



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

# پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

## بررسی تغییر مکانی نیترات و آرسنیک در آب زیرزمینی آبخیز جیرفت

محمد نادریان فر<sup>۱\*</sup>، ارسلان فاریابی<sup>۲</sup>

۱ و ۲ - استادیار بخش علوم و مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران

### چکیده‌ی مبسوط

#### مقدمه و هدف

برای شناخت استعدادهای منطقه و روش مدیریت زمین‌ها، آگاهی از تغییر مکانی سنجه‌های کیفی ابزار مهمی است. با توجه به اینکه جیرفت روی کمر بند آرسنیک کشور است و از آنجایی که آرسنیک عنصری سرطان‌زا است و بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد، بررسی آن بسیار اهمیت دارد. هم‌چنین بیشتر مناطق روستایی آبخیز جیرفت از آب چاه‌ها برای شرب استفاده می‌کنند. از این‌رو، بررسی آن‌ها از دیدگاه شرب بسیار اهمیت دارد.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش تغییرهای مکانی سنجه‌های نیترات، آرسنیک، منگنز و کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در آبخیز جیرفت با استفاده از روش‌های زمین آماری در طول دوره‌ی آماری ۱۳۹۸ بررسی و تحلیل شد. به این منظور از آب چاه کشاورزی و چاه‌هایی که برای شرب در روستاها استفاده می‌شد و هم‌چنین نمونه‌هایی از آب شرب شهری در سه تکرار نمونه برداری شد. روش‌های زمین آماری استفاده‌شده برای پهنه‌بندی سنجه‌های مزبور شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، تابع پایه‌ی شعاعی (RBF) و روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) با توان‌های مختلف بود. برای ارزیابی روش‌های زمین آماری از روش ارزیابی متقابل با معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) میان داده‌های واقعی و برآوردشده استفاده شد.

#### نتایج و بحث

نتایج رتبه‌بندی معیارهای ارزیابی نشان داد که برآورد سنجه‌ی آرسنیک و TDS با مدل کروی روش کریجینگ ساده کمترین خطا را داشت و برآورد نیترات و منگنز با روش تابع پایه‌ی شعاعی (RBF) کمترین خطا را داشت.

#### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [naderian.mohamad@ujiroft.ac.ir](mailto:naderian.mohamad@ujiroft.ac.ir)

استناد: نادریان فر، م.، فاریابی، ا.، ۱۴۰۳. بررسی تغییر مکانی نیترات و آرسنیک در آب زیرزمینی آبخیز جیرفت. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۱): ۳۳-۴۷.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361116.1518

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱  
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پایایی ۱۴۲، بهار ۱۴۰۳، صفحه‌های ۳۳ تا ۴۷

©نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



بررسی‌ها نشان داد که همبستگی مکانی سنجه‌های کیفی آبخیز جیرفت بسیار زیاد بود. به طوری که خطای مدل نیم تغییرنمای داده‌های اندازه‌گیری-شده‌ی آرسنیک با اثر قطعه‌ای  $0/0025$  و دامنه‌ی تأثیر  $36/7$  کیلومتر  $38/4$ ٪ و خطای مدل نیم تغییرنمای نیترات با اثر قطعه‌ای  $0/3$  و دامنه‌ی تأثیر  $28/5$  کیلومتر  $4/9$ ٪ بود. در آبخیز جیرفت بر پایه‌ی معیار  $1051$  مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، به جز آب شهری، غلظت آرسنیک در آب مناطق دیگر بسیار بیشتر از اندازه‌ی مجاز برای مصرف شرب بود. هم چنین غلظت نیترات در تمام نمونه‌ها، کمتر از اندازه‌ی مجاز برای آب شرب بود و استفاده از آن مانعی ندارد.

## واژگان کلیدی: آرسنیک، زمین آمار، کریجینگ، نیترات

### مقدمه

روش مناسب برای متغیرهای محیطی وجود ندارد. تحقیقات زیادی روی تغییر مکانی سنجه‌های کیفی در دنیا و ایران انجام شده است. در پژوهشی نادریان فر و همکاران (۲۰۱۲) کیفیت آب زیرزمینی آبخیز نیشابور را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی آبخیز از مهم‌ترین عامل‌های کاهش کیفیت آب زیرزمینی در آبخیز نیشابور است. همچنین از نتایج مقایسه‌ی روش‌های مختلف زمین آماری برای برآورد هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم، مشخص شد که در آبخیز نیشابور روش کوکریجینگ مناسب‌ترین روش میان‌یابی است. فتحی هفشجانی و همکاران (۲۰۱۴) با مقایسه‌ی چند روش درون‌یابی مکانی، مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی نیترات و فسفات در آب زیرزمینی شهر کرد را انتخاب کردند. نتایج آنها نشان داد که در پهنه‌بندی نیترات و فسفات کارایی روش وزن‌دهی معکوس فاصله کم‌تر از کریجینگ بود. نقشه‌های به‌دست آمده از ویژگی‌های تغییرنمای منتخب و روش کریجینگ معمولی نشان داد که اندازه‌ی آلودگی آب زیرزمینی شهر کرد به نیترات و فسفر از شمال به جنوب آبخیز رو به افزایش است. اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخیز بروجن، روش‌های جبری RBF، IDW و روش‌های زمین‌آماري کریجینگ را ارزیابی کردند. بر اساس نتایج آنها، برآورد مکانی سنجه‌ی سختی کل (TH) با روش کریجینگ و سنجه‌های pH و SAR، غلظت یون کلر و غلظت یون سولفات با روش RBF بیشترین دقت را داشت. گونگ و همکاران (۲۰۱۴) برای برآورد غلظت آرسنیک آب‌های زیرزمینی در تگزاس، روش‌های کریجینگ معمولی و روش عکس فاصله (IDW) را با هم مقایسه کردند. نتایج بررسی ضریب همبستگی اندازه‌ی آرسنیک اندازه‌گیری شده و به‌دست‌آمده با روش IDW بیشتر از روش کریجینگ گوسی، کریجینگ کروی و کوکریجینگ بود. در کانادا دامر و همکاران (۲۰۱۵) غلظت آرسنیک موجود در چاه‌های

