علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، شماره سه ، پاییز ۹۷

تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از زمین آمار

(مطالعه موردی: دشت سگزی، اصفهان)

زهرا اژدری[۱]

سید زین‌العابدین حسینی*[۲]

zhosseini@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۸ تاریخ پذیرش:۹۵/۲/۲۷

چکیده

زمینه و هدف: آگاهی از میزان تغییرات شیمیایی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها نقش مهمی در مدیریت بهینه آب‌های زیرزمینی یک منطقه ایفا می‌کند. روش‌های مختلفی برای مطالعه و پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی وجود دارد که انتخاب روش مناسب بسته به هدف، شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات دارد. روش‌های زمین‌آماری و GIS می‌توانند در این راستا ابزار مفیدی باشند. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی و انتخاب بهترین روش پهنه‌بندی جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت سگزی است.

روش بررسی: در این مقاله، توزیع آلاینده‌های کیفی pH, TDS, Hco_3, EC, Ca, Mg, TH, Na و So_4 در سطح آب‌های زیرزمینی دشت سگزی شهرستان اصفهان با استفاده از روش معین عکس فاصله و روش‌های زمین‌آماری تخمین‌گر توابع شعاعی، تخمین‌گر موضعی، تخمین‌گر عام و روش کریجینگ معمولی در نرم‌افزار ARCGIS9.3 مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس نمونه‌های آب زیرزمینی ۴۴۵ چاه، چشمه و قنات مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی واریوگرام و مشخص شدن مکانی بودن تغییرات پارامترهای مورد بررسی، اقدام به میان‌یابی پارامترها شد و با استفاده از فن ارزیابی متقابل و ریشه دوم میانگین مربع خطا، بهترین مدل ارزیابی با کمترین مقدار RMSE انتخاب شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کلیه پارامترها با استفاده از روش کریجینگ معمولی کمترین مقدار RMSE را داشته است و جهت تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی از این روش استفاده شد. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که پارامترهای Na, Ca, Mg, So_4, Hco_3, pH به لحاظ شرب بدون محدودیت و پارامترهای EC, TH و TDSمحدودیت ایجاد کرده‌اند. نتایج بیانگر استفاده بیش از حد منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه است.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج استفاده از کریجینگ معمولی به دلیل دقت بیشتر و محاسبات کمتر در بین روش‌های مختلف درون‌یابی برای پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی توصیه می‌شود. همچنین مدیریت منابع آب با استفاده از نتایج تحقیق قابل دسترس خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، روش‌های زمین‌آماری، کریجینگ، دشت سگزی.

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد* (مسوول مکاتبات) .

J.Env. Sci. Tech., Vol 20, No.3, Autumn, 2018

Spatial variations of groundwater quality parameters using geostatistics (Case study: Segsi Plain, Isfahan)

Zahra Azhdari[1]
Seyed Zeynalabedin Hosseini[2]*
zhosseini@yazd.ac.ir

Admission Date:May 16, 2016 Date Received: April 16, 2016

Abstract

Background and Objective: Understanding chemical changes in groundwater and their mapping play a substantial role in optimal management of groundwater in an area. There are various methods for investigation and classification of groundwater chemical features, and selection of appropriate method depends on the purpose, conditions of the area and available information. Geostatistical methods and GIS can be useful tools in this regard. The aim of his study is to investigate the spatial variations of groundwater quality and select the best mapping method for the management of groundwater resources in Segsi plain.

Method: In this paper, the distribution of quality pollutants pH, TDS, Hco3, EC, Ca, Mg, TH, Na and So4 in groundwater of Segsi plain was investigated using inverse distance and geostatistical methods, distance and bearing functions, local, general and ordinary Kriging estimator software ARCGIS9.3. Accordingly, the sample from 445 groundwater wells, springs and canals were examined. After evaluating variograms and determining the spatiality of the changes in the studied parameters, interpolation of parameters was performed and the best evaluation model with lowest RMSE was selected through mutual evaluation technique and the root-mean-square error.

Findings: The results showed that all parameters had the lowest RMSE using the ordinary Kriging method and it was used for mapping the spatial distribution of water quality parameters. Results from mapping indicated that Na, Ca, Mg, So4, Hco3 and pH had no limitation and EC, TH and TDS had limitations in terms of drinkability.

Conclusion: According to the results, application of the ordinary Kriging method is recommended for more precision, less calculation and less data demand among various interpolation methods for the groundwater mapping.

Keywords: Groundwater, Geostatistical methods, Kriging, Segsi plain

1- PhD Student on Watershed Management, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University.
2- Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University *(Corresponding author**)**.

مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت و افزایش فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، آب‌های زیرزمینی در معرض خطر آلودگی قرار می‌گیرند. مشکل بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک (مثل اصفهان) تنها کم آبی نیست، بلکه کیفیت نامناسب آب‌های موجود نیز به آن اضافه می‌شود. با توجه به اینکه کیفیت آب بر تمامی جوانب زندگی انسان تأثیرگذار است نیاز به بررسی آن بر همگان واضح است؛ لذا در این مطالعه مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب توسط زمین آمار بررسی و پهنه‌بندی خواهند شد.

امروزه مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی نقش مهمی در مناطق خشک و نیمه خشک بازی می‌کند. به همین دلیل به کار بردن روش‌هایی که بتواند وضعیت این آب‌ها را مشخص کند لازم و ضروری است. بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی در شناخت وضعیت کیفی آبخوان، منابع آلوده‌کننده و تعیین مناسب‌ترین راهکارهای مدیریتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱). آب‌های زیرزمینی بیشترین نقش را در تأمین آب کشاورزی و شرب به عهده دارند. افزایش جمعیت و در نتیجه آن افزایش بهره‌برداری از این منابع ارزشمند باعث شده است که نه تنها کمیت منابع آب زیرزمینی کاهش یابد، بلکه کیفیت این منابع نیز رو به نامناسب بودن پیش رود (۲). بنابراین، با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی، استفاده بهینه از این منابع مورد توجه محققین قرار گرفته است. مهم‌ترین مشکلی که امروزه آب‌های زیرزمینی را تهدید می‌کند، آلوده شدن آن‌ها است. یکی از مهم‌ترین نکات در کنترل و پیشگیری از آلودگی، شناسایی عوامل و منابع آلودگی، مناطق بحرانی آلوده شده و همچنین جهت حرکت آلودگی می‌باشد، تا بتوان به کمک این اطلاعات گام‌های موثری در جهت حفظ و بالا بردن کیفیت آب زیرزمینی انجام داد (۳). برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است (۴). اگرچه به نظر می‌رسد تأثیرپذیری آب‌های زیرزمینی از محیط اطراف کمتر از منابع آب‌های سطحی باشد، اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد که همگام با منابع سطحی، کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز از عوامل محیطی تأثیر می‌پذیرد و حتی در پاره‌ای از موارد این تأثیرات شدیدتر و ماندگارتر است (۵). از جمله این تأثیرات می‌توان به آلودگی آب شرب مصرفی و مسمومیت‌های ناشی از استفاده آن اشاره کرد (مسمومیت‌های ناشی از آرسنیک) (۶). از این رو لازم است هرگونه اقدام، جهت کنترل و کاهش آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی و تأثیرات آن‌ها، آگاهی کامل از نحوه توزیع و پراکندگی آلاینده‌های موجود می‌باشد. در اختیار داشتن چنین اطلاعاتی صرفاً از طریق ایستگاه‌های سنجش آلودگی توزیع یافته در سطح منطقه مورد مطالعه و درون یابی نقاط نمونه‌برداری شده و انجام آنالیزهای مختلف امکان‌پذیر می‌باشد (۷). پیشرفت‌های اخیر در معرفی و بسط روش‌های غیرکلاسیک باعث افزایش تمایل برای استفاده از زمین آمار به منظور بررسی و شناخت بیشتر این تغییرات شده است (۸). زمین آمار شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است که قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در مکانی که نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند مقادیر عظیمی از داده‌ها را با سرعت زیاد و هزینه بسیار کم، نگهداری و بازیابی نمود. همچنین استفاده از GIS، امکان تحلیل‌های زمین آماری را برای کاربر فراهم می‌کند (۹). مطالعات گسترده‌ای در مورد کاربرد زمین آمار در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در خارج و داخل کشور صورت گرفته که از جمله می‌توان به مطالعات محققین زیر اشاره نمود:

