

بررسی توزیع مکانی یون نیتрат در آب‌های زیرزمینی شهرستان اندیمشک با استفاده از روش‌های زمین‌آماري

سید حسین خزاعي^{۱*}، مهدیه دالوند^۲، بهناز اسکندري^۳، روح الله تقی زاده مهرجردی^۴

۱. عضو هیئت علمی گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران

۲،۳. دانش آموخته کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران

۴. استادیار دانشکده کشاورزی، منابع طبیعی و کویرشناسی، مجتمع آموزش عالی اردکان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۹-تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴)

چکیده

با توجه به اهمیت منابع آب‌های زیرزمینی در تأمین نیازهای بشر، عدم کنترل و مدیریت نامناسب این منابع ممکن است به بروز مشکلاتی مثل آلودگی‌های نیتراته ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی منجر شود. با تعمیم داده‌های نقطه‌ای به سطح، با استفاده از روش‌های زمین‌آماري، می‌توان میزان آلودگی را در مناطقی که نمونه‌برداری صورت نگرفته است نیز تعیین کرد. این پژوهش با هدف پهنه‌بندی میزان آلودگی نیتراته آب‌های زیرزمینی در بخشی از اراضی کشاورزی شهرستان اندیمشک انجام شد. به این منظور، از ۵۵ حلقه چاه نمونه‌برداری انجام شد و میزان یون نیترات در هر کدام از چاه‌ها بر حسب mg/lit نیترات به‌دست آمد. روش‌های زمین‌آماري مورد استفاده شامل کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله بود. از کریجینگ شاخص نیز برای ترسیم نقشه احتمال خطر آلودگی نیترات استفاده شد. بعد از تعیین نرمال‌بودن داده‌ها و رسم واریوگرام، روش کریجینگ با مقدار ریشه مربعات خطای $1/4$ و خطای کمتر نسبت به روش کوکریجینگ با مقدار ریشه مربعات خطای $1/42$ و معکوس فاصله با مقدار ریشه مربعات خطای $1/46$ روش مناسب شناخته شد. بنابراین، با بهره‌گیری از بهترین روش درون‌یابی (کریجینگ) به پهنه‌بندی غلظت یون نیترات اقدام شد. نقشه‌های هم‌نیترات می‌تواند به‌مثابه ابزاری مهم برای تصمیم‌گیران در عرصه‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: آب زیرزمینی، آلودگی نیتراته، توزیع مکانی، زمین‌آمار، کریجینگ.

۱. مقدمه

به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی دارای دقت‌های گوناگونی هستند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های زمین‌آماری^۱ کریجینگ^۲، کوکریجینگ^۳ و روش‌های معین مانند وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)^۴ و تابع شعاعی (RBF)^۵ اشاره کرد (Shaabani, 2008).

از دیدگاه زمین‌آمار، هر نمونه تا فاصله معینی با نمونه‌های اطراف خود در ارتباط است و در واقع، طبق فرضیه‌های زمین‌آماری احتمال میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است. بنابراین، انتظار می‌رود که روش‌های زمین‌آماری با در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها و قابلیت استفاده از روابط بین متغیرها دقت برآورد بیشتری داشته باشند (Mahdizadeh *et al.*, 2006). تفاوت روش‌های زمین‌آماری با آمار کلاسیک این است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از جامعه آماری مستقل از یکدیگرند و وجود یک نمونه درباره نمونه بعدی هیچ گونه اطلاعاتی به ما نمی‌دهد. اما در روش‌های زمین‌آماری وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه بررسی می‌شود. به‌طور کلی، می‌توان گفت زمین‌آمار به بررسی متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی اند و یا به عبارتی، بین مقادیر مختلف آن‌ها، فاصله و جهت قرار گرفتن آن‌ها ارتباط فضایی وجود دارد (Hasanipak, 2010).

در سال‌های اخیر از تکنیک‌های زمین‌آماری برای پهنه‌بندی آلودگی آب استفاده شده است. در این راستا، برخی از پژوهشگران فقط از یک روش زمین‌آماری بهره گرفته‌اند. برای مثال، Hu و همکاران (2005) با استفاده از روش کریجینگ به تعیین توزیع مکانی هدایت الکتریکی و نیترات پرداخته و خطر آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی شهرستان کونتی را در شمال چین بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که آلودگی نیتراته در آب عمدتاً در مرکز منطقه و به‌علت آبیاری اراضی کشاورزی با فاضلاب و آبشویی بیش از حد کودهای شیمیایی اتفاق می‌افتد. Cinnirella و همکاران (2005) با استفاده از