برای شناخت استعداد‌های منطقه و روش مدیریت زمین‌ها، آگاهی از تغییر مکانی سنجه‌های کیفی ابزار مهمی است. از این رو برای مسئولین استفاده از همه‌ی سنجه‌های کیفی می‌تواند ابزاری سازنده در تصمیم‌گیری‌های بحرانی باشد (تاهبوس و همکاران ۲۰۰۷). هم‌چنین امروزه یکی از مهم‌ترین مسائلی که محیط‌زیست را تهدید می‌کند، آلودگی آب‌های زیرزمینی است که با فعالیت‌های انسانی از جمله فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و غیره به وجود می‌آید. کیفیت آب از مهم‌ترین عامل‌هایی است که باید به هنگام ارزیابی توسعه‌ی یک منطقه بررسی شود (کوردوبا و همکاران ۲۰۱۰). بررسی‌های پیشین نشان داد که برخی از منابع آبی موجود در بلندی‌های شهر جیرفت روی کمربند آرسنیک کشور است، بنابراین کیفیت مطلوبی ندارند؛ زیرا یکی از آلودگی‌های خاک که به‌عنوان تهدیدی فزاینده برای سلامتی انسان و کیفیت محیط‌زیست مطرح است اندازه‌ی آرسنیک و نیترات در خاک است. آرسنیک و نیترات موادی سرطان‌زا هستند و با شستشوی خاک‌ها وارد آب زیرزمینی منطقه می‌شوند. وجود مواد مادری با تشکیلات آذین در خاک و یا راه‌یابی جریان‌های عمقی آب به سطح از علت‌های اصلی افزایش آرسنیک در خاک است (جیانگ ۲۰۰۱). بر اساس معیار سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶) اندازه‌ی مجاز آرسنیک و نیترات در آب شرب به ترتیب  $0/01$  و  $50$  میلی‌گرم در لیتر است (سیسر و همکاران ۲۰۰۷). امروزه به‌رغم پیچیدگی‌های روش‌های زمین آماری به دلیل کاربرد نرم‌افزارهای کامپیوتری قوی مانند GS<sup>+</sup> و ArcGIS، در شاخه‌های علوم مختلف کاربرد فراوانی دارند. متغیرهای محیطی را با روش‌های گوناگونی پهنه‌بندی می‌کنند که می‌توان به روش‌هایی مانند کریجینگ، لوگ کریجینگ، کوکریجینگ، منحنی پوش (SPLINE) و عکس فاصله (IDW) اشاره کرد. در پژوهش‌های گوناگونی کاربرد این روش‌ها با سنجه‌های مختلف متغیرهای محیطی بررسی شده است، اما هیچ نتیجه‌ی مدونی برای انتخاب

حاصل از هوازدگی سازند کنگلومرای بختیاری، عمق کم آب زیرزمینی در بخش شمال شرقی و همچنین بهره‌گیری از شبکه‌ی آبیاری و زهکشی در بخش کشاورزی در این نواحی بود، که باعث تسریع آبشویی یون نیترات و انتقال آن به آب زیرزمینی شده است. در بروجرد سلگی و گودرزی (۲۰۲۲) تأثیر محل دفن زباله غیربهداشتی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد غلظت بسیاری از سنج‌های کیفی آب مانند نیترات در پیرامون محل دفن زباله بیشتر از منطقه شاهد بود. این پژوهشگران دلیل این افزایش را نفوذ احتمالی شیرابه زباله دانستند.

بررسی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تأمین آب شرب منطقه‌ی جیرفت از آب زیرزمینی، اهمیت بسیار زیادی دارد. با توجه به اینکه جیرفت روی کمر بند آرسنیک کشور است و از آنجایی که آرسنیک عنصری سرطان‌زا است و بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد، بررسی آن بسیار اهمیت دارد. همچنین بیشتر مناطق روستایی آبخیز جیرفت از آب چاه‌ها برای شرب استفاده می‌کنند. از این رو، بررسی آن‌ها از دیدگاه شرب بسیار اهمیت دارد. به‌طور کلی هدف از این پژوهش، بررسی تغییر مکانی آرسنیک و نیترات بود. همچنین بررسی تغییر مکانی TDS و منگنز با استفاده از بهترین مدل زمین‌آماری با کاربرد نرم‌افزارهای GIS+ و ArcGIS نیز انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه شده

آبخیز جیرفت در میان رشته کوه‌های بلند بارز، بحر آسمان و اسفندقه است (شکل ۱). شهرستان‌های جیرفت و عنبرآباد از شهرستان‌های این آبخیز هستند. این آبخیز از شمال به شهرستان کرمان، از شمال غرب و غرب به شهرستان بافت، از جنوب به شهرستان کهنوج و از شرق و شمال شرقی به شهرستان بزم محدود می‌شود. این آبخیز در مختصات  $۵۶^{\circ}۴۵'$  تا  $۵۸^{\circ}۳۱'$  طول جغرافیایی  $۲۸^{\circ}۱۰'$  و  $۲۹^{\circ}۲۰'$  و عرض جغرافیایی است. اقلیم آبخیز جیرفت به روش دومارتن، خشک و نیمه‌خشک است (نادریان‌فر و همکاران ۲۰۱۹). موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

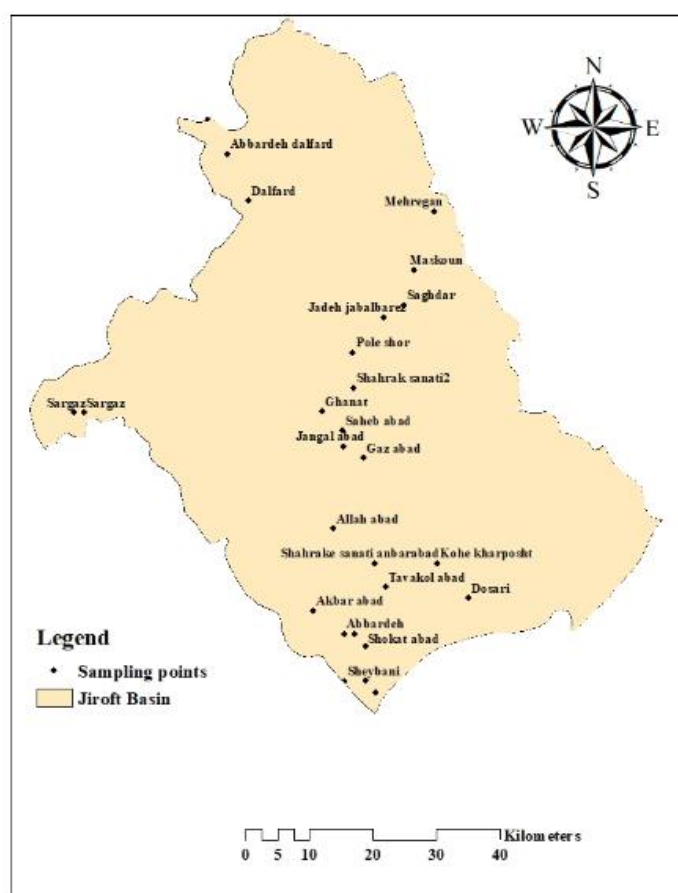
پیرامون آبخیز جیرفت بوسیله‌ی رشته کوه‌های بارز در شرق و شمال شرقی، بحر آسمان از شمال، نرمان و بانه هورا از غرب احاطه شده است. این آبخیز به شکل یک فرورفتگی پر شده از مواد آبرفتی است که ضخامت آن در بخش‌های مرکزی به ۳۰۰ متر می‌رسد. این آبخیز، محل تجمع نهشته‌های بالادست است که جنس این نهشته‌ها با رشته‌ها کوه‌های پیرامون آن متناسب است.

آب آشامیدنی نوااسکوشیا را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که آرسنیک در آب تأثیرهای مهم و مؤثری بر اندازه‌ی آرسنیک بدن ساکنان نوااسکوشیا داشت. از آنجایی که آرسنیک به‌طور طبیعی در دسته‌ی مواد سرطان‌زا برای انسان است، این پژوهشگران بر این باورند که بررسی بیشتر و ارزیابی راهبردهای مداخله‌ای مناسب برای کاهش اندازه‌ی آرسنیک بدن در میان جمعیت‌های انسانی، ضروری است. نتایج پژوهش خواجه‌پور (۲۰۱۶) و ابراهیمی (۲۰۱۸) روی بخش جنوبی آبخیز رفسنجان در شرق آبخیز انار نشان داد که در کل منطقه غلظت آرسنیک بیش از اندازه‌ی مجاز آب آشامیدنی بود. در شمال خوزستان چیت‌سازان و همکاران (۲۰۱۸) بر اساس نتایج تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌های آب چشمه گرو و تاق‌دیس آسماری گزارش کردند که اندازه‌ی آرسنیک تمام نمونه‌ها در فصل‌های مرطوب و خشک بیش از معیار جهانی بود.

