

بررسی روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کاشان

یعقوب یزدانی مقدم: کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران*

عباسعلی ولی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

رضا قضاوی: استادیار آبخیزداری، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۴/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۲۲، صص ۱۸۴-۱۷۱

چکیده

امروزه خطر ناشی از کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی به عنوان چالشی در پیش روی منابع آب کشور قرار دارد، بنابراین، آب‌های زیرزمینی به عنوان یک ذخیره آبی سالم باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد، با توجه به این مهم ضرورت آگاهی از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی این متغیر در مناطق گوناگون دارای اهمیت بسزایی است و زمین - آمار به عنوان ابزاری مناسب ما را در رسیدن به این امر یاری می‌کند. هدف از انجام این مطالعه بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت کاشان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های زمین آمار است. جهت انجام این مطالعه تغییرات Ca^{+2} ، Na ، HCO_3 ، Ec و Ca^{+2} چاه پیژومتری که دارای آمار کامل و مناسب از سال ۱۳۸۸-۱۳۸۰ بودند استفاده شد و با روش‌های زمین آمار کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، روش عکس فاصله، تابع شعاعی، درون‌یاب موضعی و درون‌یاب عام تغییرات این متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی نرمالیت داده‌ها، واریوگرام ترسیم شد. در این تحقیق از مدل کروی به دلیل استحکام ساختار فضایی قوی جهت برازش واریوگرام بر روی پارامترهای کیفی استفاده شد. نتایج ارزیابی روش‌های زمین آمار که در این تحقیق به کار برده شد نشان داد که از بین روش‌های انتخابی برای ترسیم نقشه‌ی تغییرات HCO_3 ، روش تابع شعاعی به دلیل بالاتر بودن R و کم بودن مقدار $RMSE$ ($R=0/44$ و $RMSE=1/76$) به عنوان بهترین روش شناخته شد. جهت ترسیم نقشه‌ی تغییرات SAR ، روش کریجینگ معمولی (با مقادیر $R=0/75$ و $RMSE=1/96$)، جهت ترسیم نقشه‌ی تغییرات کلسیم، روش کریجینگ معمولی (با مقادیر $R=0/41$ و $RMSE=5/75$) و جهت ترسیم نقشه‌ی تغییرات NA روش درون‌یاب موضعی (با مقادیر $R=0/55$ و $RMSE=8/24$) انتخاب گردیدند. بررسی نقشه‌های بدست آمده نشان می‌دهد که بطور کلی هر چه از سمت غرب به سمت شرق حوضه حرکت می‌کنیم از کیفیت آب زیرزمینی کاسته می‌شود که علت اصلی این امر توسعه نامناسب اراضی کشاورزی و بهره‌برداری بیش از حد آب‌های زیرزمینی است که باعث هجوم آب‌های شور و در نهایت بی کیفیتی آب‌های زیرزمینی در این مناطق می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: زمین آمار، کیفیت آب، کاشان، آب زیرزمینی، کریجینگ

افزایش تقاضای آب جهت مصارف شهری، صنعتی و

مقدمه:

کشاورزی از یک سو و روند روبه ازدیاد آلودگی‌های

حاکمیت اقلیم‌های خشک و نیمه خشک در پهنه

مستقیم و غیر مستقیم منابع آب از سوی دیگر ایجاب

وسیع‌تری از کشور، همراه با افزایش جمعیت و در پی آن

می‌کند که وضعیت و کیفیت این منابع جهت تامین آب برای مصارف مختلف و مدیریت مصارف، مورد مطالعه قرار گیرد (نوشادی و همکاران، ۱۳۸۸). تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم اکنون خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور بویژه 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 (علیزاده، ۱۳۸۶). مدیریت بهینه‌ی منابع آبی و حفظ و ارتقای کیفیت آنها نیازمند وجود اطلاعات در زمینه‌ی موقعیت، مقدار و پراکنش فاکتورهای شیمیایی آب در یک منطقه‌ی جغرافیایی معین می‌باشد. زمین آمار^۱ به عنوان یکی از شاخه‌های آمار عملی امکان بررسی توأم مقدار متغییر و آرایش مکانی و زمانی مشاهدات را در تحلیل داده‌ها فراهم می‌نماید (گووآرت^۲، ۱۹۹۹). با استفاده از تکنیک زمین آمار می‌توان سطحی پیوسته از خصوصیات آماری نقاط معلوم را به وجود آورد (دویچ^۳، ۲۰۰۲). استفاده از علم زمین آمار جهت بررسی منابع آب زیرزمینی در تحقیقات محققین مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌ی تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیر-زمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود. محمدی و همکاران (۱۳۹۰)،

تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین را مورد مطالعه قرار دادند، که نتایج آنها نشان داد RMSE و MBE در روش کوکریجینگ نقطه‌ای کمتر از روش کریجینگ معمولی است و بر همین اساس در این تحقیق نقشه درونیابی پارامترهای کیفیت آب، به روش کوکریجینگ نقطه‌ای و با استفاده از امکانات نرم افزاری زمین آمار در نرم افزار Arc Gis^۴ تهیه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که به طور کلی با افزایش سطح آب مقادیر TDS و EC آب زیرزمینی این دشت روند نزولی دارد، ریزو موسر^۵ (۲۰۰۰)، طی تحقیقی به بررسی آب‌های زیرزمینی و تحلیل آنها با استفاده از زمین آمار پرداختند، نتایج آنها نشان داد که روش کوکریجینگ دارای دقت مناسبی جهت پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیر زمینی می‌باشد. نظری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵)، از روش زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود استفاده کرده و گزارش نمودند که متغیرنماهای هدایت الکتریکی، کلرو سولفات به ترتیب دارای دامنه‌ی تاثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰، ۱۰۲۱۰۰ متر و حد آستانه ۵۳۲/۵۳۳، ۰۵/۰، ۲/۰ درصد بوده و از ساختار کروی پیروی می‌کند. مارنگو^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از روش کریجینگ معمولی به بررسی توزیع آلاینده‌های زیرزمینی پرداخته است و نتایج آن حاکی از دقت خوب این روش در توزیع آلاینده‌های زیر-

