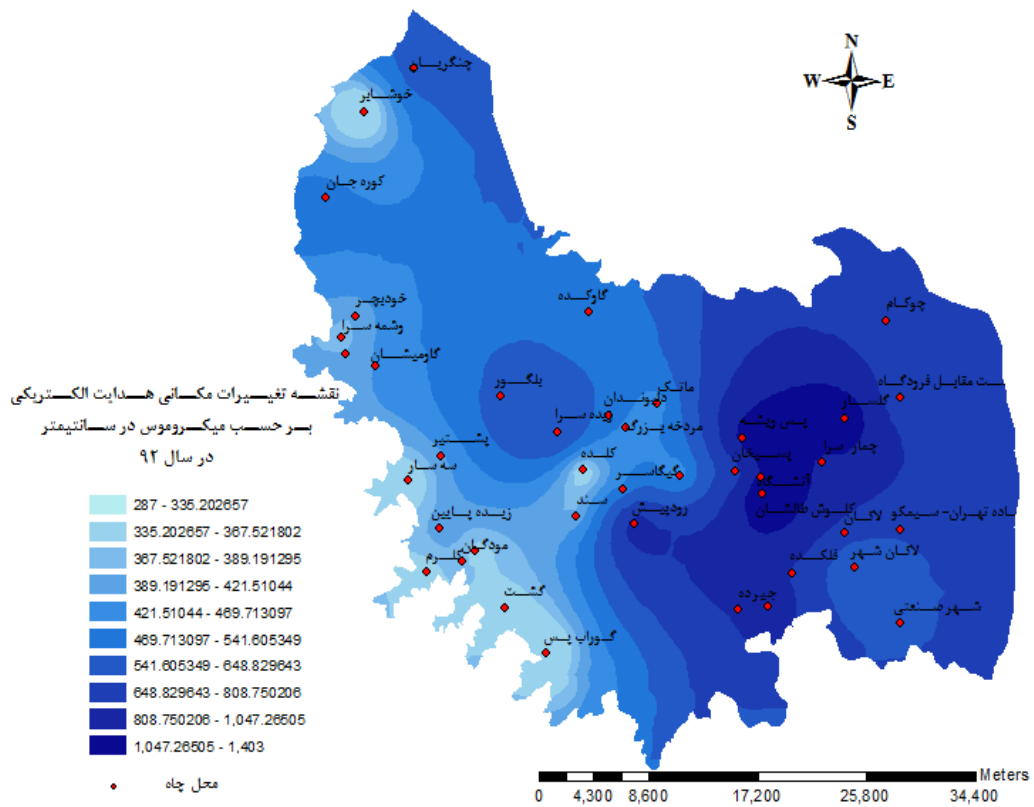
با مقایسه معیارهای اعتبارسنجی در ۱۰ سال مشخص شد که روش کوکریجینگ به عنوان بهترین روش درونیابی انتخاب شد که با استفاده از آن نقشه تغییرات مکانی پارامترهای شوری و نسبت جذب سدیم (دو پارامتر مهم در کیفیت آب آبیاری برای روش آبیاری سطحی که روش غالب مدیریت آبیاری در شبکه فومنات است) در دو بازه ۵ ساله (۸۷-۹۲ و ۸۷-۸۲) تهیه شد. همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود غلظت هدایت الکتریکی در شرق دشت بیش‌تر

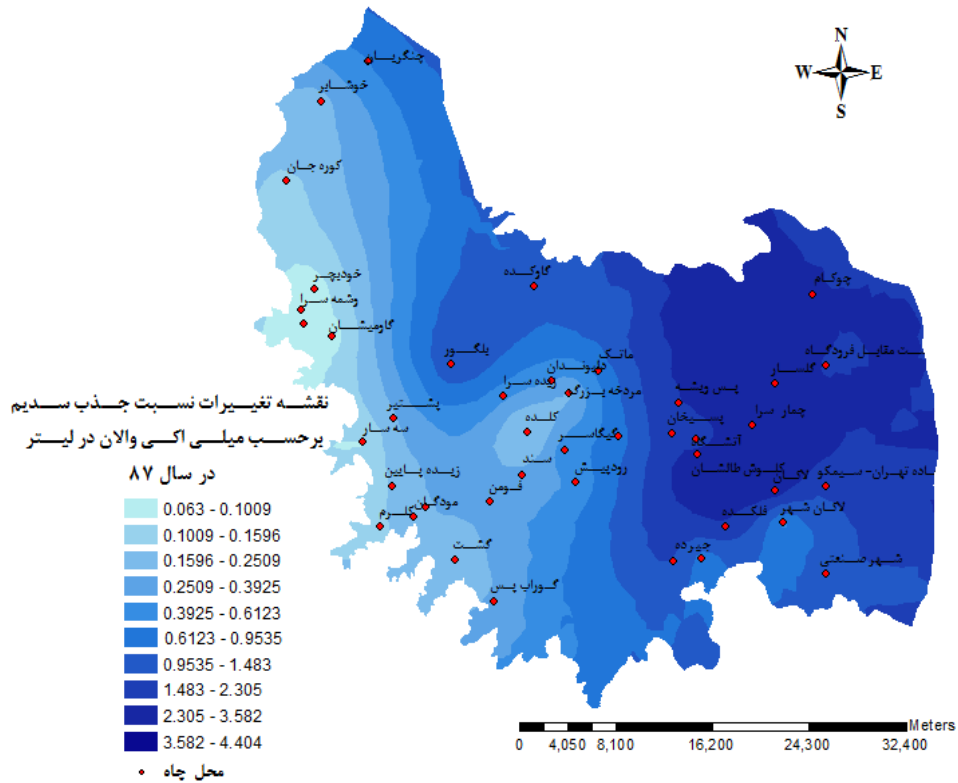
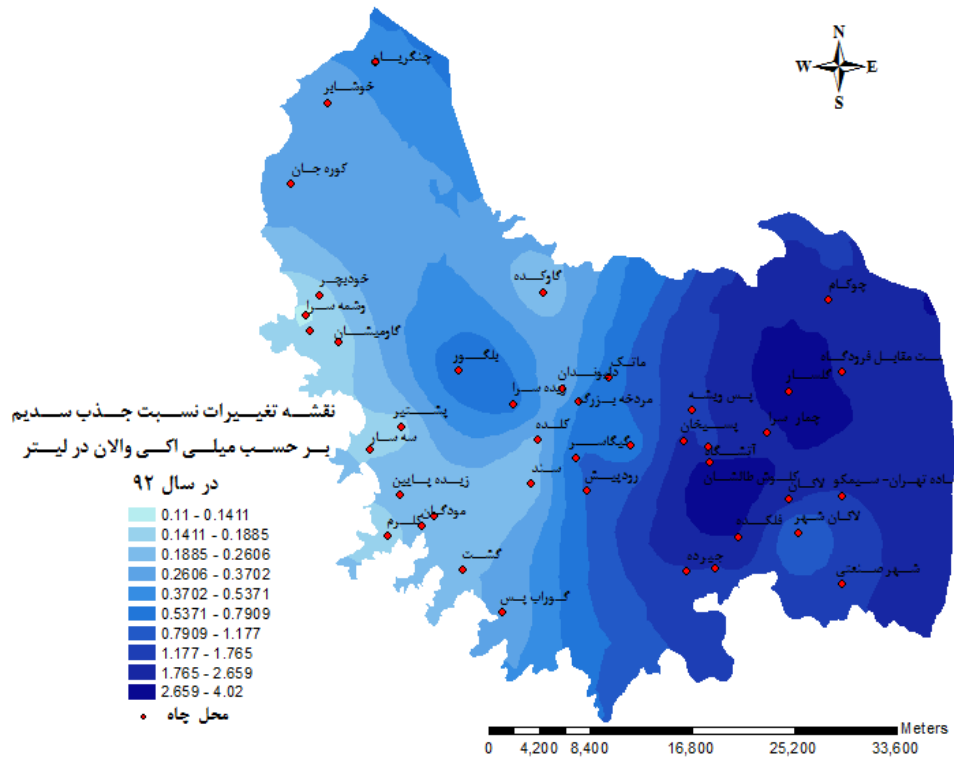
همچنین همبستگی بالای TDS با EC و SAR با Na نشان از ارتباط مستقیم بین این پارامترها داشت. کیفیت آب منطقه از نظر آبیاری در سال‌های ۸۳، ۸۴، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۲ در رده-ی کمی شور و در سال‌های ۸۵، ۸۶، ۸۷ و ۹۱ در دره‌ی شور قرار گرفت. با بررسی روند تغییرات نسبت جذب سدیم، کلسیم، منیزیم و سدیم مشخص شد که نسبت جذب سدیم منطقه بیشتر متاثر از غلظت سدیم می‌باشد که می‌تواند ناشی از واکنش کلسیم با کربنات و بی‌کربنات موجود در آب در شرایط قلیائیت باشد. روش‌های زمین آمار به منظور تهیه نقشه تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بهترین مدل تئوری واریوگرام و واریوگرام متقابل بر حسب ضریب تعیین مدل بیش‌تر انتخاب شد. در نرم افزار ARCGIS به کمک مدل‌های انتخابی و داده‌های مشاهده‌ای درون‌یابی صورت گرفت. نتایج معیارهای اعتبارسنجی حاکی از آن بود که مدل