استفاده بی‌رویه از انواع کودهای نیتروژنه در کشاورزی و تخلیه‌ی فاضلاب شهری به محیط‌زیست از منابع اصلی نیترات در آب‌های زیرزمینی است (سال و وانکلستر ۲۰۰۹). حلالیت زیاد نیترات در آب می‌تواند به راحتی باعث نفوذ آن به آب‌های زیرزمینی شود. در مناطقی که بارندگی کم است، آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی بیشتر است (ملکوئیان و همکاران ۲۰۱۱). زمانی که غلظت نیترات بیش از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر برسد آلودگی رخ می‌دهد (هانسلو ۱۹۹۵). اغلب به نیترات به‌عنوان نوعی آلودگی مضر برای سلامت انسان توجه است. در صورت امکان باید از منابعی که نیترات زیادی دارند، اجتناب کرد؛ زیرا حذف کردن نیترات سخت است. همچنین ممکن است نیترات با آمین‌های نوع دوم و سوم واکنش دهد و نیتروآمین که یک ماده سرطان‌زا است، را تشکیل دهد (ناصری و همکاران ۲۰۱۳). در ترکیه اوپان و کی (۲۰۱۰) برای پهنه‌بندی غلظت نیترات آب زیرزمینی شهر قونیه از روش کریجینگ با مدل نیم‌تغییرنمای کروی استفاده کردند. آنها گزارش کردند که وابستگی مکانی ۶۰٪ بود. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی، بیشترین غلظت نیترات در مرکز شهر به دلیل وجود مراکز صنعتی بود. در پژوهشی کلانتری و همکاران (۲۰۲۱) آلودگی یون نیترات در آب زیرزمینی آبخوان گتوند را بررسی کردند. نقشه‌ی توزیع مکانی یون نیترات نشان داد که تغییرات غلظت این یون تقریباً از روند جهت جریان آب زیرزمینی تبعیت می‌کرد. به این شکل که بیشترین اندازه‌ی غلظت نیترات در بخش‌های شمالی و غربی بود و به سمت شرق و جنوب شرقی اندازه‌ی این یون روند کاهشی داشت. زیاد بودن اندازه‌ی یون نیترات در قسمت‌های شمالی و شرقی به دلیل بافت درشت‌دانه

از دیدگاه زمین‌شناسی، آبخیز جیرفت جزئی از آبخیز رسوبی ایران مرکزی است که رشته‌کوه‌های بارز با امتداد شمال‌غربی - جنوب‌شرقی این آبخیز را از آبخیز کویر جدا می‌کند و بخشی از کمربند آتش‌فشانی بزمان - سهند را تشکیل می‌دهد. در حاشیه‌ی شمال و شرق آبخیز جیرفت سنگ‌های آذرین (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت)، رسوبات آبرفتی و مخروط افکنه‌های کواترنری مشاهده می‌شود. در حاشیه‌ی غربی نیز مخروط افکنه‌های جوان دوران کواترنر و سنگ‌هایی مانند ماسه‌سنگ و کنگلومرای نئوژن مشاهده می‌شود. در حاشیه‌ی جنوبی آبخیز نیز رسوبات ماسه‌ای و کنگلومرای سست نئوژن مشاهده می‌شود. از دیدگاه سنگ‌شناسی قدیمی‌ترین واحدهای

سنگی منطقه از شیست‌های سریسیتی و گه‌گاهی همراه با فیلیت و آمفیبولیت است که احتمالاً تشکیل آنها هم‌زمان با تشکیل پرمین است. هم‌چنین آبخیز جیرفت روی کمربند آرسنیک کشور است. از دیدگاه خاک‌شناسی، بخش‌های جنوبی آبخیز جیرفت، با خاک حاصل‌خیز و مواد آلی مناسب برای بهره‌برداری‌های کشاورزی است. بنابراین در آبخیز جیرفت استعداد و قابلیت مطلوب خاک‌ها از یک سو و عبور رود از میان آن، از سوی دیگر باعث شکل‌گیری سکونت‌گاه‌های بزرگ و کوچک فراوانی با معیشت کشاورزی شده است. در این آبخیز تقریباً تمام زمین‌ها کشت شده است (نادربان‌فر و همکاران ۲۰۱۹).



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده و موقعیت نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1- Location map of the studied area and the location of the sampling points.

همبستگی مکانی داده‌ها، روش‌های زمین‌آماري شامل روش‌های کریجینگ، وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) و روش توابع شعاعی (RBF) ارزیابی شد و با استفاده از بهترین مدل نقشه‌ی پهنه‌بندی سنجه‌های کیفی رسم شد.

### روش پژوهش

در این پژوهش ابتدا از آب چاه‌هایی که برای شرب استفاده می‌شود، نمونه‌برداری شد. به این منظور ۳۶ نمونه آب در سال ۱۳۹۸ برداشت شد. سپس در نمونه‌ها اندازه‌ی آرسنیک (As)، نیترات (Ni)، منگنز (Mn) و کل مواد جامد محلول (TDS) تعیین شد. پس از بررسی

شدند. با روش جذب اتمی غلظت منگنز و آرسنیک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. از محلول استوک نیترات محلول‌های استاندارد لازم تهیه شد و با روش اسپکترو فتومتری غلظت نیترات نمونه‌های آب اندازه‌گیری شد. بیشترین اندازه‌ی مجاز سنج‌های کیفی بر پایه‌ی معیار ۱۰۵۱ مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در جدول ۱ آورده شده است. براساس داده‌های جدول ۱ بیشترین اندازه‌ی مجاز آرسنیک و نیترات در آب شرب به ترتیب ۰/۰۱ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است.

### روش نمونه‌برداری برای تعیین سنج‌های کیفیت آب

برای ارزیابی سنج‌های کیفی از چاه‌هایی که عمدتاً برای شرب استفاده می‌شود، ۳۶ نمونه آب برداشت شد. برای تعیین ویژگی‌های کیفی، نمونه‌های آب به‌وسیله‌ی یونولیت‌های حاوی یخ خردشده به آزمایشگاه منتقل شد (شکل ۲). سپس با استفاده از روش‌های استاندارد آزمون آب و فاضلاب (۲۰۰۵ APHA) نمونه‌ها آزمایش شدند. کل مواد جامد محلول نمونه‌ها در سه تکرار اندازه‌گیری



شکل ۲- روش نگهداری و انتقال نمونه‌های آب به آزمایشگاه.

Figure 2- Method of storing and transferring water samples to the laboratory.

جدول ۱- بیشترین اندازه‌ی مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیر سمی در آب شرب آشامیدنی (میلی‌گرم در لیتر).

Table 1- Maximum allowed and desirable non-toxic mineral chemicals in drinking water (mg/l).

Water quality parameter	Optimal maximum	Maximum allowed
Arsenic	-	0.01
Nitrat	-	50
Total Dissolved Solids	1000	1500
Manganese	0.1	0.4

نیم‌تغییرنما، پراکندگی وابسته به فاصله است که با نماد نشان داده می‌شود. اگر پراکندگی میان نقاط با فاصله‌ی  $h$  کوچک باشد، یعنی وابستگی میان نقاط بیشتر است. در این پژوهش نیم‌تغییرنما با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه شد (حسنی‌پاک ۲۰۰۹).