1 Geostatistic

2Goovaert

3 Deutsch

4 Rizzo and Mouser

5 Marengo

ترین الگو در تخمین pH و هدایت الکتریکی و شناخته شد. کرسیک^۷ (۱۹۹۷)، روش کریجینگ را به عنوان بهترین و قوی‌ترین ابزار برای درون‌یابی داده‌های کیفی آب زیرزمینی معرفی کرد. جاگر^۸ (۱۹۹۰)، از ابزارهای زمین آمار مثل کریجینگ برای شبیه‌سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد و نتیجه گرفت که کریجینگ از دیگر ابزارهای زمین آماری برای شبیه‌سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی بهتر است. (احمد، ۲۰۰۲)، کاربرد روش کریجینگ را در تخمین وابستگی مکانی متغیرهای کیفیت آب مثل -TDS به کار برد و نتیجه گرفت که کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد. تقی زاده مهجودی و همکاران (۱۳۸۷)، نیز برای پیش بینی پراکنش مکانی برخی ویژگی‌های کیفی نظیر کل املاح محلول، غلظت یون سدیم، غلظت یون کلر، شوری، نسبت جذب سدیم و غلظت یون سولفات در دشت رفسنجان به ارزیابی دقت روش‌های زمین آمار پرداختند. نتایج نشان داد که با استفاده از روش‌های ارزیابی خطا، روش کریجینگ و کوکریجینگ بر روش تابع معکوس فاصله وزن‌دار ارجحیت دارد. فتونی و همکاران (۲۰۰۸)، در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریفا در شمال شرق مراکش از نظر اندازه‌ی نترات آمونیوم و آلودگی‌های باکترولوژیکی از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه‌ی کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده

زمینی است. اگوستینو^۶ و همکاران (۱۹۹۸)، به بررسی مکانی و زمانی نترات در آب‌های زیرزمینی پرداخت، آنها از روش کریجینگ و کوکریجینگ استفاده نمودند و نتایج آنها نشان داد که افزایش عدم قطعیت باعث افزایش میزان واریانس می‌شود و همچنین روش کوکریجینگ باعث عدم قطعیت در تخمین نترات می‌شود و کاهش هزینه نمونه برداری را در پی دارد.

زهتاییان و همکاران (۱۳۸۶)، در مطالعه‌ای با عنوان بررسی و تحلیل مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی در حوضه‌ی آبخیز گرمسار واقع در استان سمنان با استفاده از روش‌های میان‌یابی زمین آمار و معین و با مقایسه RMSE به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین آماری نسبت به روش‌های معین دقتی بالاتر دارند، به گونه‌ای که از بین روش‌های زمین آماری، روش کوکریجینگ و از میان روش‌های معین، روش تابع شعاعی از دقتی بالاتر برای بیشتر عامل‌ها برخوردار بود. معروفی و همکاران (۱۳۸۸)، طی تحقیقی که در دشت همدان انجام دادند، روش‌های زمین آمار را جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج به دست آمده از تحقیق آنها نشان داد که روش‌های چندجمله‌ای موضعی و فاصله معکوس به ترتیب بهترین الگو برای تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های منطقه بودند. همچنین روش توابع پایه شعاعی به عنوان نامناسب-

نمودند. که نتایج آنها نشان دهنده‌ی تغییرات معنی‌دار در مقایسه با مطالعات قبلی بود و بیان نمودند که اگر هیچ نوع برنامه‌ی دراز مدت بازدارنده صورت نگیرد، توسعه‌ی اراضی کشاورزی در این مناطق باعث تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌گردد. شعبانی (۱۳۸۷)، طی تحقیقی که در دشت ارسنجان انجام داد مناسب‌ترین روش زمین آمار را تهیه نقشه تغییرات PH و TDS را تعیین کرد، نتیجه‌ی این تحقیق نشان داد که روش کریجینگ ساده و معمولی نسبت به روش‌های معین برتری داشته و به ترتیب به عنوان روش‌های مناسب جهت تهیه نقشه‌ی تغییرات PH و TDS انتخاب شدند. شعبانی (۱۳۹۰)، در تحقیقی دیگری که در دشت نیریز استان فارس انجام داد، به ارزیابی روش‌های زمین آمار در تهیه نقشه‌های کیفی و پهنه‌بندی آنها از نظر پارامترهای شوری و نترات پرداخت، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روش کریجینگ ساده نسبت به روش تابع شعاعی برتری داشته و به عنوان روش مناسب جهت تهیه نقشه تغییرات شوری و نترات در دشت نیریز انتخاب شد. با توجه به اینکه وجود منابع آبی در شهرستان کاشان به عنوان یک منطقه کم‌آب در کشور از اهمیت زیادی برخوردار است و امروزه بحران آب در این منطقه هم از لحاظ کمی و هم از لحاظ کیفی حکمفرما شده و نگرانی‌ها در مورد منابع آبی سطحی و زیرزمینی در این ناحیه افزایش یافته است، بنابراین باید با اعمال مدیریت و برنامه ریزی‌های مناسب

مشکلات ناشی از این مسئله را به حداقل رساند. در این مطالعه سعی شده است تا با شناخت برخی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی گامی در جهت شناخت و اعمال برنامه‌ریزی‌های اساسی در رابطه با این موضوع برداشت، هدف از انجام این پژوهش پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی از نظر برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در شهرستان کاشان با استفاده از روش‌های زمین آمار می‌باشد. در این تحقیق از روش‌های زمین آمار کریجینگ ساده^۹ (SK)، کریجینگ معمولی^{۱۰} (OK) و روش‌های معین مانند روش عکس فاصله^{۱۱} (IDW)، تابع شعاعی^{۱۲} (RBF)، درون‌یاب موضعی^{۱۳} (LPI) و درون‌یاب عام^{۱۴} (GPI)، استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه:

منطقه‌ی مورد مطالعه یکی از زیر حوضه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه نمک بوده که در شمال استان اصفهان با مساحت تقریبی ۳۳۷۸/۶۹ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱)، این منطقه در محدوده‌ی جغرافیایی "۴۰، ۵۷، ۵۰° تا "۳۷، ۳۸، ۵۱ طول شرقی و "۳۷، ۳۱، ۳۳° تا "۲۲، ۰۸، ۳۴° عرض شمالی می‌باشد.