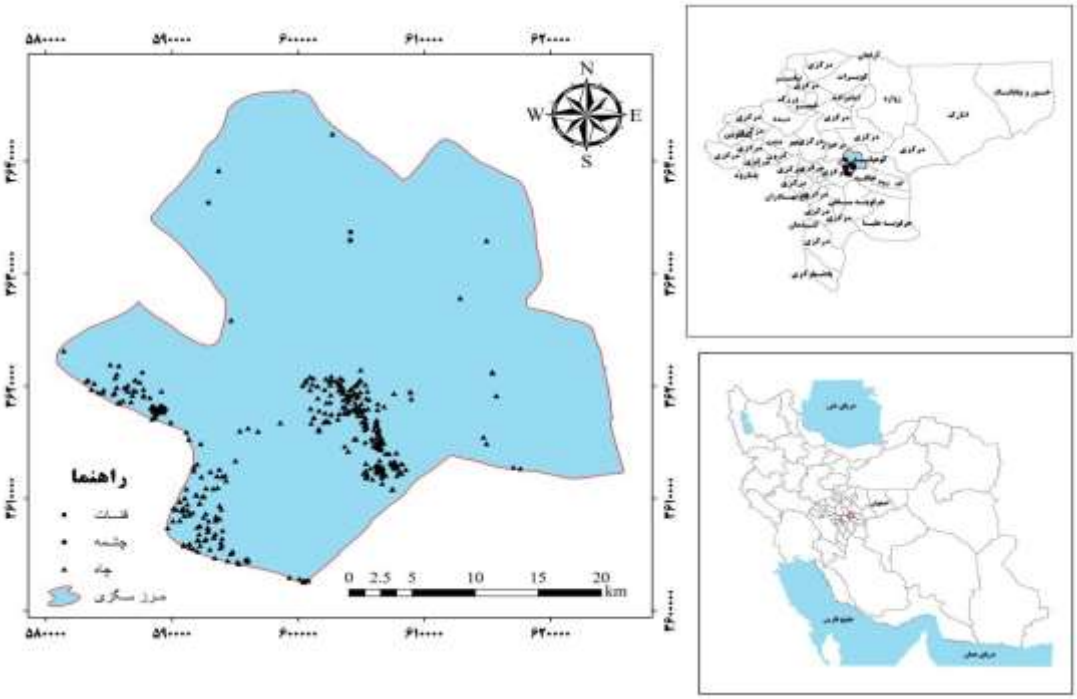
دلبری و همکاران به بررسی تغییرات مکانی و برآورد عمق آب زیرزمینی در آبخوان اقلید فارس در طی سه سال آماری پرداختند. آن‌ها با مقایسه سه روش میان‌یابی کریجینگ معمولی، کریجینگ نمونه و IDW به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ معمولی بیش‌ترین دقت را در تخمین عمق آب زیرزمینی دارد (۱۰). چاودری و همکاران ارتباط بین هیدروژئوشیمی و میزان آرسنیک در آب‌های زیرزمینی بنگلادش را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اکثر چاه‌های

سطحی و عمقی، با غلظت ۲ تا ۳۳۱ میکروگرم در لیتر، آلوده به آرسنیک هستند (۱۱). جمشیدزاده و میرباقری در ارزیابی کمیت و کیفیت برای مطالعه کیفیت آب زیرزمینی، عواملی نظیر EC, CL, TDS, TH و pH را آنالیز کردند و مقایسه نتایج با کیفیت استاندارد آب شرب توسط سازمان بهداشت جهانی نشان داد که در اکثر نمونه‌ها آب قابل شرب نیست (۱۲). ماکاسپا و ساتاپان‌جارو در تحقیقی توزیع مکانی فلزات سنگین از قبیل Cd، Zn و Hg را در آب‌های زیرزمینی راینگ تایلند که به شدت تحت تأثیر فعالیت کشاورزی و صنعتی بود با استفاده از روش کریجینگ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که بسیاری از فلزات سنگین دارای غلظتی بیش از حد استانداردهای کیفی آب‌های زیرزمینی تایلند می‌باشد (۱۳). اویان و کی برای پهنه‌بندی غلظت نیترات آب زیرزمینی شهر قونیه در ترکیه از روش کریجینگ استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل کروی برای رسم واریوگرام مناسب و بیشترین غلظت نیترات در مرکز شهر به دلیل وجود مراکز صنعتی است (۱). خلقی و حسینی قابلیت کریجینگ معمولی و شبکه‌های مبتنی بر سیستم ANFIS را در درون‌یابی سطح آب زیرزمینی در یک سفره آزاد در شمال ایران بررسی نمودند. نتایج نشان داد مدل ANFIS در برآورد سطح آب زیرزمینی از کریجینگ معمولی کارآمدتر است (۱۴). زمزم و رهنما به بررسی تغییرات پارامترهای TDS,EC, Ca, CL, Mg, Na و SAR موجود در آب زیرزمینی دشت رفسنجان پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه با بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت شیمیایی ۶۵ پیزومتر از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۵ توسط نمودارهای ویلکوکس و شولر نشان دهنده کیفیت بد آب برای مصارف کشاورزی است و همچنین بررسی کیفیت آب زیرزمینی این دشت از لحاظ شرب نشان داد که آب این دشت تقریباً نامناسب برای شرب است (۱۵). فتانی و همکاران در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریفا در شمال شرق مراکش از نظر غلظت نیترات آمونیوم از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند و بر کارایی آن اذعان کردند (۲). لی و همکاران نتایج بهتری را از روش معکوس فاصله در مقایسه با روش‌های دیگر جهت نقشه‌بندی مواد آلی و نیترات با توجه به معیار میانگین مجذور خطا به عنوان معیار مقایسه بدست آورده‌اند (۱۶). سیوکی و سربازی برای پهنه‌بندی پارامتر EC از ۱۲۰ چاه در دشت مشهد از روش‌های IDW، کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به کریجینگ ارجحیت دارد (۱۷). افضلی و شاهدی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۶ و تغییرات عوامل کیفی شامل EC, CL, Hco_3, K, Mg, Na, So_4, TDS, TH و pH در ابتدا و انتهای دوره مذکور در محیط ARCGIS در بخشی از دشت آمل- بابل واقع در حوزه آبخیز دریای خزر را مورد بررسی قرار دادند و روند تغییرات هر کدام از عوامل کیفی با استفاده از آزمون من-کندال تعیین گردید. نتایج تحقیق بیانگر کاهش ناچیز سطح آب زیرزمینی و بهبود وضعیت کیفی آب زیرزمینی در منطقه یاد شده می‌باشد (۱۸). فتحی هفشجانی و همکاران با هدف تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی از بین انواع روش‌های کریجینگ، IDW و کوکریجینگ جهت پهنه‌بندی پارامترهای نیترات و فسفات در ۹۷ حلقه چاه کشاورزی دشت شهر کرد به این نتیجه رسید که کارایی روش‌های IDW و کوکریجینگ در پهنه‌بندی نیترات و فسفات پایین‌تر از کریجینگ است (۱۹). احمدی پور و همکاران در پژوهشی به بررسی تغییرات مکانی و زمانی EC و TDS در آب زیرزمینی دشت گیلان در یک دوره آماری ۴ ساله با استفاده از روش کریجینگ معمولی پرداختند. نتایج نشان از کارایی بالای کریجینگ معمولی در پهنه‌بندی پارامترهای مذکور بود و نشان داد که در طی مدت مطالعاتی روند کیفیت آب کاهش پیدا کرده است. دلیل آن را حفر چاه‌های بی‌شمار برای کشاورزی بیان کردند (۲۰). شعبانی در ارزیابی روش‌های زمین آماری در تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها به این نتیجه رسید که در بین روش‌های معین روش RBF جهت تهیه نقشه تغییرات شوری و تغییرات نیترات در منطقه مناسب می‌باشد. سپس از مقایسه دو روش کریجینگ و RBFروش