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

$\gamma(h)$ : اندازه‌ی نیم‌تغییرنما در فاصله‌ی  $h$ :  $Z(x_i + h)$ : اندازه‌ی مشاهده‌شده‌ی متغیر مزبور،  $Z(x_i)$ : اندازه‌ی مشاهده‌شده‌ی متغیر مزبور،  $N(h)$ : تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته در محاسبه که به اندازه‌ی  $h$  از یکدیگر فاصله دارند.

### تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

در این پژوهش برای بررسی همبستگی مکانی و رسم نیم‌تغییرنما از نرم‌افزار  $GS^+$  استفاده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 مدل‌های زمین آماری بررسی شد و با استفاده از بهترین مدل نقشه‌های پهنه‌بندی رسم شد.

### مدل کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging)

در این پژوهش یکی از روش‌های استفاده‌شده کریجینگ معمولی بود که یکی از بهترین برآوردهای خطی نارایب (B.L.U.E) است. روش مزبور یک روش برآوردگر زمین آماری است که با استفاده از اندازه‌های معلوم و یک نیم‌تغییرنما، اندازه‌های مجهول را برآورد می‌کند.



معلوم نیست و با سعی و خطا تعیین می‌شود. در این پژوهش  $\alpha$  برابر با ۱، ۲ و ۳ در نظر گرفته شد.

### روش میان‌یابی توابع پایه‌ی شعاعی

#### (Radial Basis Functions)

شبکه‌های تابع پایه‌ی شعاعی از نوع شبکه‌های پیشرو همراه با یک لایه‌ی میانی هستند که برای اولین بار به‌وسیله‌ی برومهد و لاو در سال ۱۹۸۸ معرفی شدند (برومهد و لاو ۱۹۸۸). در این روش اغلب، تابع انتقال در لایه‌ی میانی و تابع گوسین در لایه‌ی خروجی تابع خطی است. عموماً آموزش شبکه RBF به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول به‌طور عمده یادگیری از نوع بدون نظارت است که با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی، سنجه‌های توابع پایه (مراکز و عرض‌ها) و اطلاعات ورودی تعیین می‌شود و در بخش دوم که یادگیری با نظارت است وزن‌های میان‌یابی میانی و لایه‌ی خروجی با استفاده از روش‌های کاهش شیب و وایازی خطی تعیین می‌شود (اسفندیاری و همکاران ۲۰۲۰).

### روش و معیارهای ارزیابی

در این پژوهش از روش اعتبارسنجی متقابل برای ارزیابی روش‌ها استفاده شد. اساس این روش این است که هر بار یک نقطه‌ی مشاهده‌ای حذف شود برای آن از روی نقاط پیرامون، اندازه‌ای برآورد می‌شود. سپس اندازه‌ی واقعی به محل قبلی برگردانده می‌شود و برای تمامی نقاط شبکه، این کار تکرار می‌شود. در این پژوهش روش‌های میان‌یابی با استفاده از معیارهای ارزیابی نشان داده شده در رابطه‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب با عنوان مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) میان نقاط برآوردشده و واقعی ارزیابی شدند. هر اندازه مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا کمتر باشد دقت روش بیشتر است. هم‌چنین اندازه‌ی منفی بیان‌گر کم برآوردگر بودن مدل در مقایسه با اندازه‌ی واقعی است (اسفندیاری و همکاران ۲۰۲۰).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}}{n} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \quad (5)$$

$Z^*(x_i)$ : اندازه‌ی برآوردشده‌ی متغیر مزبور در نقطه‌ی  $X_i$ ،  $Z(x_i)$ : اندازه‌ی واقعی متغیر مزبور در نقطه‌ی  $X_i$  است.

### نتایج و بحث

#### تحلیل زمین آماری سنجه‌های کیفی آبخیز

نتایج تحلیل آماری داده‌های سنجه‌های آرسنیک،

معمولاً هر اندازه  $h$  افزایش یابد تعداد جفت‌ها کم می‌شود. با افزایش  $h$ ، اندازه‌ی نیم‌تغییرنما تا فاصله‌ی معینی افزایش می‌یابد و پس از آن به اندازه‌ی ثابتی می‌رسد که حد آستانه نامیده می‌شود. به فاصله‌ی میان نمونه‌ها که از آن به بعد اندازه‌ی متغیر در نقاط مجاور تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و با افزایش فاصله اندازه‌ی نیم‌تغییرنما تفاوت معنی‌داری نمی‌کند، دامنه یا شعاع تأثیر گفته می‌شود. اندازه‌ی نیم‌تغییرنما اگر  $h = 0$  باشد اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود (ایساکس و سریواستاوا ۱۹۸۹). معمولاً اثر قطعه‌ای ناشی از خطاهای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تجزیه‌ی داده‌ها است اندازه‌های مجهول در کلیه روش‌های میان‌یابی زمین آماری از جمله کریجینگ با استفاده از رابطه‌ی ۲ برآورد می‌شود.

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

$\hat{Z}(x_0)$ : اندازه‌ی برآوردشده‌ی متغیر در نقطه  $x_0$ ،  
 $Z(x_i)$ : اندازه‌ی اندازه‌گیری‌شده‌ی متغیر در مکان  $x_i$ ،  
 $\lambda_i$ : وزن داده‌شده به مشاهده  $i$ ام است. در این پژوهش برای محاسبات روش کریجینگ از نرم‌افزار  $GS^+$  استفاده شد.

### کریجینگ ساده (Simple Kriging)

این روش ساده‌ترین روش کریجینگ در پژوهش‌های آب‌شناسی و مهندسی منابع آب است. این روش نوعی درون‌یابی خطی در ابعاد بزرگ است. در این نوع کریجینگ فرض بر این است که اندازه‌ی میانگین کمیت در منطقه‌ی برآوردشده با تجربه و پژوهش‌های پیشین، معلوم است.

### مدل میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)

روش میان‌یابی IDW یکی از معمول‌ترین روش‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است. در این روش فرض بر این است که در یک سطح میان‌یابی، اثر یک سنجه بر نقاط پیرامون یکسان نیست و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت تأثیر هستند و هر اندازه فاصله از مبدأ افزایش یابد اثر سنجه نیز کمتر می‌شود (حسنی‌پاک ۲۰۰۹). در این روش از رابطه‌ی ۳ استفاده گردید:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

$Z_{x_0}$ : اندازه‌ی برآوردشده‌ی متغیر  $Z$  در نقطه‌ی  $X_0$   
 $Z_{x_i}$ : اندازه‌ی نمونه در نقطه‌ی  $d_i$ ،  $X_i$ : فاصله‌ی نقطه‌ی مزبور تا نقطه‌ی برآورد،  $\alpha$ : ضریبی که وزن بر اساس فاصله تعیین می‌کند و اندازه‌ی آن غالباً

کمترین و بیشترین اندازه‌ی نیترات به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۶/۸۷ میلی گرم در لیتر به دست آمد. در آبخیز جیرفت میانگین اندازه‌ی آرسنیک ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر بود که از اندازه‌ی مجاز آب شرب بیشتر بود. میانگین اندازه‌ی نیترات ۲/۰۸ میلی گرم در لیتر بود که در محدوده مجاز بود.