کوکریجینگ نسبت به دو روش دیگر خطای کم‌تری دارد. تغییرات ناگهانی هدایت الکتریکی در مرکز دشت را می‌توان به علت ریز دانه بودن رسوبات که باعث کاهش گذری و در نتیجه کاهش قابلیت انتقال و جهت حرکت آب زیرزمینی که باعث تجمع املاح در آن منطقه می‌شود در نظر گرفت. همچنین آلوده بودن رودخانه پیربازار به علت ورود پساب‌های صنعتی و شهری و فعالیت‌های کشاورزی که در نزدیکی آن نواحی قرار دارد را می‌توان به عنوان یک دلیل دیگر افزایش شوری در نظر گرفت. یکی از علل افزایش نسبت جذب سدیم در مرکز دشت را می‌توان ریز دانه بودن رسوبات و در نتیجه کاهش قابلیت انتقال دانست که با توجه به جهت حرکت آب زیرزمینی باعث تجمع در آن منطقه می‌شود. اگرچه براساس میانگین میزان شوری و نسبت جذب سدیم در سال ۹۲، انتظار کاهش متوسط و کم اهمیتی در مسئله نفوذ وجود دارد اما روند افزایش شوری و نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی در سال‌های اخیر نگران‌کننده است و در صورت عدم مدیریت این منابع ممکن است کاهش شدید در نفوذ در اراضی زراعی دشت فومنات روی خواهد داد.

است به عنوان آلوده‌ترین رودخانه دشت به علت ورود پساب-های صنعتی و شهری و فعالیت‌های کشاورزی مشخص شده است و در بررسی بین منابع آب حوزه‌ها (همبستگی بین رودخانه‌ها و چاه‌ها) مشاهده شد که دارای همبستگی مثبت بوده و این دو منبع تحت تاثیر یک منبع آلوده‌کننده یکسان قرار دارند. بنابراین مجاورت رودخانه پیربازار با نقاط بحرانی را می‌توان یکی از علل افزایش غلظت هدایت الکتریکی در نظر گرفت. همچنین یکی دیگر