کریجینگ را انتخاب کرد (۲۱). اوسطی و سلاجقه از روش درون‌یاب کریجینگ معمولی به عنوان بهترین روش درون‌یابی برای پهنه‌بندی نیترات و برخی دیگر پارامترها در دشت کردان استفاده کرد (۲۲). نجاتی جهرمی و همکاران به بررسی توزیع نیترات در آبخوان آبرفتی دشت عقیلی با استفاده از کریجینگ و IDW پرداختند. نتایج نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برای رسم واریوگرام و روش کریجینگ دقت بالاتری نسبت به IDW دارد (۲۳).عسگری و همکاران در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت قزوین به وسیله تحلیل‌های زمین‌آماری و GIS به این نتیجه رسیدند که روش RBF نسبت به روش‌های درون‌یابی دیگر نتایج برتری نشان داده است (۳). معروفی و همکاران در ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار به این نتیجه رسیدند که روش‌های تخمین‌گر موضعی و فاصله معکوس به ترتیب بهترین الگو برای تخمین هدایت الکتریکی و pH منطقه بودند (۲۴). چیت سازان و همکاران به پهنه‌بندی هیدروژئوشیمیایی عناصر کمیاب آرسنیک، آهن و منگنز در آبخوان آبرفتی میداوود خوزستان با استفاده از GIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش درون‌یابی IDW در این مورد مناسب‌تر از کریجینگ است (۲۵). سابقه مطالعات نشان از توانایی و کارایی بالای روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی دارد. بنابراین این مطالعه در تلاش است تا ضمن مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی و تعیین بهترین روش تخمین و با استفاده از نرم افزار ARCGIS، تغییرات مکانی توزیع آب زیرزمینی را در دشت سگزی برای مصرف شرب و مدیریت بهتر این منابع پهنه‌بندی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان و بخش کوهپایه واقع شده است. دشت سگزی بین طول‌های ۵۸۸۳۹۰ تا ۶۰۶۵۷۱ متر و عرض‌های ۳۶۰۰۹۳۳ تا ۳۶۳۳۳۵۳ متر قرار دارد (شکل ۱). مساحت این محدوده، حدود ۳۹۴/۶ کیلومتر مربع و محیط آن در حدود ۸۶/۶ کیلومتر می‌باشد. شهر سگزی در فاصله ۳۵ کیلومتری شرق اصفهان و در کنار جاده ترانزیتی اصفهان– نائین و در حاشیه کویر مرکزی (کویر لوت) و در بین خطوط ریلی سراسری قرار گرفته است. به لحاظ وضعیت منابع آب در این منطقه ۴۳۸ چاه، ۴ چشمه و ۳ رشته قنات وجود دارد که بیشترین مصارف آن‌ها در بخش کشاورزی و سپس شرب منطقه است (نگارندگان).



شکل ۱- موقعیت دشت سگزی در ایران و استان اصفهان

Figure 1: Location of Segsi Plain in Isfahan and Iran

پارامترهای مورد بررسی جهت تهیه نقشه کیفیت منابع آب منطقه عبارتند از:

سختی آب (TH): یکی از شاخص‌های مهم کیفیت آب می‌باشد که بر مبنای کربنات کلسیم بیان می‌شود. در مناطق گچی، سختی آب‌های زیرزمینی از ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تجاوز می‌کند (۲۶).

pH: این شاخص اسیدی و قلیایی بودن آب را نشان می‌دهد. میزان آن هر چه به حد متوسط بین اعداد (۱-۱۴) برسد، مناسب‌تر است (۲۶).

غلظت املاح محلول (TDS): این پارامتر عامل مهمی در کیفیت آب بوده و اثر زیادی در جابجایی و تبدیل شیمیایی و یونیزه شدن مواد دارد. همچنین نقش زیادی در تعیین جوامع آبزی جانوری و گیاهی داشته و بسیاری از گیاهان و جانوران آبزی به آب‌های شیرین و یا شور عادت دارند. هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، نشان از شوری بیشتر آب است (۲۶).

هدایت الکتریکی (EC): برای تعیین غلظت یون‌های محلول در آب از هدایت الکتریکی استفاده می‌شود. هر چه میزان شور بیشتر باشد، میزان هدایت الکتریکی نیز بیشتر می‌شود (۲۶).

سدیم (Na):میزان این پارامتر به طور مستقیم بر روی نسبت جذب سدیم و درصد سدیم محلول برای کشاورزی تأثیر دارد که هر چه مقدار آن بیشتر باشد میزان آن‌ها نیز بیشتر می‌شود (۲۶).

منیزیم (Mg): میزان این پارامتر نیز به طور مستقیم بر روی سختی آب تأثیر می‌گذارد. هر چه میزان منیزیم در آب بیشتر شود، میزان سختی نیز افزایش می‌یابد (۲۶).

کلسیم (Ca): میزان این پارامتر نیز به طور مستقیم بر روی سختی آب تأثیر می‌گذارد. هر چه میزان کلسیم در آب بیشتر شود، میزان سختی نیز افزایش می‌یابد (۲۶)..

بی کربنات (Hco_3): از پارامترهای موثر بر روی کیفیت آب می‌باشد که بر روی میزان TDS تأثیرگذار است (۲۷).

سولفات (So_4): از آنیون‌های موثر بر روی کیفیت آب می‌باشد. به صورت غیر مستقیم بر روی پارامترهای دیگر تأثیر می‌گذارد (۲۷).

جمع آوری داده های زمینی

جهت بررسی تغییرات مکانی pH, TDS, EC, Hco_3, Ca, Mg, TH, Na و So_4 از ۴۴۵ نقطه از سطح حوزه که نماینده منطقه مورد مطالعه بودند، نمونه‌برداری انجام شد. این نمونه‌ها در آخر فصل برداشت کشاورزی و در شهریورماه (پایان فصل برداشت جهت نشان دادن اثرات کشاورزی بر روی کیفیت آب شرب) سال ۱۳۹۳ توسط شرکت آب منطقه‌ای اصفهان تهیه گردید. مختصات کلیه نقاط با استفاده از دستگاه GPS ثبت گردید (توسط شرکت آب منطقه‌ای). سپس جهت اندازه‌گیری پارامترها، نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند و مورد تجزیه قرار گرفتند و پارامترهای مذکور اندازه‌گیری گردید.

بررسی پارامترهای آماری و نرمال بودن داده‌ها

قبل از تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری پارامترهای آماری داده-های مورد استفاده مانند میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، چولگی، واریانس و نرمال بودن (اگر نرمال نباشد امکان پهنه‌بندی وجود ندارد) مورد بررسی قرار گرفت. در صورت نرمال نبودن داده لازم است نسبت به نرمال سازی آن از روش‌های معمول از جمله تبدیل لگاریتمی (بهترین روش نرمال‌سازی (۲۸)) اقدام شود.

بررسی تغییرات مکانی داده‌ها

در این تحقیق برای تهیه نقشه و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب منطقه از زمین آمار استفاده شد. جهت تعیین میزان ارتباط مکانی یک متغیر تصادفی در زمین آمار از واریوگرام استفاده می‌شود. در این تحقیق برای تعیین مقادیر واریوگرام از نرم‌افزار $GS^+5.1$ (با توجه به اینکه این نرم‌افزار مخصوص ترسیم واریوگرام است و اشکال ترسیمی آن بهتر از ترسیم GIS می-باشد) استفاده شد. واریوگرام کمیتی برداری است که میزان ارتباط مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و در نظر گرفتن فاصله و جهت آن‌ها نشان می‌دهد. یک واریوگرام، با استفاده از مقادیر معلوم، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند. فرم محاسباتی یک واریوگرام به صورت فرمول (۱) است:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}(Z(x_i+h)-Z(x_i))^2 \qquad (۱)$$

که در آن: $\gamma(h)$: مقدار واریوگرام در فاصله (h)، $Z(x_i+h)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i+h)، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x_i، n: تعداد اندازه‌گیری‌های انجام شده در محدوده مورد مطالعه است (۱۷).

روش‌های مختلف درون‌یابی

در این تحقیق روش‌های مختلف درون‌یابی با هم مقایسه می‌گردند تا بر اساس بهترین روش نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی تهیه شود.

روش عکس فاصله (IDW): در این روش مقدار فاکتور وزنی (λ_i) با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i=\frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^{n}D_i^{-a}} \qquad (۲)$$

که در آن، D_i= فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه i؛ a: تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشد.

روش تخمین‌گر موضعی (GPI): این روش یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها ایجاد و یک سطح تفهیمی ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه-برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند ضلعی با توان یک، دو و یا چهار باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است.

روش تخمین‌گر عام (LPI): این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد و با فواصل همسایگی در پنجره مشترک حساس است. بدین گونه که پنجره حرکت کرده و مقادیر سطحی در مرکز هر پنجره در هر نقطه به وسیله برازش یک چند ضلعی تخمین زده می‌شود. این روش انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به روش تخمین‌گر موضعی دارد.