نبودن زمین حاصلخیز کافی و محدود بودن سطح زیر کشت نظر متخصصان را به افزایش کمی و کیفی در تولید محصولات کشاورزی جلب کرده است (Gheisari *et al.*, 2007). این افزایش تولید دارای تبعات زیست محیطی فراوان هم‌چون آبیاری بیشتر و مصرف بیشتر آفت‌کش‌ها و کودها است و در نتیجه، باعث شست‌وشو و جابه‌جایی آن‌ها به لایه‌های مختلف خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود (Khazaei *et al.*, 2010). از جمله این کودهای شیمیایی کودهای نیتروژن‌دار بوده که یکی از پارامترهای مؤثر بر افزایش نیترات در آب‌های زیرزمینی است (Ostadaliaskari *et al.*, 2010). آبیاری زیاد و مصرف بیش از حد کودهای نیتروژن‌دار، در مجموع، باعث کاهش کارایی کاربرد نیتروژن و افزایش هدررفت نیتروژن در اثر آبشویی می‌شود (Chen *et al.*, 2010). با توجه به محدود بودن منابع آب شیرین لازم است برای جلوگیری از افت آب‌های زیرزمینی و آلودگی‌های ایجاد شده از سفره‌های شور ساحلی و آلودگی‌های نیتراته ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و خانگی تمهیداتی به عمل آید (Habibzadeh, 2006). از این رو، وجود داده‌هایی در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش فاکتورهای شیمیایی آب در یک منطقه جغرافیایی معین و آگاهی کامل از نحوه توزیع و پراکنندگی آلودگی موجود در سطح لازمه هرگونه اقدام برای کنترل و کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی و تأثیرات آن‌هاست، که گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به‌شمار می‌رود (Nejati jahromi *et al.*, 2009).

تعمیم داده‌های نقطه‌ای به سطح در بیشتر مطالعات منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و روش‌های درون‌یابی به مثابه راه حل مناسبی در تخمین آلودگی محل‌های نمونه‌برداری نشده مورد استفاده قرار می‌گیرند (Nejati jahromi *et al.*, 2009). به‌طور کلی، درون‌یابی فرایندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد (Ghahroudditali, 2002). روش‌های گوناگونی برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی وجود دارد که هر کدام از آن‌ها بسته

1. Geostatistics
2. Kriging
3. Cokriging
4. Inverse Distance Weighting
5. Radial Basis Functions

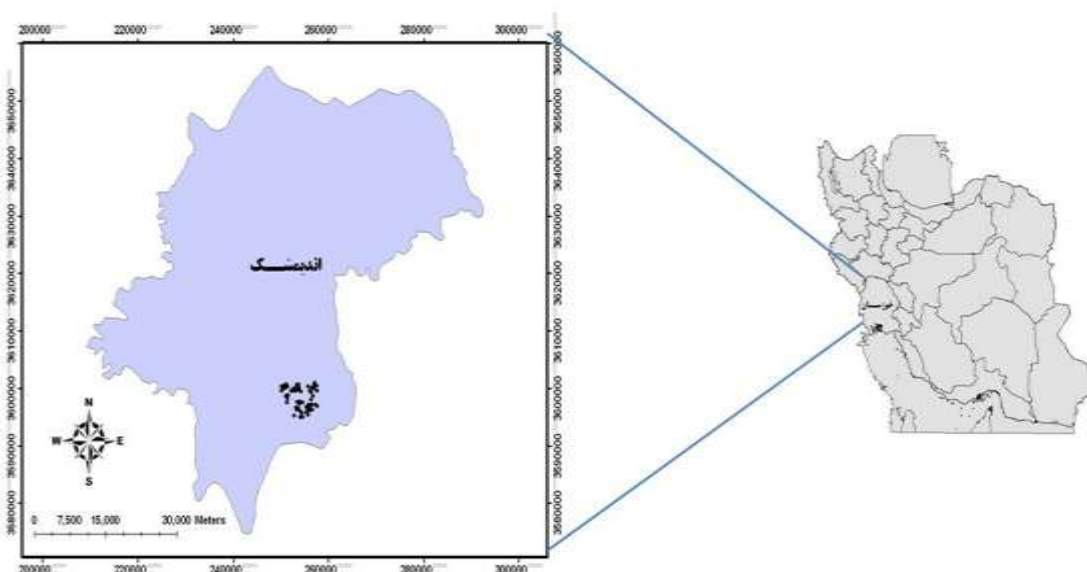
کردند. نتایج نشان داد که در مجموع روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله برای درون یابی این شاخص‌ها از توان بیشتری برخوردارند. Adhikary و همکاران (2010) با استفاده از روش‌های زمین‌آماري به تعیین کیفیت و ارزیابی خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی در شرق دهلی در هند پرداختند. در این تحقیق از روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه پارامترهایی مانند بیکربنات، کلسیم، کلرید، هدایت الکتریکی، منیزیم، نیترات، سدیم و سولفات استفاده شد. Khazaei و همکاران (2011) به پهنه‌بندی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه سیخ دارنگون در استان فارس پرداختند. در این تحقیق، از سه روش کریجینگ معکوس فاصله و کوکریجینگ استفاده شد و کریجینگ بهترین روش درون‌یابی شناخته شد. (Shabani 2011) به منظور بررسی و تحلیل مکانی میزان شوری و نیترات آب‌های زیرزمینی دشت نیریز در جنوب فارس، روش‌های زمین‌آمار را ارزیابی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش کریجینگ ساده از روش‌های دیگر برتر است و روش مناسبی برای تهیه نقشه نهایی تغییرات شوری و نیترات شناخته شد.