از علل افزایش هدایت الکتریکی در نقاط مرکزی دشت می‌تواند نتیجه جهت حرکت آب زیرزمینی (شکل ۱) و وجود رسوبات ریزدانه باشد که باعث کاهش آبگذری می‌شود به همین دلیل از مرکز دشت به سمت دریا ضخامت رسوبات آبرفتی آب شیرین و قابلیت انتقال رسوبات آبرفتی کاهش می‌یابد که باعث تجمع املاح و شوری در آن منطقه می‌شود. حد آستانه تحمل گیاه برنج در برابر شوری با ۹۰ درصد عملکرد ۲۶۸۰ میکروموس در سانتی‌متر است که شوری آب زیرزمینی در مناطق مرکزی که دارای بیش‌ترین غلظت شوری می‌باشد از این حد کمتر بوده اما روند افزایش شوری در سال‌های اخیر نگران‌کننده است و لزوم توجه بیش‌تر به مدیریت این منابع آب را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۹)، بیش‌ترین غلظت نسبت جذب سدیم در مرکز دشت می‌باشد. همچنین غلظت این پارامتر در شرق دشت نسبت به غرب دشت کم‌تر است و بحرانی‌ترین نقاط در مرکز دشت و بهترین مناطق از نظر غلظت کم نسبت جذب سدیم در غرب و جنوب غربی دشت قرار دارند. جهت روند افزایش نسبت جذب سدیم یعنی از غرب و جنوب غربی به سمت شمال و شمال غربی را می‌توان با جهت حرکت آب زیرزمینی در ارتباط دانست.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه آب زیرزمینی دشت فومنات برای مصارف بخش کشاورزی با استفاده از تکنیک زمین آمار و شاخصه‌های ارزیابی کیفی مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب همبستگی پیرسون بین پارامترهای کیفی نشان داد که TDS همبستگی بالایی با کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم دارد.





