

نشان داد که در طول دوره آماری ۱۰ ساله مورد بررسی میزان غلظت یون کلر آب زیرزمینی در کل سطح دشت از یک روند افزایشی برخوردار است. بطوری که حتی در ناحیه ورودی دشت میزان غلظت این یون در سال ۸۵ به دامنه ۱۳/۰۱-۳/۰۳ میلی اکی والان در لیتر افزایش یافته است. شدت افزایش یون کلر بویژه در قسمت خروجی شمالی دشت در اطراف چاه انتخابی شماره ۲۷، ۲۸ و ۳۳ و هسته کلر جنوب غرب دشت در اطراف چاه ۱۹ بیشتر است. یافته‌ها حاکی بر افزایش میزان هدایت الکتریکی بویژه توسعه مکانی این پارامتر در بخش خروجی غربی، شمالی و نیز در شهر کرمان در طی دوره ۱۰ ساله است.

کلید واژه‌ها: واژه‌های کلیدی: کیفیت، آب زیرزمینی، دشت کرمان، هدایت الکتریکی، زمین آمار

مقدمه

امروزه در دنیا تامین آب آشامیدنی و بهداشت شهرها از طریق استخراج منابع آب زیرزمینی متداول گردیده است [۱۸]. در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم، بیشترین توجه به یافتن سفره‌های آب زیرزمینی مناسب جهت تامین آب مورد نیاز شرب و کشاورزی معطوف گردیده است و این در حالی است که کمتر به حفظ کیفی آبخوان‌ها توجه می‌شود [۱۹، ۲۱، ۴، ۱۱]. در مناطق خشک به دلیل اینکه عموماً در اکثر و یا تمام طول سال تبخیر و تعرق مازاد بر بارندگی است، منطقه تغذیه سفره محل تمرکز یون‌ها می‌باشد که این مهم منجر به کاهش کیفیت آب زیرزمینی و شور شدن آن می‌شود. وابستگی اکوسیستم‌های خشک و کویری به آب زیرزمینی جهت شرب و کشاورزی بر هیچ کسی پوشیده نیست. در این مناطق، مسائل ناشی از آب تنها به علت کمبود منابع آب نیست، بلکه بیشتر به توزیع زمانی و مکانی ناموزون آن مربوط می‌گردد و این مشکلات با تخریب کیفیت آب زیرزمینی روز به روز تشدید می‌شوند [۱۷]. کاهش کیفیت آب زیرزمینی، بطور مستقیم یا غیرمستقیم، اثرات زیانبار و نامطلوب زیادی بر بسیاری از اجزاء زنده و غیرزنده (که مهمترین آن خاک می‌باشد) آن اکوسیستم می‌گذارد و سرانجام منجر به تخریب یک سرزمین می‌شود. اگر چه روش‌های آنالیز چندمتغیره در ارزیابی داده‌های زیاد و پیچیده کیفیت آب زیرزمینی کارساز و مفید هستند [۱۳]، ولی به دلیل اینکه در این روش‌ها ارتباط مکانی بین داده‌ها نادیده گرفته می‌شوند لذا هرگز قادر به نمایش

بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی به کمک بهترین تخمین گر زمین آمار (مطالعه موردی: دشت کرمان)

صدیقه محمدی^۱ و علی سلاجقه^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۷

چکیده

شناخت پهنه‌های بحرانی از نظر کیفیت آب زیرزمینی از کاربردی‌ترین و مهمترین تحقیقات راجع به مسائل آب است. لذا در این تحقیق برآینم تا تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی (پارامترهای هدایت الکتریکی و کلر) دشت کرمان را در یک دوره آماری ده‌ساله (۸۵-۱۳۷۵) به کمک بهترین روش تخمین‌گر زمین‌آماری مورد بررسی قرار دهیم که در این راستا بهترین مدل واریوگرام به ساختار فضایی داده‌های پارامترهای هدایت الکتریکی و کلر (بهمراه پارامترهای مربوطه مدل) نیز تعیین شد.

نتایج حاصل از آنالیز واریوگرافی مربوط به متغیر کیفی یون کلر آب زیرزمینی دشت در ابتدا و انتهای دوره آماری نشان داد که بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی این پارامتر مدل نمایی می‌باشد بطوری که دامنه تاثیر آن از ۱۰۱۷۰۰ متر در سال ۷۴-۷۵ به ۱۰۶۲۰۰ متر در سال ۸۴-۸۵ افزایش و میزان آستانه از ۲/۲۴۶ به ۱/۶۹۸ نزول یافته است. بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی هدایت الکتریکی در سال آبی ۷۴-۷۵ مدل نمایی و در سال آبی ۸۴-۸۵ مدل کروی می‌باشد به طوری که دامنه تاثیر آنها از ۷۹۸۰۰ متر در سال ۷۴-۷۵ به ۳۷۵۰۰ متر در سال آبی ۸۴-۸۵ و میزان آستانه از ۰/۸۴ به ۰/۶۰۸ رسیده است. در مورد مقایسه روش‌های درون‌یابی برای پارامترهای کیفی مورد بررسی، روش لوگ کریجینگ بعنوان بهترین روش درون‌یابی جهت پهنه بندی پارامترهای کیفی (کلر و هدایت الکتریکی) حاصل شد. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی یون کلر

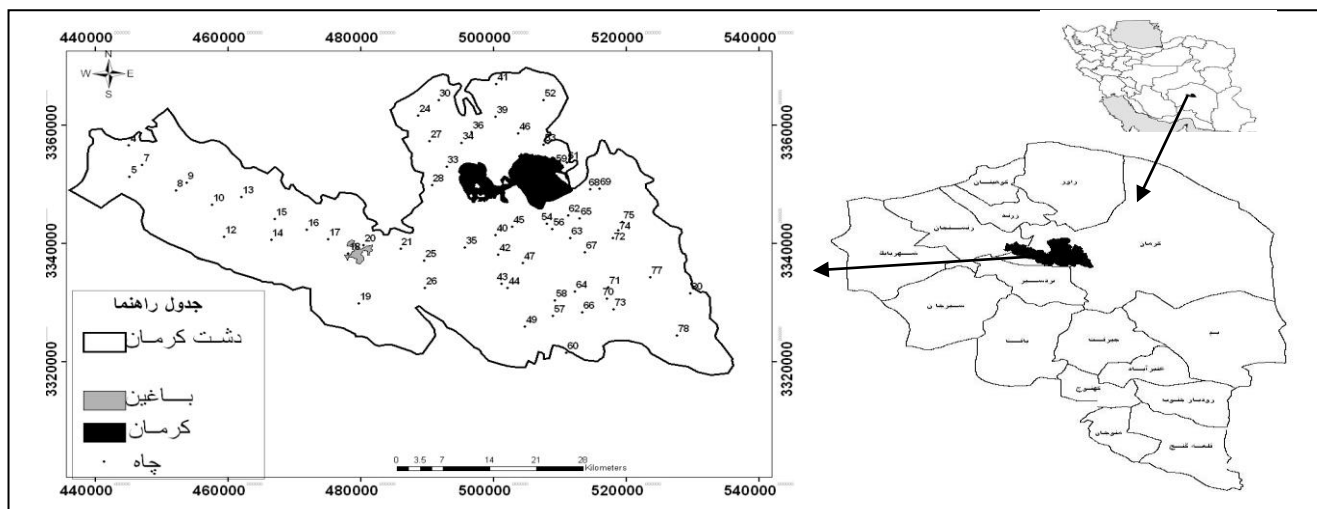
۱. نویسنده مسئول و استادیار پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، پست الکترونیک: mohamadisedigeh@gmail.com