نیترات، منگنز و TDS در جدول ۲ نشان داده شده است. در نمونه‌ی تهیه شده از مرکز شهر کمترین اندازه‌ی آرسنیک (۰/۰۵ میلی گرم در لیتر) به دست آمد. در حالی که در نمونه‌ی منطقه‌ی دلفارد بیشترین اندازه‌ی آرسنیک (۰/۱۱۷ میلی گرم در لیتر) به دست آمد. این یافته نشان دهنده‌ی اندازه‌ی زیاد آرسنیک در آب این منطقه بود. در منطقه‌ی الله‌آباد و جنگل آباد

جدول ۲- چکیده‌ی تحلیل آماری داده‌های آرسنیک، نیترات منگنز و کل مواد جامد محلول.

Table 2- Abstract of statistical analysis of data related to arsenic, manganese nitrate and total dissolved solids (TDS).

Parameter	Mean	Standard Deviation	Variance	Minimum	Maximum	Skewness	Elongation	Coefficient of Variation
Arsenic (mg/l)	0.05	0.02	0.0004	0.005	0.117	1.45	2.58	8
Nitrat (mg/l)	2.08	1.99	3.99	0.001	6.87	0.84	-0.32	0.96
Mn (mg/l)	0.0186	0.0049	0	0.007	0.03	-0.36	0.77	0.26
TDS (mg/l)	906.83	731.45	535022.38	300	3240	1.88	2.74	0.08

مشخص شد که خطای مدل نیم‌تغییرنمای داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی آرسنیک با اثر قطعه‌ای ۰/۰۰۰۲۵ و دامنه‌ی تأثیر ۳۶/۷ کیلومتر ۳۸/۴٪ بود. همچنین، خطای مدل نیم‌تغییرنمای داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی نیترات با اثر قطعه‌ای ۰/۳ و دامنه‌ی تأثیر ۲۸/۵ کیلومتر ۴/۹٪ بود. این یافته‌ها نشان دهنده‌ی وجود همبستگی مکانی آرسنیک و نیترات بود. همچنین بر اساس نتایج جدول ۳ وجود همبستگی مکانی زیاد برای سنجه‌های TDS و Mn تأیید شد.

برای بررسی بودن یا نبودن همبستگی مکانی متغیرهای بررسی شده، پس از برازش چند مدل واریوگرام و بررسی ظاهری آن‌ها، مدل مناسب با توجه به نسبت  $C_0 (C_0 + C)$  که باید کمتر از ۰/۵ باشد، انتخاب شد. نسبت  $C_0 (C_0 + C)$  معرف آن است که اثر قطعه‌ای چه اندازه از کل تغییرپذیری را توجیه می‌کند. در این پژوهش پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییرنما به داده‌های آرسنیک، نیترات، منگنز و TDS بهترین مدل انتخاب شد (جدول ۳). براساس نتایج جدول ۳

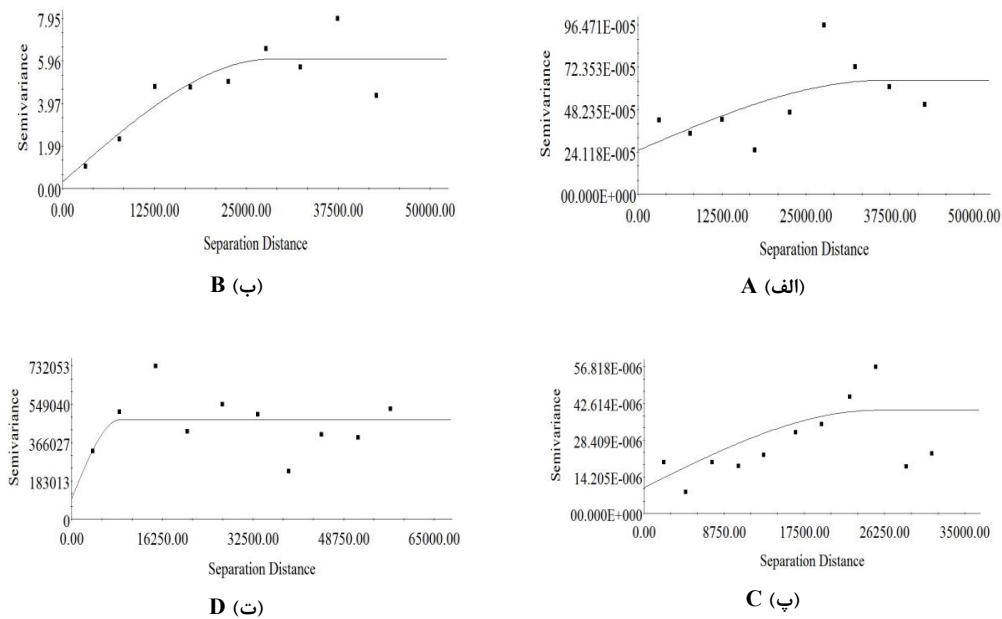
جدول ۳- مشخصات بهترین مدل برازش شده بر اندازه‌های نیم‌تغییرنمای تجربی در روش کریجینگ.

Table 3- Characteristics of the best fitted model on the values of the experimental semivariance in the kriging method.

Experimental semivariance	Best model	$C_0$	$C+C_0$	$A_0$ (m)	$C_0/Sill$	$R^2$
Arsenic (mg/l)	Spherical	0.00025	0.00065	36700	0.384	0.75
Nitrat (mg/l)	Spherical	0.30	6.049	28500	0.049	0.85
Mn (mg/l)	Spherical	0.00001	0.00004	25510	0.250	0.75
TDS (mg/l)	Spherical	98000	474600	8600	0.206	0.71

سنجه‌ی EC و TDS روش کریجینگ با مدل کروی و برای SAR و TH روش عکس فاصله با توان به ترتیب ۲ و ۳ کمترین خطا را داشت. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که همبستگی مکانی سنجه‌های کیفی مزبور در آبخیز جیرفت بسیار زیاد بود.

نیم‌تغییرنمای تجربی برازش شده بر سنجه‌های کیفی در شکل ۳ نشان داده شده است. در این پژوهش مدل کروی به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش نادریان‌فر و همکاران (۲۰۱۹) بر پهنه‌بندی سنجه‌های کیفی در آبخیز جیرفت، هم‌راستا است. نتایج رتبه‌بندی معیارهای ارزیابی آن‌ها نشان داد که برای



شکل ۳- نیم تغییر نماهای تجربی برازش شده: الف - آرسنیک، مدل کروی، ب - نیترات، مدل کروی، پ - منگنز، مدل کروی، ت - TDS، مدل کروی.

Figure 3- Theoretical semivariables fitted to: A- Arsenic, spherical model, B- Nitrate, spherical model, C- Manganese, spherical model, D- TDS, spherical model.

به عنوان مناسب ترین روش انتخاب شد. همچنین بر اساس معیارهای ارزیابی برای سنجی نیترات (NO<sub>3</sub>) و منگنز (Mn) مدل RBF به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. در نهایت برای میان یابی سنجی های کیفی در آبخیز جیرفت از مدل های برتر استفاده شد.

نتایج ارزیابی مدل های مختلف زمین آماری در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۴ و مجموع معیارهای ارزیابی متقابل در میان روش های کریجینگ، RBF و عکس فاصله (IDW) با توان ۱، ۲ و ۳ به کار گرفته شده در این پژوهش برای برآورد آرسنیک (As) و کل مواد جامد محلول (TDS)، روش کریجینگ ساده

جدول ۴- مقایسه ی روش های زمین آماری در برآورد سنجی های کیفی بر اساس معیارهای مختلف.