شکل ۹- نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در سال ۸۷ و ۹۲

## منابع

- مهدوی. م.، ۱۳۸۴. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۸ ص.
- نجاتی جهرمی. ز.، چیت سازان. م.، میرزایی. س. ی.، 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 ۸۸، ۲۱-۲۰ اردیبهشت، سازمان نقشه برداری کشور و گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران.
- Anonymous, 2007, *SPSS Statistics Base 16.0 User's Guide* SPSS Inc. 233 South Wacker Drive, 11th Floor Chicago, IL 60606-6412.
- Davis J.C. 2002, *Statistics and data analysis in Geology*, John Wiley & Sons, University of Minnesota, 646 p.
- Freeze, R.A., Cherry, T.C., 1979. *Groundwater*, Prentice-hall, Englewood Cliffs, New Jersey, la University of Michigan, 604p.
- Gnanachandrasamy, G., 2014. *Accessing groundwater quality in lower part of Nagapattinam district southern India using hydro geochemistry and GIS interpolation techniques*, *Appl Water Sci* DOI: 10.1007/s 13201.
- Ketata, M. Fadoua, H. Gueddari, M., Bouhlila, R., Riberio, L., 2010. *Hydrochemical and statistical study of groundwater in Gabes south deep aquifer (South eastern Tunisian)*. *Physics and chemistry of the earth*, 36(5):187-196.
- Samin M., Soltani J., Zeraatcar Z., Moasheri S.A., and Sarani N., 2012. *Spatial estimation of groundwater quality parameters based on water salinity data using kriging and cokriging methods*. *International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering*, 25-26 August, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Wilcox, L., V., 1955. *Classification and use of irrigation waters*. U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington , D.C., 19pp.
- YueSun, A., A. Shaozhong Kang, F. Li and L. Zhang, 2009. *Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China*, *J. Environ, Model and Software*, (24), 1163-1170.
- استواری. ی.، بیگی هرچگانی. ح.، داودیان. ع.، ۱۳۹۰. ارزیابی، بررسی تغییرات مکانی و پهنه بندی برخی از شاخص های کیفی آب برای کاربرد در طراحی آبیاری قطره ای در دشت لردگان، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۵، شماره ۲، ۲۵۴-۲۴۲.
- حسنی پاک. ع. ا.، ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک) ، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.
- سلیمانی، ک.، زندی، ج.، زندی، س.، ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی روش های زمین آماری در تهیه نقشه تغییرات TDS و pH چشمه ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز میرده، کردستان)، مجله محیط شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۴، ۶۶-۵۷.
- سلاجقه، س.، آذره، ع.، خراسانی. ن.، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی شهر کرج با استفاده از روش های زمین آمار، اولین همایش ملی بیابان خرداد ۱۳۹۱، تهران، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان دانشگاه تهران.
- شعبانی، م.، ۱۳۸۸. ارزیابی کاربرد روش های زمین آمار در پهنه بندی شدت های خشکسالی استان فارس، مجله مهندسی آب، سال دوم، ۳۶-۳۱.
- قبادی. م. ح.، ۱۳۸۹. آب های زیرزمینی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۳۰۳ ص.
- محمدی. م.، محمدی قلعه نی. م.، ابراهیمی. ک.، ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین، مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره هشتم، ۵۲-۴۱.
- معروفی. ص.، محب زاده. ح.، طاهری. ک.، ۱۳۸۹. بررسی و مقایسه روش های زمین آمار در تخمین سطح ایستابی دشت نهلوند، نخستین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، ۱۳۸۹، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.