۲. استاد، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، تهران،

تغییرات مکانی و زمانی این داده‌ها در یک عرصه نیستند. از آنجا که روش‌های چندمتغیره و آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی پارامترهای کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی نبوده لذا از زمین‌آمار به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود. اولین بار در سال ۱۹۵۱ شخصی به نام کریگ که کارشناس معدن بود، وجود ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را برای ارزیابی ذخایر معدنی پیشنهاد کرد. پس از آن ماترون در دهه ۱۹۶۰ به توسعه روش‌های آماری در علوم زمین پرداخت که نتیجه آن ابداع شاخه جدیدی از علم آمار تحت عنوان زمین‌آمار بود [۱۴]. اگرچه عمده زمینه‌های رشد و توسعه زمین‌آمار مسأله تخمین ذخایر معدنی بوده است ولی در زمینه مطالعات مربوط به کیفیت منابع آب در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در خارج و داخل انجام شده است؛ کوپر و استوک [۳] از آنالیز ساختاری و کریجینگ برای رسم نقشه‌های هم‌غلظت عناصر آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. رجیندر و همکاران [۲۰] به این نتیجه رسیدند که در مقیاس منطقه‌ای قسمت‌های مرکزی، شرقی، و جنوبی هلند به علت وجود میزان بالاتر از استاندارد نیترات در عمق ۵-۱۵ متر در معرض خطر هستند در حالی که در لایه عمیق‌تر این مناطق میزان نیترات کاهش می‌یابد. الا و همکاران [۵] با تحلیل زمین‌آمار روی داده‌های نیترات آب زیرزمینی در تورنتو کانادا، به وجود ساختار مکانی ضعیف از غلظت نیترات در چاه‌های کم عمق و عمیق اشاره داشتند. وانگ و همکاران [۲۶] در آنالیز ژئوشیمیایی و زمین‌آمار یک سیستم کارستی در شمال غربی دشت چین، نقشه پهنه‌بندی تغییرات مکانی شش عنصر مهم آب زیرزمینی این دشت را با روش کریجینگ تهیه کردند. کلین و همکاران [۱۲] در شمال دشت چین نقشه‌های هم‌تراز هدایت الکتریکی و نیترات را تهیه کردند و اذعان داشتند که دامنه تاثیر این دو پارامتر به ترتیب معادل ۲/۱۹ و ۳/۵۵ کیلومتر (با مدل‌های واریوگرام خطی و کروی) می‌باشد. یان بین لین و همکاران [۲۵] در تهیه نقشه پهنه‌بندی مکانی منابع چندمقیاسی تغییرات آرسنیک در آب زیرزمینی دشت سیلابی چیانان در تایوان با ارزیابی هفت متغیر از آب زیرزمینی (اکسیژن محلول، قلیائیت، سولفات، کاتیون‌های آهن و منگنز، کل کربن آلی و پتانسیل)، کاهش اکسیداسیون را به همراه آرسنیک ارزیابی کرده و اذعان داشتند که بهترین واریوگرام برای هشت فاکتور فوق در مقیاس منطقه‌ای، مدل گوسن و در مقیاس محلی، مدل کروی می‌باشد. جینگ لی [۱۰] با استفاده از روش کریجینگ با نقشه توزیع مکانی آرسنیک در دشت لانیانگ واقع در شمال شرقی تایوان، مناطق بحرانی آب زیرزمینی دارای آرسنیک بالا را شناسایی کرد. ایشان در این تحقیق مدل‌نمایی را بعنوان بهترین مدل سازگار با واریوگرام منطقه نشان داد. بارکای و پالاسارا [۲] جهت تهیه نقشه خطر نیترات در دشت مادنا در ایتالیا از روش کریجینگ و روش‌های شبیه‌سازی استفاده نمودند و روش کریجینگ را روشی مناسب برای مطالعه خطر تخریب کیفیت آب زیرزمینی معرفی کردند. فتانی و همکاران [۶] در مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های کشاورزی

تریفا در شمال شرق مراکش از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب زیرزمینی استفاده نمودند و نتایج ایشان حاکی بر تغییرات معنی‌دار پس رونده کیفیت آب زیرزمینی بود. ساندو و همکاران [۲۲] جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی (پارامترهای کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، بیکربنات، کلر، سولفات، نیترات، هدایت الکتریکی و اسیدیته) از روش‌های آنالیز چند متغیره و تجزیه و تحلیل مکانی در حوزه کتا بهره جستند. نتایج ایشان نشان داد که واریوگرام خطی بهترین واریوگرام برازش داده شده به این داده‌ها می‌باشد و به علت بهره‌برداری بیش از حد و وجود دام در منطقه، طبق نقشه پهنه‌بندی کریجینگ معمولی، برخی مناطق حوزه دارای کیفیت نامناسبی می‌باشد.

قهرمان و همکاران [۷] مناسب‌ترین مدل واریوگرام برای نیترات را مدل‌نمایی و برای هدایت الکتریکی، مدل خطی سقف‌دار معرفی کردند. نظری زاده و همکاران [۱۸] در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود اذعان داشتند که واریوگرام‌های هدایت الکتریکی، کلر و سولفات به ترتیب دارای دامنه تاثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰، ۱۰۲۱۰۰ متر و حد آستانه ۰/۵۳۳، ۱/۵۳۲ و ۲/۰۵٪ بوده و از ساختار کروی تبعیت می‌کند. تولایی نژاد و همکاران [۲۴] در ارزیابی بیلان ک می و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اندیمشک، ضمن تهیه نقشه پارامترهای کیفی منطقه اذعان داشتند که کمترین میزان هدایت الکتریکی و یون کلر در مناطق تغذیه و بالاترین آن در بخش مرکزی (شهرستان اندیمشک) و جنوبی دشت (نیروی هوایی) می‌باشد. اکبری و همکاران [۱] در بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت میان آب شوشتر، نقشه پهنه‌بندی کیفی آب را به لحاظ کشاورزی و شرب ارائه دادند. شعبانی [۲۳] در تهیه نقشه تغییرات اسیدیته و غلظت املاح محلول آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان به این نتیجه رسید که روش کریجینگ ساده و معمولی نسبت به روش‌های معین عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمینگر موضوعی و تخمینگر عام برتری دارد. زهتابیان و همکاران [۲۷] به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش‌های معین جهت پهنه‌بندی عامل‌های آنیون و یون سولفات و بیکربنات برتری دارند. شناخت پهنه‌های بحرانی از نظر کیفیت آب زیرزمینی از کاربردی‌ترین و مهمترین تحقیقات راجع به مسائل آب است که این مهم جهت سیاست‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و ارائه راهکارها برای مسائل کیفی آب زیرزمینی یک دشت ضروری است. استفاده از روش‌های زمین‌آمار با ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی، در شناسایی این هسته‌ها می‌تواند به نحو مطلوب کارساز و مفید باشند. استفاده از روش‌های نامناسب درون‌یابی و ناآگاهی از بهترین مدل واریوگرام می‌تواند برآوردهای ناصحیحی در نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مورد بررسی به کمک روش‌های زمین‌آمار به دنبال داشته باشد که این امر منجر به خسارات جبران‌ناپذیری در مدیریت، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌ها خواهد شد. لذا در این تحقیق برآنیم تا تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی (متغیرهای هدایت الکتریکی و کلر)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های انتخابی در سطح دشت

Figure 1. Location of studied area and selective well of Kerman plain

اطمینان از نرمال بودن داده‌ها نیز در محیط نرم‌افزاری SPSS با آزمون کولموگراف - اسمیرنف صورت گرفت. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، با کمک روش‌های لگاریتم‌گیری به اقدام به نرمال کردن داده‌ها نموده به طوری که پس از لگاریتم‌گیری (نرمال‌سازی) دقت تخمین داده‌ها بیشتر می‌گردد [۱۵]. سپس آنالیز زمین‌آماري انجام گردید.

جهت بررسی زمین‌آماري از داده‌های مربوط به پارامترهای کیفی (هدایت الکتریکی و کلر) آب زیرزمینی دشت کرمان در ابتدا (سال ۱۳۷۵) و انتهای دوره ده‌ساله (۱۳۸۵) در محیط نرم‌افزاری GS+ کمک گرفته شد که در این راستا ابتدا مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها برازش داده شد. در این مرحله ابتدا همسان‌گردی داده‌ها توسط واریوگرام می‌سطح بررسی و پس از اطمینان از همسان‌گردی بودن آن‌ها، واریوگرام همه‌جهته مناسب به ساختار فضایی داده‌ها برازش داده شد. لازم به ذکر است که منحنی واریوگرام از مهمترین عملیات زمین‌آمار است که از طریق معادله زیر قابل محاسبه است:

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

که در آن:

$\gamma(h)$: مقدار واریوگرام برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند.

$n(h)$: تعداد جفت نمونه‌های بکار رفته به ازاء یک فاصله مشخص مانند h

$Z(x+h)$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد.

$Z(x)$: متغیر مشاهده شده در نقطه x

دشت کرمان را در یک دوره ده‌ساله (۸۵-۱۳۷۵) به کمک بهترین روش تخمین‌گر زمین‌آماري مورد بررسی قرار دهیم که در این راستا بهترین مدل واریوگرام به ساختار فضایی داده‌های هدایت الکتریکی و کلر (به همراه پارامترهای مربوطه مدل) نیز تعیین خواهد شد.