روش توابع شعاعی (RBF): تابع شعاعی تابعی به صورت $\Phi j(X)=\Phi(X-Xj)$ می‌باشد که وابسته به فاصله بین $x=Rd$ و نقطه ثابت $Xj \varepsilon Rd$ است. در این تابع Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\Omega \varepsilon Rd$ می‌باشد. R نشان‌دهنده فاصله اقلیدوسی بین هر جفت نقطه در مجموعه Ω می‌باشد. این روش از توابع کرنال برای پهنه‌بندی استفاده می‌کند.

روش کریجینگ: کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است (۴).

در صورتی که $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x_i، Z_0 مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه X_0 از ترکیب خطی (۳) است:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (۳)$$

که در آن λ: وزن داده شده به متغیر x در نقطه i، n: تعداد نقاطی که متغیر در آن‌ها اندازه‌گیری شده است. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند. زیرا ترکیب خطی از n داده است. شرط استفاده از این تخمین‌گر نرمال بودن متغیر است (۲۹).

ارزیابی دقت

جهت ارزیابی روش‌های زمین آماری و انتخاب بهترین روش از نرم‌افزار ARCGIS که توانایی انجام تکنیک ارزیابی متقابل و معیار آماری ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) را دارد، استفاده شد که معادله محاسبه آن به صورت (۴) است:

$$RMSE = \sqrt{[\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)\right)^2]/n} \qquad (۴)$$

که در آن $Z(x_i)$: مقدار برآورد شده در نقطه x_i، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه x_i، i: شماره نقاط، n: تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشد.

برخی از محققان RMSE را به عنوان پارامتر مهمی جهت نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS و RS می‌دانند (۳۰). در این روش در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌گردد. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌گردد و در پایان به ازای هر نقطه مشاهده‌ای یک نقطه برآورد وجود خواهد داشت.

نتایج

استفاده از روش‌های زمین آماری مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها است که این امر توسط آنالیز واریوگرام بررسی می‌شود. شرط استفاده از این آنالیز نرمال بودن داده‌ها است. مقادیر سمی واریوگرام نشان دهنده اختلاف مقادیر بین زوج نقاط در فواصل مختلف (دور تا نزدیک) هستند. با توجه به نتایج و منحنی‌های واریوگرام، مکانی بودن تغییرات اثبات شد که در غیر این صورت پهنه‌بندی منطقی نیست. یعنی با افزایش فاصله نقاط اختلاف داده‌ها افزایش و در شعاع تأثیر مشخصی واریانس داده‌ها ثابت شده است. از دیگر تحلیل‌های ممکن از مقادیر سمی واریوگرام، تعیین موقعیت پارامتر و توزیع نقاط زوج با فاصله کم و تغییرات بالا و توزیع نقاط زوج با فاصله زیاد و تغییرات بالا می‌باشد. پارامترهای EC, Ca, Mg, TDS و TH با توجه به هیستوگرام داده‌ها نرمال نبودند و دارای چولگی بودند که با گرفتن لگاریتم از داده‌ها نرمال شدند. بقیه پارامترها نرمال بودند. برخی از خصوصیات آماری راجع به جامعه آماری در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز آماری پارامترهای مورد بررسی

Table 1. Results of statistical analysis for investigated parameters

متغیر مورد بررسی	تعداد نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	میانه
pH	۴۴۵	۷/۶	۸/۹	۴/۹	۳/۵۸	-۰/۶	۱/۴۳	۷/۳
TDS(mg/l)	۴۴۵	۷۳۵/۶۴	۵۶۳۴	۲۶۰۴/۸۸	۴۲/۶۵	۰/۸۵	۴/۴۷	۲۹۰۰
Hco_3(mg/l)	۴۴۵	۱/۴۳	۶/۱۵	۳/۲	۰/۱۱	۰/۱۵	۱/۱۲	۳/۲
Ca(mg/l)	۴۴۵	۵/۶۵	۲۶	۱۴/۵۴	۱/۵۸	-۰/۳۷	۱/۱۷	۱۲
Mg(mg/l)	۴۴۵	۲/۴	۲۲	۱۴/۲۳	۲/۱۱	۰/۳۱	۱/۹۲	۱۲
TH(mg/l)	۴۴۵	۵۰	۱۹۱۰	۹۸۷	۵۶/۷۱	۰/۲۴	۲/۵۷	۹۲۷
Na(mg/l)	۴۴۵	۴/۷	۴۶	۲۳/۳	۰/۹	۰/۴۲	۱/۷۲	۲۲
So_4(mg/l)	۴۴۵	۸/۶۷	۱۷	۸/۸۶	۰/۸۵	-۱/۰۲	۱/۳۲	۸
EC(µmhos/cm)	۴۴۵	۱۴۷۷	۸۰۲۳	۴۱۰۰	۳۲/۴۵	۰/۲۵	۴/۳۳	۳۹۹۴

همچنین نتایج حاصل از برازش مدل واریوگرام نشان می‌دهد که بهترین مدل برازش داده شده به پارامتر کیفی TDS مدل کروی و برای pH, Ca, Na, Hco_3 و So_4 مدل نمایی و برای TH, Mg و EC مدل گوسی می‌باشد. به منظور تعیین بهترین مدل واریوگرام به ساختار فضایی داده‌ها از رفتار واریوگرام در نزدیکی مبدأ مختصات، مجموع مربعات باقیمانده، نسبت مؤلفه ساختاری به کل واریانس مدل استفاده گردید که پارامترهای مربوط به آن‌ها در جدول۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- مشخصات مدل واریوگرام برای پارامترهای کیفی

Table 2. Variogram model's characteristics for quality parameters

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (متر)	$C/(C_0+C)$	R^2	RSS
pH	نمایی	۰/۰۰۰۹۱	۰/۰۰۱	۵۱۱۰۰	۰/۵۰۳	۰/۸۴	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸
TDS(mg/l)	کروی	۱۰۲۱	۲۰۴۳	۴۶۴۴۰	۰/۵	۰/۹۲۶	۱۷۷۲۷۷
Hco_3(mg/l)	نمایی	۰/۰۳۴	۰/۰۳۶۵	۱۸۴۹۲	۰/۰۶۹	۰/۸۱	۰/۰۰۰۱۲
Ca(mg/l)	نمایی	۱۲۳/۳	۲۴۶/۷	۶۸۹۴۰	۰/۵	۰/۶۴۵	۱۷۷۲
Mg(mg/l)	گوسی	۱۳۰/۰۱۱	۱۳۰/۱۶۳	۱۸۴۹۲	۰/۰۰۱	۰/۸	۱۴۴۰
TH(mg/l)	گوسی	۱۸/۱۷	۳۶۳۵	۲۱۸۹۰	۰/۵	۰/۷۸۲	۳۶۱۰۶۱
Na(mg/l)	نمایی	۰/۲۱۸	۰/۴۳۷	۵۳۳۰۰	۰/۵۰۱	۰/۷۶	۰/۰۱۹
So_4(mg/l)	نمایی	۱/۳۰۸	۱/۳۸۶	۱۸۴۹۲	۰/۰۵۶	۰/۸۷	۰/۳
EC(mmhos/cm)	گوسی	۱۰۸۴	۳۰۱۱	۶۶۴۴۰	۰/۶	۰/۹۴۵	۱۸۸۳۷۷

