

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره پنج، مردادماه ۱۴۰۰ (۱۵۷-۱۴۳)

## بررسی و تعیین توزیع مکانی نیترات و هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی با روش زمین آمار (مطالعه موردی: دشت کبودرآهنگ)

امید بهمنی<sup>۱\*</sup>

[Omid.bahmani@basu.ac.ir](mailto:Omid.bahmani@basu.ac.ir)

عادل زالی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** میزان نیترات در آب زیرزمینی دشت کبودرآهنگ که مهمترین منبع تامین آب شرب و کشاورزی در منطقه است در حال افزایش است. گرایش کشاورزان این منطقه به استفاده از انواع کودهای حیوانی و شیمیایی، باعث افزایش میزان نیترات آب زیرزمینی شده است. هدف از انجام این تحقیق، تعیین مناسبترین روش زمین آمار جهت بررسی تغییرات مکانی نیترات و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت کبودرآهنگ می باشد.

**روش بررسی:** روند تغییرات نیترات و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به ترتیب در ۴۱ و ۱۵۲ حلقه چاه با استفاده از نرم افزار MNITAB 16.2 بررسی شد و با نرم افزار ARCGIS 9.3 مناسبترین روش زمین آمار تعیین گردید. از روش های زمین آمار کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK) و روش های معین، عکس فاصله IDW، تابع شعاعی RBF، تخمینگر عام GPI و تخمینگر موضعی (LPI) جهت پهنه بندی نیترات و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی استفاده گردید.

**یافته ها:** بهترین روش برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی روش RBF با  $RMSE=۸۳۷/۰۷$ ،  $MAE=۵۴۸/۰۱$  و  $R=۰/۸۴۱$  و روش کریجینگ ساده با  $RMSE=۹۰/۶۸$  و  $MAE=۵۸۱/۸$  و  $R=۰/۶۹۹$  می باشد و بهترین روش برای تهیه نقشه نیترات روش RBF با  $RMSE=۳/۷۶$ ،  $MAE=۲/۴۲$  و  $R=۰/۳۵۱$  و روش کریجینگ معمولی با  $RMSE=۳/۸۶$ ،  $MAE=۲/۵۱$  و  $R=۰/۳۷۲$  می باشد.

**بحث و نتیجه گیری:** بر اساس استاندارد کالیفرنیا، ۸ درصد از مساحت دشت، هدایت الکتریکی کمتر از ۷۰۰ میکروموس بر سانتی متر، ۷۷ درصد بین ۷۰۰ - ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر و ۱۵ درصد بالاتر از ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر را دارا بودند و پراکندگی غلظت نیترات نشان داد که، ۸۵/۵۷ درصد از دشت کمتر از ۵ میلی گرم بر لیتر، ۱۴/۴۳ درصد بین ۳۰ - ۵ میلی گرم بر لیتر بود و آلودگی شدید در منطقه وجود نداشت. بنابر الگوی پراکندگی مکانی مقدار بالای هدایت الکتریکی بیشتر در قسمت های غربی و جنوب غربی دشت

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان. \* (مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مشاهده شده است و آب زیرزمینی از نظر میزان نیترات در وضعیت مناسب می‌باشد اما در قسمت‌های جنوب و جنوب‌غربی دشت بالاتر از حد استاندارد است.

**واژه‌های کلیدی:** نیترات، زمین‌آمار، EC، GIS و دشت کیودرآهنگ.

# **Investigation and Determination of the Spatial Distribution of Nitrate and Electrical Conductivity in Groundwater by Geostatistical Method (Case Study: Kabudrahng Plain)**

**Omid bahmani**<sup>1\*</sup>

[Omid.bahmani@basu.ac.ir](mailto:Omid.bahmani@basu.ac.ir)

**Adel zali**<sup>2</sup>

Admission Date: September 28, 2016

Date Received: May 1, 2016

## **Abstract**

**Background and Objective:** Nitrate contamination in drinking and agricultural water is increasing in the Kabudrahng plain. Farmer's Tendency to use a variety of animal and chemical fertilizers has increased the amount of nitrate in groundwater in this region. This study aims to determine the most appropriate geostatistical methods to analyze the spatial variation of nitrate and electrical conductivity of the Kabudrahng groundwater plain.

**Material and Methodology:** The trend of nitrate changes and groundwater electrical conductivity in 41 and 152 wells were investigated using MNITAB16.2 software and the most suitable geostatistical method was determined with ARCGIS9.3 software. To determine the most appropriate geostatistical methods for zoning nitrate and groundwater electrical conductivity used the ordinary kriging (OK), simple kriging (SK) and the specific methods include the inverse distance, weights (ID), radial basis functions (RBF), global polynomial interpolator (GPI) and local polynomial interpolator (LPI) with ARCGIS9.3.

**Findings:** The results showed that the best method for zoning the electrical conductivity was the RBF method with RMSE=837.07, MAE= 548.01 and R=0.841 and simple kriging (SK) with RMSE=900.68, MAE=581.8 and R=0.699 and the best way to zoning the nitrate was the RBF method with RMSE=3.76, MAE=2.42 and R=0.351 and ordinary kriging (OK) with RMSE=3.86, MAE=2.51 and R=0.372.

**Discussion and Conclusion:** According to the standard of California, 8 percent of the plain area had an electrical conductivity less than 700  $\mu\text{mho/cm}$ , 77 percent between 700 to 3000  $\mu\text{mho/cm}$ , and 15 percent above 3000  $\mu\text{mho/cm}$ . The distribution of nitrate concentrations showed that about 85.57% of the area was lower than 5 mg/liter, 14.43% between 5-30 mg/l, and there was no severe pollution in the plain. The spatial distribution pattern indicated that high levels of electrical conductivity were observed in the western and southwestern parts of the plain. The amount of nitrate in groundwater was in the good range, but in southern and southwestern plains was higher than the standard.

**Keywords:** Nitrate, Geostatistical, EC, GIS, Plain Kabudrahng.

---

1-Assistant Prof., Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan \*(Corresponding Author).

2 - M.Sc., Irrigation & Drainage, Bu-Ali Sina University, Hamedan

## مقدمه

یکی از ویژگی‌های کشور ایران، عدم پراکنش مناسب بارش در طول سال می‌باشد. این نوع پراکنش بارش نیاز آبی محصولات را تامین نمی‌کند و کشاورزان برای رفع این مشکل مجبور به استفاده از منابع آب زیرزمینی شده‌اند. در دهه‌های گذشته به علت گرایش کشاورزان به کشت محصولاتی با نیاز آبی بالا مانند سیب‌زمینی و همچنین استفاده از کود حیوانی و شیمیایی حاوی نیترات برای رشد آن‌ها، افت سطح ایستابی و کاهش کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی را به دنبال داشته است (۱).