مواد و روش‌ها

- معرفی منطقه

منطقه مورد بررسی محدوده مطالعاتی کرمان با کد ۴۹۰۶ بخشی از حوزه آبریز مرکزی ایران است که در جنوب غرب دشت لوت قرار دارد. وسعت محدوده مطالعاتی کرمان ۵۴۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۳۲۰۰ کیلومتر مربع آن را سطوح آبرفتی و ۲۲۲۰ کیلومتر مربع دیگر را نواحی کوهستانی و کوهپایه‌ای تشکیل می‌دهد. بیشینه ارتفاع منطقه ۴۲۳۲ متر و کمینه آن ۱۷۰۰ متر است که مربوط به محل خروج حوزه آبخیز می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را در کشور و استان کرمان نشان می‌دهد.

- تهیه بانک داده و آنالیز زمین‌آماري

در ابتدا اقدام به جمع‌آوری منابع آماری موجود سطح آب زیرزمینی (چاه‌های انتخابی) دشت، تهیه بانک اطلاعاتی و انتخاب پایه زمانی مشترک (سال آبی ۱۳۷۴-۷۵ الی ۱۳۸۴-۸۵) جهت تحقیق گردید. سپس اقدام به کنترل کیفیت و صحت آمار، با مقایسه نظری آمار هم‌زمان ایستگاه‌های مختلف، کنترل مقادیر خیلی زیاد و یا خیلی کم، کنترل اعداد جاافتاده و حذف داده‌های پرت^۱ گردید. آمار موجود از نظر همگنی، با روش آزمون توالی^۲ در محیط نرم‌افزاری SPSS بررسی شد. همچنین جهت بازسازی داده‌ها از روش رگرسیون و همبستگی یک‌متغیره استفاده شد [۱۶]. انجام تست نرمالیت و

1-Outliers
2- Run Test

برآوردی از مقدار مشاهده شده است که مسلماً هرچه کمتر باشد بهتر است. در عمل مقدار این دو صفر نمی‌شود در مورد این دو معیار، ایساک و اسریواستاوا [۹] پیشنهاد کردند که MAE و MBE می‌توانند به عنوان معیاری که هر دو ویژگی انحراف (اریبی) و دقت روش را در بردارند.

تهیه نقشه توزیع مکانی متغیرها

پس از انتخاب بهترین روش درون‌یابی مربوط به هدایت الکتریکی و کلر آب زیرزمینی، نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی در ابتدا و انتهای دوره مطالعه در محیط نرم افزاری GS+ ترسیم شد. با توجه به اینکه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی حاصل از این نرم‌افزار زمین‌آماری قابل تجزیه و تحلیل، انجام عملیات محاسباتی و نیز قدرت همپوشانی نقشه‌ها نمی‌باشد. لذا لازم بود این نقشه‌ها در نرم‌افزاری که قدرت تجزیه و تحلیل و نیز عمل همپوشانی نقشه‌ها وجود داشته باشد، ترسیم گردند. بدین منظور با استفاده از مدل مناسب ساختار فضایی و پارامترهای آن و بهترین روش درون‌یابی نسبت به رسم نقشه پهنه‌بندی مکانی پارامتر هدایت الکتریکی و کلر آب زیرزمینی دشت در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.1 اقدام شد. نقشه تغییرات هدایت الکتریکی و کلر آب زیرزمینی سال ۱۳۸۵ از نقشه تغییرات هدایت الکتریکی و کلر آب زیرزمینی سال ۱۳۷۵ در این محیط نرم‌افزاری ArcGIS 9.1 کم شد و از تفاضل آنها نقشه تغییرات زمانی و مکانی این پارامترها حاصل شد.

نتایج

برازش مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها و تعیین پارامترهای آن پس از آنالیز تجربی داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آن‌ها اقدام به برازش واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها شد و نهایتاً پارامترهای آن تعیین شد که نتایج حاصله در جدول شماره ۱ و ۲ ارائه شده است.

ارزیابی روش‌های درون‌یابی

به کمک تکنیک اعتبارسنجی حذفی، از مقادیر MAE و MBE جهت ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی در مورد هر یک از پارامترهای مورد بررسی استفاده شد که نتایج حاصله در جداول شماره ۳ و ۴ ارائه شده است.

نقشه پهنه‌بندی مکانی

به منظور بررسی وضعیت کیفی آب زیرزمینی دشت از نظر تغییرات یون کلر و هدایت الکتریکی از نتایج حاصل از بررسی ۶۶ حلقه چاه انتخابی که در سطح دشت پراکندگی مناسبی داشتند استفاده شد که نتایج حاصله مربوط به ابتدا و انتهای دوره آماری مورد بررسی به همراه موقعیت چاه‌های انتخابی در شکل‌های شماره ۲ تا ۵ ارائه شده است. نقشه‌های هم‌تغییر پارامترهای مذکور در شکل‌های شماره ۶ و ۷ نمایش داده شده است.

برای ترسیم واریوگرام لازم است ابتدا مقدار $\gamma(h)$ را به ازای مقادیر مختلف h محاسبه و سپس مقادیر بدست آمده را به ازای فواصل h مختلف در یک نمودار رسم کرد. واریوگرام دارای سه مشخصه اصلی است که شامل آستانه $^{(3)}(C1+C0)$ ، شعاع تاثیر 4 (R) و اثر قطعه‌ای 5 (C0) است [۸].

پس از برازش مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها و تعیین پارامترهای آن در ابتدا و انتهای دوره ده‌ساله، از تکنیک‌های مختلف زمین آماری (شامل روش کریجینگ معمولی (OK)، لوگ کریجینگ، (OK-LO) کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی (OK-CO) و روش عکس فاصله (IDW) با توان‌های ۱ تا ۵ جهت درون‌یابی 6 در این تحقیق استفاده شد.

ارزیابی روش‌های درون‌یابی با استفاده از تکنیک اعتبارسنجی حذفی (CV)

برای بررسی دقت روش‌های درون‌یابی و انتخاب بهترین روش درون‌یابی روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از مهمترین این روش‌ها تکنیک اعتبارسنجی حذفی 7 می‌باشد. این تکنیک بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای به طور موقت حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور، مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط شبکه بصورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد. به طوری که در پایان یک جدول با دو ستون که نشان‌دهنده مقادیر واقعی و برآورد شده است، حاصل می‌گردد. با داشتن این دو مقدار می‌توان در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، انحراف 8 (MBE) میانگین خطای انحراف و دقت 9 (MAE) میانگین مطلق خطا را در هر روش از روابط زیر محاسبه کرد:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad (2)$$

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

$Z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر؛

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر؛

n : تعداد داده‌ها؛

MAE: میانگین مطلق خطا (دقت)؛

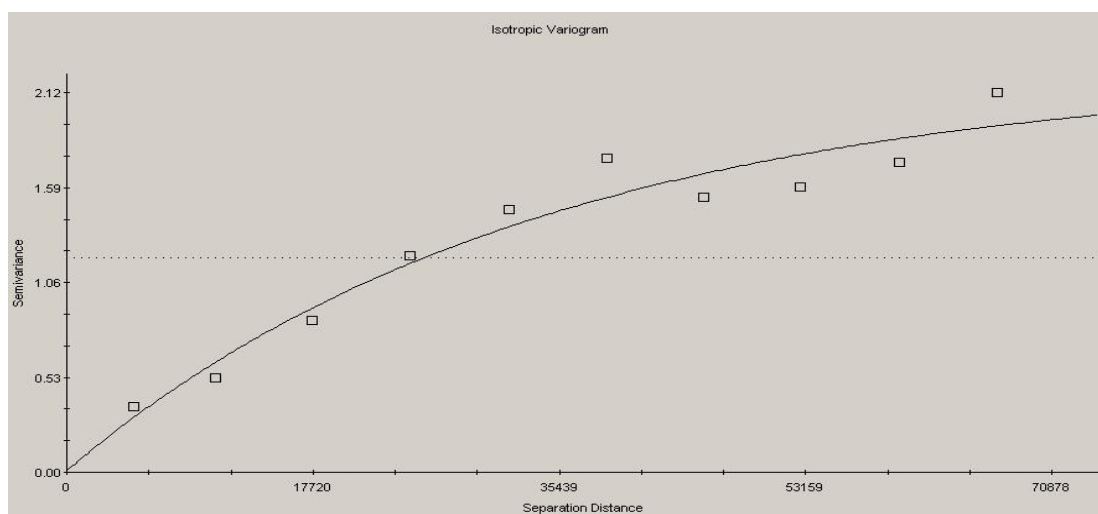
MBE: میانگین خطای انحراف.