همان‌طور که در مرور منابع اشاره شد، برای پهنه‌بندی آلودگی آب زیرزمینی می‌توان از روش‌های گوناگون درون‌یابی استفاده کرد. اما زمانی نقشه‌های تهیه شده دارای اعتبار کافی خواهند بود که در منطقه مورد مطالعه، با شرایط جغرافیایی و پراکنش داده‌های متفاوت، به مقایسه انواع روش‌ها و ارائه بهترین الگوی پهنه‌بندی اقدام شود. بنابراین، در تحقیق حاضر در منطقه‌ای واقع در شهرستان اندیمشک، به پهنه‌بندی آلودگی آب‌های زیرزمینی به غلظت یون نیترات براساس موارد مذکور اقدام شد. همچنین، با استفاده از کریجینگ شاخص، نقشه احتمال آلودگی به یون نیترات برای منطقه مورد نظر تهیه شد. این منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی سنگین و، به تبع آن، استفاده از کودهای شیمیایی قرار دارد و این فعالیت‌ها مهم‌ترین علت آب‌شویی و ورود نیترات به آب‌های زیرزمینی هستند. آگاهی از آلودگی نیترات آب‌های زیرزمینی نیازمند اندازه‌گیری غلظت یون نیترات و بررسی سطوح بالاتر از حد مجاز آلاینده است تا بتوان

رهیافت مبتنی بر شبیه‌سازی متوالی زمین‌آماري، توزیع مکانی غلظت نیترات را در آب‌های زیرزمینی سراسر آب‌خیز پو در ایتالیا تعیین کردند. Lalezari و همکاران (2009) نیز با هدف بررسی گسترش آلاینده نیترات به پهنه‌بندی تغییرات ماهانه نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد پرداختند. به‌طور مشابه Chen و همکاران (2010) با استفاده از روش‌های زمین‌آماري اثرات تغییر کاربری و منابع آب آبیاری را روی توزیع زمانی و مکانی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی کم عمق در شمال چین بررسی کردند. (Mendes and Ribeiro 2010) با استفاده از کریجینگ نقشه احتمال خطر آلودگی نیترات را برای سیستم آب‌خیز رودخانه تاگوس پرتغال تهیه کردند. نتایج نشان داد احتمال آلودگی نیترات در غرب منطقه از شرق آن بیشتر است.

اما برخی از پژوهشگران نیز برای پهنه‌بندی آلودگی آب‌های زیرزمینی چندین روش زمین‌آماري را مقایسه کرده‌اند. برای مثال، Chang و همکاران (1998) با استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ به بررسی آلودگی آب مصب رودخانه بلک واتر و تهیه واریوگرام عرضی پرداختند. مقایسه نتایج در بررسی آلودگی آب حاکی از این بود که روش کریجینگ برای نمایش داده‌های با توزیع فضایی مناسب‌تر است. (Taghizadeh Mehrjerdi و همکاران 2008)، با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و وزن دهی عکس فاصله، توزیع مکانی یکسری از خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اردکان یزد را تعیین کردند که شامل TDS، TH، EC، SAR، یون کلر و سولفات بود. نتایج نشان داد که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ از روش وزن‌دهی عکس فاصله برترند. به‌طور مشابه، Nejadi jahromi و همکاران (2009)، برای بررسی مکانی نیترات در آبخوان آبرفتی دشت عقیلی در استان خوزستان، از تحلیل‌های زمین‌آماري استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد روش کریجینگ معمولی بهترین درون‌یاب برای بررسی مکانی نیترات محلول در آبخوان دشت عقیلی است. Rezaei و همکاران (2010) نیز با استفاده از روش‌های زمین‌آماري تغییرات مکانی شاخص‌های Na، EC و SAR را در آب‌های زیرزمینی استان گیلان بررسی

قرار دارد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۸۵ - ۱۵۰ متر است. اندیمشک دارای بیش از ۳۰ هزار هکتار زمین کشاورزی است که ۲۹ هزار هکتار آن آبی و هزار هکتار آن دیم است. فرآورده‌های کشاورزی شامل گندم، ذرت، چغندر، کنجد، ماش، لوبیا، سیب‌زمینی، گوجه، سبزیجات و ... است. این شهرستان از نظر کشت گندم و ذرت یکی از قطب‌های اصلی استان خوزستان به‌شمار می‌رود (شکل ۱) (Regional water organization of (northwest of khuzestan, 2011).