9 Simple Kriging

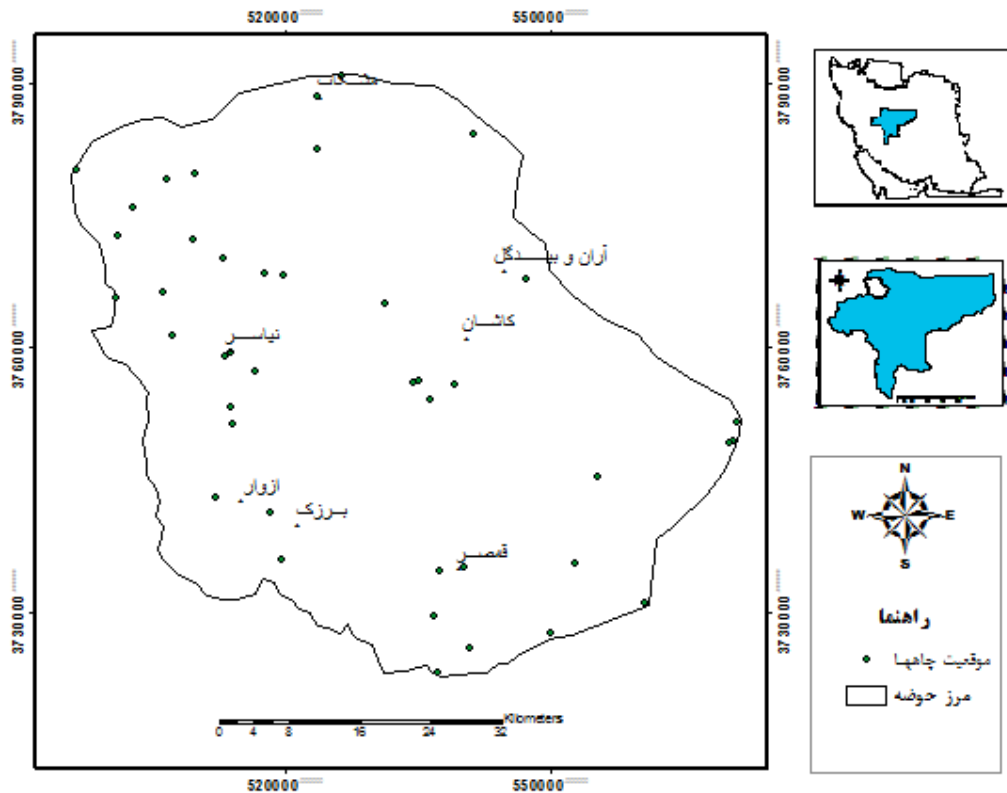
10 Ordinary Kriging

11 Inverse Distance Weights

12 Radial Basis Function

13 Local Polynomial Interpolation

14 Global Polynomial Interpolation



شکل ۱- موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه در کشور و موقعیت چاههای مطالعاتی

مطالعه نشان می‌دهد که در منطقه دشتی از ۴/۶۹ درصد میلیون متر مکعب حجم بارش، حدود ۹۳/۹ درصد صرف تبخیر و تعرق شده و ۶/۱ درصد بارندگی مفید است. با توجه به شرایط دشت از ۲۸/۵ میلیون متر مکعب بارندگی مفید حدود ۵۴ درصد نفوذ کرده و ۴۶ درصد بقیه جریان سطحی دشت را تشکیل می‌دهد. از ۸۳۰/۶ میلیون متر مکعب حجم بارش در ارتفاعات نیز حدود ۷۹/۴ درصد صرف تبخیر و تعرق شده و ۲۰/۶ درصد بقیه برابر با ۱۷۰/۹ میلیون متر مکعب بارندگی مفید است که ۶۰ درصد از این مقدار به لایه‌های عمقی نفوذ کرده و موجب تغذیه آبخوان‌های آبرفتی دشت می‌شود و ۴۰ درصد آن معادل ۶۷/۷ میلیون متر مکعب جریان سطحی و

حداکثر ارتفاع حوضه ۳۵۹۱ متر و حداقل ارتفاع آن ۸۱۷ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. دمای متوسط سالیانه در ارتفاعات و دشت به ترتیب برابر با ۱۴/۴ و ۱۸/۶ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی منطقه در ارتفاعات و دشت به ترتیب برابر با ۲۳۳/۹ و ۱۳۸/۱ میلیمتر بوده و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه کاشان نیز در منطقه دشتی و کوهستان به ترتیب برابر با ۲۶۲۳ و ۲۲۳۹ میلیمتر برآورد شده است (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۹). اقلیم منطقه براساس روش دومارتن، در مناطق دشتی جزء اقلیم خشک یا بیابانی و در مناطق کوهستانی جزء اقلیم نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود. نتایج حاصل از مطالعات منابع آبی در حوضه‌ی مورد

آبدهی چشمه‌ها را تامین می‌نماید (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۹).

- جمع آوری آمار و تجزیه و تحلیل آنها:

در این مطالعه با توجه به اهداف پژوهش ۴۲ حلقه چاه در محدوده‌ی مورد مطالعه و با پراکنش مناسب انتخاب گردید (شکل ۱). و مقادیر عناصر کیفی آب زیرزمینی در هر چاه برای دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت، علت انتخاب این دوره آماری کامل بودن داده‌ای کیفی پارامترهای انتخابی می‌باشد. در مرحله بعد تمامی

داده‌های موجود به عوامل کیفی انتخابی از نظر نرمال بودن با توجه به آزمون آماری کلموگراف - اسمیرنوف با نرم افزار SPSS بررسی شدند و پس از بررسی نرمالیت داده‌ها در نهایت پارامترهای Ca, Na, SAR و HCO₃ جهت ارزیابی کیفی منابع آب زیر-زمینی در این مطالعه انتخاب شدند. علت بررسی نرمالیت داده‌ها بالابودن دقت روش‌های زمین آمار در کار با داده‌های نرمال است. خلاصه آماری پارامترهای کیفی انتخابی مطابق با جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات آماری پارامترهای کیفی مورد بررسی