هرچه مقدار این دو پارامتر به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده بالا بودن دقت مدل است. در واقع MAE، معرف دقت روش و مقدار متوسط خطا است. مقدار MBE نشانگر میانگین انحراف مقدار

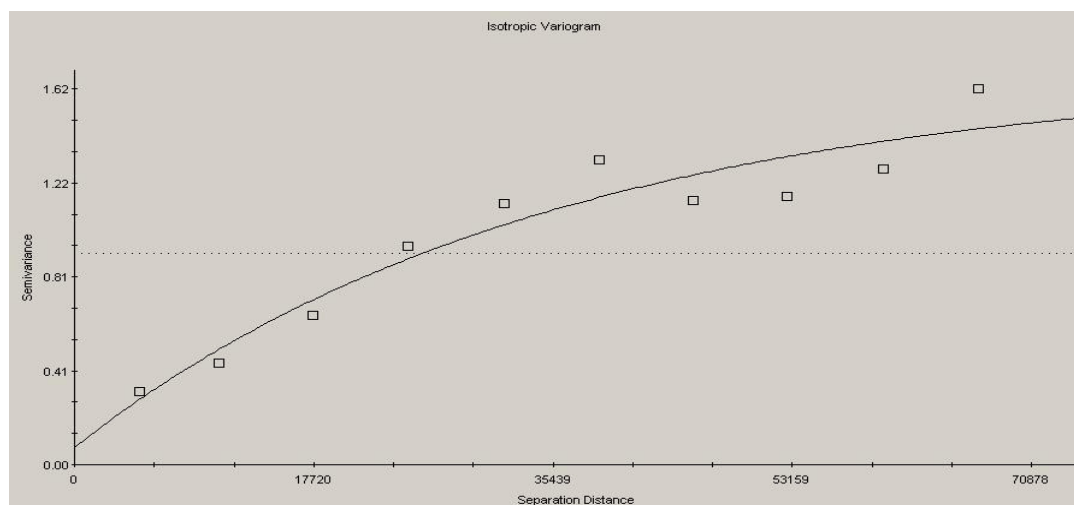
- 3- The sill
- 4- The range of Influence
- 5- Nugget Effect
- 6- Interpolation
- 7- Cross validation
- 8-Mean Absolute Error
- 9-Mean Bias Error

جدول ۱- مشخصات واریوگرام مناسب برازش شده میزان کلر در هریک از سال‌های آماری
 Table 1. Characteristics of the best fitted Variogram to Cl content in studied years

مجموع مربعات باقیمانده	همبستگی	پایداری ساختار فضایی	دامنه تاثیر	آستانه	اثر قطعه‌ای	مدل	پارامتر کیفی
RSS	Correlation	Spatial structure	The range of influence	Sill	Nugget effect	model	Quality parameters
0.175	0.94	0.996	101700	2.246	0.009	نمایی Exponential	کلر ۱۳۷۵ 1996 chlorine
0.132	0.914	0.956	106200	1.698	0.075	نمایی Exponential	کلر ۱۳۸۵ 2006 chlorine



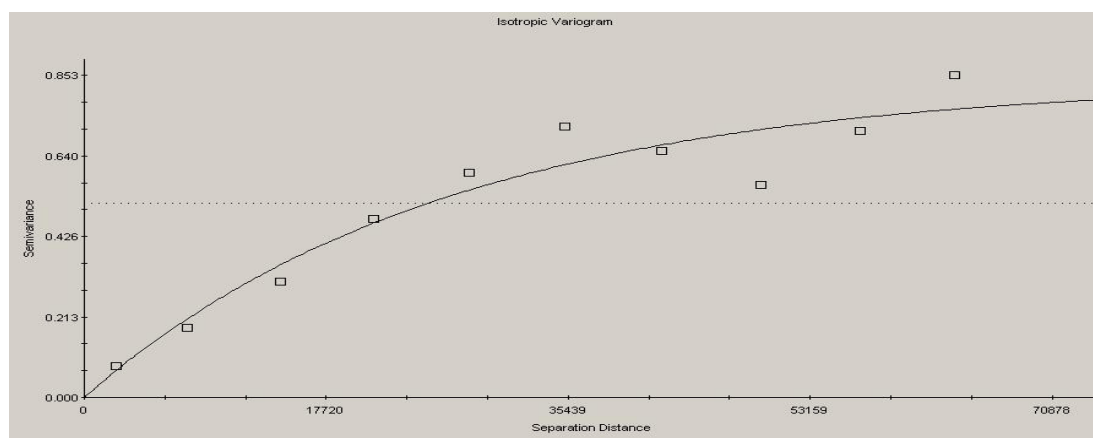
نمودار ۱- واریوگرام کلر آب زیرزمینی تابستان سال ۱۳۷۵
 Figure 1. Groundwater chlorine variogram in the summer of 1996



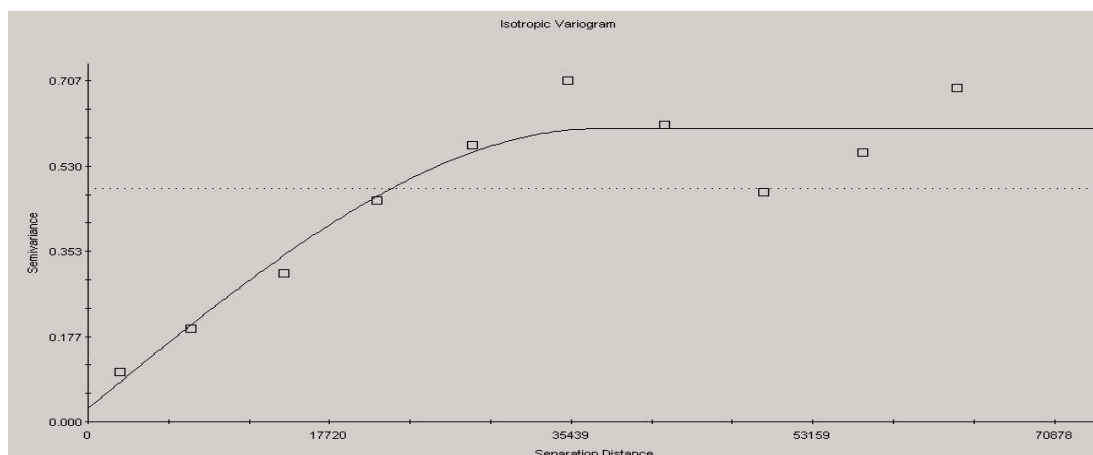
نمودار ۲- واریوگرام کلر آب زیرزمینی تابستان سال ۱۳۸۵
 Figure 2. Groundwater chlorine variogram in the summer of 2006

جدول ۲- مشخصات واریوگرام مناسب برازش شده میزان هدایت الکتریکی در هر یک از سال‌های آماری
Table 2. Characteristics of the best fitted Variogram to electrical conductivity content in studied years

مجموع مربعات باقیمانده	همبستگی	پایداری ساختار فضایی	دامنه تاثیر	آستانه	اثر قطعه‌ای	مدل	پارامتر کیفی
RSS	Correlation	Spatial structure	The range of influence	Sill	Nugget effect	model	Quality parameters
0.0463	0.918	0.999	79800	0.84	0.001	نمایی Exponential	هدایت الکتریکی ۱۳۷۵ 1996 Electrical conductivity
0.0393	0.897	0.954	37500	0.6080	0.028	کروی Spherical	هدایت الکتریکی ۱۳۸۵ 2006 Electrical conductivity



نمودار ۳- واریوگرام هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تابستان سال ۱۳۷۵
Figure 3. Groundwater electrical conductivity variogram in the summer of 1996



نمودار ۴- واریوگرام هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تابستان سال ۱۳۸۵
Figure 4. Groundwater electrical conductivity variogram in the summer of 2006

بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی این پارامتر، مدل نمایی می‌باشد بطوری که دامنه تاثیر آن از ۱۰۱۷۰۰ متر در سال ۷۴-۷۵ به ۱۰۶۲۰۰ متر در سال آبی ۸۴-۸۵ افزایش و میزان آستانه از ۲/۲۴۶ به ۱/۶۹۸ نزول یافته است. این یافته با نتایج جینگ لی [۱۰] در مطالعه

بحث و نتیجه گیری:

نتایج حاصل از آنالیز واریوگرافی مربوط به پارامتر کیفی یون کلر آب زیرزمینی دشت در ابتدا و انتهای دوره آماری نشان داد که