شکل ۱. موقعیت شهرستان اندیمشک در استان خوزستان و چگونگی پراکنش چاه‌های مورد بررسی

کار مختصات جغرافیایی هر یک از چاه‌ها در مقیاس UTM^۱ و با استفاده از دستگاه GPS^۲ ثبت شد. به‌منظور تثبیت نمونه‌ها از اسیدسولفوریک یک نرمال استفاده شد، به‌گونه‌ای که به ازای هر هزار میلی‌لیتر آب یک قطره اسید اضافه شد. نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش در مجاورت یخ و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در نهایت، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر یونیک مدل UV-2150 ساخت کشور آمریکا، آزمایش تعیین غلظت نیترات بر حسب mg/lit نیترات روی نمونه‌های آب انجام شد.

1. Universal Transverse Mercator
2. Global Positioning System

براساس آن مناطق آلوده را مشخص کرد (Cinnirella *et al.*, 2005).

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

شهرستان اندیمشک در شمال استان خوزستان و در نزدیکی دامنه‌های زاگرس واقع شده است. این شهرستان در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی

۲.۲. نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

با در اختیار داشتن نقشه چاه‌های کشاورزی شهرستان اندیمشک و با در نظر گرفتن معیارهایی هم‌چون پراکنش چاه‌ها، نوع محصول، زمان کوددهی، زمان برداشت محصول و فعال بودن چاه‌ها، اراضی کشاورزی واقع در حد فاصل جاده سد دز و جاده قلعه لور مکان مناسب و اردیبهشت‌ماه زمان مناسب برای نمونه‌برداری انتخاب شد. پس از انتخاب مناطق مناسب، به دلیل زیاد بودن تعداد چاه‌ها، نمونه‌برداری به صورت تصادفی از ۵۵ حلقه چاه فعال براساس سهولت دسترسی به آن‌ها در مساحتی حدود ۴۵۰۰ هکتار انجام شد. به بیان دیگر، برای برداشت نمونه ابتدا منطقه مناسب انتخاب و سپس نمونه‌برداری تصادفی انجام شد. هم‌زمان با این

۳.۲. آنالیزهای آماری

آماره‌های توصیفی حداقل، حداکثر، میانگین، چولگی، کشیدگی و انحراف معیار متغیر با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه شد (Rezaei et al., 2010).

۴.۲. پهنه‌بندی غلظت یون نیترات

برای پهنه‌بندی غلظت یون نیترات در این مطالعه از تکنیک‌های زمین‌آمار مانند کریجینگ (Ahmadali et al., 2008; Mirmousavi et al., 2010) و کوکریجینگ (Mohammadi, 2006; Ayoubi et al., 2007) و همچنین روش معکوس فاصله (Rezaei et al., 2010) استفاده شد. کریجینگ تکنیکی است که، با به‌کارگیری خصوصیات ساختاری تغییرنما و مقادیر اولیه، از متغیرهای ناریب در مکان‌های نمونه‌برداری نشده تخمین‌های بهینه و ناریب ارائه می‌کند (Hasanipak, 2010; Madani, 2004). اما کوکریجینگ در مواردی استفاده می‌شود که دو متغیر دارای تغییرات مکانی بوده و از متغیر اصلی داده‌های کافی در دسترس نیست. در این‌گونه موارد، متغیر ثانویه، که باید دارای همبستگی بالایی با متغیر اصلی باشد، دارای همبستگی مکانی عرضی با متغیر اولیه است (Nadi et al., 2010). اولین گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماري بررسی وجود ساختار مکانی بین داده‌ها به وسیله آنالیز واریوگرام است. شرط استفاده از این آنالیز نرمال بودن داده‌هاست (Hasanipak, 2010). از این‌رو برای بررسی چگونگی نرمال بودن توزیع متغیر مورد نظر، یعنی یون نیترات، از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد.

۵.۲. پهنه‌بندی احتمال آلودگی به یون نیترات

برای ترسیم نقشه احتمال خطر آلودگی یون نیترات از روش کریجینگ شاخص استفاده شد. همان‌گونه که کریجینگ معمولی بر روی داده‌های اصلی به‌کار گرفته می‌شود، از کریجینگ شاخص نیز می‌توان برای تخمین مقادیر شاخص در نقاط نامعلوم استفاده کرد. هدف اصلی حل سیستم کریجینگ شاخص تخمین شاخص در نقطه‌ای معین با استفاده از شاخص‌های واقع در همسایگی آن است (Khazaei et al., 2011).

۶.۲. روند انتخاب روش مناسب درون‌یابی و

پهنه‌بندی

به‌منظور بررسی پیوستگی مکانی متغیر از تابع واریوگرام استفاده شد (Ahmadali et al., 2008) و این تابع به‌صورت جداگانه برای روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ ترسیم شد. پس از رسم واریوگرام برآزش مدل مناسب، عملیات درون‌یابی با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW با توان ۱ تا ۵ بررسی شد. شایان ذکر است که در روش کوکریجینگ، متغیر کمکی عمق چاه است. برای ارزیابی تخمینگرهای استفاده شده و انتخاب روش مناسب درون‌یابی از تکنیک ارزیابی متقابل استفاده شد. در این روش، یک نقطه موقتاً حذف شده و با اعمال روش مورد نظر برای آن نقطه مقداری برآورد می‌شود. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده شده و برای سایر نقاط، به‌صورت مجزا، این برآورد صورت می‌گیرد. این کار برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود به‌گونه‌ای که در آخر به تعداد این نقاط برآورد وجود خواهد داشت. در پایان، با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد (Shabani, 2008). در این پژوهش از معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد. در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه پهنه‌بندی نیترات ترسیم شد.