پارامتر کیفی	واحد	تعداد داده‌ها	مینیمم داده	ماکزیمم داده	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات
SAR	(Mg/lit) ^{0.5}	۴۲	۰/۳۱۳	۱۷/۱۴	۴/۱۴	۳/۸۴	۱/۹۲	۶/۲۵	۰/۹۲۷
NA	Mg/lit	۴۲	۱۱/۰۴	۷۶/۷۵	۴۴/۴۳	۱۴/۱۸	۰/۱۵	۲/۹۶	۰/۳۱
HCO ₃	Mg/lit	۴۲	۲/۳۵	۱۲/۰۶	۴/۱۶	۲/۰۵	۲/۶۹	۱۰/۵۵	۰/۴۹
CA	Mg/lit	۴۲	۱/۵۶	۴۰/۳۷	۶/۴۱	۷/۰۱	۳/۱	۱۴/۴۳	۱/۰۹

جهت ترسیم پهنه‌های مربوط به هر کدام از عناصر انتخابی در محیط نرم افزار Arc GIS 9.3 از روش‌های زمین آمار شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش‌های معین شامل روش عکس فاصله، روش تابع شعاعی، روش تخمین‌گر عام و تخمین‌گر موضعی استفاده می‌گردد. به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم متغیرنمای داده‌ها به گونه‌ی جداگانه در محیط نرم افزاری GS⁺ ترسیم گردید و مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت با توجه به دو عامل RMSE (ریشه دوم میانگین مربع خطا) و R (ضریب تبیین) مناسب‌ترین روش جهت ترسیم

نقشه‌های کیفی آب زیرزمینی شهرستان کاشان و آران بیدگل انتخاب گردیدند.

ویژگی‌های متغیر نمای:

نیم تغییرنما ابزاری بسیار سودمند برای تشخیص ناهمگنی است که موجب بروز همسانگردی می‌شود و اساسی‌ترین ابزار در زمین آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود. نیم‌تغییرنما، کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله‌ی

آنها نشان می‌دهد. فرم محاسباتی یک نیم تغییر نما به صورت رابطه (۱) می‌باشد. (معروفی و همکاران، ۱۳۸۸)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

سقف یا آستانه ی متغیر نمای^{۱۶}

به مقدار ثابتی که متغیر نمای در دامنه‌ی تأثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر با واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه‌ی تغییرنما بکار رفته‌اند. در روش کریجینگ متغیر نمای-هایی که به سقف مشخص می‌رسند، اهمیتی بیشتر دارند. در مواردی متغیر نمای‌هایی بدست می‌آید که در محدوده‌ی فواصل مورد نظر تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابتی ندارند، این متغیرنمای‌ها می‌توانند نشان دهنده‌ی وجود روند در داده‌ها و یا عدم ایستایی داده‌ها باشند (حسینی پاک، ۱۳۸۶).

اثر قطعه ای^{۱۷}

مقدار متغیر نمای در مبدأ مختصات یعنی به ازای h برابر با صفر را اثر قطعه ای (C_0) می‌نامند. در حالت بهینه C_0 برابر صفر باشد، اما بیشتر مواقع بزرگتر از صفر است. در این حالت جزء تصادفی و یا غیر ساختاردار متغیر ظاهر می‌شود (حسینی پاک، ۱۳۸۶). در شکل (۲)، نمایی از یک منحنی سمیواربیوگرام با اجزای آن آورده شده است (شعبانی، ۱۳۹۰).

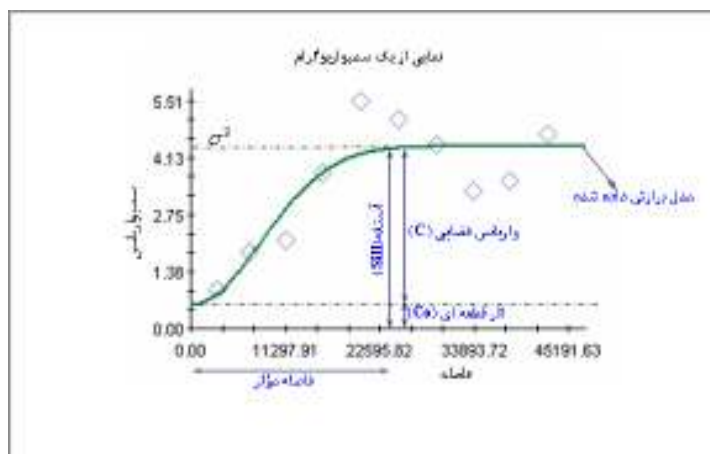
در رابطه (۱) $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده‌ی متغیر مورد نظر، $Z(x_i+h)$: مقدار مشاهده شده‌ی آن متغیر که به فاصله h از $Z(x_i)$ قرار دارد و $\gamma(h)$ نیم تغییرنما است. هدف اصلی از محاسبه‌ی متغیر نمای این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله‌ی مکانی یا زمانی شناخت. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله‌ی معلوم h از یکدیگر قرار دارند، محاسبه و در مقابل h رسم گردد (حسینی پاک، ۱۳۸۶). هر تغییرنما دارای چند عامل مهم است که در زیر به آن پرداخته شده است:

دامنه تأثیر^{۱۵}

فاصله‌ای که در آن متغیر نمای به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، دامنه یا شعاع تأثیر (R) نامیده می‌شود. این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن، برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. بدیهی است

16 Sill
17 Nugget Effect

15 Range of Influence



شکل ۲- نمایی از سمیوار یوگرام با پارامترهای آن

ارزیابی صحت:

به منظور مقایسه روش‌های استفاده شده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین روش زمین‌آمار، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل^{۱۸} استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. همچنین با استفاده از مدل‌های به دست آمده، در تعدادی از نقاطی که اندازه‌گیری وجود داشت، مقادیر تخمینی محاسبه گردید. معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی وجود دارد، در این مطالعه با استفاده از دو روش ریشه دوم میانگین مربع خطا (یا رابطه ۲) و ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی (رابطه ۳)، مناسب‌ترین روش‌ها جهت ترسیم پهنه‌های مورد نظر انتخاب گردیدند. نحوه محاسبه‌ی آن به صورت زیر است (شعبانی، ۱۳۹۰).