Table 4- Comparison of geostatistical methods in estimating quality parameters based on different criteria

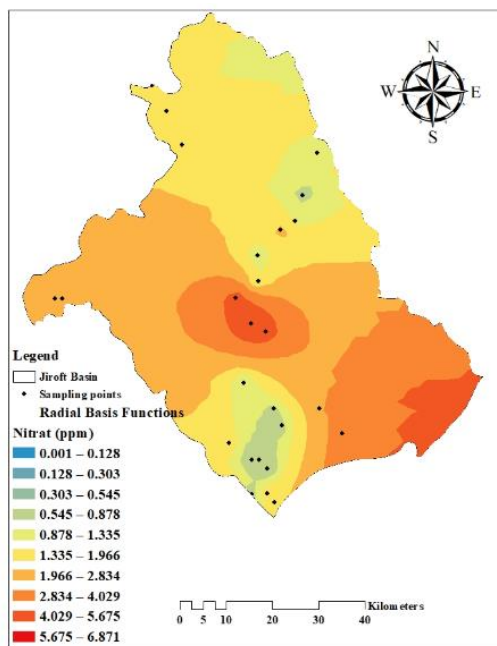
Parameter (mg/l)	Evaluation criteria	IDW			Ordinary kriging	Simple kriging	RBF
		$\alpha=1$	$\alpha=2$	$\alpha=3$			
Arsenic	MBE	0.02	0.0014	0.0009	0.00059	0.00051	0.0013
	RMSE	0.0226	0.0235	0.0245	0.0224	0.0207	0.0227
Nitrat	MBE	-0.1585	-0.1549	-0.1497	-0.0514	-0.0444	-0.0306
	RMSE	1.8019	1.7007	1.7213	1.8208	1.6718	1.6472
Mn	MBE	-0.00039	-0.00073	-0.0010	-0.00012	-0.00014	-0.0003
	RMSE	0.0049	0.0048	0.0049	0.0045	0.0046	0.0045
TDS	MBE	6.480	-37.198	-63.895	-31.534	10.422	13.446
	RMSE	645.769	669.943	699.989	642.638	624.311	658.310



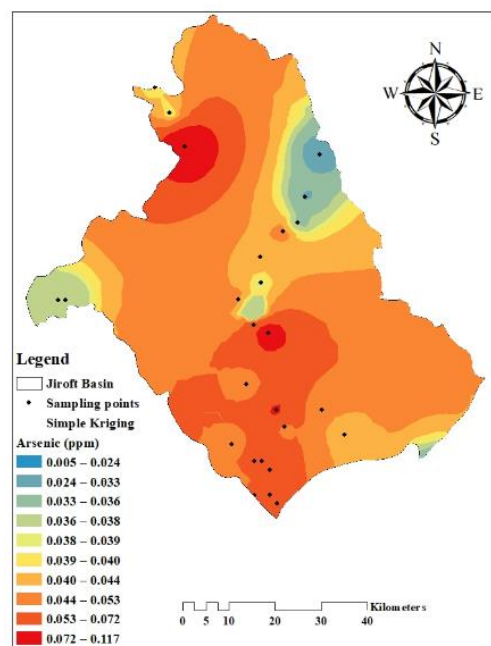
مطلوب ۱۰۰۰ و اندازه‌ی مجاز ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. این نتایج نشان داد که تمام نمونه‌ها به‌جز نمونه‌های آب دهنو شهسوار، اکبرآباد، تاج‌آباد و بهادرآباد در محدوده‌ی مجاز بود و بیشتر مناطق در محدوده‌ی مطلوب بودند.

در این آبخیز نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که بیشترین اندازه‌ی آرسنیک در قسمت شمال شرقی، محدوده‌ی منطقه‌ی دلفارد جیرفت و مناطق جنوبی بود. از این رو استفاده از آب این مناطق با آرسنیک زیاد سرطان‌زا است (شکل ۴-الف). با اینکه غلظت نیترات از بابت شرب محدودیتی نداشت ولی با این حال بیشترین غلظت نیترات در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی آبخیز به‌دست آمد (شکل ۴-ب). در بخش‌های جنوبی آبخیز جیرفت (عنبرآباد) بیشترین اندازه‌ی منگنز و TDS به‌دست آمد (شکل ۴-پ و ت). نتایج پژوهش نادریان‌فر و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که بیشترین اندازه‌ی غلظت سنجه‌های کیفی (EC، SAR، TH) و TDS در بخش جنوبی آبخیز جیرفت بود.

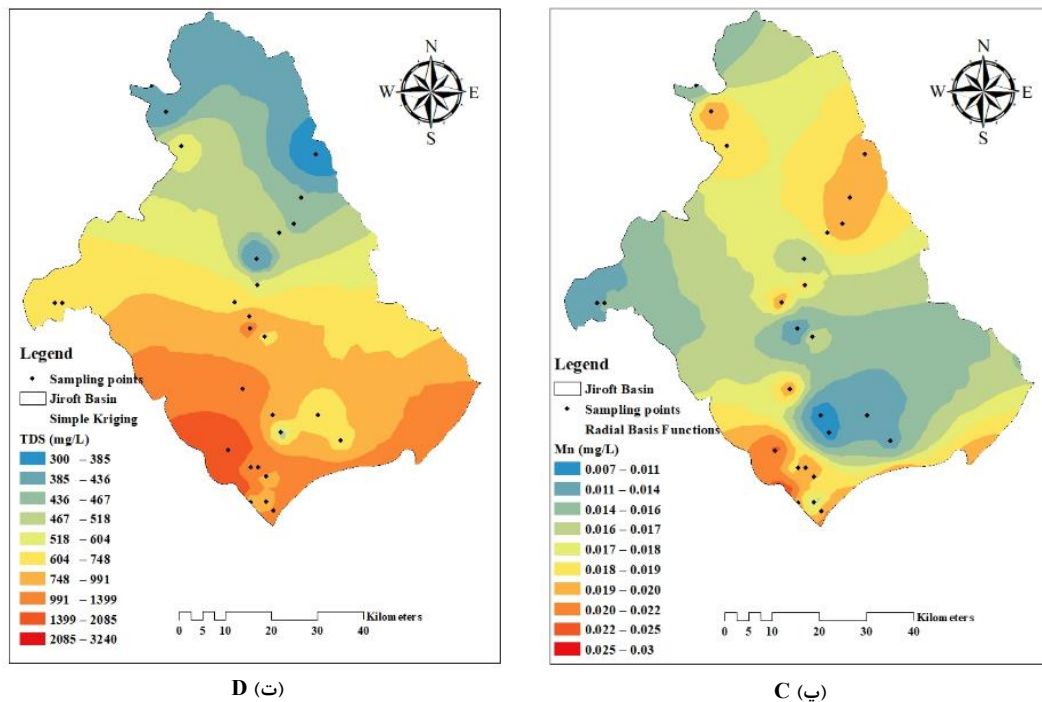
نقشه‌های پهنه‌بندی سنجه‌های کیفی آب‌برزمینی در این پژوهش بر اساس معیارهای ارزیابی برای تهیه‌ی نقشه‌های TDS، NO<sub>3</sub>، As و Mn از بهترین روش استفاده شد (جدول ۴). از این رو برای سنجه‌ی آرسنیک و کل مواد جامد محلول از روش کریجینگ ساده با مدل گروهی استفاده شد و برای سنجه‌ی نیترات و منگنز روش RBF استفاده شد. نقشه‌ی پهنه‌بندی سنجه‌های کیفی TDS، NO<sub>3</sub>، As و Mn در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱ و بر پایه‌ی معیار ۱۰۵۱ مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، به‌جز آب شهری، غلظت آرسنیک در آب مناطق دیگر بسیار بیشتر از اندازه‌ی مجاز برای مصرف شرب بود. هم‌چنین غلظت نیترات در تمام نمونه‌ها، کمتر از اندازه‌ی مجاز برای آب شرب بود و استفاده از آن مانعی ندارد. در تمام نمونه‌ها غلظت منگنز کمتر از اندازه‌ی مجاز (۰/۴) مشاهده شد. هم‌چنین با توجه به نتایج جدول ۱ و بر پایه‌ی معیار ۱۰۵۱ مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، کل مواد جامد محلول (TDS) در آب شرب، در اندازه‌ی