۳. نتایج و یافته‌ها

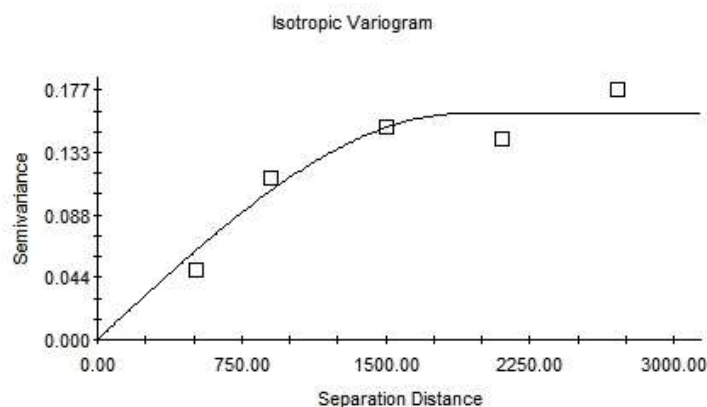
نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که حداکثر غلظت نیترات در چاه‌های نمونه‌برداری ۹/۸، حداقل آن ۲/۰۴ و میانگین آن ۶/۴۵ mg/lit نیترات است. این اعداد در جدول ۱ آمده است. نتایج آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف نشان دهنده نرمال بودن توزیع مکانی نیترات بود.

جدول ۱. میانگین، حداکثر و حداقل غلظت نیترات، عمق و سطح ایستابی چاه‌های مورد مطالعه

متغیر	میانگین	حداکثر	حداقل
نیترات (mg/lit)	۶/۴۵	۹/۸۰	۲/۰۴
عمق چاه (m)	۱۰۴/۴۳	۱۲۶	۸۳
سطح ایستابی (m)	۴۱/۷۲	۶۰	۱۱/۵

واریوگرام، مدل کروی مدل مناسبی برای عملیات درونیابی انتخاب شد. در جدول ۲ بهترین مدل برازش داده شده به واریوگرام و ویژگی‌های آن ذکر شده است. واریوگرام متقابل مربوط به روش کوکریجینگ نیز در شکل ۳ نشان داده شده است.

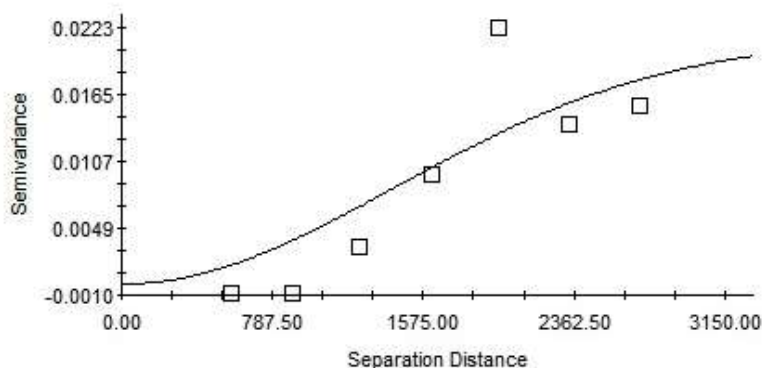
به منظور بررسی وجود پیوستگی مکانی بین داده‌ها به تهیه تابع واریوگرام اقدام شد. واریوگرام مربوط به روش کریجینگ در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این که نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه کمتر از ۰/۲۵ بود، این نتیجه حاصل شد که متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی است. سپس، با توجه به



شکل ۲. واریوگرام نیترات مربوط به روش کریجینگ (محور افقی نشان دهنده فاصله (h) بر حسب m و محور عمودی نشان دهنده واریانس (γ) در فواصل مختلف است)

جدول ۲. بهترین مدل برازش داده شده به واریوگرام

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای (C ₀)	دامنه تأثیر (A ₀)	حد آستانه (C ₀ +C)	R ²	RSS
نیترات	کروی	۰/۴۹	۲۰۴۱	۳/۸۳	۰/۸۵	۰/۵۸



شکل ۳. واریوگرام متقابل نیترات و عمق چاه مربوط به روش کریجینگ (محور افقی نشان دهنده فاصله (h) بر حسب m و محور عمودی نشان دهنده واریانس (γ) در فواصل مختلف است).