برآورد تغییرات مکانی در بسیاری از مطالعات هواشناسی و منابع آب اجتناب ناپذیر است اما به دلیل عدم امکان پوشش کامل منطقه توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری، ایده برآورد داده‌های نقطه‌ای در مناطق بین ایستگاه‌ها مطرح می‌گردد. به منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و مطالعه الگوهای مکانی، داده‌های نقطه‌ای طی فرآیند درون‌یابی به سطح تعمیم می‌یابند. درون‌یابی مکانی فرآیندی است که در آن با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط معلوم، مقادیر نقاط مجهول تخمین زده می‌شود. امروزه از قابلیت‌های درون‌یابی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور استخراج توزیع مکانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در قالب شبکه‌های سلولی و یا مدل‌های برداری استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای درون‌یابی داده‌های مکانی وجود دارد. متاسفانه غالباً ساده‌ترین یا شناخته شده‌ترین روش را انتخاب کرده و بدون مقایسه دقت بین روش‌ها اقدام به استخراج نقشه‌های توزیع مکانی می‌نمایند. هرگونه کاستی در انتخاب روش مناسب توزیع مکانی و بی‌توجهی به دقت روش‌های درون‌یابی می‌تواند، موجب بروز خطا در برآوردهای طراحی شود (۱).

استواری و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات مکانی نیترات آب زیرزمینی دشت لردگان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت نیترات در چهار نوبت نمونه برداری ثابت و حدود ۱۰ و حداکثر غلظت نیترات در چهار نوبت نمونه برداری ۱۹ میلی‌گرم بر لیتر بوده است و همچنین نتیجه گرفتند که روش وزن‌دهی معکوس فاصله، روش مناسب‌تری نسبت به روش کریجینگ می‌باشد (۲). شعبانی (۱۳۹۰)

روش‌های زمین‌آمار برای تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیریز استان فارس را ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که در بین روش‌های معین، روش  $RBF^1$  به دلیل  $R$  بالاتر و  $RMSE$  پائین‌تر جهت تهیه نقشه تغییرات شوری ( $EC$ ) و تغییرات نیترات در منطقه مناسب می‌باشد. علاوه بر این نتایج نشان داد که از بین روش‌های کریجینگ روش کریجینگ ساده ( $SK$ ) با داشتن  $R=0.733$  و  $RMSE=39.07/53$  جهت تهیه نقشه تغییرات شوری ( $EC$ ) و دارا بودن  $R=0.689$  و  $RMSE=4/868$  جهت تهیه نقشه تغییرات نیترات نسبت به روش دیگر برتری دارد. در نهایت از مقایسه دو روش  $SK$  و  $RBF$  روش کریجینگ ساده ( $SK$ ) نسبت به روش تابع شعاعی ( $RBF$ ) برتری داشته است (۳). بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان نشان داد که برای پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب، روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بر روش  $IDW$  ارجحیت دارند و با استفاده از روش کوکریجینگ به عنوان بهترین روش میان‌یابی، نقشه‌های ویژگی‌های آب زیرزمینی در محیط GIS تهیه گردید (۴). تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار ابراز داشت که مدل کروی بهترین مدل برای برازش واریوگرام می‌باشد و روش‌های مورد بررسی از نظر دقت تفاوت زیادی ندارد ولی در مجموع روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله با توان یک، دقت بیشتری در درون‌یابی این خواص داشته‌اند. با پهنه‌بندی خواص کیفی نشان داده شد که میزان هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی در اکثر مناطق استان پایین بود. ولی در مناطق پایین دست حوضه سفیدرود مخصوصاً در منطقه تلاقی سفیدرود با دریای خزر این شاخص از یک دسی‌زیمنس بر متر بیشتر بود. به همین ترتیب در این منطقه میزان  $Na$  و  $SAR$  نیز در مقایسه با دیگر مناطق بالاتر می‌باشد ولی از نظر کشاورزی برای کشت برنج مشکلی به وجود نخواهد آورد (۵).

Hakan (2012) از روش کریجینگ شاخص و کریجینگ معمولی نقشه مکانی و زمانی شوری آب زیرزمینی را برای

و از غرب به محدوده مطالعاتی گل تپه - زرین آباد در ارتباط می باشد. شهرستان کبودرآهنگ در فاصله ۶۰ کیلومتری از مرکز استان با موقعیت جغرافیائی به طول  $27^{\circ} 48'$  درجه و عرض  $33^{\circ} 34'$  درجه جغرافیائی و به ارتفاع ۱۶۸۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. دشت کبودرآهنگ به علت گستردگی زیاد در محدوده رزن زمین شناسی بزرگ ایران مرکزی و زون متامورفیکی سنندج سیرجان واقع گردیده، قسمتی از محدوده این شهرستان نیز در سرشاخه رودخانه قزل اوزن قرار گرفته است (۱۱).

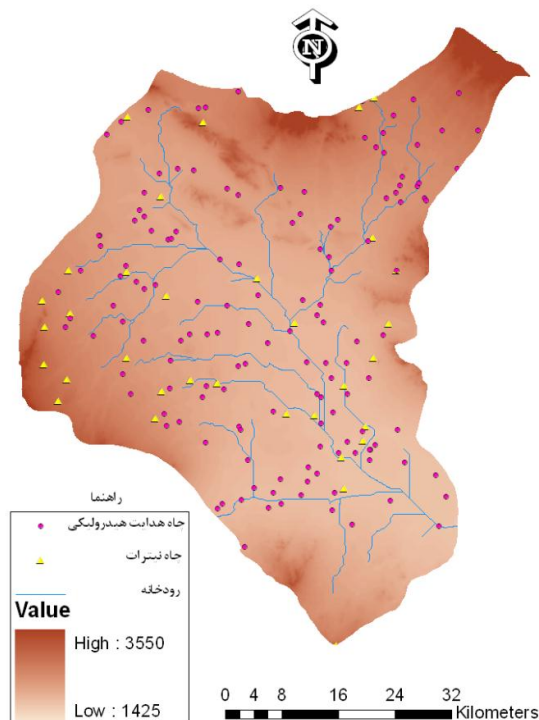
در این مطالعه، از اطلاعات کیفیت آب (EC) مربوط به ۱۵۲ حلقه چاه که ۱۴۲ حلقه از آن به عنوان چاه اصلی در داخل محدوده و ۱۰ حلقه به عنوان چاه کمکی (برای تخمین با دقت بالا در مرز محدوده) اخذ شده از سازمان آب منطقه ای استان همدان و اطلاعات نیترات مربوط به ۴۱ حلقه چاه که ۳۳ حلقه از آن به عنوان چاه اصلی در داخل محدوده و ۸ حلقه به عنوان چاه کمکی (برای تخمین با دقت بالا در مرز محدوده) اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب استان همدان استفاده گردید. پس از انتخاب چاه ها، با استفاده از نرم افزار *MINITAB16.2* اطلاعات موجود از نظر نرمال بودن با استفاده از روش کلموگرف - اسمیرنوف برای نیترات و روش شاپیرو - ویلک برای هدایت الکتریکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در صورت نرمال نبودن اطلاعات از روش های نرمال سازی از جمله روش لگاریتم گیری از داده ها استفاده شد. روش های درون یابی معمولاً در صورتی که داده ها دارای توزیع نرمال باشند، نتایج بهتری ارائه می کنند. پس از انجام این مراحل برای یافتن بهترین مدل زمین آمار از نرم افزار *ARCGIS9.3* استفاده شد. جهت پهنه بندی میزان نیترات و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از روش های کریجینگ معمولی (*OK*)، کریجینگ ساده (*SK*)، عکس فاصله *IDW* با سه توان (۱، ۲ و ۳)، تابع شعاعی *RBF* تخمینگر عام *GPI* و تخمینگر موضعی - *LPI* استفاده گردید.