ب (ب)



الف (A)



شکل ۴- نقشه‌ی پهنه‌بندی سنجه‌ها با استفاده از بهترین مدل، الف: آرسنیک (کریجینگ ساده)، ب: نیترات (RBF)، پ: Manganese (RBF) و ت: TDS (کریجینگ ساده)

Figure 4- Zoning map of metrics using the best model A: Arsenic (Simple kriging), B: Nitrate (RBF), C: Mn (RBF) and D: TDS (Simple kriging)

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه آب شرب منطقه‌ی جیرفت از آب‌زیرزمینی تأمین می‌شود و اکثر مناطق روستایی از آب‌چاه‌ها برای شرب استفاده می‌کنند و از آنجایی که منابع آبی موجود در بلندی‌های جیرفت روی کمربند آرسنیک کشور است، در این پژوهش تغییرات مکانی سنجه‌های آرسنیک، نیترات، منگنز و کل مواد جامد محلول در آبخیز جیرفت بررسی شد. نقشه‌های پهنه‌بندی TDS،  $NO_3^-$ ، As و Mn بر اساس معیارهای ارزیابی و با بهترین روش زمین‌آمار رسم شد. سنجه‌ی آرسنیک و کل مواد جامد محلول با مدل کروی روش کریجینگ ساده برآورد شد و سنجه‌ی نیترات و منگنز با روش RBF برآورد شد. در این پژوهش نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که بیشترین اندازه‌ی آرسنیک در قسمت شمال شرقی، محدوده‌ی منطقه‌ی دلفارد جیرفت و مناطق جنوبی بود. از این رو استفاده از آب این مناطق با آرسنیک زیاد سرطان‌زا است. با اینکه غلظت نیترات از بابت شرب محدودیتی نداشت ولی با این حال بیشترین غلظت نیترات در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی آبخیز به‌دست آمد. در بخش‌های جنوبی آبخیز جیرفت

در این پژوهش نتایج تجزیه‌ی نیم‌تغییرنا و ارزیابی روش‌ها نشان داد که نیم‌تغییرنمای سنجه‌های کیفی این پژوهش از مدل کروی تبعیت می‌کند. نتایج تحلیل نیم‌تغییرنمای آرسنیک، نیترات، منگنز و کل مواد جامد محلول نشان داد که در کل منطقه همبستگی مکانی سنجه‌های مزبور خوب است که علت آن را می‌توان ناشی از خصوصیات اقلیمی و آب‌شناختی منطقه دانست.

همچنین از مقایسه‌ی روش‌های گوناگون برآورد سنجه‌های کیفی، مشخص شد که برای آرسنیک و کل مواد جامد محلول روش کریجینگ ساده با نیم‌تغییرنمای کروی، و برای منگنز و کل مواد جامد محلول روش تابع پایه شعاعی (RBF) مناسب‌ترین روش میان‌بازی در آبخیز جیرفت است. نتایج بررسی غلظت آرسنیک نشان داد که به‌جز نمونه‌های شهری، در نمونه‌های مناطق دیگر غلظت آرسنیک بیشتر از اندازه‌ی مجاز بود که علت آن این است که برخی منابع آبی موجود در بلندی‌های جیرفت روی کمربند آرسنیک کشور است. بنابراین استفاده از آب چاه‌ها در روستاهای جیرفت مناسب نیست و برای شرب به تصفیه‌ی آب نیاز است.

بهبود کیفیت منابع آب زیرزمینی باید به نقش عامل‌های انسانی (کاربری زمین‌ها و فعالیت‌های کشاورزی) بسیار توجه کرد. این نتایج با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. همچنین نادریان و همکاران در سال ۲۰۱۹ کیفیت آب زیرزمینی دشت جیرفت را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد از شمال دشت (کوه‌های بلند بارز) به‌طرف نواحی غربی و بخش‌های جنوبی (عنبرآباد) و جنوب‌غربی دشت کیفیت آب زیرزمینی به‌تدریج کاهش پیدا کرده است (نادریان و همکاران ۲۰۱۹). از این رو پیشنهاد می‌شود که در مناطق روستایی برای شرب از آب لوله‌کشی و تصفیه‌شده استفاده شود و مناطقی که کیفیت آب بحرانی است باید به‌وسیله‌ی سازمان آب و فاضلاب روستایی در اولویت بررسی باشند.

بیشترین اندازه‌ی منگنز و TDS به‌دست آمد. علت این یافته شسته شدن املاح موجود در مناطق بلند، نفوذ کودها و سموم کشاورزی به آب زیرزمینی است. از طرف دیگر جهت حرکت آب زیرزمینی در منطقه از شمال دشت و رشته کوه‌های بلند بارز به سمت مرکز و جنوب دشت (عنبرآباد) است. برخوردار و همکاران (۲۰۱۸) با تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری زمین‌های دشت جیرفت گزارش کردند که در بخش‌هایی که زمین‌های کشاورزی وجود دارند آب زیرزمینی کیفیت بدتری دارد. آن‌ها با تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی مشخص کردند که سازندهای بافت ریزدانه‌تر در بخش‌های جنوبی و مرکزی دشت جیرفت سبب کاهش کیفیت آب شده است. در نهایت نتیجه گرفتند که کیفیت آب منطقه‌ی مطالعه‌شده با گذشت زمان تحت تأثیر کاربری زمین‌ها و سازندهای زمین‌شناسی برای مصارف شرب کاهش یافته است. برای