رابطه (۲)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z_{Mi} - z_{si}]^2}{n}}$$

رابطه (۳)

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z_{si} - \bar{z}_{mi}]^2}{\sum_{i=1}^n [z_{mi} - \bar{z}_{mi}]^2}}$$

در این روابط n تعداد نقاط مطالعاتی، Z_{Mi} مقدار برآوردی برای نقطه i ، z_{si} مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i و \bar{z}_{mi} میانگین مقادیر مشاهده‌ای برای نقطه نام می‌باشد.

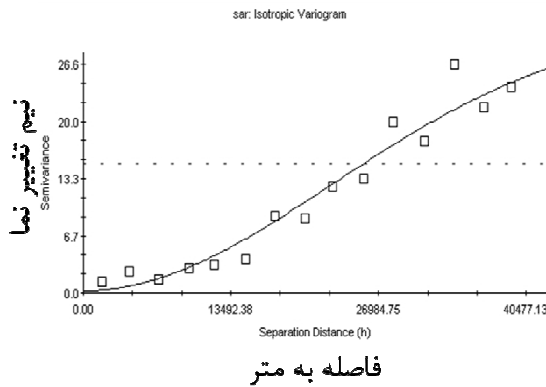
یافته‌های تحقیق:

یافته‌های مربوط به تحلیل نمودارهای واریوگرام:

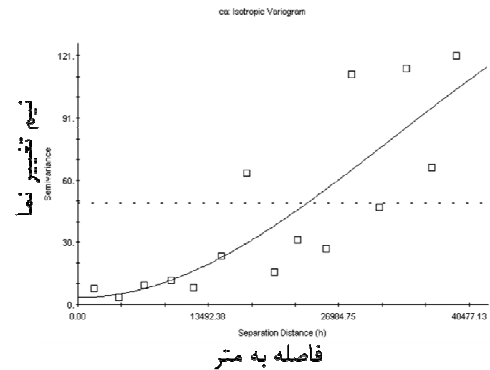
پس از بررسی و مشخص شدن نرمال بودن داده‌ها اقدام به برازش واریوگرام مناسب به ساختار مکانی داده و تعیین مشخصات واریوگرام‌های ترسیم شده با استفاده از نرم افزار GS+ گردید. با استفاده از داده‌های ۴۲ چاه مورد بررسی تغییر نمای تجربی برای چهار پارامتر کیفی Ca مطابق یا شکل (۳)، SAR مطابق یا شکل (۴)، HCO_3 مطابق یا شکل (۵) و NA مطابق یا شکل (۶) آورده شده‌اند. از تحلیل

سمیواریوگرام‌ها بهترین مدل برازش شده بر داده‌های کیفی مدل کروی می‌باشد که این مدل دارای استحکام ساختار فضایی قوی می‌باشد و همچنین دارای دامنه تاثیر بالایی برای تحلیل داده‌های کیفی می‌باشد. در جدول شماره (۲) مشخصات واریوگرام مناسب برازش داده شده برای هر چهار پارامتر کیفی به طور خلاصه آورده شده است. در این جدول همچنین بررسی ساختار مکانی بر اساس معیار $C/C+C0$ انجام

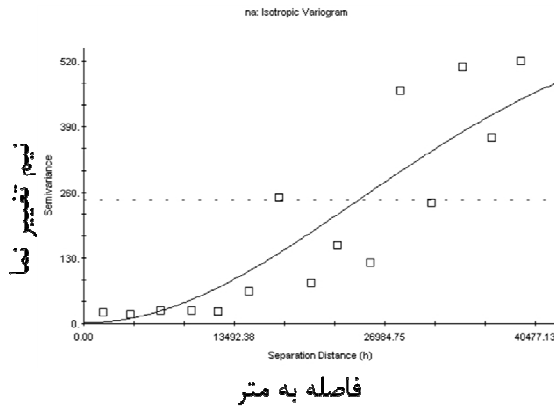
گرفته است. در صورتی که این مقدار بیش از ۰/۵ باشد ساختار مکانی داده‌ها خوب و در حالت کمتر از ۰/۵ ساختار مکانی داده ضعیف است. با توجه به نتایج بدست آمده از ستون (۵) در جدول (۲) مقادیر معیار $C/C+C0$ برای هر ۴ پارامتر مورد بررسی بیشتر از ۰/۵ می‌باشد.



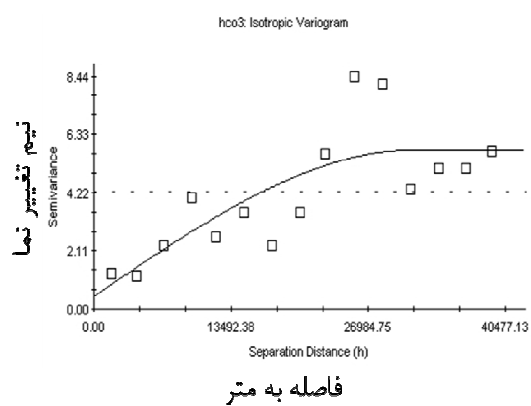
شکل ۴- واریوگرام تجربی برای مقادیر SAR



شکل ۳- واریوگرام تجربی برای مقادیر CA



شکل ۵- واریوگرام تجربی برای مقادیر HCO3



شکل ۶- واریوگرام برازش شده برای مقادیر NA

جدول ۲- مشخصات واریوگرام مناسب برازش داده شده برای متغیرهای SAR, HCO₃, NA و CA

ستون	۱	۲	۳	۴	۵	۶
متغیر	دامنه تاثیر (RSS)	اثر آستانه (C+C0)	اثر قطعه ای (C0)	C/C+C0	مدل مناسب برازش شده	
NA	۳۴۵۶۰	۱۱۵۸۱	۶۱۲۹۰	۰/۹۹	کروی	
Hco3	۳۱۶۳۰	۲۶/۶	۵/۷۷	۰/۴۵۰	کروی	
SAR	۳۲۰۶۰	۵۷/۴	۳۱/۵۳	۰/۲۷	کروی	
CA	۴۵۷۵۰	۷۶۵۹	۱۹۸/۳۰	۳/۴۰	کروی	