دشت بافر ترکیه ترسیم کرد. نقشه پراکنش مکانی، کاهش میزان شوری آب های زیرزمینی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ را نشان می دهد. شوری در سال ۲۰۰۴ در ۳۱ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه بیش از ۵ دسی زیمنس بر متر، در مقایسه با ۹ درصد از منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۰ است (۶). در سیستم آبخوان آبرفتی شمال رودخانه تاگوس (پرتغال)، نقشه پراکنش نیترات با استفاده از روش کریجینگ فصلی ترسیم گردید. این مطالعه نشان داد که آلودگی نیترات (مقادیر بالاتر از ۵۰ میلی گرم بر لیتر) زیادی در مناطق ساحل غربی مشاهده شده است. تجزیه و تحلیل نقشه های زمانی افزایش میزان غلظت نیترات در طول تابستان را نشان می دهد (۷). با استفاده از روش کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص به تجزیه و تحلیل تنوع مکانی عمق آب و پارامترهای کیفیت آب در دهلی نو پرداخته شد و نتیج حاصله نشان داد که کلرید آب - های زیرزمینی در ۶۲ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، بیش از ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر و سطح شوری در ۶۹ درصد از این منطقه بیش از ۲/۵ دسی زیمنس بر متر بوده است (۸). روش کریجینگ را در برآورد عناصر سنگین مورد استفاده قرار گرفت و نتایج بیان داشت که روش یاد شده بهترین برآورد کننده خطی ناریب سرب می باشد (۹). بررسی تغییرات زمانی و مکانی نیترات به کمک روش های کریجینگ و کوکریجینگ در آب های زیرزمینی پرداختند نشان داد که روش کوکریجینگ باعث افزایش دقت در برآورد غلظت نیترات شده است (۱۰).

هدف از انجام این تحقیق، تعیین مناسب ترین روش زمین آمار با استفاده از نرم افزار *ARCGIS9.3* جهت پهنه بندی نیترات و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت کبودرآهنگ به منظور شناسایی و تحلیل مناطقی است که آلودگی بیشتری را به خود اختصاص داده اند.

#### مواد و روش ها

دشت کبودرآهنگ یکی از محدوده های مطالعاتی حوضه رودخانه قره چای است که با وسعت ۳۴۴۸ کیلومتر مربع در شمال استان همدان واقع شده که از شمال با دشت زنجان و قزوین، از جنوب به دشت بهار و قهاوند، از شرق به دشت رزن



شکل ۱- موقعیت چاه‌های مورد مطالعه

Figure 1- Location studied wells

### ۲.۱.۲. روش تابع شعاع محور

این روش می‌تواند روی داده‌های که به طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند اعمال شده و یک درون‌یابی چند متغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. در این روش یک تابع  $f(x,y)$  را می‌یابد که این تابع نه تنها از تمامی داده‌های موجود می‌گذرد، بلکه مقدار یک تابع انحنا را که میزان هموار بودن تابع  $f(x,y)$  را می‌سنجد را نیز کمینه می‌کند. در روش تابع شعاع محور تابعی که میزان تابع انحنا برای آن مینیمم می‌شود به شکل عمومی زیر می‌باشد و تفاوت روش‌های تابع شعاع محور مختلف در نحوه تعریف تابع  $(E)$  در رابطه ۴ می‌باشد.

$$f(x,y) = \sum_{j=1}^n a_j E(\|x - x_j, y - y_j\|) + b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (2)$$

غیرخطی استفاده کرد و یا این که با تبدیل‌های مناسب توزیع متغیر را به نرمال تبدیل کرد. کریجینگ بهترین تخمینگر خطی نارایب است و عاری از خطای سیستماتیک می‌باشد. همچنین واریانس تخمین در آن نیز حداقل می‌باشد. بنابراین:

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(x_i) \quad (3)$$

که در آن  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه  $x_i$  با مختصات معلوم،  $Z^*(x_i)$  مقدار تخمینی در همان نقطه  $x_i$  و  $\lambda_i$  وزن مربوط به نمونه  $x_i$  است (۱۲).

### ۱.۱.۲. روش های درون یابی

#### ۱.۱.۲. روش عکس فاصله وزنی

از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی، روش عکس فاصله وزنی می‌باشد. در این روش وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول بر اساس فاصله‌ی بین نقاط معلوم و نقطه مجهول محاسبه می‌شود.

$$\lambda_i = \left(\frac{D_0}{D_i}\right)^\alpha - 1 \quad (1)$$

که در آن  $\lambda_i$  وزن نقطه نمونه  $x_i$ ،  $D_i$  فاصله بین نقطه نمونه  $x_i$ ،  $D_0$  شعاع همسایگی می‌باشد (۱۲).

به طوری که  $\| \cdot \|$  بیانگر طول بردار  $x$  و  $y$  متغیرهای مکانی،  $(x_j, y_j)$  مختصات مکانی  $j$ مین نقطه مشاهده‌ای، پارامتر  $Z_j$  و  $E$  یک  $RBF$  می‌باشد.  $b_0, b_1, b_2, a_j$  ضرایبی هستند که باید تعیین شوند تا تابع  $f$  به طور صریح مشخص شود. البته ابتدا باید تابع  $RBF(E)$  را نیز مشخص کنیم (۱۲).