مناسب‌ترین روش درون یابی

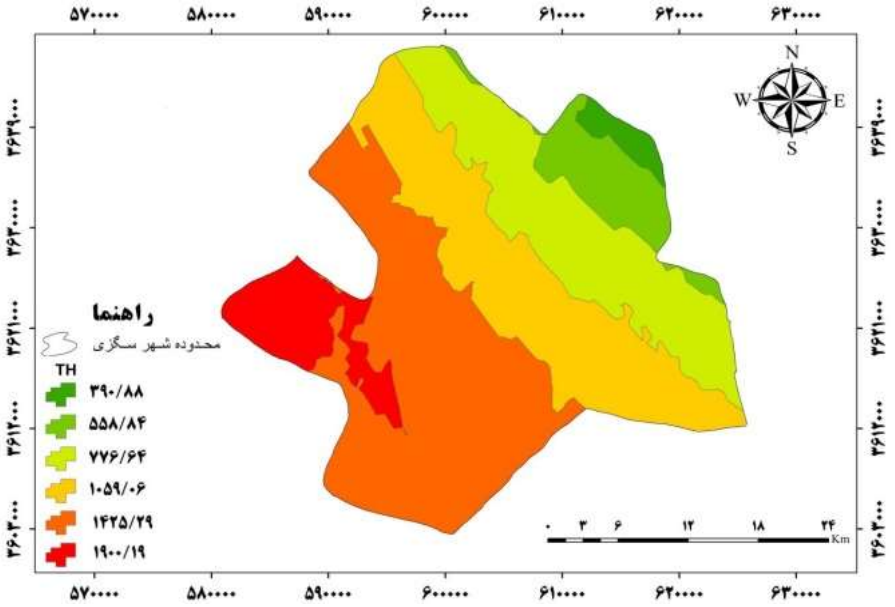
برای تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی از میان روش‌های مورد استفاده از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج نشان داد (جدول ۳) که تمام پارامترها با استفاده از روش کریجینگ معمولی کمترین مقدار RMSE را داشته و جهت تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی از این روش استفاده شد. نقشه پهنه‌بندی پارامترها در اشکال ۲ الی ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر RMSE پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از روش‌های زمین آماری

Table 3. RMSE values of the studied parameters using geostatistical methods

متغیرها	IDW	GPI	LPI	RBF	Kriging	روش تخمین انتخابی با توجه به RMSE کمتر	مدل انتخابی
pH	۰/۱۸۸	۰/۲۶۵	۰/۱۶۹	۰/۲۴۵	۰/۱۶۸	Kriging	Exponential
TDS(mg/l)	۲۳۰۵	۲۳۳۴	۲۲۷۰	۲۲۸۵	۲۲۵۰	Kriging	Circular
Hco_3(mg/l)	۲/۳۲	۲/۳۴	۳/۲۳	۲/۴۵	۱/۲۱	Kriging	Exponential
Ca(mg/l)	۱۰/۸۸	۱۱/۴۲	۱۰/۴۵	۱۱/۷۵	۹/۱۵	Kriging	Exponential
Mg(mg/l)	۱۰/۰۳	۱۰/۷۱	۹/۹	۹/۷۷	۹/۶۹	Kriging	Gaussian
TH(mg/l)	۹۱۴	۸۸۱	۸۸۶	۹۰۱	۸۷۶	Kriging	Gaussian
Na(mg/l)	۲۲/۵۵	۲۰/۸۳	۲۳/۰۵	۲۱/۷۸	۱۷/۹۸	Kriging	Exponential
So_4(mg/l)	۱۱/۶۴	۱۲/۵۹	۱۱/۶۸	۱۰/۰۳	۹/۸۹	Kriging	Exponential
EC(mmhos/cm)	۳۳۳۱	۳۳۵۴	۳۳۴۰	۳۴۱۲	۳۳۲۴	Kriging	Gaussian

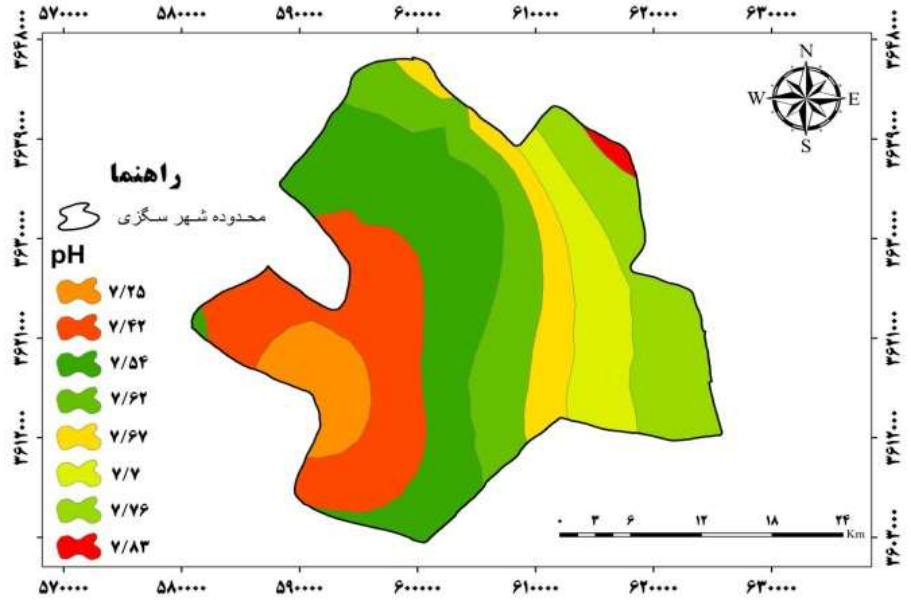
شکل ۲ پهنه‌بندی پارامتر سختی آب (TH) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل سختی آب از شمال شرقی به سمت جنوب غربی و غرب منطقه بیشتر می‌شود. این روند ثابت را می‌توان به زمین‌شناسی و نوع سازنده نسبت داد.



شکل ۲- پهنه‌بندی سختی (mg/l) آب در دشت سگزی

Figure 2. water hardness zoning in Segsi plain

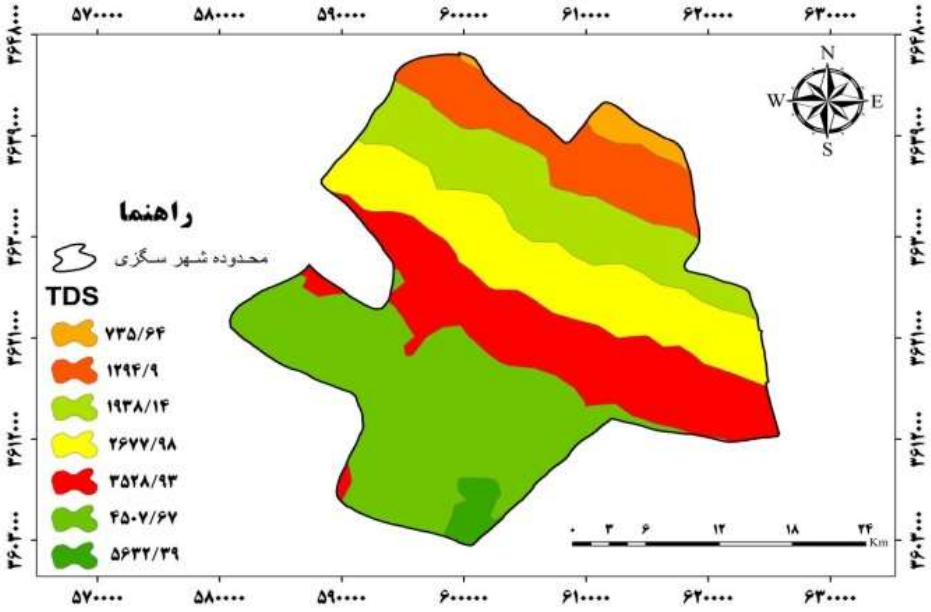
شکل ۳ پهنه‌بندی pH را نشان می‌دهد. با توجه به شکل بر عکس پارامتر قبلی روند تغییرات از جنوب غربی به سمت شمال شرقی در حال افزایش است. با توجه به دامنه تغییرات pH می‌توان بیان کرد منابع آب منطقه در حالت خنثی نسبت به قلیائی و اسیدی بودن قرار دارند.



شکل ۳- پهنه‌بندی pH در دشت سگزی

Figure 3. pH zoning in Segsi plain

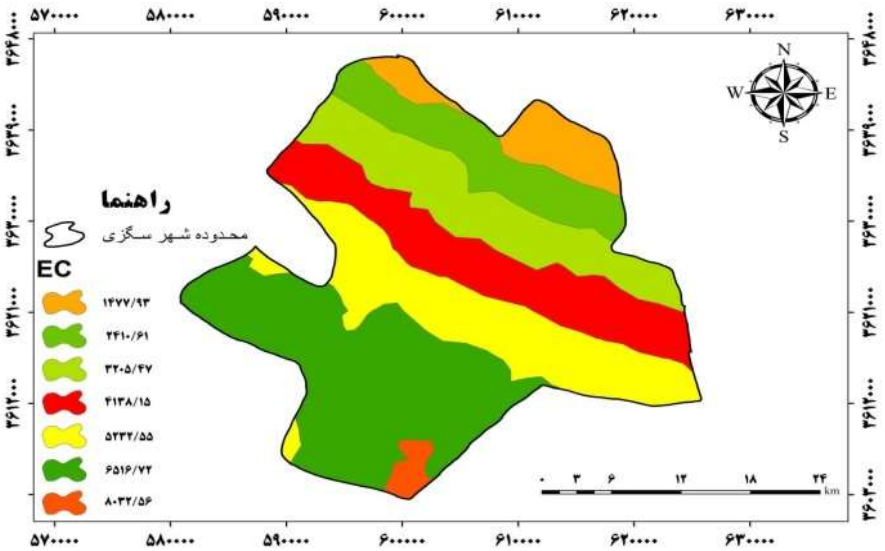
شکل ۴ پهنه‌بندی TDS را نشان می‌دهد. با توجه به شکل روند تغییرات از شمال شرقی منطقه به سمت جنوب غربی منطقه در حال افزایش است. پهنه‌بندی این پارامتر نشان می‌دهد که آب‌های منطقه جزء آب‌های نسبتاً شور و شوری متوسط هستند.