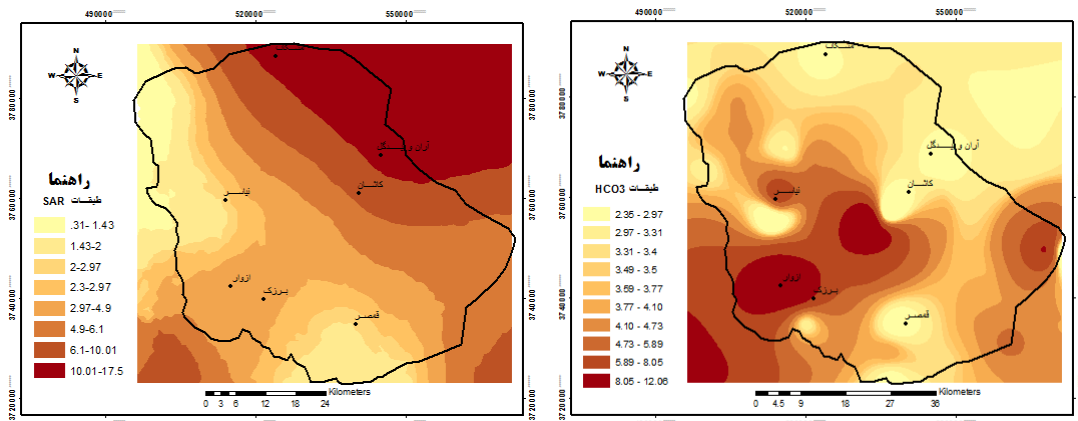
یافته‌های مربوط به ارزیابی مدل‌ها:

کریجینگ معمولی با مقدار RMSE کمتر و R بیشتر بر روش کریجینگ ساده برتری دارد و از بین روش‌های معین نیز جهت بررسی متغیرهای کیفی Ca, SAR, HCO₃ و Na به ترتیب روش‌های RBF, LPI, RBF و LPI قرار دارند.

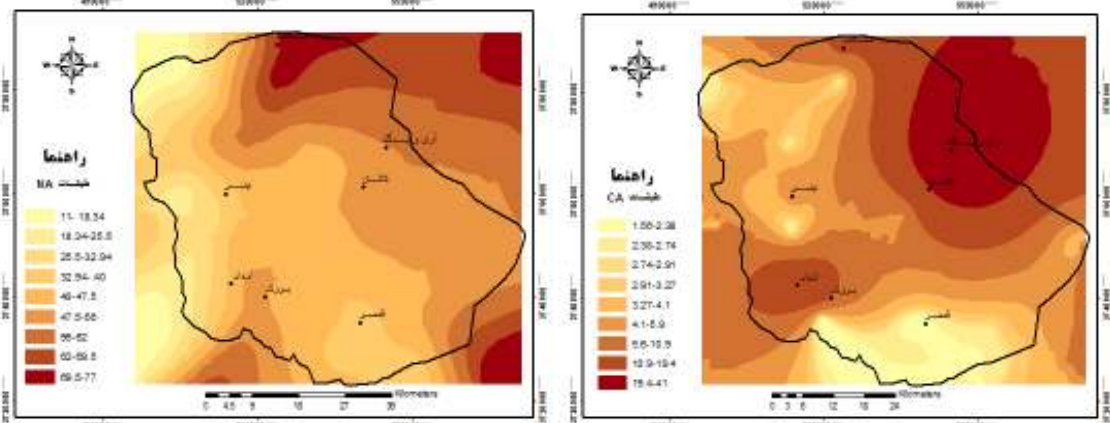
نتایج ارزیابی روش‌های زمین آمار با استفاده از معیارهای ارزیابی RMSE و R مطابق با جدول (۳) خلاصه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از بین روش‌های زمین آمار مناسب‌ترین روش برای بررسی متغیرهای Ca, SAR, HCO₃ و NA روش

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های مورد بررسی با استفاده از معیار RMSE و R

روش‌های آماری	معیار ارزیابی	IDW	کریجینگ معمولی	کریجینگ گ ساده	GPI	LPI	RBF
HCO ₃	RMSE	۱/۸۴	۱/۸۲۱	۱/۸۱	۲/۰۶	۱/۹	۱/۷۶
	R	۰/۴	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۳۶	۴۴/۴۴
SAR	RMSE	۲/۴۶	۱/۹۶	۲/۵۲	۳/۰۹	۱/۹۷۵	۲/۳۳
	R	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۳۴	۰/۷۳	۰/۶۴
CA	RMSE	۶/۱۹	۵/۷۵	۵/۸۱	۶/۹۸	۵/۸۱	۶/۰۶
	R	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۳۹	۰/۳۴
NA	RMSE	۱۰/۲۶	۱۱/۴۷	۱۲/۲	۱۳/۶۳	۸/۲۴	۱۰/۸
	R	۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۴۷	۰/۲۱	۰/۵۵	۰/۵۱



شکل ۷- نقشه هم HCO₃ شهرستان کاشان با روش RBF شکل ۸- نقشه هم SAR شهرستان کاشان با روش کریجینگ معمولی



شکل ۹- نقشه هم CA شهرستان کاشان با روش کریجینگ معمولی شکل ۱۰- نقشه هم NA شهرستان کاشان با روش LPI

بحث و نتیجه گیری:

تهیه نقشه‌های مناسب جهت بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی اقدامی مهم در مدیریت و بهره‌برداری صحیح از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بنابراین، در این راستا استفاده از روش‌های مناسب جهت پهنه‌بندی نقشه‌های کیفی با دقت بالا امری ضروری بنظر می‌رسد، بنابراین با ارزیابی روش‌های زمین آمار انتخابی در این تحقیق در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفی پارامترهای مورد بررسی بدست آمد. نرمال بودن داده‌های متغیرها شرط استفاده از روش‌های زمین آمار برای محاسبه داده‌های مکانی می‌باشد، که در غیر این صورت نیاز است که داده‌ها به مبنای