### ۳.۱.۲. روش کریجینگ

شرط استفاده از این تخمینگر این است که متغیر  $Z$  دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت یا باید از کریجینگ

۴،۱،۲. شاخص کمی پیوستگی مکانی

برای خلاصه کردن پیوستگی مکانی، نیم‌تغییرنما بیش‌ترین کاربرد را به خود اختصاص می‌دهد. رابطه نیم‌تغییرنما به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (۴)$$

که در آن،  $\gamma(h)$  مقدار نیم‌تغییرنما برای جفت نقاطی است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند  $n(h)$ : تعداد زوج نقاطی است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند،  $z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر  $x$  در موقعیت  $x$  و  $z(x_i + h)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله‌ی  $h$  از  $x_i$  است.

نمودار نیم‌تغییرنما با ترسیم مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم  $h$  از یکدیگر قرار دارند در مقابل  $h$  به دست می‌آید. از خصوصیات مهم نیم‌تغییرنما می‌توان به:

الف) دامنه یا شعاع تاثیر: هنگامی که فاصله بین جفت نقاط افزایش می‌یابد، مقدار نیم‌تغییرنما معمولاً افزایش می‌یابد تا جایی که با وجود افزایش در فاصله جدا کننده بین زوج نقاط هیچ افزایشی در میانگین مجذور تفاضل بین مقادیر زوج نقاط ایجاد نمی‌شود و نیم‌تغییرنما به یک مقدار ثابت می‌رسد. فاصله‌ای که در آن نیم‌تغییرنما به این مقدار ثابت میل می‌کند، دامنه یا شعاع تاثیر می‌نامند.

ب) آستانه: عبارت است از مقدار ثابت نیم‌تغییرنما در فاصله دامنه تاثیر.

ج) اثر قطعه‌ای: اگر چه مقدار نیم‌تغییرنما برای  $h=0$  باید برابر صفر باشد، چندین عامل نظیر خطای نمونه برداری و تغییرات کوچک مقیاس باعث می‌شود که مقادیر نمونه‌هایی که در فاصله‌ی کوچکی از یکدیگر قرار دارند، کاملاً با یکدیگر برابر نباشند این واقعیت باعث ایجاد عرض از مبدا نیم‌تغییرنما می‌شود. پرش عمودی نیم‌تغییرنما در مبدا مختصات اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود (۱۳).

پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی براساس رابطه ۴ یک مدل ریاضی به آن برازش داده می‌شود. اگر نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبدا حرکت خطی داشته باشد، مدل کروی مناسب خواهد بود. مدل نمایی به طور جانبی به آستانه میل می‌کند. بنابراین شعاع تاثیر، فاصله‌ای است که مقدار نیم-

تغییرنما به ۹۵ درصد آستانه رسیده باشد. همانند مدل کروی، مدل نمایی در فاصله‌های بسیار کوچک نزدیک به مبدا، به صورت خطی عمل می‌کند و دارای معادله‌ای به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \quad (۵)$$

که در این جا  $a$  دامنه یا شعاع تاثیر می‌باشد (۱۲).

۲،۲. معیارهای اعتبارسنجی

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 به کارگیری روش درون‌یابی مورد نظر انجام می‌گیرد و سپس مقدار تخمین با مقدار مشاهده‌ای مقایسه می‌گردد. بدین ترتیب که در روش اعتبارسنجی تقاطعی، یک نقطه به طور موقت حذف و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد. در پایان ستون مقادیر مشاهده‌ای و ستون مقادیر برآورد شده در قالب معیارهای مختلف خطا مقایسه می‌شود. در این تحقیق برای ارزیابی بهترین روش زمین‌آمار از روش ریشه دوم میانگین مربع خطا ( $RMSE$ )، میانگین قدر مطلق خطا ( $MAE$ )<sup>۱۱</sup> و ضریب همبستگی ( $R$ ) استفاده شده است که به صورت زیر محاسبه می‌شود (۱۲).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i))^2}{n}} \quad (۶)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (۷)$$

$z^*(x_i)$  مقدار برآورد شده متغیر در  $x_i$ ،  $z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای متغیر در  $x_i$  و  $N$ : تعداد نقاط با متغیر مشاهده‌ای  $RMSE$  هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر خطای کمتر روش و  $MAE$  هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالای روش می‌باشد.

ضریب همبستگی ( $R$ ) رایج‌ترین آماره‌ای است که برای ارتباط بین دو متغیر به کار می‌رود و به صورت زیر قابل محاسبه است.

هایی برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول، به تاثیر بلند مدت کیفیت آب بر تولید محصولات کشاورزی، شرایط خاک و مدیریت مزرعه تاکید شده است. جدول ۲ رهنمودهای کیفیت آب دانشگاه کالیفرنیا و با همکاری کارکنان آزمایشگاه شوری ایالات متحده تهیه شده است، و با توجه به نتایج اخیر به روز رسانی شده است (۱۵). اندازه‌گیری شوری در ارتباط با نوع گیاهانی که کشت می‌شوند می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی مسئله مورد استفاده قرار گیرد (۱۴). با استفاده از این جداول و در نظر گرفتن کیفیت آب آبیاری، می‌توان نوع الگوی کشت را به نحوی برنامه‌ریزی کرد که میزان کاهش محصول به حداقل ممکن برسد.

$$R = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ei} - \bar{x}_{mi})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{mi} - \bar{x}_{mi})^2}} \quad (8)$$

$x_{ei}$  مقادیر برآورد شده،  $x_{mi}$  مقادیر مشاهده‌ای و  $\bar{x}_{mi}$  میانگین مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد (شعبانی، ۱۳۹۰).

برای انتخاب بهترین روش زمین‌آمار، ابتدا از معیارهای ذکر شده نظیر مقدار  $RMSE$ ،  $MAE$  و  $R$  همبستگی مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای یک روش انتخاب می‌شود. پس از ارزیابی روش‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین روش، نقشه توزیع مکانی متغیر مورد نظر استخراج می‌گردد. جدول ۱ پیش‌بینی کاهش محصول را در برخی از محصولات به سبب شوری آب آبیاری در موقعی که بخواهیم از روش‌های آبیاری سطحی استفاده کنیم نشان می‌دهد. این جدول برای هر محصول درصد کاهش محصول را با توجه به هدایت الکتریکی آب آبیاری نشان می‌دهد (۱۴). همچنین راهنمایی-