شکل ۴- پهنه‌بندی TDS (mg/l) در دشت سگزی

Figure 4. TDS Zoning in Segsi plain

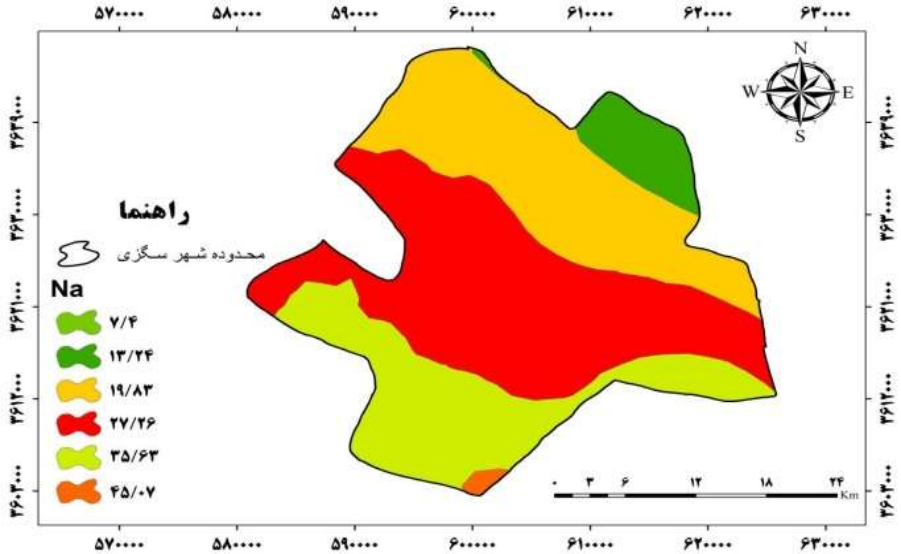
شکل ۵ پهنه‌بندی هدایت الکتریکی (EC) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل روند تغییرات از شمال شرقی منطقه به سمت جنوب غربی منطقه در حال افزایش است. تغییرات زیاد این پارامتر در یک منطقه با این وسعت تنوع بالای سازندهای زمین‌شناسی را در منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۵- پهنه‌بندی EC (mhos/cm) در دشت سگزی

Figure 5. EC (mhos/cm) zoning in Segsi plain

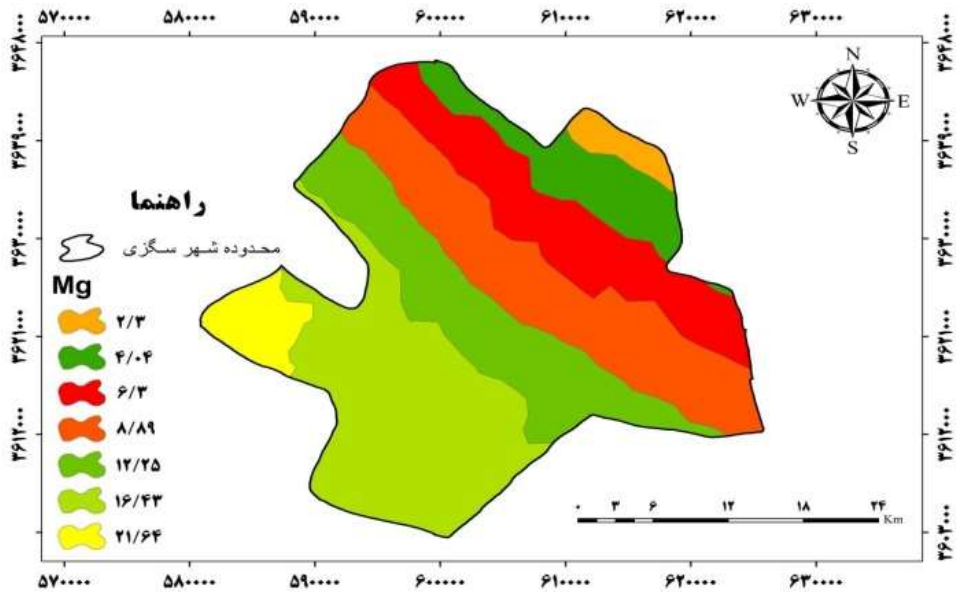
شکل ۶ پهنه‌بندی میزان Na را نشان می‌دهد. با توجه به شکل روند تغییرات منظم از شمال شرقی به سمت جنوب غربی می‌باشد.



شکل ۶-پهنه‌بندی سدیم (mg/l) در دشت سگزی

Figure 6. Na Zoning in Segsi plain

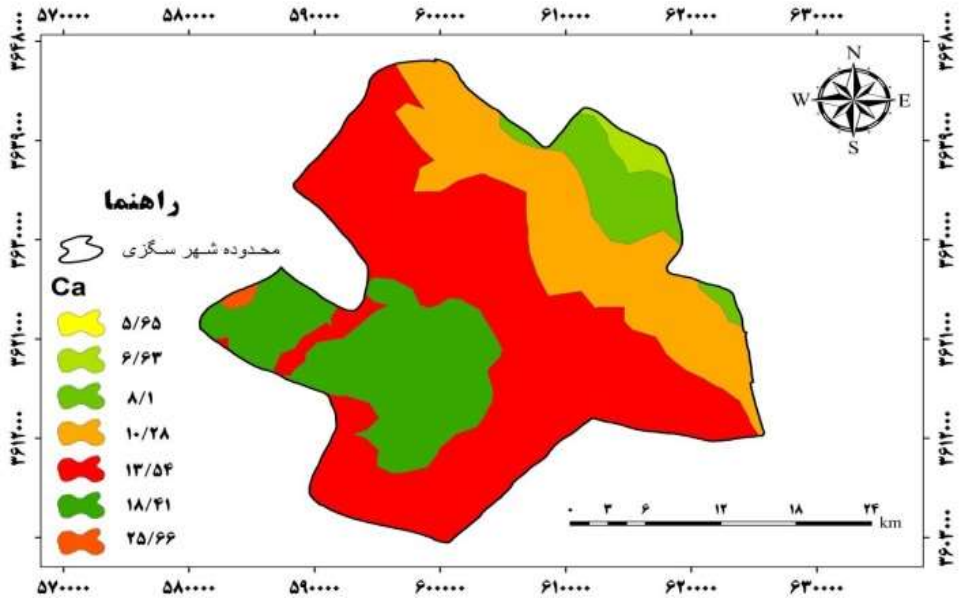
شکل ۷ پهنه‌بندی میزان Mg در آب زیرزمینی منطقه را نشان می‌دهد. از سمت شمال شرقی به سمت جنوب و جنوب غربی به میزان منیزیم افزوده شده است. نقشه پهنه‌بندی سختی آب این مطلب را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۷- پهنه‌بندی میزان منیزیم (mg/l) در دشت سگزی