درون یابی بررسی شد و همان طور که در جدول ۳ آمده است روش کریجینگ معمولی در مقایسه با دو روش

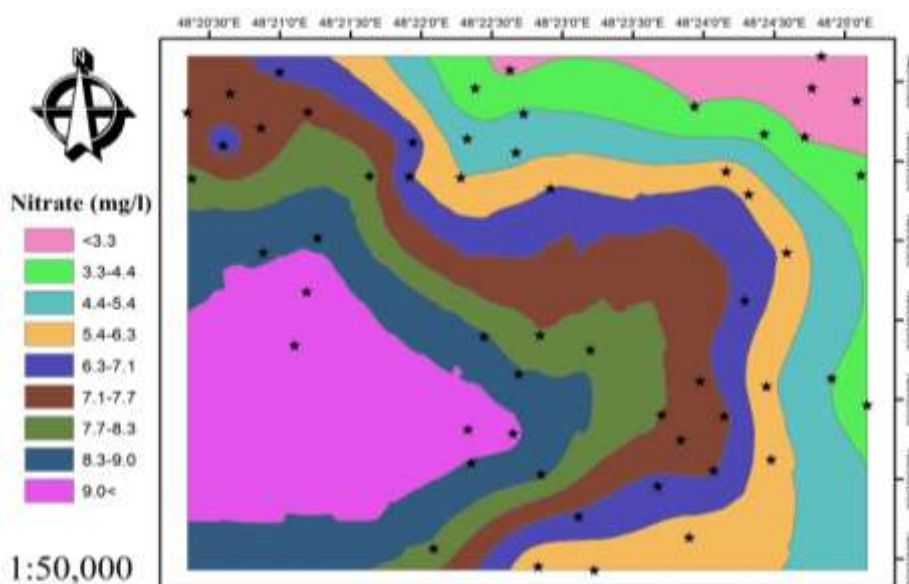
با استفاده از معیار RMSE کارایی روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW جهت انجام عملیات

چاه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای تعیین احتمال خطر آلودگی نیترات نیز از روش کریجینگ شاخص استفاده شد و نقشه حاصل در شکل ۵ نشان داده شده است.

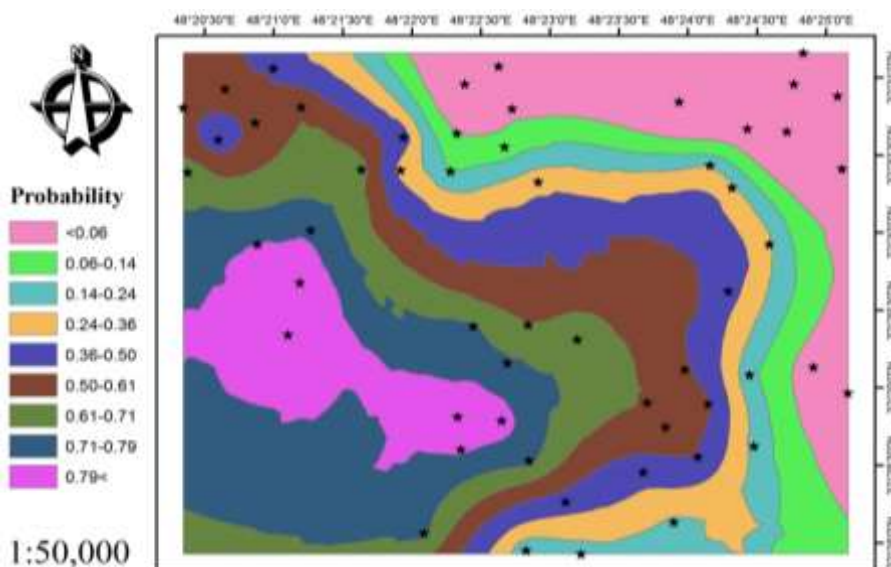
دیگر خطا و انحراف کمتری دارد. به این ترتیب، با استفاده از این روش پهنه‌بندی آلودگی نیترات در منطقه مورد نظر انجام شد. شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی آلودگی نیترات شهرستان اندیمشک به همراه پراکنش

جدول ۳. نتایج ارزیابی روش‌های تخمین براساس معیار RMSE

وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)					کوکریجینگ	کریجینگ	متغیر نیترات
توان ۵	توان ۴	توان ۳	توان ۲	توان ۱	۱/۴۲	۱/۴۰	
۱/۵۶	۱/۵۱	۱/۴۶	۱/۴۷	۱/۵۹			



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی توزیع نیترات شهرستان اندیمشک به همراه پراکنش چاه‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی احتمال خطر آلودگی نیترات شهرستان اندیمشک به همراه پراکنش چاه‌های منطقه مورد مطالعه

۴. بحث و نتیجه گیری

برخورداری داده‌ها از توزیع نرمال نشان دهنده این است که نقاط نمونه برداری به درستی انتخاب شده‌اند. در واقع، می‌توان گفت تعداد این نقاط مناسب بوده و دارای پراکنش یکپارچه و خوبی هستند. رسم تابع واریوگرام نشان داد که با توجه به پایین بودن نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه، متغیر مورد نظر دارای ساختار و پیوستگی مکانی قوی است. انتخاب مدل دایره‌ای به دلیل RSS کمتر و R^2 بیشتر صورت گرفت.

بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی در تحقیق حاضر نشان داد (جدول ۳) روش کریجینگ معمولی به علت خطا و انحراف کمتر و RMSE برابر با ۱/۴۰، در مقایسه با دو روش کوکریجینگ و IDW، برتر است که با نتایج Taghizadeh mehrjerdi و همکاران (2008) هم‌سویی دارد. ایشان با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW توزیع مکانی خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اردکان یزد را تعیین کردند و نشان دادند که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ از روش وزن‌دهی عکس فاصله بهترند. Chang و همکاران (1998) نیز نشان دادند که روش کریجینگ برای نمایش داده‌های آلودگی آب با توزیع فضایی مناسب‌تر است. به‌طور مشابه، Nejadi jahromi و همکاران (2009) بیان کردند که کریجینگ معمولی برای بررسی مکانی نیترا ت محلول در آبخوان بهترین درون‌یاب است و در این پژوهش نیز دقیقاً همین نتیجه حاصل شده است. علاوه‌براین، پژوهشگرانی از جمله Rezaei و همکاران (2010)، Adhikary و همکاران (2010)، و Khazaei و همکاران (2011) از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. در هر سه تحقیق از روش کریجینگ استفاده شده است که با روش به‌کار رفته در تحقیق حاضر مطابقت دارد.

با توجه به نقشه پهنه‌بندی احتمال آلودگی به نیترا ت و مشاهدات میدانی، می‌توان گفت مناطق آلوده در مناطقی واقع شده‌اند که از سایر مکان‌ها شیب کمتری دارند. در واقع، هرچه از شمال شرق به سمت جنوب غرب حرکت شود شیب کاهش یافته و میزان

آلودگی افزایش می‌یابد. این موضوع ممکن است به علت مشترک بودن سفره آب‌های زیرزمینی و حرکت آب حاوی نیترا ت از بالادست به سمت پایین دست و تجمع نیترا ت در آب‌های مناطق جنوبی‌تر باشد. از طرف دیگر، اراضی کم‌شیب‌تر به مناطق شهری نزدیک‌ترند و، به دلیل دسترس پذیری آسان‌تر، تراکم فعالیت‌های کشاورزی در این مناطق بیشتر است. بدیهی است که هرچه تراکم این فعالیت‌ها بیشتر باشد، مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیترا ت افزایش یافته و با آبشویی در اثر آب باران و به‌ویژه آبیاری منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. به‌طور مشابه Mendes and Ribeiro (2010) با استفاده از کریجینگ شاخص نقشه احتمال خطر آلودگی نیترا ت را برای سیستم آبخیز رودخانه تاگوس پرتغال تهیه کردند و نشان دادند که میزان نیترا ت منطقه مورد مطالعه در طول تابستان افزایش می‌یابد و علت اصلی آن فعالیت‌های کشاورزی در آبخیز است. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، یعنی نقش فعالیت‌های کشاورزی در آلودگی نیترا ت آب، هم‌خوانی دارد.

با توجه به مطالعه صورت گرفته و نتایج به‌دست آمده و مقایسه آن با نتایج حاصل از پژوهش‌های دیگر، می‌توان گفت که روش‌های زمین‌آماري، به‌ویژه روش کریجینگ معمولی، برای بررسی و درون‌یابی توزیع نیترا ت در آب‌های زیرزمینی مناسب‌ترین گزینه‌اند. همچنین، نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آماري از کارایی بسیاری در تخمین نقاط نامعلوم برخوردارند و نقشه‌های حاصل می‌تواند ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری مدیران در بخش‌های گوناگون باشد. موضوع دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد نقش مهم کشاورزی و کودهای نیترا ت در آلودگی آب‌های زیرزمینی است. با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی و اهمیتی که این منابع در برآورده کردن نیازهای بشر دارند، استفاده بی‌رویه از آلاینده‌ها و نداشتن برنامه‌ریزی ممکن است در آینده‌ای نه چندان دور به از دست رفتن این منابع حیاتی منجر شود. در واقع، مدل‌سازی و شناخت مناطق آلوده به نوعی هموار کردن مسیر برای اجرای برنامه‌های مدیریتی است که به‌منظور حفاظت از منابع طبیعی سازمان یافته‌اند.