جدول ۱- پیش‌بینی کاهش محصول در برخی از محصولات به سبب شوری آب آبیاری

Table 1. Prediction of yield reduction under salinity water in some of crops

درصد کاهش محصول										نوع گیاه
۱۰۰ درصد		۵۰ درصد		۲۵ درصد		۱۰ درصد		۰ درصد		
ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	
۱۹	۲۸	۱۲	۱۸	۸/۷	۱۳	۶/۷	۱۰	۵/۳	۸	جو
۱۳	۲۰	۸/۷	۱۳	۶/۴	۹/۵	۴/۹	۷/۴	۴	۶	گندم
۶/۷	۱۰	۳/۹	۵/۹	۲/۵	۳/۸	۱/۷	۲/۵	۱/۱	۱/۷	ذرت
۶/۸	۱۰	۴/۲	۶/۳	۲/۹	۴/۴	۲/۲	۳/۳	۱/۷	۲/۵	خیار
۶/۷	۱۰	۳/۹	۵/۹	۲/۵	۳/۸	۱/۷	۲/۵	۱/۱	۱/۷	سیب‌زمینی
۱۰/۵	۱۵/۷	۵/۹	۸/۸	۳/۶	۵/۴	۲/۲۴	۳/۳۶	۱/۳	۲	یونجه

جدول ۲- راهنمایی برای تفسیر کیفیت آب آبیاری

Table 2- The Guidance for interpreting water quality

پتانسیل مشکل آبیاری	واحد	درجه محدودیت در استفاده		
		بدون مشکل	کم تا متوسط	شدید
EC	میکروموس بر سانتی‌متر	$700 <$	$3000 - 700$	$> 3000$
نیترات	میلی گرم بر لیتر	$5 <$	$30 - 5$	$> 30$



**یافته‌ها**

است میانگین نیترات و هدایت الکتریکی به ترتیب حدود ۲۱/۴۴ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۸۱۳/۶ میکروموس بر سانتی‌متر و با انحراف معیار به ترتیب ۱۶/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۳۷۴/۳ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. مقدار چولگی و کشیدگی زیاد و معنی‌دار است که نشان دهنده‌ی غیرنرمال بودن توزیع فراوانی می‌باشد.

نرمال بودن داده‌های نیترات و هدایت الکتریکی به ترتیب با آزمون کلموگرف - اسمیرنف و شاپیرو - ویلک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که فرض نرمال بودن داده‌ها رد و برای نرمال کردن داده‌ها از روش لگاریتم‌گیری استفاده شد. با لگاریتم‌گیری و تجزیه و تحلیل مجدد با آزمون کلموگرف - اسمیرنف و شاپیرو - فرانسیس در سطح اطمینان ۹۵ درصد نرمال بودن داده‌ها مورد تأیید قرار گرفت.

جدول ۳ آماره‌های توصیفی نیترات و هدایت الکتریکی در منطقه را نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشخص

**جدول ۳- مقادیر آماره مربوط به داده‌های EC و نیترات**

Table 3. The statistical values of EC and nitrate

متغیر	تعداد ایستگاه		میانگین	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
	اصلی	کمکی					
هدایت الکتریکی EC	۱۴۲	۱۰	۱۸۱۳/۶	۱۳۱۳/۵	۱۳۷۴/۳	۱/۶۳	۲/۰۵
نیترات NO <sub>3</sub>	۳۳	۸	۴/۸	۶/۱	۳/۷۹	۲/۷۴	۱۲/۸۷

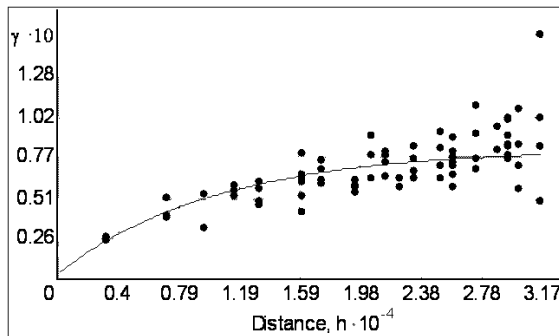
الکتریکی و روش گوسی برای نیترات، به دلیل اثر قطعه‌ای کوچکتر و دامنه تأثیر بزرگتر نسبت به روش‌های دیگر مناسب‌تر می‌باشد (شکل، ۲ و ۳). طایفه (۱۳۸۹) و محمدی و همکاران (۱۳۹۱) به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند (۱۶ و ۱۷).

به منظور بررسی و مطالعه ساختار پیوستگی مکانی داده‌های مورد مطالعه، نیم‌تغییرنمای مناسب بر اساس داده‌های نرمال شده که لازمه روش کریجینگ است برازش داده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد (جدول ۴) برای رسم نمودار نیم-تغییرنمای هدایت الکتریکی و نیترات، روش نمایی برای هدایت

**جدول ۴- مشخصات نیم‌تغییرنمای مناسب برازش داده شده**

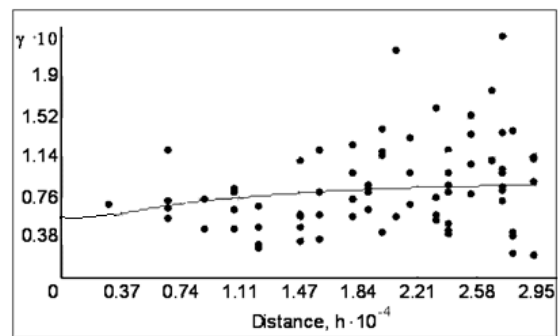
Table 4. Profile appropriately fitted semivariogram

متغیر	مدل واریوگرام	اثر قطعه‌ای	آستانه (مترمربع)	دامنه تأثیر (متر)
هدایت الکتریکی	نمایی	۰/۰۰۳	۰/۰۷۸	۳۱۵۵۹/۶
	گوسی	۰/۰۲۸	۰/۰۵۴	۲۷۹۳۳/۳
	کروی	۰/۰۱۷	۰/۰۶۴	۳۱۵۵۹/۶
نیترات	نمایی	۰/۰۴۲	۰/۰۴۵	۲۹۳۴۸/۵
	گوسی	۰/۰۳۷	۰/۰۵۵	۲۹۳۴۸/۵
	کروی	۰/۰۳۸	۰/۰۵	۲۹۳۴۸/۵



شکل ۳- نیم تغییرنما هدایت الکتریکی

Figure 3. Electrical conductivity semivariogram



شکل ۲- نیم تغییرنما نیترات

Figure 2. Nitrate semivariogram

شکل ۵ پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با روش کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد. که این نتایج با یافته‌های شعبانی (۱۳۸۷) در تعیین مناسب ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه‌ی تغییرات PH و TDS آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان همخوانی دارد (۱۸).