دیگری مثل پایه‌ی لگاریتمی تبدیل شوند. در این تحقیق با آزمون‌های صورت گرفته نرمال بودن داده‌ها مورد تایید قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز مکانی داده‌های کیفی در این تحقیق، دامنه تاثیر بالا که مطابق با ستون (۱) در جدول (۲) آورده شده نشان از موثر بودن مدل کروی جهت بهترین برآزش بر روی داده‌ها می‌باشد و بیانگر شعاعی است که در آن چاهها از نظر داده‌های کیفی مورد بررسی دارای همبستگی می‌باشد و از این شعاع به بعد همبستگی بین داده‌ها کم می‌باشد و با توجه به اینکه چاههای انتخابی دارای پراکنش مناسبی در منطقه می‌باشند، بنابراین با توجه به مقادیر دامنه تاثیر، همبستگی بین

مقادیر $R=0/41$ و $RMSE=0/75$) و جهت ترسیم نقشه‌ی تغییرات NA نیز روش LPI (بامقادیر $R=0/55$ و $RMSE=8/24$) انتخاب گردیدند. در ترسیم نقشه‌های SAR و HCO_3 روش زمین آمار کریجینگ نسبت به روش‌های معین برتری دارد، که این نتیجه با نتیجه تحقیقات کرسیک (۱۹۹۷)، احمد (۲۰۰۲)، سلیمانی و همکاران (۲۰۰۴) و زهتابیان و همکاران (۱۳۸۹)، همخوانی دارد. با توجه به متفاوت بودن نتایج روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف پیشنهاد می‌گردد، که برای هر منطقه انواع روش‌های زمین آمار مورد آزمون قرار بگیرند، و روش‌هایی که دارای خطای کمتری می‌باشند، جهت آنالیز و بررسی داده‌های کیفی مورد استفاده قرار بگیرند. با توجه به نقشه‌ی بدست آمده از تغییرات HCO_3 که در شکل (۷) ترسیم شده است نشان می‌دهد که میزان این پارامتر کیفی به طور کلی از غرب به شرق حوضه کاهش می‌یابد، در منطقه ازوار بیشترین میزان منطقه کاشان و آران بیدگل و قمصر کمترین میزان می‌باشد. نقشه‌ی بدست آمده از تغییرات SAR که در شکل (۸) ترسیم شده است، نشان می‌دهد که مقادیر این پارامتر از غرب به شرق حوضه افزایش می‌یابد، به طوری که در آران بیدگل مقدار این پارامتر حراکتر و در غرب نیاسر و قمصر به میزان حداقل می‌باشد. با توجه به نقشه‌ی بدست آمده از تغییرات کلسیم که در شکل (۹) ترسیم شده است، نشان می‌دهد که مقادیر این پارامتر از غرب به شرق حوضه افزایش می‌یابد، که در آران بیدگل مقدار این پارامتر به میزان حداکثر می‌باشد. همچنین با بررسی نقشه‌ی هم NA که در شکل (۱۰) ترسیم شده است، نشان می‌دهد که میزان

داده‌های چاهها جهت تحلیل داده‌ها بسیار مناسب می‌باشد. با توجه به اصول زمین آمار متغیری که دارای همبستگی مکانی مناسب و واریانس تخمینی کمتری داشته باشد، برای تخمین نیاز به نمونه‌برداری کمتری دارد، از این رو هزینه نمونه‌برداری نیز کمتر خواهد بود (زهتابیان، ۱۳۸۹)، بنابراین، با استفاده از آنالیز واریوگرام‌ها نسبت اثر قطعه به آستانه نیز برای پارامترهای SAR, CA, HCO_3 و NA به ترتیب برابر با $0/76$ ، $0/85$ ، $0/79$ و $0/16$ محاسبه شد، که همه اعداد بدست آمده مقادیر بسیار کمی می‌باشد و بیانگر بالابودن دقت برآورد، با واریوگرام‌های برآزش شده می‌باشد و گویای ساختار مکانی قوی برای هر چهار پارامتر مورد بررسی می‌باشد، این یافته با نتایج تحقیق میکو و همکاران (۲۰۰۶)، میثاقی و محمدی (۲۰۰۲) و احمد (۲۰۰۲) مطابقت دارد. همچنین بررسی ساختار مکانی بر اساس معیار $C/C+CO$ نشان می‌دهد که برای پارامترهای SAR, CA, HCO_3 و NA مقدار این معیار به ترتیب برابر با $0/98$ ، $0/98$ ، $0/92$ و $0/99$ می‌باشد، اعداد حاصله نشان از ساختار مکانی بالای داده‌های ۴۲ چاه انتخابی برای بررسی پارامتر-های کیفی انتخابی می‌باشد. نتایج ارزیابی روش‌های زمین آمار که در این تحقیق به کار برده شد نشان داد که از بین روش‌های انتخابی برای ترسیم نقشه تغییرات HCO_3 روش RBF به دلیل بالاتر بودن R و کم بودن مقدار $RMSE$ ($R=0/44$ و $RMSE=1/76$) به عنوان بهترین روش جهت ترسیم نقشه‌ی تغییرات HCO_3 انتخاب گردید. جهت ترسیم نقشه‌ی تغییرات SAR، روش کریجینگ معمولی (با مقادیر $R=0/75$ و $RMSE=1/96$)، همچنین جهت ترسیم نقشه‌ی تغییرات کلسیم، روش کریجینگ معمولی (با

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره ۵، ۶۳-۷۰.

حسنی پاک، علی‌اصغر، ۱۳۸۶، زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.

زهتابیان، غلامرضا، حسین، محمد عسگری، ۱۳۸۶، طرح تحقیقاتی بررسی و تحلیل مکانی خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی در حوضه‌ی آبخیز گرمسار، دانشگاه تهران.

زهتابیان، غلامرضا، عنایت اله، جانفزا، حسین، محمد عسگری، محمد جواد، نعمت الهی، ۱۳۸۹، مدلسازی تغییرات برخی از خواص شیمیایی آب زیرزمینی. مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی گرمسار، مجله مرتع و تحقیقات کویر ایران، شماره ۱۷، ص ۶۱ تا ۷۳.

شعبانی، محمد، ۱۳۸۷، تعیین مناسب‌ترین روش زمین آمار در تهیه نقشه‌ی تغییرات PH و TDS آب-های زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: دشت ارسنجان)، مجله‌ی مهندسی آب، سال اول، ص ۴۷ تا ۵۸.

شعبانی، محمد، ۱۳۹۰، ارزیابی روش‌های زمین آماری در تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آنها، مطالعه‌ی موردی: دشت نیریز استان فارس، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی لار، سال چهارم، شماره ۱۳، ص ۸۳ تا ۹۶.

علیزاده، امین، ۱۳۸۶، هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.

محمدی، مسعود، مهدی، محمدی قلعه‌نی، کیومرث، ابراهیمی، ۱۳۹۰، تغییرات مکانی و زمانی کیفیت

سدیمیت به طور کلی از غرب به شرق حوضه افزایش می‌یابد که مقدار این پارامتر کیفی در منطقه آران بیدگل به میزان حداکثر می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته علت اصلی کاهش کیفیت آب‌های زیر زمینی از لحاظ پارامترهای کیفی مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه توسعه نامناسب اراضی کشاورزی و بهره برداری بیش از حد آب‌های زیرزمینی می‌باشد که باعث هجوم آب‌های شور به این مناطق می‌گردد، این نتیجه با نتایج تحقیق فتونی و همکاران (۲۰۰۸) تطابق دارد. در قسمت شرق حوضه به علت اینکه شیب زهکشی آب‌های زیرزمینی از سمت دریاچه نمک به سمت منطقه آران بیدگل و کاشان می‌باشد، با توجه به خشکسالی‌های اخیر و روند استفاده‌ی بی-رویه از آب‌های زیر زمینی که خطر شور شدن و از بین رفتن زمین‌های کشاورزی منطقه و روند بیابانزایی را در این منطقه تسریع بخشیده است به عنوان خطر و چالشی جدی برای دشت کاشان محسوب می‌شود، بنابراین نیاز است که به مدیریت صحیح آب‌های زیر زمینی در این دشت توجه بیشتری گردد، تا خطرات ناشی از کم‌آبی و بی کیفیتی آب، که زندگی ساکنین این منطقه را تحت الشعاع قرار می‌دهد، به حداقل برسد.

منابع:

تقی‌زاده مهرجردی، روح الله، مجتی، زارعیان جهرمی، شهلا، محمودی، احمد، حیدری، فریدون، سرمیدیان، ۱۳۸۷، بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان، مجله‌ی

- regionalization. *Environmental geology*, 36, 285-295.
- Deutsch, C. V. (2002). *Geostatistical reservoir modeling*. Oxford University Press, 376 pp.
- Fetouani, S., M, Sbaa, Vanclooster, M. and B, Bendra. (2008). Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). *Journal of Agricultural Water Management*. 95: 133-142.
- Goovaert, P. (1999). *Geostatistic in soil science: State of the art and perspective*, *Geoderma*. 38:45-93.
- Jager, N. (1990). *Hydrogeology and groundwater simulation*. Lewis Publishers.
- Kresic, N. (1997). *Hydrogeology and Groundwater Modeling*. Lewis Publishers.
- Marengo, E., M. C. Gennaro, E. Robotti, A. Maiocchi, G. Pavese, A. Indaco, and A. Rainero. (2008). Statistical analysis of groundwater distribution in Alessandria Province (Piedmont-Italy). *Microchemical Journal* 88(2):167-177.
- Mico, C., L. Recatala, M. Peris, and J. Sanchez. (2006). Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65: 863-872.
- Missaghi, F., K. Mohammadi. (2002). Estimation of groundwater levels using conventional interpolation techniques and comparison with geostatistics technique, twenty-first meeting on Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Country: 588 – 590.
- Rizzo, D.M., J.M. Mouser. (2000). Evaluation of Geostatistics for Combined Hydrochemistry and Microbial Community Fingerprinting at a Waste Disposal Site, pp: 1-11.
- Solaimani, K., M. Habibnejad, A. Abkar, M. Bani-Asadi. (2006). Analysis of Depth-Area-Duration Curves of Rainfall in Semi-Arid and Arid Region Using Geostatistical Methods (Case Study: Sirjan), *Journal of Desert*, No.1, PP. 31-42.
- آب زیرزمینی دشت قزوین، مجله‌ی پژوهش آب ایران، شماره‌ی ۸، بهار و تابستان ۹۰، ۵۲-۴۱.
- معروفی، صفر، امیر، ترنجیان، حمید، زارع ابیانه، ۱۳۸۸، ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و PH زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان - بهار، مجله‌ی پژوهش حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره‌ی دوم، ص ۱۶۹-۱۸۷.
- مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۹، مطالعات بهنگام‌سازی بیان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه‌ی آبریز دریاچه نمک، گزارش بیان آب محدوده‌ی مطالعاتی دشت کاشان.
- نظری‌زاده، فرزاد، بهناز، ارشادیان، کامران، زند و کیلی، محمد رضا، نوری، ۱۳۸۵، بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد. ص ۱۲۳۶ تا ۱۲۴۰.
- نوشادی، مسعود، ناصر، طالب بیدختی، مسعود، یوسفی، ۱۳۸۸، بررسی و اندازه‌گیری کیفیت آبهای زیرزمینی دشت نورآباد ممسنی، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت.
- Ahmed, S. (2002). Groundwater monitoring network design: Application of geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region. in: *Groundwater Hydrology*, M.M. Sherif, V.P. Singh and M. Al-Rashed (Eds.), Balkema, Tokyo, Japan. 2: 37-57.
- Dagostino, V., E.A. Greene, G. Passarella, and M. Vurro. (1998). Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of co