جدول ۳- مقادیر MAE و MBE برای هریک از روشهای درون یابی کلر آب زیرزمینی در سال ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵

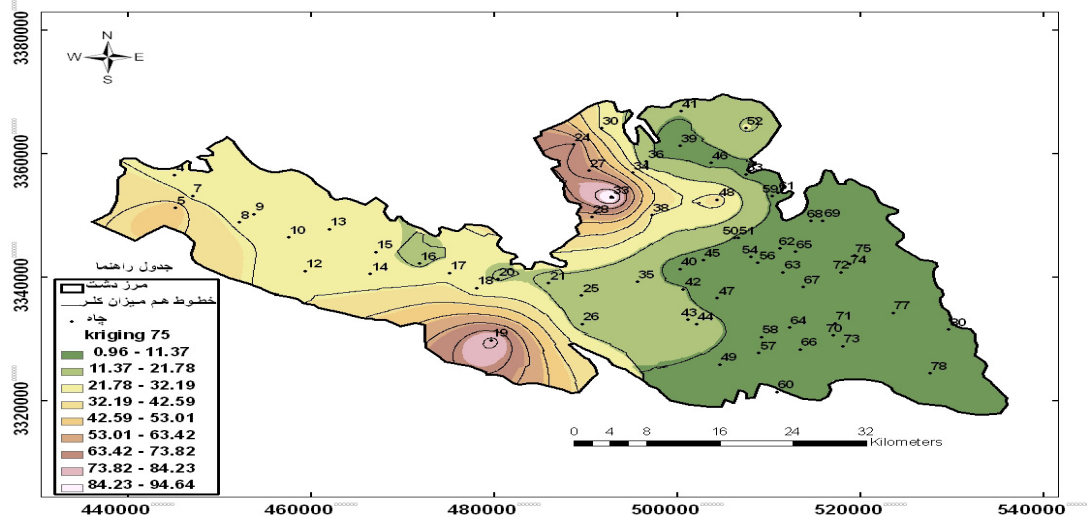
Table 3. MAE and MBE values for each of the chlorine underground water interpolation methods in 1996 and 2006 years

تابستان ۱۳۸۵		تابستان ۱۳۷۵		تابستان ۱۳۸۵		تابستان ۱۳۷۵		روش‌های درون یابی Interpolation methods
2006 summer		1996 summer		2006 summer		1996 summer		
MAE	MBE	میانگین تخمینی Estimated mean	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای Observed mean	MAE	MBE	میانگین تخمینی Estimated mean	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای Observed mean	
7.972	-3.077	15.579	18.656	6.382	-2.200	10.357	12.557	Log- kriging
9.023	-4.845	13.805	18.656	6.685	-3.874	8.683	12.557	idw-1
8.759	-4.301	14.355	18.656	6.563	-3.449	9.109	12.557	idw-2
8.879	-3.574	15.082	18.656	6.922	-2.844	9.713	12.557	idw-3
9.497	-2.812	15.844	18.656	7.486	-2.196	10.361	12.557	idw-4
10.054	-2.162	16.492	18.656	7.989	-1.637	10.921	12.557	idw-5
9.080	-0.426	18.230	18.656	7.142	-0.261	12.297	12.557	kriging

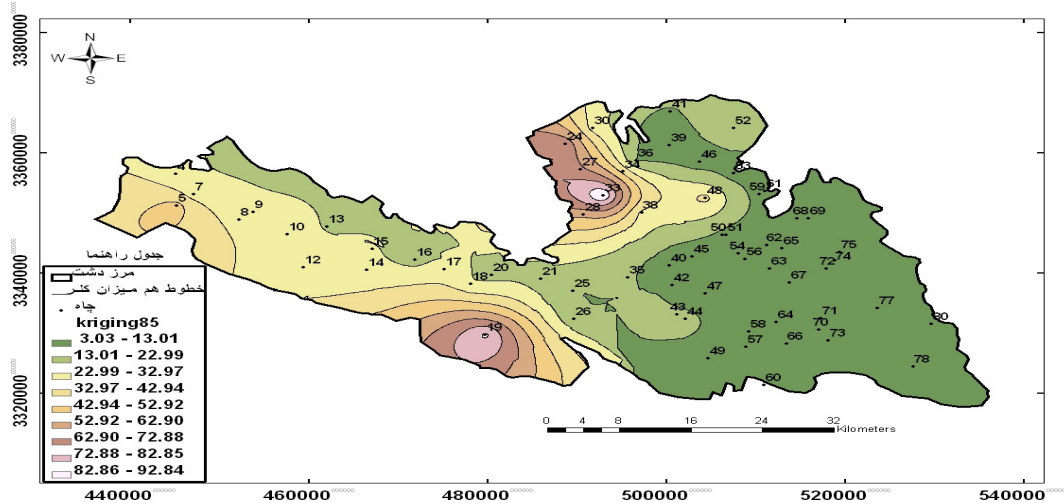
جدول ۴- مقادیر MAE و MBE برای هریک از روشهای درون یابی هدایت الکتریکی در سال ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵

Table 4. MAE and MBE values for each of the electrical conductivity underground water interpolation methods in 1996 and 2006 years

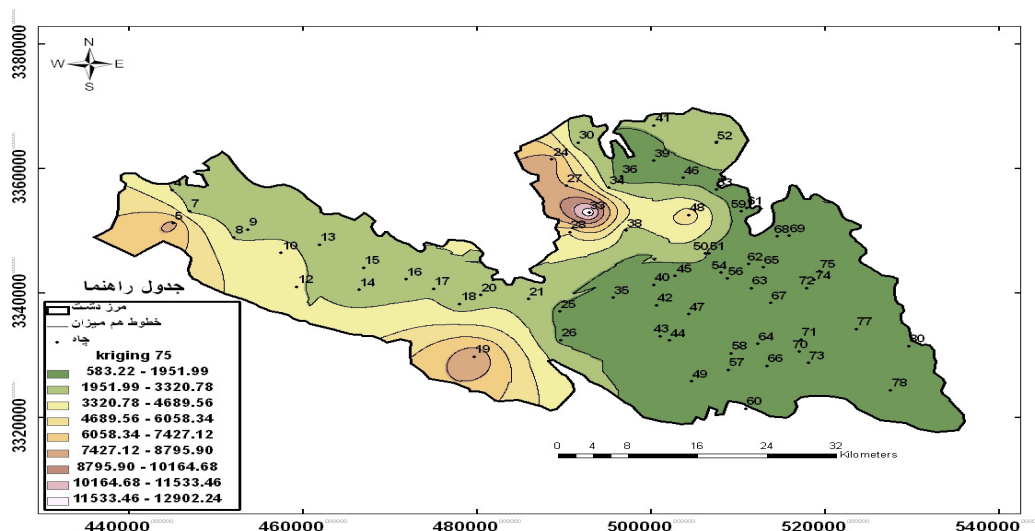
تابستان ۱۳۸۵		تابستان ۱۳۷۵		تابستان ۱۳۸۵		تابستان ۱۳۷۵		روش‌های درون یابی Interpolation methods
2006 summer		1996 summer		2006 summer		1996 summer		
میانگین تخمینی Estimated mean	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای Observed mean	میانگین تخمینی Estimated mean	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای Observed mean	میانگین تخمینی Estimated mean	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای Observed mean	میانگین تخمینی Estimated mean	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای Observed mean	
1164.318	-316.823	2689.390	3006.212	910.373	-225.105	2147.819	2402.924	Log- kriging
1182.459	-514.496	2491.716	3006.212	924.711	-433.476	1969.448	2402.924	idw-1
1176.227	-447.937	2558.275	3006.212	913.245	-387.942	2014.982	2402.924	idw-2
1260.365	-374.864	2631.348	3006.212	980.932	-330.988	2071.937	2402.924	idw-3
1350.716	-236.434	2705.778	3006.212	1057.308	-267.327	2135.597	2402.924	idw-4
1424.335	-236.858	2769.354	3006.212	1124.094	-210.685	2192.239	2402.924	idw-5
1206.248	-287.023	2719.19	3006.212	1078.936	-68.642	2334.282	2402.924	kriging
1319.858	-79.424	2926.887	3006.212	923.476	-245.554	2157.37	2402.924	cokriging