با توجه به جدول ۵ از بین روش‌های معین، بهترین روش برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی روش *RBF* با *RMSE* و *MAE* پایین‌تر و *R* بالاتر و از بین روش‌های کریجینگ بهترین روش برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی روش کریجینگ ساده (*OK*) با *MAE* و *RMSE* پایین‌تر و *R* بالاتر می‌باشد. شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با روش *RBF* و

جدول ۵- مقادیر *RMSE*، *MAE* و *R* در هر یک از روش‌های معین و کریجینگ برای *EC*Table 5. Values of *RMSE*, *MAE* and *R* for each specific and kriging methods for *EC*

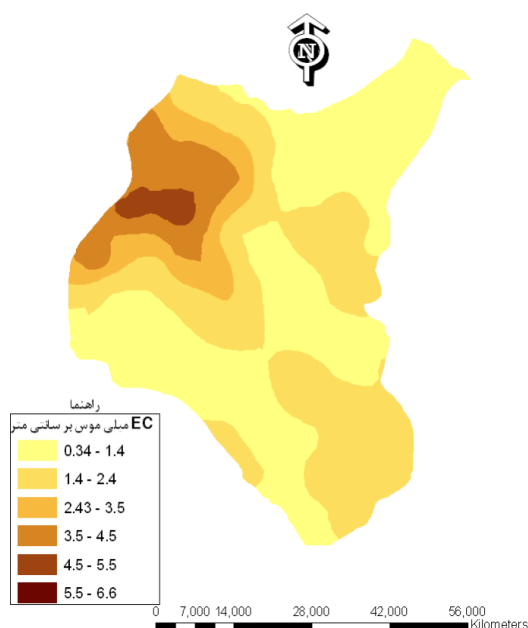
R	MAE	RMSE	روش	EC
۰/۸۰۴	۶۱۸/۷۸	۸۸۱/۶۸	IDW 1	
۰/۸۷۸	۵۵۵/۴۹	۸۴۴/۱۹	IDW 2	
۰/۹۲۹	۵۴۷/۴۴	۸۵۸/۷۷	IDW 3	
۰/۴۷۲	۹۶۵/۵۹	۱۲۴۰/۴۴	تخمینگر عام	
۰/۸۳۲	۶۱۹/۳۲	۹۳۳/۶	تخمینگر موضعی	
۰/۸۴۱	۵۴۸/۰۱	۸۳۷/۰۷	تابع شعاعی	
۰/۶۹۸	۵۸۱/۷۷	۹۱۲/۹۹	کریجینگ معمولی	
۰/۶۹۹	۵۸۱/۸	۹۰۰/۶۸	کریجینگ ساده	

نوع سازند زمین‌شناختی منطقه دانست. میزان محصول برداشتی در این مناطق به طور متوسط در حدود ۴۰ تا ۵۰ تن در هکتار است این در حالی است که میزان محصول برداشتی در صورت مناسب بودن محیط رشد گیاه ۷۰ تن در هر هکتار است. برای این که کاهش محصول سیب‌زمینی نداشته باشیم شوری آب آبیاری باید کمتر از ۱۱۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر باشد. میزان شوری آب آبیاری در مناطقی حدود ۴۷۰۰، ۶۶۲۰، ۳۸۲۰ و ۴۶۸۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. که میزان محصول برداشتی در این مناطق در حدود ۳۰ تا ۴۰ تن

برای تعیین میزان تغییرات شوری و نیترات حاصل از عملیات کشاورزی در سطح منطقه اقدام به جمع‌آوری پرسش‌نامه از کشاورزان منطقه درباره‌ی نوع الگوی کشت و نوع کود مصرفی شد. با توجه به جدول ۱ میزان شوری برای خیار برای این که کاهش محصول نداشته باشیم ۱۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. در حالی که، میزان شوری در مناطقی مانند کلب حساری و زین‌آباد به ترتیب در حدود ۴۳۰۰ و ۲۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. که این کاهش کیفیت را می‌توان بیشتر به دلیل افت شدید سطح ایستابی و همچنین

دشت داشت برای کشت گندم با توجه به شوری آب آبیاری کاهش محصول محسوسی وجود ندارد. میزان محصول برداشتی ۴ تا ۵ تن در هکتار می‌باشد. جو نیز یکی از گیاهان مقاوم به شوری است. میزان محصول برداشتی در حدود ۴ تا ۵ تن در هکتار می‌باشد و مانند گندم کاهش محسوسی در عملکرد نداشته است. در بین غلات کشت شده در دشت فقط ذرت در گروه نسبتاً حساس به شوری قرار می‌گیرد. ذرت اگر با آبی با شوری ۱۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر آبیاری شود کاهش محصول نخواهد داشت. در مناطقی با شوری ۲۴۴۰ و ۱۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، محصولی در حدود ۲۵ تا ۳۰ برداشت می‌کنند. اما اگر شرایط محیطی مناسبی برای این گیاه فراهم شود عملکردی در حدود ۴۰ تن در هکتار می‌تواند داشته باشد.

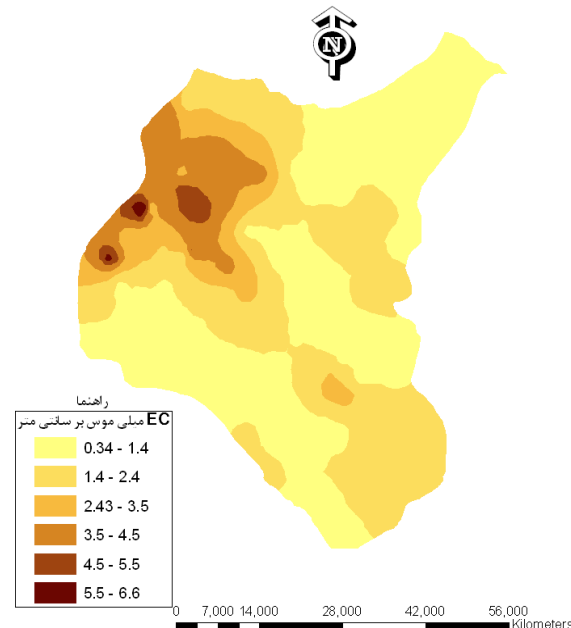
در هکتار می‌باشد. در صورتی که با فراهم آمدن شرایط محیطی مناسب برای این گیاه محصولی در حدود ۸۰ تا ۹۰ تن در هر هکتار قابل حصول است. آبیاری یونجه با شوری کمتر از ۱۳۴۰ میکروموس بر سانتی‌متر کاهش محصول نخواهد داشت. با توجه به نقشه‌های به دست آمده (شکل ۴ و ۵) میزان شوری آب آبیاری در مناطقی در حدود ۴۵۲۰، ۲۰۴۰ و ۲۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. که میزان محصول برداشتی در این مناطق در حدود ۲۵ تا ۳۰ تن در هکتار می‌باشد. گندم یکی از گیاهان مقاوم به شوری است که با توجه به جدول ۱ در صورتی که با آبی با شوری کمتر از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر آبیاری شود کاهش محصول نخواهد داشت. در دشت کبودرآهنگ به جز منطقه کلب حصاری که شوری بالایی نسبت به مناطق دیگر