Figure 7. Mg content zoning in Segsi plain

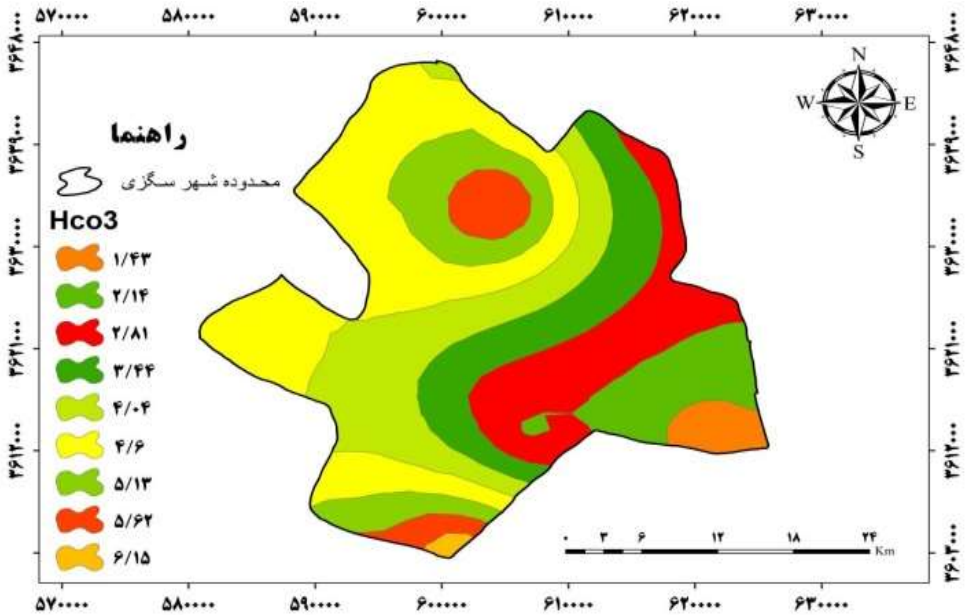
شکل ۸ پهنه‌بندی میزان Ca در دشت سگزی را نشان می‌دهد. از سمت شمال شرقی به سمت جنوب و جنوب غربی به میزان کلسیم افزوده شده است. نقشه پهنه‌بندی سختی آب این مطلب را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۸- پهنه‌بندی میزان کلسیم (mg/l) در دشت سگزی

Figure 8. Ca content zoning in Segsi plain

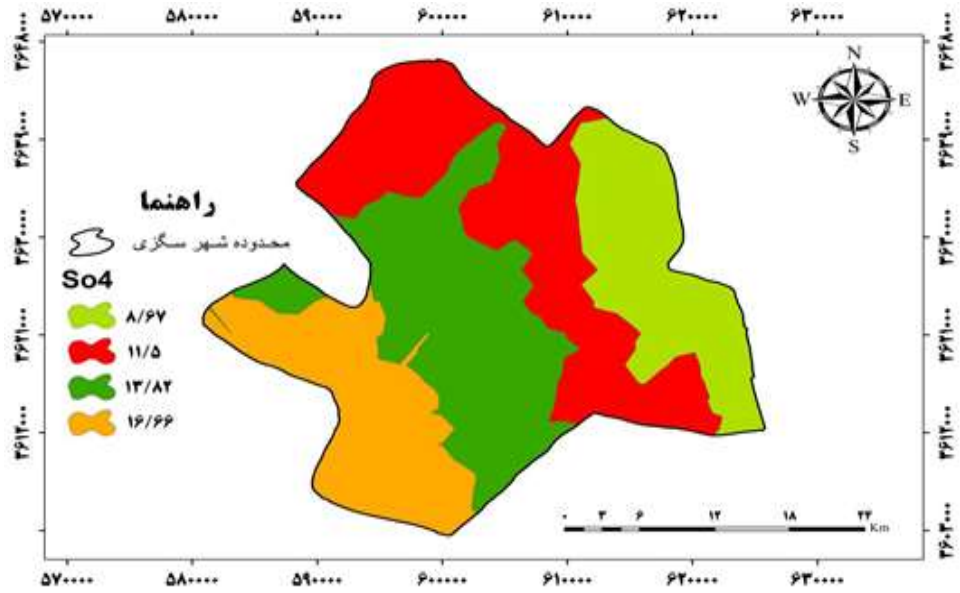
شکل ۹ پهنه‌بندی میزان Hco_3 را نشان می‌دهد. به طور کلی روند مشخصی را نشان نمی‌دهد. روند محسوسی از جنوب شرقی به سمت شمال غربی را نشان می‌دهد.



شکل ۹-پهنه‌بندی میزان بی‌کربنات (mg/l) در دشت سگزی

Figure 9. (H_2Co_3) content zoning in Segsi plain

شکل ۱۰ پهنه‌بندی میزان So_4 را در منطقه نشان می‌دهد. روند تغییرات از شمال شرقی به سمت جنوب غربی در حال افزایش می‌باشد.



شکل ۱۰- پهنه‌بندی میزان سولفات (mg/l) در دشت سگزی

Figure 10. (So_4^{-2}) content Zoning in Segsi plain

با توجه به اشکال ۲ الی ۱۰ و روند تغییرات تدریجی و منظم پارامترها می‌توان نتیجه گرفت که این روند مربوط به جنس سازندهای دشت سگزی است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که پارامتر TDS در طبقه آب‌های نسبتاً شور و شوری متوسط قرار دارد و فقط یک سوم منطقه در شمال شرقی در دامنه قابل قبول (۲۰۰۰-۵۰۰) قرار گرفته است که برای شرب محدودیت ایجاد می‌کند و برای پالایش آن بایستی از گیاهان شورپسند استفاده شود. پهنه‌بندی TH آب نشان می‌دهد که آب منطقه به شدت دارای سختی بالایی است (به جز یک سوم منطقه در شمال شرقی) که نشان می‌دهد سازندهای گچی (۲۶) در منطقه خیلی بالا است. پارامتر EC به لحاظ شرب محدودیت شدیدی ایجاد کرده است، چرا که مقادیر این پارامتر در منطقه بسیار بالا می‌باشد. مساحت بسیار جزئی در شمال شرقی منطقه نزدیک به محدوده مجاز (۱۵۰-۵۰) می‌باشد. پارامتر pH در محدوده خنثی قرار دارد که برای هر نوع مصرفی (صنعتی، شرب، کشاورزی) محدودیت ایجاد نمی‌کند. پارامترهای Ca و Na نیز در محدوده مجاز قرار دارند و برای شرب مناسب ارزیابی شدند. این دو پارامتر باعث افزایش نفوذ آب در داخل خاک (مقادیر زیاد باعث افزایش سختی) می‌شوند. پارامترهای سولفات، بی‌کربنات و منیزیم برای شرب محدودیتی ایجاد نکرده‌اند. دلیل بالا و پایین بودن مقادیر برخی پارامترها در منطقه مورد مطالعه شدت و ضعف کشاورزی و همچنین برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. البته نقش سازندهای زمین‌شناسی نیز نباید فراموش شود.

دشت سگزی به لحاظ گستردگی و شدت فرآیند بیابان‌زایی یکی از مناطق بحرانی استان اصفهان محسوب می‌شود. این منطقه به دلیل وجود (عمدتاً جنوب غربی دشت) مراکز صنعتی، پایگاه هوایی شهید بابایی، فرودگاه بین‌المللی شهید بهشتی، خطوط راه آهن، جاده ترانزیت اصفهان – بندر عباس، مراکز کشاورزی، نزدیکی به شهر تاریخی اصفهان از موقعیت استراتژیکی خاصی برخوردار می‌باشد، در نتیجه شناخت توان و قابلیت‌ها و همچنین محدودیت‌های موجود در محدوده مورد مطالعه که بخشی از شهر سگزی است بسیار حائز اهمیت می‌باشد. عمده فعالیت ساکنین شهر سگزی کشاورزی و دامداری می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان چنین بیان داشت بخش‌هایی از محدوده دشت سگزی به لحاظ بعضی از پارامترهای کیفی شرایط مناسبی جهت مصرف شرب ندارند که با نتایج دلبری و همکاران (۱۰)، چاودری و همکاران (۱۱) جمشیدزاده و میرباقری (۱۲)، ماکساپا و ساتاپانجارو (۱۳)، زمزم و راهنما (۱۵) و احمدی‌پور و همکاران (۲۰) هم‌خوانی دارد. در این مطالعات کیفیت نامناسب آب به فعالیت‌های کشاورزی و مراکز صنعتی نسبت داده شده است. ولی با مطالعه افضلی و شاهدی (۱۸) مطابقت ندارد چرا که در مطالعه مذکور بهبود کیفیت آب به دلیل فعالیت‌های کنترلی کشاورزی محقق شده بود. به طور کلی کیفیت آب در سمت شمال شرقی منطقه به دلیل شیب بالاتر نسبت به جنوب غربی و همچنین تمرکز بیشتر فعالیت‌ها در جنوب غربی، بهتر است و پیشنهاد می‌شود جهت استفاده از آب برای شرب از مناطق شمال شرقی برداشت و به شهر انتقال داده شود.

نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات دلبری و همکاران (۱۰)، ماکساپا و ساتاپانجارو (۱۳)، اویان و کی (۱)، فتانی و همکاران (۲)، هفشجانی و همکاران (۱۹)، احمدی‌پور و همکاران (۲۰)، شعبانی (۲۱)، اوسطی و سلاجقه (۲۲) و نجاتی جهرمی و همکاران (۲۳) که روش کریجینگ و مدل کروی را برای پهنه-بندی کیفیت آب زیرزمینی پیشنهاد دادند مطابقت دارد. ولی مطالعات خلقی و همکاران (۱۴) مدل ANFIS را نسبت به کریجینگ ارجحیت دادند و در برخی از مطالعات دیگر مثل لی و همکاران (۴)، معروفی و همکاران (۲۴) و چیت‌سازان و همکاران (۲۵) مدل IDW را برای پهنه‌بندی پیشنهاد دادند. عسکری و همکاران (۳) نیز از مدل RBF نتایج بهتری به دست آوردند. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش‌های زمین آماری با توجه به مطالعات قبلی و این

مطالعه توانایی قابل ملاحظه‌ای در تحلیل مکانی خصوصیات آب زیرزمینی و پهنه‌بندی کیفیت آن دارند و پیشنهاد می‌شود که در انجام امور مربوط به آب زیرزمینی (پهنه‌بندی، بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی و ...) از روش‌های درون‌یابی به خصوص زمین‌آمار استفاده شود. نتایج تحقیق مذکور اثرات کشاورزی و دخالت بشر در کیفیت آب زیرزمینی را به خوبی نشان داده است. لذا جهت مدیریت، برنامه‌ریزی و استفاده از منابع آب زیرزمینی در آینده با توجه به افزایش جمعیت و افزایش نیاز غذایی لازم است که اقدامات مهمی در منطقه صورت بگیرد تا بتوان از این طریق کیفیت آب را کنترل کرد و از آلوده شدن بیشتر آن جلوگیری کرد. از نتایج تحقیق در راستای اهداف بالا می‌توان بهره برد.

Reference

1. Uyan, M., Cay, T., 2010. Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. 3rd International Conference on Cartography and GIS, 12-20 June, Nessebar, Bulgaria.
2. Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M., Bendra, B., 2008. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). Journal of Agricultural Water Management, Vol .95, pp.133-142.
3. Askari, M., Mosaedi, A., Dehghani, A. A., Halghi M.M., 2009. Application of Geostatistics and GIS analysis, in study of groundwater quality spatial variability, Case study: Qazvin aquifer, Iran. International Conference on Water Resources, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. (In Persian)
4. Akbari, M., Jorge, M., Madani Sadat, H., 2009. Investigation of dropping (decreasing) of groundwater tables using GIS (case study: Mashhad plain aquifer). Water and Soil Conservation, Vol. 16(4), pp. 63-78. (In Persian)
5. Duning, X., LI, X.Y., Song, D., Yang, G., 2007. Temporal and spatial dynamical simulation of groundwater characteristics in Minqin Oasis. Science China Series D-Earth Sciences, Vol. 50(2), pp. 261-273.
6. Kathy, P., 2005. Water recreation and disease plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality. World Health Organization.
7. Abdolghaderi, N., Hojjat, A., Ale sheikh, A., 2008. Modeling of groundwater contaminations using geostatistical analysis (case study: Shiraz Town). 11th symposium of Iran Geological Society, Tehran. (In Persian)
8. Chandrasekharana, H., Sarangia, A., Nagarajanb, M., Singha, V.P., Natarajanc, K., Anbazhagan, S., 2009. Variability of soil–water quality due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district. Tamilnadu Journal of Environmental Management, Vol. 89, pp. 63–72.
9. Ahmadi, S.H., Sedghamiz, A., 2008. Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping. Environment Model Assessment, Vol. 138, pp. 357–368.
10. Delbari, M., Bahraini, Motlagh, M., Amiri, M., 2013, Spatiotemporal variability of groundwater depth in the Eghlid aquifer in southern Iran. Earth Science Researches, Vol. 17(2), pp. 105-114. (In Persian)
11. Chowdhury, M.T.A., Meharg, A.A., Deacon, C., Hossain, M., and Norton, G.J., 2012. Hydrogeochemistry and Arsenic contamination of groundwater

in Haor Basins of Bangladesh. Journal of Water Quality Exposure and Health, Vol. 4(2), pp. 67-78.

12. Jamshidzadeh, Z., Mirbagheri, S.A., 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. Desalination, Vol. 270, pp. 23-30.
13. Makkasap, T., Satapanajaru, T., 2010. Spatial distribution of Cd, Zn and Hg in Groundwater at Rayong Province, Thailand. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 72, pp. 1-4.
14. Kholghi, M. Hosseini, S.M. 2009. Comparison of groundwater level estimation using neuron fuzzy and ordinary kriging. Journal of Environment Model Assessment, Vol. 14, pp. 729-737.
15. Zamzam, A., Rahnama, M.B., 2009. Assessment of chemical quality of ground waters using Wilcox and shuller diagrams. First International Conference of Water Resources Management. (In Persian)
16. Lee, S.M., Min, K.D., Woo, N.C., Kim, Y.j., Ahn, C.H., 2003. Statistical models for the assessment of Nitrate contamination in urban groundwater using GIS. Journal Environment Geology, Vol. 44, pp. 210-221.
17. Khasheie Siyuki, A., Sarbazi, M., 2015. Study of spatial distribution of groundwater quality using LS-SVM, MLP, and geostatistical models. Journal of Water and Wastewater, Vol. 26(3), pp. 93-103. (In Persian)
18. Afzali, A., Shahedi, K., 2014. Investigation on trend of groundwater quantity-quality variation in Amol-Babol plain. Journal of Watershed Management Research, Vol. 5(10), pp. 144-156. (In Persian)
19. Fathi E., Beigi, H., Davoudian, A.R., Tabatabaei, S.H., 2014. Comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping of nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer. Irrigation & Water Engineering, Vol. 4(15), pp. 51-63. (In Persian)
20. Ahmadpour, H., Khaledian, M.R., Ashrafzadeh, A., Rezaee, M., 2015. Spatial and temporal zoning of groundwater electrical conductivity and total dissolved solids in Guilan plain. Water Research in Agriculture, Vol. 28(3), pp. 667-676. (In Persian)
21. Shabani, M., 2011. Assessment of geostatistical methods for both groundwater quality mapping and zoning, Case study: Neiriz plain, Fars Province. Journal of Natural Geography, Vol. 4(13), pp. 83-96. (In Persian)
22. Ovsati, K., Salajeghe, A., 2009. Investigation of Nitrate spatial variations in groundwater using GIS. The 6th National Conference on Watershed Management of Iran, Noor, Iran. (In Persian)
23. Nejati Jahromi, Z., Chitsazan, M., Mirzaee, S.Y., 2011. Investigation of Nitrate geostatistical distribution in Agheli plain's aquifer in GIS. The 16th National Conference on Geomatics, Tehran, Iran. (In Persian)
24. Marofi, S., Toranjeyan, A., Zare Abyaneh, H., 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain. Journal of Water and Soil

Conservation, Vol. 16(2), pp.169-186. (In Persian)

25. Chitsazan, M., Rangzan, K., Derani Nejad, M.S., 2008. Hydrogeochemical zoning of some trace elements (As, Fe, and Mn) at Midavood Aquifer (Khoozestan Province) using GIS. 11th Symposium of Geological Society of Iran, Mashhad, Iran. (In Persian)
26. Mahdavi, M. 2007. Applied Hydrology, Vol. 2. Tehran University press, Tehran, 441p. (In Persian)
27. Alizadeh, A., 2008. Principles of Applied Hydrology, 25th Edition. Ferdowsi University Press, Mashahd, 870p. (In Persian)
28. Christodoulidou, M., Charalambous, C., Aletrari, M., Nicolaidou, Kanari P., Petronda, A., Ward, N.I., 2012. Arsenic concentrations in groundwater of Cyprus. Journal of Hydrology, Vol. 468/469, pp. 94-100.
29. Elyas Azar, K., 2002. Remediation of Saline and Sodic soils (Soil and Water Management). Jahad Daneshgahi Press, Tehran, 300p. (In Persian)
30. Siska, p.p. Kuai Hung, I., 2001. Assessment of kriging accuracy in the GIS environment, the 21st Annual ESRI International User Conference, San Diego.