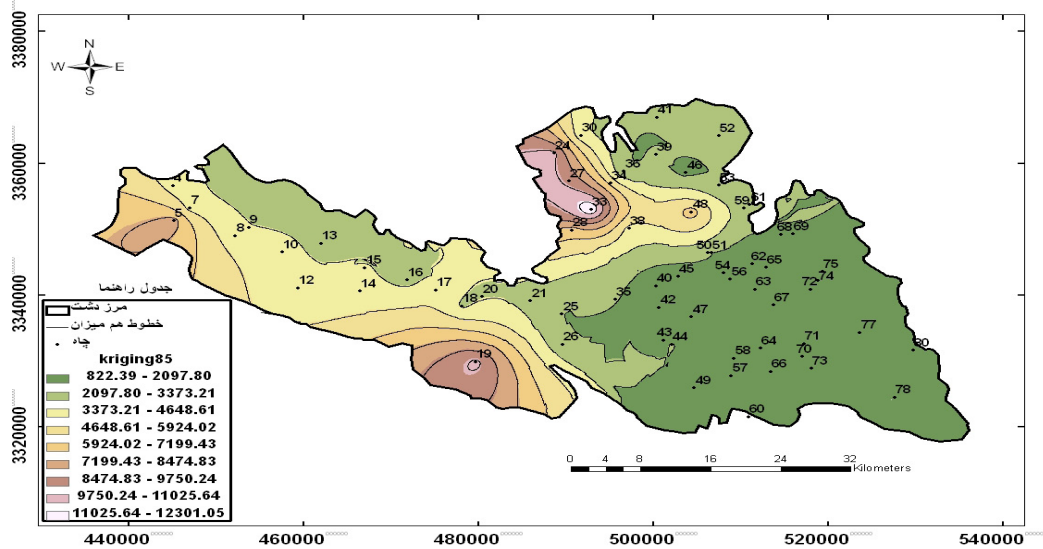
شکل ۳- پهنه بندی مکانی میزان کلر دشت کرمان (میلی اکوی والان در لیتر) در تابستان ۱۳۷۵
Figure 2. Chlorine spatial zonation map of Kerman plain (mEq/L) in the summer of 1996



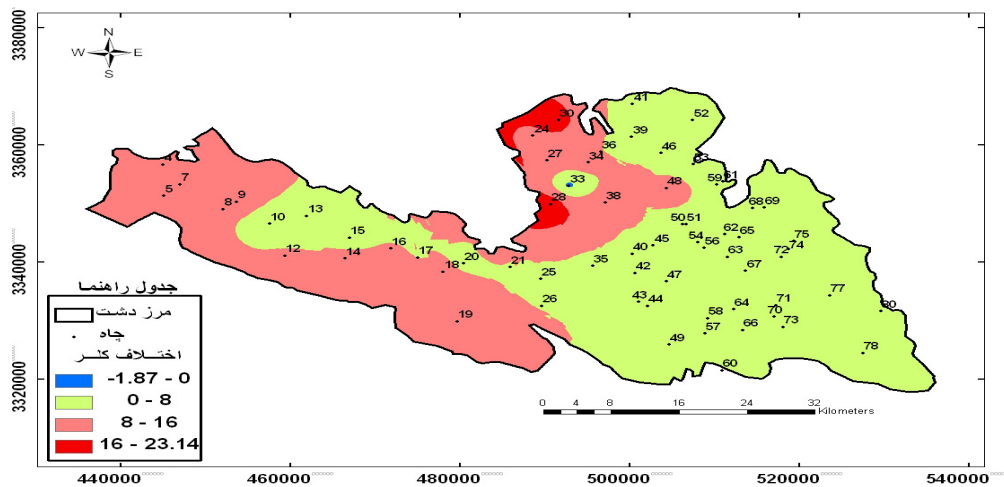
شکل ۳- پهنه بندی مکانی میزان کلر دشت کرمان (میلی اکوی والان در لیتر) در تابستان ۱۳۸۵
Figure 3. Chlorine spatial zonation map of Kerman plain (mEq/L) in the summer of 2006



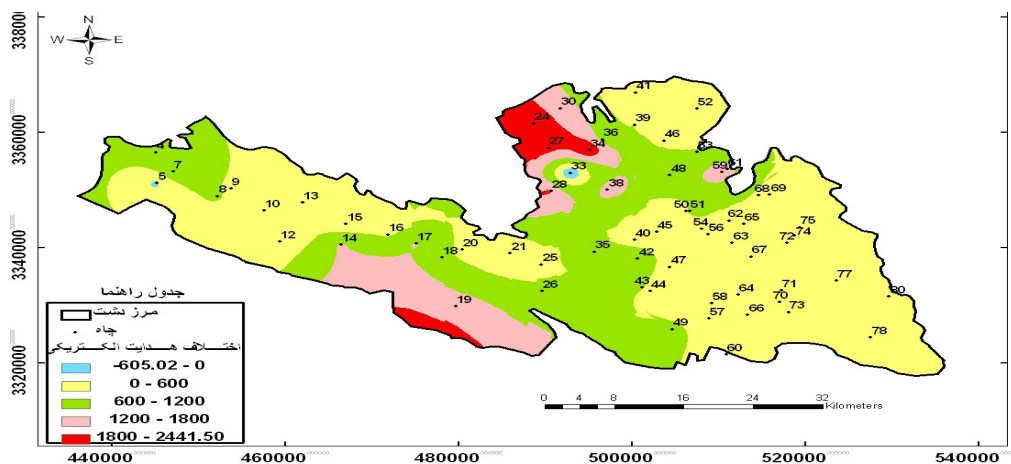
شکل ۴- پهنه بندی مکانی هدایت الکتریکی دشت کرمان (میکروموس بر سانتی متر) در تابستان ۱۳۷۵
Figure 4. Electrical conductivity spatial zonation map (μ mho/cm) of Kerman plain in the summer of 1996



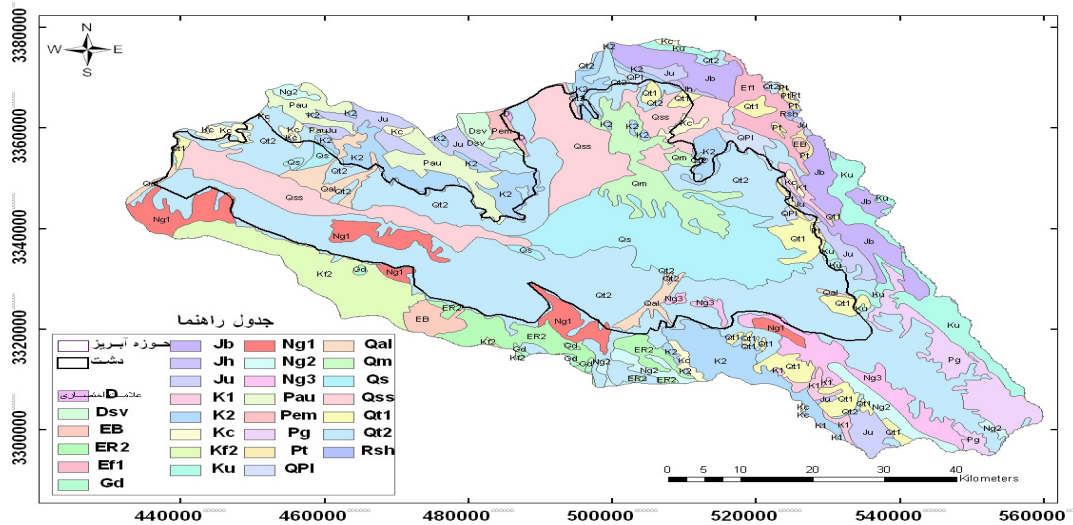
شکل ۵- پهنه بندی مکانی هدایت الکتریکی دشت کرمان (میکروموس بر سانتی متر) در تابستان ۱۳۸۵
 Figure 5. Electrical conductivity spatial zonation map (μ mho/cm) of Kerman plain in the summer of 2006



شکل ۶- نقشه هم تغییر کلری طی دوره ۱۱ ساله مورد مطالعه در دشت کرمان
 Figure 6. Chlorine isovariation map of studied area in Kerman plain during 11 year period



شکل ۷- نقشه هم تغییر هدایت الکتریکی طی دوره ۱۱ ساله مورد مطالعه در دشت کرمان
 Figure 7. Electrical conductivity isovariation map of studied area in Kerman plain during 11 year period