شکل ۵- نقشه هدایت الکتریکی با روش کریجینگ ساده

Figure 5. Electrical conductivity map using RBF

نیترات آب زیرزمینی با روش *RBF* و شکل ۷ پهنه‌بندی نیترات آب زیرزمینی با روش کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد. به منظور بررسی میزان آلودگی نیترات آب زیرزمینی دشت کبودرآهنگ جهت آبیاری از استاندارد کالیفرنیا استفاده شده است (۱۵). میانگین غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی



شکل ۴- نقشه هدایت الکتریکی با روش *RBF*

Figure 4. Electrical conductivity map using simple kriging

با توجه به جدول ۶ از بین روش‌های معین، بهترین روش برای تهیه نقشه نیترات روش *RBF* با *RMSE* و *MAE* پایین‌تر و *R* بالاتر و از بین روش‌های کریجینگ بهترین روش برای تهیه نقشه نیترات روش کریجینگ معمولی (*OK*) با *RMSE* و *MAE* پایین‌تر و *R* بالاتر می‌باشد. شکل ۶ نقشه پهنه‌بندی

صرفه بودن از نظر اقتصادی بوده و نه از نظر اصول کشاورزی مدرن، می‌تواند در آینده این مناطق را از نظر آلودگی نیترات آب زیرزمینی دچار بحران کند. نتایج مشابهی در زمینه آلودگی نیترات در مطالعه استواری مشاهده شد (۲). همچنین بررسی دیگری نشان داد که تغییر الگوی کشت و منابع آب آبیاری باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی کم عمق به نیترات در مقیاس استانی می‌شود و به این نتیجه رسیدند که ۱۳/۰۶، ۱۴/۳۷، ۱۲/۲۳ و ۳/۸۵ درصد مساحت منطقه به ترتیب غلظت نیترات ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۳۰ و بیشتر از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است (۱۹).

این منطقه ۴/۸ و بیشترین غلظت نیترات ۲۲/۴۹ و کمترین غلظت نیترات ۱/۱ میلی‌گرم بر لیتر در واحد نیتروژن می‌باشد. از نظر فراوانی، در این منطقه در حدود ۸۵/۵۷ درصد کمتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر در واحد نیتروژن، ۱۴/۴۳ درصد بین ۳۰ - ۵ میلی‌گرم بر لیتر در واحد نیتروژن و بالای ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در واحد نیتروژن که جزو آلودگی شدید قرار می‌گیرد در منطقه وجود ندارد. طبق شکل ۶ و ۷ بیشترین میزان آلودگی نیترات در دشت در ناحیه جنوب و جنوب غربی دشت دیده شده است، که محصولاتی همچون سیب‌زمینی، خیار و یونجه کشت می‌شود که با توجه به جدول ۷ مصرف کود بالایی را دارا هست. ادامه این روند در منطقه که به دلیل مقرون به

جدول ۶- مقادیر RMSE، MAE و R در هر یک از روش‌های معین و کریجینگ برای نیترات

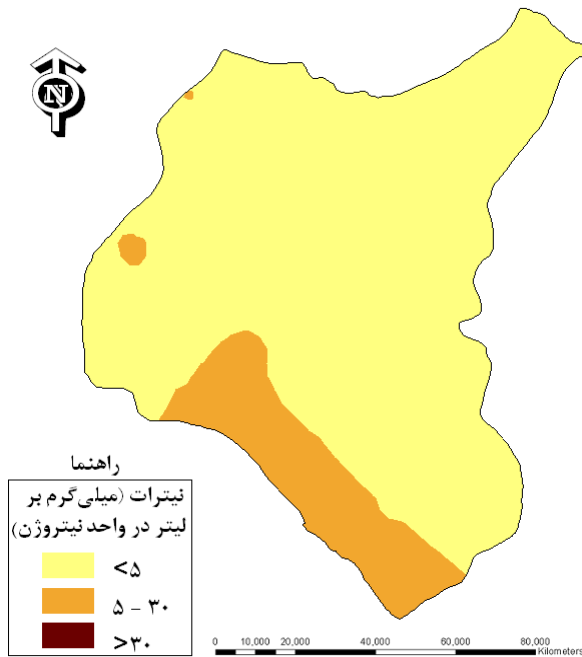
Table 6. The values of RMSE, MAE and R for each specific and kriging methods for nitrate

R	MAE	RMSE	روش	نیترات
۰/۳۲	۲/۴۷	۳/۸۸	IDW 1	
۰/۴۲۵	۲/۶۸	۳/۹۳	IDW 2	
۰/۶۲۲	۲/۹۱۴	۴/۱۶۸	IDW 3	
۰/۲۷۶	۲/۵۲	۳/۹۴	تخمینگر عام	
۰/۷۹۴	۲/۷	۴/۳۳	تخمینگر موضعی	
۰/۳۷۲	۲/۵۱	۳/۸۶	تابع شعاعی	
۰/۳۵۱	۲/۴۲	۳/۷۶	کریجینگ معمولی	
۰/۳۲	۲/۳۷	۳/۸۲	کریجینگ ساده	

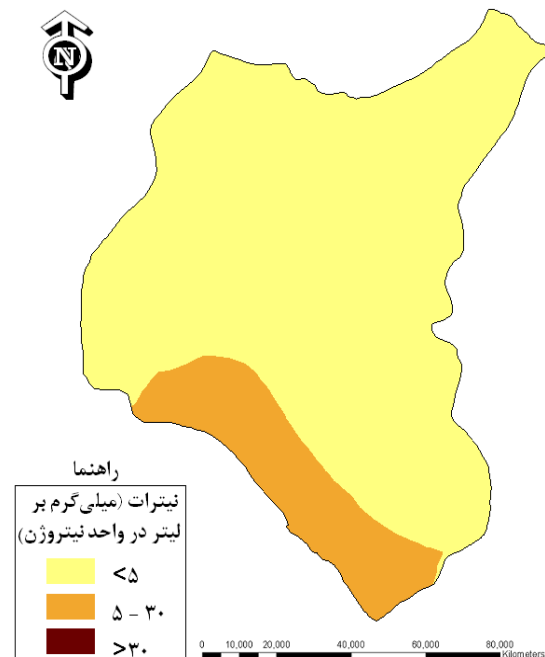
جدول ۷- میزان کود مصرفی توسط کشاورزان

Table 7. The amount of fertilizer used by farmers

کود شیمیایی اوره (کیلوگرم در هکتار)	کود حیوانی و مرغی (تن در هکتار)	نوع گیاه
		نوع کود
۵۰۰ (قبل از خوشه‌بندی)	-	جو
۵۰۰ (قبل از خوشه‌بندی)	-	گندم
۲۰۰ - ۳۰۰	۱۰	خیار
۴۰۰ - ۵۰۰	۱۰ - ۱۵	سیب‌زمینی
۲۵۰ - ۳۰۰	۲۰ (قبل از کاشت)	یونجه