REFERENCES

- Adhikary, P.P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D., Kamble, K (2010) "Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach," *Environmental Monitoring Assessment*, 167: 599 - 615.
- Ahmadali, K., Nikmehr, S., Liaghat, A (2008) "Evaluation kriging and cokriging methods in the estimation of salinity and deep soil acidity (Case study: Bukan Area Lands)," *Iranian Water Research Journal*, 2 (3): 55 - 64 (in Persian).
- Ayoubi, S., Mohammad Zamani, S., Khormali, F (2007) "Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province," *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14 (4) (in Persian).
- Chang, Y.H., Scrimshaw, M.D., Emmerson, R.H.C., Lester, J.N (1998) "Geostatistical analysis of sampling uncertainty at the Tollesbury Managed Retreat site in Blackwater Estuary, Essex, UK: Kriging and cokriging approach to minimise sampling density," *The Science of the Total Environment*, 221: 43 - 57.
- Chen, S., Wu, W., Hu, K., Li, W (2010) "The effects of land use change and irrigation water resource on nitrate contamination in shallow groundwater at county scale," *Ecological Complexity*, 7: 131 - 138.
- Cinnirella, S., Buttafuoco, G., Pirrone, N (2005) "Stochastic analysis to assess the spatial distribution of groundwater nitrate concentrations in the Po catchment (Italy)," *Environmental Pollution*, 133: 569 - 580.
- Ghahroudi Tali, M (2002) "Evaluation of interpolation with kriging method," *Journal of Geographical Research*, 43: 95 - 108 (in Persian).
- Gheisari, M.M., Houdaji, M., Najafi, P., Abdollahi, A (2007) "Investigation of nitrate pollution of groundwater in southeast of Isfahan City," *Journal of Environmental Studies*, 33 (42): 43 - 50 (in Persian).
- Habibzadeh, A (2006) "Investigation the quality status and groundwater pollution in the north of Urmia Lake" In: *the First Conference of Environmental Engineering*, Iran, Tehran.
- Hasani Pak, A (2010) *Geostatistics*, University of Tehran Press, p: 314.
- Hu, K., Huang, Y., Li, H., Li, B., Chen, D., White, R.E (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: 896 - 903.
- Khazaei, S.H., Khorasani, N., Talebi Jahromi, K., Ehteshami, M (2010) "Investigation of the groundwater contamination due to the use of diazinon insecticide in Mazandaran Province (Case study: Mahmoud Abad City)," *Journal of Natural Environment*, 63 (1): 23 -32 (in Persia).
- Khazaei, S.H., Abbasitabar, H., Taghizadeh Mehrjerdi, R (2011) "Spatial distribution of nitrate contamination in groundwater using geostatistic in Fars Province (Case study: Siakh Darengoun Area)," *Journal of Natural Environment*, 64 (3): 267 - 279 (in Persian).
- Lalezari, R., Tabatabaei, S., Yarali, N (2009) "Investigation of monthly variation of nitrate in Shahrekord Plain groundwater and zoning using geographical information system," *Iranian Water Research Journal*, 3 (4): 9 - 17 (in Persian).
- Madani, H (2004) *Principles of geostatistics*, Amirkabir University of Technology Press, p: 659.
- Mahdizadeh, M., Mahdian, M.H., Hejam, S (2006) "Performance of geostatistical methods in climate zoning of Urmia Lake Catchment," *Journal of the Earth and Space Physics*, 32 (1): 103 - 116 (in Persian).
- Mendes, M.P., Ribeiro, L (2010) "Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using Disjunctive Kriging," *Science of Total Environment*, 408: 1021 - 1034.
- Mirmousavi, S.H., Mazidi, A., Khosravi, Y (2010) "Determine the best geostatistical method for the estimation of rainfall distribution using geographical information system (Case study, Isfahan Province)," *Journal of Geographic Space* 10 (30): 105 - 120 (in Persian).
- Mohammadi, J. (2006) *Pedometry* (Spatial statistics). Pelk Press, p: 453.
- Nadi, M., Khalili, A., Pourtahmasebi, K., Bazrafshan, J (2010) "Evaluation some of the new geostatistical methods for interpolation of rainfall data in Chahar Bagh Area of Gorgan," In: *14 th Geophysics Conference of Iran*, Iranian Geophysical Society, Iran, Tehran.

21. Nejadi Jahromi, Z., Chitsazan, M., Mirzaei, S.Y (2009) "Geostatistical investigation of nitrate distribution in the Aghili Plain alluvial aquifer in GIS," In: *16th Conference of Geomatics, National Cartographic Center, Iran, Tehran.*
22. Ostadaliaskari, K., Moazed, H., Ghorbanizadeh Kharazi, H (2010) "Nitrate pollution modelling in the groundwaters of Zayandeh Rud margin using artificial nervous network," In: *the First International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modelling, Iran, Kerman.*
23. Regional water organization of northwest of khuzestan, 2011.
24. Rezaei, M., Davatgar, N., Tajdari, K., Abolpour, B (2010) "Investigation the spatial variability of some important groundwater quality factors in Guilan, Iran," *Journal of Water and Soil*, 24 (5): 932 - 941(in Persian).
25. Shabani, M (2008) "Determine the most appropriate geostatistical method in mapping for the changes pH and TDS groundwaters (Case study, Arsanjan Plain)," *Journal of Water Engineering*, 1: 47 - 58 (in Persian).
26. Shabani, M (2011) "Assessment of geostatistical methods in mapping and zoning groundwater quality, Case study: Neiriz plain, Fars province," *Journal of Lar Natural Geography*. 4 (13): 83 - 96 (in Persian).
27. Taghizadeh Mehrjerdi, R., Zareian Jahromi, M., Mahmoudi, S., Heidari, A (2008) "Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan Plain)," *World Applied Sciences Journal*, 4 (1): 9 - 17.