فهرست منابع

- APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association. 21th ed Washington: APHA. 541 p.
- Barkhori S. Mahdavi R. Zehtabian G. Gholami H. 2018. Investigating temporal and spatial changes trend of groundwater quality indices (Case Study: Jiroft plain). Iranian Journal of Range and Desert Research. 25(2):355-365.
- Broomhead DS. Lowe D. 1988. Radial basis functions, multi-variable functional interpolation and adaptive networks. Royal Signals and Radar Establishment Malvern (United Kingdom). No. RSRE-ME-MO-4148. pp. 1-34.
- Chitsazan M. Shacheri S. Mirzaei SY. Aboudi ST. 2018. Assessment of the distribution and source of arsenic in Karstic Aquifers ( Case study: Garu saline Karstic spring in East of Khuzestan Province, Southwest of Iran). Iran-Water Resources Research. 14(3): 216-225.
- Cordoba E. Martinez AC. Ferrer EV. 2010. Water quality indicators: comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederacion Hidrografica del Jucar (Spain). Ecological Indicators. 10(5):1049-1054.
- Dummer TJB. Yu ZM. Nauta L. Murimboh JD. Parker L. 2015. Geostatistical modelling of arsenic in drinking water wells and related toenail arsenic concentrations across Nova Scotia. Canada. Science of the Total Environment. 505:1248-1258.
- Ebrahimi Maimand M. 2018. Dispersion and origin of arsenic in the underground waters of Rafsanjan plain and providing a suitable solution for its removal. M.Sc. Thesis in Environmental Geology. Shahid Bahonar University, Kerman. (In Persian).
- Esfandiari F. Nasiri Khiavi A. Mostafazadeh R. 2019. Assessing the accuracy of algebraic and geostatistical techniques to determine the spatial variations of groundwater quality in Boroojen Plain. Journal of Natural Environmental Hazards (JNEH). 8(20):115-130. (In Persian).
- Esfandiari F. Mostafazadeh R. Ebadi E. Saadati R. 2020. Modelling the spatial distribution and depletion of groundwater level in Tabriz Plain. Journal of Geographical Engineering of Territory. 3(6):1-16. (In Persian).
- Fathi Hafshejani E. Beygi Harchegani H. Davoudian Dehkordi A. Tabatabaee SH. 2014. Comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping of nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer. Engineering Scientific Research Institute of Iran. 4(3):51-63. (In Persian).
- Gong G. Mattevada S. O'Bryant SE. 2014. Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. Environmental Research. 130:59-69
- Hasani pak A. 2009. Geostatistics. University of Tehran. 328 p. (In Persian).
- Hounslow A. 1995. Water quality data: Analysis and interpretation. CRC Press. 416 p.
- Isaaks EH. Srivastava RM. 1989. Applied Geostatistics. New York: Oxford university press. Vol.561. 582 p.
- Jiang JQ. 2001. Removing arsenic from groundwater for the developing world-a review. Water Science and Technology. 44(6):89-98.
- Kalantari N. Sheikhzadeh A. Mohammadi H. 2021. Investigation of groundwater quality in Gotvand Aquifer with emphasis on Nitrate concentration. Iran-Water Resources Research. 17(1):228-238. (In Persian).
- Khajepour S. 2016. Investigating the amount

- of heavy metals in the groundwaters of the south of Rafsanjan plain with an emphasis on the possible role of the Sarcheshme copper complex, Master's Thesis in Environmental Geology, Shahid Bahonar University, Kerman. 137 p. (In Persian).
- Malakootian M. Yaghmaian K. Tahergorabi M. 2011. The efficiency of nitrate removal in drinking water using iron nano-particle and determination of optimum conditions. Scientific Research Quarterly of Rise of Health Yazd Health Faculty. pp. 35-44. (In Persian).
- Naderianfar M. Ghahraman B. Ansari H. Salari M. 2012. Application of different geostatistical methods in order to estimate EC and SAR values in groundwater with emphasis on changes in permeability of the basin. Engineering and Irrigation Sciences (Scientific Journal of Agriculture). 35(1):21-33. (In Persian).
- Naderianfar M. Nezhad Afzali K. Bayatani F. 2019. Investigation of Anomaly maps of groundwater quality parameters (Case study: Jiroft watershed). Irrigation and Water Engineering. 10(1):93-107. (In Persian).
- Naseri S. Heibati B. Asadi A. Golestani FH. Dargahi A. 2013. Performance evaluation of modified pumice on removal nitrate from aqueous solution: kinetic studies and adsorption isotherm. Toloobehdasht. 12(1):143-54.
- Sall M. Vanclooster M. 2009. Assessing the well water pollution problem by nitrates in the small scale farming systems of the Niayes region, Senegal. Agricultural Water Management. 96(9): 1360-1368
- Sisr L. Mihaljevič M. Ettler V. Strnad L. Šebek O. 2007. Effect of application of phosphate and organic manure-based fertilizers on arsenic transformation in soil columns. Environmental Monitoring and Assessment. 135(1-3): 465-473.
- Solgi E. Goudarzi R. 2022. The Effect of Unsanitary Landfill on Groundwater Quality (Case study: Borujerd City). Iran-Water Resources Research. 18(2):98-110. (In Persian).
- Tahboub AA. Abbassi BE. Ta'any RA. Saffarini GA. 2007. Spatial variability of topsoil salinity in the lower reaches of Zerka River. Central Jordan Valley. Journal of Food Agriculture and Environment. -5(3/4):368-373.
- Uyan M. Cay T. 2010. Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. 3rd International conference on cartography and GIS. Nessebar. Bulgaria. 1520:1-7.



## Investigating Spatial Changes in Nitrate and Arsenic in Groundwater of the Jiroft Watershed

Mohammad Naderianfar<sup>\*1</sup>, Arsalan Faryabi<sup>2</sup>

1, 2- Assistant Professor of Department of Water Engineering and Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran

### Extended Abstract

#### Introduction and Goal

Awareness of spatial variations in groundwater quality parameters is an important tool for identifying the capacity of the region and land management. Jiroft is located on an arsenic belt in the country and considering the effect that arsenic has on underground water and the carcinogenic nature of this element, analysis of this element is very important. Moreover, most rural regions of Jiroft use the well water for drinking. Therefore, the analysis of groundwater in this region appears to be very important for drinking purpose.

#### Materials and Methods

Using geostatistical methods, the present study attempted to analyze the spatial variation of nitrate, arsenic, manganese, and all dissolved solid parameters in the groundwater of the Jiroft watershed during 2019. For this purpose, water from 36 agricultural wells and wells used for drinking in villages, as well as urban drinking water samples, were sampled in three replicates. The geostatistical methods used for zoning the above parameters include ordinary kriging (OK), simple kriging (SK), radial basis function (RBF), and inverse distance weighting (IDW) with different powers. Geostatistical methods were evaluated using the mutual evaluation technique applying the root mean square error (RMSE) and mean bias error (MBE) criteria between the actual and estimated data.

#### Results and Discussion

In this research, the spatial changes of nitrate, arsenic, manganese and total solids dissolved in groundwater in the Jiroft watershed were analyzed using the evaluation criteria ranking results showed that the

**Article Type:** Research Article

**\*Corresponding Author E-mail:** naderian.mohamad@ujiroft.ac.ir

**Citation:** Naderianfar, M., Faryabi, A. 2024. Comparison of Spatial Interpolation Nitrate and Arsenic in the Groundwater of Jiroft Plain. *Watershed Management Research*. 37(1):33-47.

**DOI:** 10.22092/WMRJ.2023.361116.1518

**Received:** 20 January 2023, **Received in revised form:** 11 February 2023, **Accepted:** 19 March 2023,

**Published online:** 20 March 2024

*Watershed Management Research*, VOL. 37, No.1, Ser. No: 142, Spring 2024, pp. 33-47.

**Publisher:** Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)





estimation of arsenic and TDS with the spherical model of the simple kriging method had the least error and the estimation of nitrate and manganese with the radial basis function (RBF) method had the lowest error. The study showed that the spatial correlation of the quality metric of the Jiroft watershed is very high. Therefore, the error of the semivariable model of the measured data of arsenic with a partial effect of 0.00025 and a range of influence of 36.7 km was 38.4%, whereas the error of the semivariable model of nitrate with a partial effect of 0.3 and a range of influence of 28.5% was 4.9%. In the Jiroft watershed, the concentration of arsenic in the water of other areas was much higher than the permissible amount for drinking based on standard 1051 of the Iranian Institute of Standards and Industrial Research except for urban water. In addition, the concentration of nitrate in all the samples was lower than the permissible amount for drinking water, so there is no obstacle to its use.

**Key words:** Arsenic, geostatistical, kriging, Nitrate