شکل ۷- نقشه نیترات با روش کریجینگ معمولی  
Figure 7. Nitrate map using simple kriging



شکل ۶- نقشه نیترات با روش RBF  
Figure 6. Nitrate map using RBF

### بحث و نتیجه‌گیری

الکتریکی آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ، مقدار آن برای برخی محصولات مانند سیب‌زمینی، خیار و ذرت بالاست که بیشتر در قسمت‌های غربی و جنوب غربی دشت مشهود است. الگوی پراکندگی مکانی غلظت نیترات در بیشتر سطح منطقه کم تا متوسط است که آب زیرزمینی از نظر میزان نیترات در وضعیت مناسب می‌باشد اما در قسمت‌های جنوب و جنوب-غربی دشت بالاتر از حد استاندارد قرار گرفته است و جزو مناطقی از دشت است که به دلیل استفاده بیش از حد مواد آلاینده همچون انواع کودها، مستعد افزایش نیترات می‌باشد. کشاورزان منطقه با تغییر الگوی کشت بر اساس سود اقتصادی محصولات کشاورزی بدون توجه به افت شدید سطح ایستابی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی، علاوه بر کاهش مقدار محصول برداشتی، باعث کاهش حاصل‌خیزی خاک، افزایش استفاده از کود حیوانی، کود شیمیایی و کاهش کیفیت و آلودگی شیمیایی محصولات کشاورزی شده‌اند بنابراین باید سعی نمود علاوه بر برنامه‌های ترویجی جهت افزایش آگاهی عمومی به اعمال برنامه‌ریزی دقیق جهت تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری در این منطقه اقدام نمود.

بر اساس استاندارد کالیفرنیا، ۸ درصد از مساحت دشت هدایت الکتریکی کمتر از ۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، ۷۷ درصد بین ۷۰۰ - ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و ۱۵ درصد بالاتر از ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر را داراست. نتایج مشابهی بر روی کیفیت آب زیرزمینی منطقه یوکاتان جهت آبیاری در مکزیک نشان داد که هدایت الکتریکی ۷۱ درصد از نمونه‌های آب بین ۰/۵ تا ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۱۶ درصد از نمونه‌ها بین ۱/۵ تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر و تنها ۱۳ درصد از نمونه‌ها بالاتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر قرار دارند (۲۰). افزایش برداشت از آب زیرزمینی، استفاده از کودهای حیوانی، مرغی و شیمیایی باعث افت سطح ایستابی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی شده است. از این‌رو تعیین میزان آلودگی به نیترات و کاهش کیفیت آب می‌تواند در برنامه‌ریزی درست برای رفع این مشکل کمک شایانی نماید. نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین روش برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی روش *RBF* و روش کریجینگ ساده (*OK*) می‌باشد و بهترین روش برای تهیه نقشه نیترات روش *RBF* و روش کریجینگ معمولی (*OK*) است. بنابر الگوی پراکندگی مکانی هدایت

- aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using Disjunctive Kriging, Science of the Total Environment, No. 408, pp. 1021–1034.
8. Dash JP., Sarangi A., Singh DK. 2010. Spatial variability of groundwater depth and quality parameters in the National Capital Territory of Delhi. Environmental Management, No. 45, pp. 640–650.
  9. Istok JD., Cooper RM. 1998. Geostatistics Applied to Groundwater Pollution. Global Estimates, Journal of Environmental Engineering, No. 114(4), pp.915-928.
  10. Dagostino V., Greene E.A., Passarella B., Vurro, G. 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of co-regionalization. Environmental geology, No. 36, pp. 285-295.
  11. Anonymous, 2012. Hamedan Regional Water Organization. (In Persian)
  12. Johnston K., Ver Hoef JM., Krivoruchko K., Lucas N. 2001. Using ArcGIS.
  13. Hassani Pak A. A.2010. Geostatistics. Tehran.
  14. Alizadeh A. 2004. Quality of irrigation water. Astane Ghods. (In Persian)
  15. FAO. 1994. FAO Irrigation and Drainage Papers.
  16. Tayefeh N. 2011. Determining the best method of preparing TDS, pH & EC changes map on Mazandaran plain's ground water. New Findings in Applied Geology, No.4(8), pp: 36-43. (In Persian)
  17. Mohammadi S., Salajegheh A., Mahdavi M., Bagheri R. 2012. An

## Reference

1. Anonymous, Vice President for Strategic Planning and Supervision, guide to spatial distribution methods of climatic factors using point data. (In Persian)
2. Ostovari Y., Beigi Harchegani H., Davoodian AR. 2019. Spatial variation of nitrate in the Lordegan aquifer. 2012. Water and Irrigation Management, No. 2(1), pp: 55-67. (In Persian)
3. Shabani M. 2011. Evaluation of Geostatistical Methods in Preparing Groundwater Quality Maps and Zoning: A Case Study of Neyrizi Plain, Fars Province. Physical Geography, No.13, pp: 83-96. (In Persian)
4. Taghizadeh-Mehrjardi R., Zareian-Jahromi M., Mahmoodi S., Heidari A., Sarmadian F. 2009. Investigation of Interpolation Methods to Determine Spatial Distribution of Groundwater Quality in Rafsanjan. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, No.2 (5), pp: 63-70. (In Persian)
5. Rezaei M., Davatgar N., Tajdari K., Abolpour B. 2010. Investigation the Spatial Variability of Some Important Groundwater Quality Factors in Guilan, Iran. Water and Soil, No. 24(5), pp: 932-941. (In Persian)
6. Hakan A. 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turke". Agricultural Water Management, No. 113, pp. 57– 63.
7. Maria PM., Luís R. 2010. Nitrate probability mapping in the northern

- on nitrate contamination in shallow groundwater at county scale, *Ecological Complexity*, No. 7, pp.131–138.
20. Delgado C., Pachecob J., Cabrerab A., Batllori E., Orellana R., Bautistad, F. 2010. Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatán, Mexico", *Agricultural Water Management*, No. 97, pp.1423–1433.
- investigation on spatial and temporal variations of groundwater level in Kerman plain using suitable geostatistical method (During a 10-year period). *Iranian journal of Range and Desert Research*, No. 19(1), pp. 60-71. (In Persian)
18. Shabani M. 2009. Determine the most appropriate method of geostatistics in mapping groundwater pH and TDS (case study: Plain Arsanjan). *Water Resources Engineering*, No. 2(3), pp:47-48. (In Persian)
19. Shufeng C., Wenliang W., Kelin H., Wei L. 2010. The effects of land use change and irrigation water resource