شکل ۸- نقشه زمین‌شناسی حوزه آبریز و دشت کرمان

Figure 8. Geology map of watershed catchment and plain of Kerman

بررسی پارامترهای هیدروشی می‌آب زیرزمینی دشت کرمان و پهنه بندی مکانی هر یک از این پارامترها نشان دهنده این است که در مورد میزان یون کلر آب زیرزمینی دشت با توجه به نقشه پهنه بندی سال ۷۵ در بخش شرق و جنوب شرق دشت، میزان یون کلر پایین بوده و از ۰/۹۶ تا ۱۱/۳۷ میلی اکوی والان در لیتر متغیر است. میزان این یون در خروجی شمالی دشت به دامنه ۹۴/۶۴-۸۴/۲۳ میلی اکوی والان در لیتر می‌رسد و در این ناحیه یون کلر بصورت هسته‌ای است که در حال پیشروی به سایر نواحی دشت است. دلیل این افزایش علاوه بر بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، با توجه به نقشه زمین‌شناسی وجود سازند تبخیری سنگ آهک مارنی (K2) در حاشیه آبرفت‌های کوتاه‌تر این محدوده می‌باشد. در خروجی غربی آب زیرزمینی دشت نیز شاهد بالا بودن میزان یون کلر در اطراف و دامنه موثر چاه‌های انتخابی ۴، ۵، ۷ هستیم بطوری که غلظت یون کلر در این منطقه بین ۵۳/۰۱ و ۴۲/۵۹ میلی اکوی والان در لیتر می‌باشد. در ناحیه جنوب غربی دشت در اطراف چاه انتخابی ۱۹ نیز میزان یون کلر بالاست بطوری که در این ناحیه غلظت آن به ۷۳/۸۲ تا ۸۴/۲۳ میلی اکوی والان در لیتر می‌رسد، لذا شاهد وجود هسته دیگری از کلر در این بخش از دشت هستیم که این هسته نیز در حال پیشروی است. دلیل این افزایش می‌تواند به وجود سازند مارن نئوژن (Ng1) و تأثیر منفی آن بر کیفیت آب مربوط باشد. در محدوده شهر کرمان نیز میزان کلر آب زیرزمینی از مقدار نسبتاً قابل قبولی برخوردار است و میزان آن در این محدوده از ۳۲/۱۹ تا ۴۲/۵۹ میلی اکوی والان در لیتر می‌رسد.

مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی یون کلر نشان داد که در طول دوره آماری ۱۰ ساله مورد بررسی میزان غلظت یون کلر در آب زیرزمینی در کل سطح دشت از یک روند افزایشی برخوردار است. بطوری که حتی در ناحیه ورودی دشت میزان غلظت این یون در سال

پارامتر کیفی آرسنیک مطابقت داشت.

نتایج حاصل از آنالیز واریوگرافی مربوط به پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت در ابتدا و انتهای دوره آماری نشان داد که بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی این پارامتر در سال آبی ۷۴-۷۵ مدل نمایی و در سال آبی ۸۵-۸۴ مدل کروی می‌باشد، بطوری که دامنه تأثیر آنها از ۷۹۸۰۰ متر در سال ۷۵-۷۴ به ۳۷۵۰۰ متر در سال آبی ۸۵-۸۴ و میزان آستانه از ۰/۸۴ به ۰/۶۰۸ رسیده است. در این رابطه نظری زاده و همکاران [۱۸] نیز اذعان داشتند که پارامترهای هدایت الکتریکی، کلر و سولفات دشت بالارود خوزستان به ترتیب دارای دامنه تأثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰ و ۱۰۲۱۰۰ متر و حد آستانه ۰/۵۳۳، ۱/۵۳۲، و ۲/۰۵ (٪) بوده و از ساختار کروی تبعیت می‌کند. نتایج حاصل از این تحقیق نیز در بخش مربوط به میزان هدایت الکتریکی سال آبی ۸۵-۸۴ با یافته‌های نظری زاده و همکاران [۱۸] و مطالعه یان بین لین و همکاران [۲۵] در دشت سیلابی چیانان در تایوان در مقیاس محلی هم‌سویی داشت و با نتایج کلین هو و همکاران [۱۲] مغایرت داشت که دلیل این مغایرت احتمالاً متفاوت بودن شرایط و خصوصیات و پارامترهای محیطی و اکولوژیکی است.

طبق بررسی‌های بعمل آمده در مورد مقایسه روش‌های درون‌یابی برای پارامترهای کیفی مورد بررسی، نتایج نشان داد که روش لوگ کریجینگ بعنوان بهترین روش درون‌یابی جهت پهنه‌بندی پارامترهای کیفی (کلر و هدایت الکتریکی) است. لازم به ذکر است که این روش در هر دو سال آماری مورد بررسی (ابتدا و انتهای دوره آماری) روش مناسبی است که این نتایج با یافته‌های محمدی [۱۶]، قهرمان و همکاران [۷] و جینگ لی [۱۰] مطابقت داشت. لازم به ذکر است روش کوکریجینگ برای پارامتر هدایت الکتریکی با استفاده از متغیر کمکی یون کلر نیز نتایج رضایت بخشی ارائه داد.

داریم که می‌تواند علاوه بر تأثیر سازند زمین‌شناسی به بهره‌برداری بالا در این بخش مربوط باشد. چاره‌اندیشی برای بهبود وضعیت کیفی آبخوان و جلوگیری از پیشروی هسته‌های شور این مناطق از افق‌های تحقیقاتی این پژوهش به شمار می‌آید. همچنین به دلیل وجود ارتباط متقابل بین کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، مطالعه و بررسی‌های کمی‌آب زیرزمینی دشت جهت ارائه نتایج صحیح‌تر پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Akbari, A. Sheriff, N. and Rahimi, M. H. 2006. Evaluation of groundwater quality of Shooshtar Mianab plain using GIS. First Regional Conference on Optimal Utilization of Water Resources in Karoun and Zayandeh Rood Areas. Shahrekord University, Pp 687-695. (In Persian)
2. Barcae, E. and G. Passarella. 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 133: 261-273.
3. Cooper, R.M. and J.E. Astok. 1998. Geostatistics applied to groundwater contamination. *Journal of Environmental Methodology*. 114 (2): 270-286.
4. Data, P.S. Deb, D.L. and Tygi, S.K. 1997. Assessment of ground water contamination from fertilizers in the Delhi area based on O^{18} , NO_3 and K commission. *Journal of Contaminant Hydrology*. 27: 249-262.
5. Ella, V.B, Melvin, S.W. and Kanwar, R.S. 1999. Spatial analysis of NO_3-N concentration in glacial till. ASAE-CSAE- SCGR Annual international meeting. Toronto. Ontario, Canada. 18-21 July. ASAE Paper No. 992004.
6. Fetouani, S. Sbaa, M. Vanclooster, M. and Bendra, B. 2008. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (Nnorth-east Morocco). *Journal of Agricultural Water Management*. 95: 133-142.
7. Gahreman, B. Hosseini, M. and Asgari, H.R. 2003. Geospatial application in assessing groundwater quality monitoring networks. Amirkabir University of Technology, Tehran, 14 (55), 971- 981. (In Persian)
8. Hasani Pak, A. 1998. *Geostatistics (1th Ed.)*. Tehran University Press, Tehran, 314 p. (In Persian)
9. Issak, E.H. and Srivastava, R.M. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press. 561p.
10. Jin-Jing, L. Cheng-Shin, J. Sheng-Wei, W. and

۸۵ به دامنه ۱۳/۰۱-۳/۰۳ میلی اکی والان در لیتر افزایش یافته است. شدت افزایش یون کلر بویژه در قسمت خروجی شمالی دشت در اطراف چاه انتخابی شماره ۲۷، ۲۸ و ۳۳ و هسته کلر جنوب غرب دشت در اطراف چاه ۱۹ بیشتر است بطوری که میزان آن در اطراف چاه ۱۹ به ۸۴/۸۴-۹۲/۸۵ میلی اکی والان در لیتر افزایش یافته است. لازم به ذکر است تجزیه کامل شیمیایی و بررسی آلاینده‌ها و فلزات سنگین در مناطق بحرانی و کل دشت می‌تواند در مطالعات آبی در تهیه مدل‌های کمی و کیفی و طرح‌های مختلف کارساز باشد. طبق بررسی‌های بعمل آمده در خروجی شمالی دشت (هسته کلر) افزایش میزان یون کلر آب زیرزمینی چندان محسوس نیست با وجود اینکه مقادیر مشاهداتی یون کلر در پایان دوره آماری (سال ۸۵) نسبت به ابتدای دوره (سال ۷۵) بیشتر است ولی به دلیل وجود روابط مکانی بین ساختار فضایی داده‌ها در سال ۸۵، در نقشه پهنه‌بندی مکانی مربوطه این افزایش به طور معنی‌داری به چشم نمی‌خورد که این مهم از نقاط قوت روش کریجینگ به دلیل در نظر گرفتن دو فاکتور فاصله و جهت و تاثیر نقاط مجاور در درون‌یابی است.

نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی مکانی هدایت الکتریکی در سطح دشت کرمان در ابتدای دوره آماری نشان‌دهنده روند کلی افزایش هدایت الکتریکی از نواحی ورودی جنوب و جنوب شرق به سمت نواحی مرکزی و خروجی دشت است که در این رابطه میزان هدایت الکتریکی در ورودی آب زیرزمینی دشت در سال ۷۵ دارای دامنه ۱۹۵۱/۹۹-۵۸۳/۲۲ میکروموس بر سانتی‌متر است و این جریان ضمن حرکت به سمت مرکزی و خروجی دشت و امتزاج با جریان‌های زیرزمینی کیفیت آن بتدریج نامطلوب‌تر می‌شود این مهم را در اطراف شهر کرمان به دامنه ۴۶۸۹/۵۶-۳۳۲۰/۷۸ میکروموس بر سانتی‌متر و در بخش خروجی شمالی دشت می‌توان مشاهده نمود. به نظر می‌رسد با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، وجود سازند تبخیری رسوبی سنگ آهک مارنی (K_2) و لایه‌های ضخیم رسی باعث کندی حرکت آب زیرزمینی و افزایش میزان و زمان تماس آب‌های ورودی به این منطقه و در نتیجه افزایش قابل توجه انحلال املاح در آب می‌شود. میزان هدایت الکتریکی به میزان دامنه حداکثر ۱۲۹۰۲/۲۴-۱۱۵۳۳/۴۶ میکروموس بر سانتی‌متر می‌رسد. در خروجی غربی دشت در ناحیه رباط-کریم آباد وضعیت کیفی سفره مناسب‌تر است و میزان هدایت الکتریکی در این منطقه بین ۱۲/۷۴۲۷-۳۴/۶۰۵۸ میکروموس بر سانتی‌متر می‌رسد.

مقایسه نقشه پهنه‌بندی مکانی هدایت الکتریکی در ابتدا و انتهای دوره آماری نشان‌دهنده افزایش میزان هدایت الکتریکی بویژه توسعه مکانی این پارامتر در بخش خروجی غربی، شمالی و نیز در شهر کرمان است. در راستای غربی دشت (محور باغین-رباط) نیز شاهد افزایش دامنه تاثیر چاه‌های انتخابی این منطقه و افزایش مقدار هدایت الکتریکی از دامنه ۳۳۲۰/۷۷-۱۹۵۱/۹۹ در سال ۷۵ به ۴۶۴۸/۶۱-۳۳۷۳/۲۱ میکروموس بر سانتی‌متر هستیم بویژه در اطراف چاه‌های انتخابی ۱۷ و ۱۸ بیشترین تغییرات و افزایش EC را

19. Pawar, N.J. and Shaikh, I.J. 1995. Nitrate pollution of ground waters from shallow basaltic aquifers Deccan trap, Hydrological province, India. *Environmental Geology*. 25: 197-204.
20. Rejinders., H.F.R. Van Drecht, G. Prins, H.F. and Boumans, L.J.M. 1998. The quality of the ground water in the Netherlands. *Journal of Hydrology*. 207: 179-188.
21. Robertson, W.D. Russeland, B.M. and Cherry, J.A. 1996. Attenuation of nitrate in aquitted sediments of southern Ontario. *Journal of Hydrology*. 180: 267-281.
22. Sandow, M.Y. Bruce, B.Y. and Thomas, M.A. 2010. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana. *Journal of African Earth Sciences*. 58: 220-234.
23. Shabani, M. 2008. Determination of the most suitable geostatistical method for the preparation of pH and TDS changes map of groundwater (Case study; Arsanjan plain). *Water Engineering Journal* 1, 57-47. (In Persian)
24. Toluynezhad, M. Miri, M.A. Mohammadpour Zanganeh, G.H. and Rangzan, K. 2006. Quantitative and qualitative balance inventory of Andimeshk plain groundwater resources. The First Regional Conference on Optimal Utilization of Water Resources in Karoun and Zayandehrood. Shahrekord University, Pp 1810 - 1818.
25. Yun-Bin, L. Yu-pin, L. Chen-Wuing, L. and Yih-Chi, T. 2006. Mapping of spatial multi-scale sources of arsenic variation in groundwater on ChiaNan floodplain of Taiwan. *Science of the Total Environment*. 370: 168-181.
26. Wang, Y. Ma, T. Luo, T. 2001. Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on a regional scale: a case study in the Liulin karst system. Northwest China. *Journal of Hydrology*. 247: 223-234.
27. Zhehtabian, G.R. John Faza, A. Asgari, M.H. and Nemat Allahi, M.J. 2010. Modeling of spatial distribution of some characteristics of groundwater (Case study: Garmsar watershed). *Iranian Journal of Range and Desert Research* 17 (1), 73-61. (In Persian)
- Chen-Wuing, L. 2007. Evaluation of potential health risk of arsenic-affected ground water using indicator kriging and dose response model. *Science of the Total Environment*. 384: (151-162).
11. Kangaroglu, F. and Gunay, G. 1997. Ground water nitrate pollution in an alluvial aquifer, Eskir urban area and its vicinity, Turkey. *Environmental Geology*, 31: 178-184.
12. Kelin, H. Huang, Y. Li, H. Li, B. Chen, D. and Robert, E.W. 2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Environment International*. 31: (893-903).
13. Kunwar, P. S. Malik, A. Dinesh, M. and Sinha, S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) a case study. *Water Research*, 38 : 3980-3992.
14. Madani, H. 1994. Basis of geospatial statistics. Amirkabir University of Technology Publication, Tehran, 659 p. (In Persian)
15. Mahdavi, M. 1999, *Applied Hydrology*(2th Ed.). Second volume, Tehran University Press, Tehran, 401 p. (In Persian)
16. Mohammadi, J. and Van Murnau, M. 1999. Geostatistic, a useful tool in the study and zonation of environmental pollution. First Conference on Geology of Engineering and Environment of Iran, Tarbiat Modarres University, Tehran, Pp 815-828. (In Persian)
17. Mohamadi, S. Salajegheh, A. Mahdavi, M. and Bagheri, R. 2012. An 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* 19(1), 60-71. (In Persian)
18. Nazarizadeh, F. Ershadian, B. and Zandvakilli, K. 2006. Investigation of spatial variations of groundwater quality in Balarood plain in Khuzestan province. The First Regional Conference on Optimal Utilization of Water Resources in Karoun and Zayandehrood. Shahrekord University, Pp 1236-1240. (In Persian)

*Abstract***Investigating the Spatial and Temporal Variation of Groundwater Quality Applying the Best Geostatistical Estimation (Case study: Kerman Plain)**S. Mohamadi¹ and A. Salajegheh²

Received:2010/06/02 Accepted : 2010/10/25

Recognizing of critical zones of groundwater quality is one of the most important issues about researches in water fields. The goal of this study is to determine the spatial and temporal variation of groundwater quality factors such as electrical conductivity and chloride ion contents using the best suited geostatistical estimation in Kerman plain on 10 years period (1996-2006). Also, the best variogram model and parameters related to model of EC and Cl contents will be determined. Findings of variography analysis for Cl contents of groundwater quality data in the beginning and the end of study period showed that the exponential structure is the best spatial model fitted to this parameter. Thus, its effect range increased from 101700 to 106200 meter and sill contents decreased from 2.246 to 1.698, during 1996 to 2006. The best model fitted to electrical conductivity spatial structure became exponential in 1995-1996 and spherical in 2005-2006. The results of geostatistical analysis show that effect range and sill contents of EC decreased from 79800 to 37500 meter and 0.84 to 0.608, during 1996 to 2006, respectively. Comparing of interpolation methods of groundwater quality data introduced log kriging method as the best approach for Cl and EC zonation maps. Cl zonation maps show an increasing trend of Cl content in all plain areas in 10 years period. Thus, Cl concentration in the input region of plain increased in the range of 3.03-13.01 in 2006. Intensity of Cl content occur in north outlet of plain near well numbers 27, 28, and 33, and Cl critical core of western south of plain near well number 19 show an increasing trend. Our findings showed an increasing in EC content, especially its spatial spreading in west and north outlet of Kerman plain and Kerman city in 10 years period.

Keywords: *Quality, Ground water, Kerman plain, Cl, EC, Geostatistics.*

1. Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. Corresponding author Email: mohamadisedigeh@gmail.com

2. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran