

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی توزیع زمانی-مکانی نیترات در آب شرب روستاهای اردبیل، نیر و نمین

مجید رئوف^{۱*}، آرش امیرزاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۳

چکیده

مخازن آب زیرزمینی بر خلاف مخازن سطحی بی‌خطر و بدون هزینه نگهداری بوده و در صورتی که به‌طور صحیح مورد بهره‌برداری قرار گیرند می‌توانند مفیدترین منابع آبی محسوب شوند. نیترات یکی از شایع‌ترین و عمده‌ترین آلاینده‌های غیرمتمرکز منابع آبی است. یکی از منابع اصلی تولید آن فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای ازته است. به دلیل وفور فعالیت‌های کشاورزی در شهرستان‌های اردبیل، نیر و نمین غلظت نیترات در منابع آبی این مناطق مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور تعداد ۶۱۲ نمونه از ۵۱ حلقه چاه آب آشامیدنی روستاهای منطقه به مدت یکسال نمونه برداری و جمع‌آوری صورت گرفت و در هر فصل سه تکرار نمونه برداری انجام شد. غلظت نیترات به روش اسپکتروفتومتری در آزمایشگاه شیمی خاک دانشگاه محقق اردبیل اندازه‌گیری شد تا بتوان تغییرات غلظت را در فصل‌های مختلف و با گذشت زمان تعیین نمود. تجزیه و تحلیل نتایج نمونه‌ها بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها در نرم افزار spss وارد نرم‌افزار ArcGIS شدند و با استفاده از روش زمین آمار وزن دهی عکس فاصله با داشتن حداقل خطا RMSE نسبت به روش‌های کریجینگ، تخمین گر عام، تابع شعاعی و تخمینگر موضعی درون‌یابی نیترات انجام شد. طی نتایج به‌دست آمده با معیار آب شرب، مقدار این یون در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه بالاتر از حد استاندارد بوده، و از نظر زمانی نیز در فصل‌های مختلف متفاوت است. مقدار نیترات بیش‌تر از ۵۰ ppm در فصل‌های بهار، تابستان، پائیز و زمستان به ترتیب بر حسب درصد دربرگیرنده‌ی مساحت منطقه ۹۹/۶، ۹۸/۸، ۶۷/۶ و ۵۳/۹ درصد است. به گونه‌ای که در فصل‌های کشت و کار کشاورزی بیش‌ترین میزان در حدود ۴۸۱ ppm و ۴۵۴ ppm را دارد. علت این میزان نیترات در این منطقه به نظر می‌رسد، درصد بالایی از آلودگی حاصل فعالیت‌های شدید کشاورزی، استفاده‌ی بیش از حد کودهای شیمیایی و حیوانی است. براساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته کیفیت آب شرب این منطقه مخصوصاً در فصل‌های بهار و تابستان در حد استاندارد نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی منابع آب، درون‌یابی مکان، کیفیت آب آشامیدنی، کودهای شیمیایی، ArcGIS

مقدمه

انسانی است (فاضلی و همکاران، ۱۳۹۰). در گذشته فعالیت‌های کشاورزی به شکل سنتی و محدودتری انجام می‌شد و در نتیجه میزان آلودگی ناشی از آن به مراتب کم‌تر بود. با پیشرفت فناوری و افزایش نیاز بشر به تولیدات کشاورزی برای تأمین غذای جمعیت رو به رشد، به تدریج استفاده از انواع کودهای شیمیایی و آلی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و سایر مواد شیمیایی در سیستم‌های زراعی گسترش یافت. کاربرد گسترده و گاه بی‌رویه این ترکیبات سبب وارد آمدن صدمات جبران‌ناپذیری به منابع آب و محیط زیست شده و به یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی منابع آب زیرزمینی تبدیل گردیده است (Zahoor and Mushtaq, 2023; Samani, 2021). آلاینده‌های کشاورزی عمدتاً به‌صورت غیرنقطه‌ای و گسترده وارد محیط می‌شوند و در شمار خطرناک‌ترین منابع آلاینده منابع آب قرار می‌گیرند. کنترل و مدیریت این نوع آلودگی به‌دلیل پراکندگی و تنوع منابع آن دشوار بوده و مستلزم اتخاذ راهکارهای مدیریتی ویژه و جامع است. نیترات که به‌عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد و توسعه

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، که میزان بارندگی سالانه آن کم‌تر از یک‌سوم میانگین بارندگی جهانی است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و نقش بسزایی به‌عنوان منابع اصلی ذخیره آب شیرین ایفا می‌کنند (Kumar et al., 2025; Ji et al., 2024; Osman et al., 2017). آلوده شدن منابع آب زیرزمینی تهدیدی جدی در این مناطق بوده، و کاربری اراضی بایستی متناسب با توان و خطر آلوده شدن آبخوان‌ها تعریف گردد. در بعضی از موارد، فرآیندهای طبیعی به‌طور جدی سبب آلودگی می‌شوند، اما بیش‌تر نگرانی‌های بشر در مورد آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی بر اثر فعالیت

۱- استاد، گروه مهندسی آب و پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: m_raoof@uma.ac.ir)

فصل بهار ۵/۱۴ میلی گرم بر لیتر بود. همچنین، عمق کم سطح ایستابی در اراضی شالیزاری با افزایش غلظت نیترات ارتباط داشت. در طول مدت مطالعه، خطرات بهداشتی ناشی از آلودگی نیترات محاسبه شده با استفاده از شاخص HQ از ۰/۰۰۲ در سال ۱۳۹۰ به ۳/۸۸ در سال ۱۳۹۵ افزایش یافت. در این مدت، غلظت نیترات در کاربری‌های مختلف مانند زراعی، شالیزاری، مسکونی و باغات افزایش چشمگیری داشت. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده ضرورت کنترل آلودگی آب زیرزمینی به‌ویژه از طریق بهبود مدیریت آب و نهاده‌های کشاورزی برای ارتقای سلامت ساکنان منطقه است. قیصری و همکاران (۱۳۸۶) در جنوب شرق شهر اصفهان نشان داد که در بعضی از این مناطق غلظت نیترات از حد استانداردهای جهانی بیش تر است. خزاعی و حبیب‌نژاد روشن (۱۳۸۰) نشان دادند که در بعضی از مناطق سفره‌ی آب زیرزمینی زاهدان، غلظت نیترات بیش از حد مجاز می‌باشد. شاه پسندزاده و همکاران (۱۳۸۳) در تحقیقی اثرات زیست محیطی توسعه‌ی شهری بر آلودگی نیترات آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی گرگان را مورد بررسی قرار دادند. جلال‌الدین ابراهیمی و همکاران (۱۴۰۳) مطالعه حاضر، یک مطالعه توصیفی-تحلیلی است که غلظت یون‌های نیترات، نیتريت، کل جامدات محلول، فلوراید، آرسنیک، سرب و کادمیوم در آب آشامیدنی کلبه روستاهای دارای شبکه توزیع (۱۵۲۴ روستا) استان کردستان طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۷ را تجزیه و تحلیل نموده است. برای توصیف غلظت مواد شیمیایی مورد بررسی، نقشه‌های توزیع مکانی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۳/۱۰ ترسیم گردید. سایر آنالیزهای آماری از جمله بررسی اختلاف میانگین غلظت نیترات، نیتريت و کل جامدات محلول در بین شهرستان‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه در نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. طبق نتایج این مطالعه آب لوله‌کشی ۱۴۸۵ (۹۷/۴۴ درصد) روستای استان کردستان دارای نیترات بود و میزان این یون در آب شرب ۳۱ (۲/۰۳ درصد) روستا بیش از حداکثر مجاز استاندارد ملی و سازمان بهداشت جهانی بود. میانگین غلظت کل جامدات محلول در شهرستان بیجار از بقیه شهرستان‌ها به صورت معنی‌داری بالاتر بود ($P > 0.01$). میانگین غلظت فلوراید در آب آشامیدنی شبکه توزیع روستاهای استان کردستان 0.19 ± 0.25 میلی‌گرم بر لیتر بود که از مقدار تعیین شده در استاندارد ملی ایران (۱/۵ - ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) کم‌تر است. غلظت آرسنیک در آب لوله‌کشی ۴۷ روستا به ترتیب از توابع شهرستان‌های بیجار (۲۳ روستا)، قروه (۱۱ روستا)، سقز (۷ روستا)، دهگلان (۵ روستا) و کامیاران (۱ روستا) بیش از حداکثر مجاز بود نتیجه‌گیری تداوم روند کنونی به ویژه در بخش فعالیت‌های کشاورزی و استفاده کنترل نشده از منابع آب زیرزمینی در امر کشاورزی سبب تغییر و کاهش کیفیت آب خواهد شد؛ لذا نظارت بر فعالیت‌های

گیاهان شناخته می‌شود، عمدتاً از طریق مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار وارد خاک و در نهایت منابع آب زیرزمینی می‌گردد (Ramakrishaniah, 2009; Palata et al., 2025). این آلودگی زمانی رخ می‌دهد که این ترکیب بیش‌تر از مقدار جذب شده به وسیله گیاهان در خاک وجود داشته باشد. مازاد نیترات می‌تواند به‌راحتی به‌وسیله آبیاری، بارندگی یا ذوب شدن برف و یخ از خاک‌ها و صخره‌ها عبور کرده و در نهایت به آب‌های زیرزمینی برسد (Ramirez and Solano, 2004). منابع دیگر آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی شامل پساب‌ها، فاضلاب‌ها و فضولات حیوانی هستند. از سوی دیگر چرخه نیترات‌سازی در شهرهایی که دفع نادرست فاضلاب از طریق چاه‌های جذبی انجام می‌شود هم‌چنان ادامه دارد و مشکل تولید پیوسته نیترات و انتشار آن به آب‌های زیرزمینی را سبب می‌گردد (رسولی و همکاران، ۱۳۹۷). در صورتی که میزان غلظت نیترات بیش‌تر از حد استاندارد (۴۵ ppm بر حسب نیترات) باشد در این صورت مصرف چنین آبی برای کودکان مخاطره‌آمیز بوده و سبب بروز بیماری خواهد شد (Ward et al., 2018; Francis and Fagbayide, 2018; Lee, 2008). حیدری کوچی (۱۳۸۸) روند تغییرات نیترات با میزان بارندگی در آب آشامیدنی روستاهای شهرستان فسا را طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۶ بررسی نمودند. ایشان میزان غلظت نیترات آب آشامیدنی ۲۸۸ نمونه که از ۳۸ حلقه چاه (شامل ۲۴ حلقه چاه عمیق و ۱۴ حلقه چاه دستی) و طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۶ برداشت شده بود را اندازه‌گیری نموده و نتیجه‌گیری نمودند که بیش‌ترین میزان بارندگی در زمستان و به ترتیب ۹۴/۳ و ۳۶/۶ میلی‌متر و کم‌ترین آن مربوط به تابستان و به ترتیب ۱/۲ و ۱ میلی‌متر بوده و از طرفی بیش‌ترین میزان غلظت نیترات در طی دوره مورد بررسی در تابستان به ترتیب ۲۷/۱۳ و ۲۷/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر و کم‌ترین میزان آن در زمستان و به ترتیب ۲۲/۸۹ و ۲۵/۳۵ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری گردید. میزان بارندگی کل در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ در فسا از ۱۶۴ به ۵۷/۷ میلی‌متر کاهش و غلظت متوسط نیترات در همین سال‌ها از ۲۵/۳۹ به ۲۶/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته که این افزایش در مورد چاه‌های دستی مشهودتر بوده به‌طوری که از ۳۷/۷ میلی‌گرم بر لیتر در سال ۱۳۸۶ به ۴۰/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر در سال ۱۳۸۷ رسیده است. رسولی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای که بر تغییرات مکانی و زمانی غلظت نیترات آب زیرزمینی و خطرات بهداشتی آن در استان مازندران متمرکز بود، داده‌های غلظت نیترات ۱۳۳۳ چاه شرب و کشاورزی در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تحلیل شد. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در آغاز مطالعه بین ۱/۰ تا ۲۱۸ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود و به طور متوسط در طول سال‌ها افزایش یافت، به‌ویژه به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی. میانگین غلظت نیترات در فصل پاییز ۱/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر و در

فعالیت گسترده کشاورزی، این مطالعه با هدف بررسی جامع تغییرات زمانی و مکانی غلظت نیترات در آب شرب روستاهای سه شهرستان اردبیل، نیر و نمین انجام شده است. در این پژوهش برای با بهره‌گیری از داده‌های میدانی منظم، مدل‌های مختلف درون‌یابی مکانی مورد مقایسه قرار گرفتند و دقت هر مدل از طریق شاخص RMSE ارزیابی شد تا مناسب‌ترین روش برای مدل‌سازی مکانی نیترات انتخاب شود. از این منظور، تحقیق حاضر در ترکیب پایش فصلی گسترده همراه با تحلیل مقایسه‌ای روش‌های مختلف زمین‌آمار در سطح منطقه‌ای است که می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری دقیق‌تری برای مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی مناطق کشاورزی مشابه فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه روستاهای سه شهرستان اردبیل، نیر و نمین می‌باشد. شهرستان اردبیل به عنوان مرکز استان اردبیل، شهرستان نیر در غرب و جنوب غربی شهرستان اردبیل و شهرستان نمین در شرق و شمال شرقی شهرستان اردبیل واقع گردیده‌اند. منطقه مورد مطالعه دارای مساحتی بالغ بر ۳۴۸۲ کیلومتر مربع می‌باشد. تعداد ۵۱ روستا از منطقه انتخاب و مطالعه گردید. شکل ۱ موقعیت استان اردبیل در کشور و محدوده مورد مطالعه در استان را نمایش می‌دهد.

مواد شیمیایی معدنی غیر سمی

مواد شیمیایی غیرسمی مواد شیمیایی معدنی است که معمولاً به صورت طبیعی یافت می‌شوند و وجود برخی از آن‌ها در حد مطلوب برای بدن انسان ضروری است. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نشان دهنده هیدروگراف هدایت هیدرولیکی برحسب متر بر روز و سطح تراز آب زیر زمینی در دشت اردبیل است. جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیر زمینی را در اردبیل نشان می‌دهد هم‌چنین حداکثر مقدار مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیر سمی موجود در آب آشامیدنی در جدول ۲ تعیین گردیده است (رئوف و همکاران، ۱۳۹۱). در این تحقیق ابتدا نمونه‌های آب آشامیدنی از ۵۱ روستای مورد نظر (روستاهای شهرستان‌های اردبیل، نیر و نمین) در یک دوره حداقل یک‌ساله تهیه و بعد از هر نمونه‌برداری غلظت نیترات در آن‌ها اندازه‌گیری می‌گردید. نمونه برداری بدین ترتیب است که در هر فصل از هر روستای مورد نظر سه نمونه (سه تکرار) تهیه و غلظت نیترات آن به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد تا بتوان تغییرات غلظت را در فصل‌های مختلف و با گذشت زمان تعیین نمود. غلظت نیترات نمونه آب آشامیدنی تهیه گردیده در آزمایشگاه شیمی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت سپس

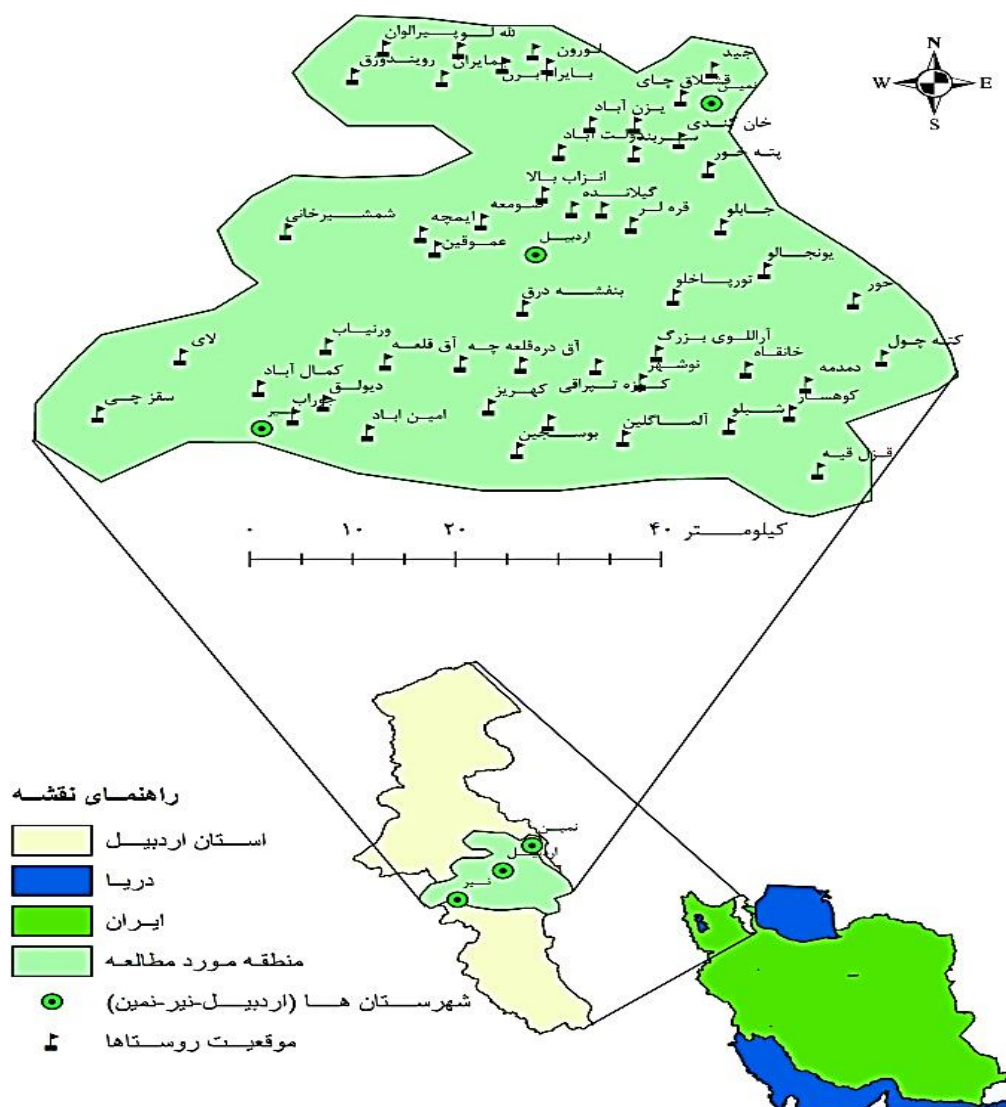
کشاورزی و مصرف کود، ضروری به نظر می‌رسد. گلشن (۱۴۰۳) در این تحقیق براساس مطالعات آزمایشگاهی و برنامه ایمنی آب WSP اقدام به بررسی تغییرات ناخواسته کیفیت آب و ارزیابی سیستم آبرسانی این شهرستان شد. برای این منظور پس از بازدید میدانی، نقاط نمونه‌برداری تعیین شده و در سه فصل بهار، تابستان و پاییز برداشت نمونه با روش انتگراسیون عمقی انجام شد. در نقاط نمونه‌برداری پارامترهای کیفیت آب شامل سدیم، منیزیم، کلسیم، فسفات، نیترات، نیتريت، بی‌کربنات، منگنز، آهن، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، کلی فرم گوآرشی، اکسیژن محلول، میزان اسیدیته، هدایت الکتریکی و سختی کل، تعیین شدند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده، شاخص کیفیت آب (IRWQI) منطقه محاسبه شد. نتایج کیفیت‌سنجی آب در مناطق نمونه‌برداری نشان داد که آب این رودخانه از لحاظ آب شرب مشکلی ندارد. پارامتر آهن (Fe) با ارزش ۸۸/۶ میلی‌گرم بر لیتر در سرشاخه مشند که دارای بیش‌ترین منابع آلودگی است، بیش‌تر از حد مجاز بود که نشان‌دهنده اولویت انجام اقدامات کنترلی و اصلاحی در این سرشاخه است. ارزش شاخص IRWQI برابر با ۳۳/۶۰ به دست آمد که نشان‌دهنده وضعیت به‌نسبت خوب آب منطقه می‌باشد. هم‌چنین بررسی نتایج WSP نشان داد که تشکیل تیم با امتیاز ۶۵ درصد دارای بیش‌ترین امتیاز بوده و امتیاز متوسط این برنامه در شهرستان آستارا ۶۴/۳۳ می‌باشد که با تکمیل برنامه WSP و ممانعت از ورود آلودگی به آب رودخانه، می‌توان آب آشامیدنی با کیفیت‌تر را در اختیار شهروندان قرار داد. ساکی زاده و همکاران در پژوهشی به بررسی پراکنش مکانی و ریسک بهداشتی نیترات و فلزات سنگین (کادمیوم، منگنز و سرب) در آب زیرزمینی مناطق خشک مرکزی ایران پرداخته شد. نتایج تحلیل مکانی نشان داد که غلظت نیترات در برخی نقاط به سطح بحرانی رسیده که می‌تواند سلامت مصرف‌کنندگان را در معرض خطر قرار دهد. هم‌چنین شاخص ریسک بهداشتی محاسبه‌شده برای کودکان بالاتر از بزرگسالان گزارش گردید که ضرورت اقدامات حفاظتی را برجسته می‌کند (Sakizadeh et al., 2024). در صورتی‌که در آب شرب میزان غلظت نیترات و نیتريت اندازه‌گیری، تغییرات زمانی آن ثبت، روند تغییرات در زمان‌های مختلف مشخص و منابع آلوده‌کننده تعیین و کنترل گردند می‌توان کاهش مشکلات و ناراحتی‌های جسمانی به خصوص در کودکان و در نتیجه ایجاد محیطی شادتر در جامعه، کاهش عملیات تعویض لوله‌های انتقال آب که در اثر ترسیب مواد شیمیایی دچار انسداد می‌گردند، کاهش میزان آب مصرفی توسط مصرف‌کنندگان از طریق افزایش کیفیت و قدرت پاک‌کنندگی آب بعد از کنترل میزان نیترات و سولفات محلول در آب مورد نظر و افزایش راندمان گندزدایی از آب شرب به‌وسیله کلر زنی و بهبود کیفیت عملیات گندزدایی تحت کنترل قرار داد. با توجه به اهمیت پایش آلودگی نیترات در منابع آب آشامیدنی به ویژه در مناطق با

در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند. در این تحقیق پس از انجام نرمال‌سازی برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای یاد شده به داده‌های ناحیه‌ای در محیط نرم افزار GIS از روش‌های زمین‌آمار مدل کریجینگ، وزن دهی عکس فاصله، تابع شعاع محور، تخمین‌گرعام و تخمین‌گر موضعی استفاده گردید. بدین صورت که برای تمام فصل‌ها به هر یک از روش‌های مذکور درون‌یابی انجام شد و نقشه مربوط به آن تهیه گردید. نهایت اینکه مدلی انتخاب شد که دارای کم‌ترین خطا نسبت به سایر مدل‌ها را داشت. مدل IDW با داشتن کم‌ترین خطا برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های هم مقدار نیترا انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت.

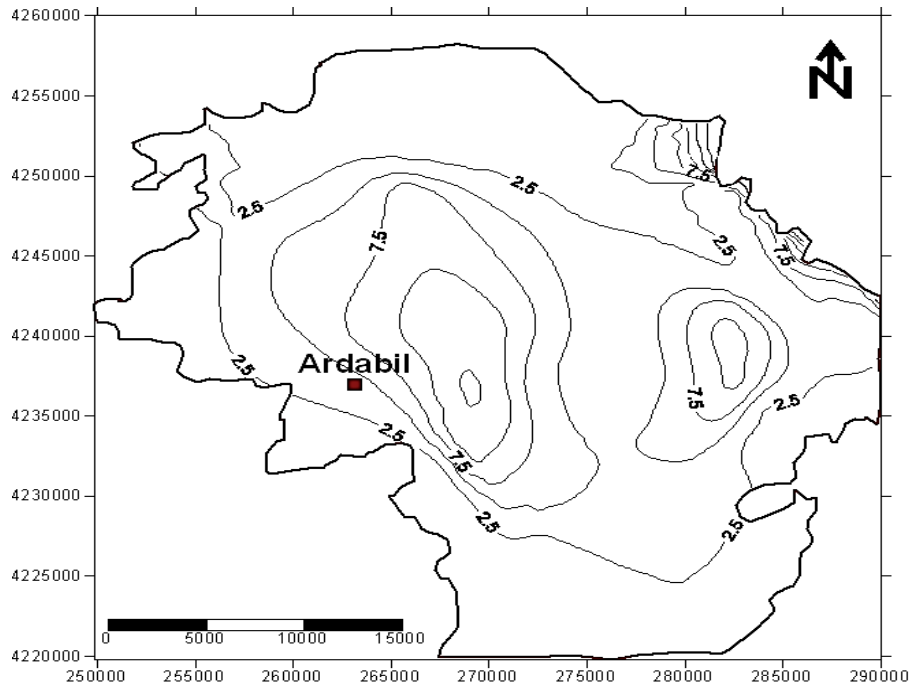
غلظت املاح نیترا اندازه‌گیری شده با استانداردهای موجود مقایسه و کیفیت آن تعیین گردید و در نهایت امکان استفاده شربی بررسی شد. در بیش‌تر موارد، چاه مورد نظر برای استفاده شرب، در داخل مزرعه کشاورزی روستا بوده و در تعداد کمی نیز فاصله چاه تا اراضی بسیار کم و در حد کم‌تر از ۱۰ متر است و لذا آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر کود و سموم شیمیایی در چاه‌های مورد بررسی به وضوح مشخص است. در جدول ۳ مقدار متوسط نیترا اندازه‌گیری شده در فصل‌های مختلف همراه با روستاهای مورد نظر ارائه شده است.

درون‌یابی

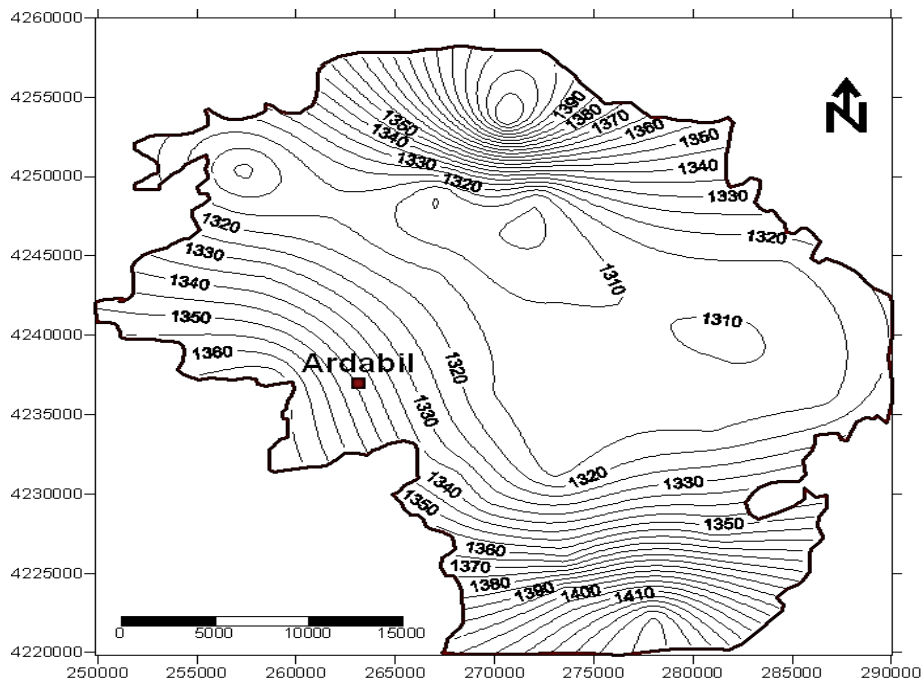
(محمدی، ۱۳۸۵)، روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل



شکل ۲- نقشه هدایت هیدرولیکی دشت اردبیل بر حسب متر بر روز (مختصات به UTM)



شکل ۳- نقشه تراز سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل (مختصات به UTM)

جدول ۱- نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردبیل

ردیف	نام محل	PH	TDS	EC	SO ₄ ⁻	CL ⁻	CO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺	Na	SAR	سختی کل
۱	نیار	۶/۹	۱۲۱۱	۱۷۳۰	۵/۴	۷/۴	۰	۴/۶	۰/۱۲	۱۰/۳	۲/۷	۳/۹	۶۱	۵/۶۷	۳۳۰
۲	چشمه خور	۶/۹	۳۵۴	۵۰۴	۰/۴	۰/۵	۰	۴/۳	۰/۱۲	۲/۸	۰/۹	۲/۱	۴۷	۲/۲	۱۵۰
۳	قره حسلو	۷/۲	۳۰۵	۴۳۶	۰/۱	۱/۱	۰	۲/۳	۰	۱	۰/۴	۲/۸	۲۴	۰/۸	۱۶۰
۴	میرزا رحیملو	۶/۹	۵۸۲	۸۳۲	۰/۳	۲/۵	۰	۴/۶	۰/۰۳	۵/۷	۰/۹	۱/۶	۶۹	۵	۱۲۵
۵	قره تپه	۷/۳	۲۷۵	۳۹۴	۰/۱	۰/۹	۰	۳/۱	۰	۱/۹	۰/۷	۱/۳	۴۹	۱/۹	۱۰۰

ردیف	نام محل	PH	TDS	EC	SO ₄ ⁻	CL ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁻	Na ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺	Na	SAR	سختی کل
۶	دوبیل	۷/۴	۱۶۱	۳۳۰	۰	۰/۷	۰	۱/۷	-۰/۴	۱/۲	-۱/۲	-۰/۸	۵۴	۱/۷	۵۰
۷	جابرلو	۷/۵	۲۵۵	۳۶۵	-۰/۴	-۰/۵	۰	۲/۹	۰	۱/۳	۱/۲	۱	۳۷	۱/۲۴	۱۱۰
۸	رضی آباد	۷/۲	۱۰۷۱	۱۵۳۰	۹/۳	۲/۲	۰	۲/۹	-۰/۸	۹/۶	۲	۳/۵	۶۳	۵/۷	۲۷۵
۹	آرخارلو	۷/۵	۲۷۳	۳۹۰	۰/۲	۱/۳	۰	۲/۵	۰	۱/۶	۱/۱	۱/۱	۴۲	۱/۵	۱۱۰
۱۰	چشمه بزرگ کلخوران	۷/۴	۳۰۱	۴۳۱	۰/۲	۰/۵	۰	۳/۷	۰	۱/۸	-۰/۸	۱/۶	۳۳	۱/۶	۱۲۰
۱۱	خانقشلاقی	۷/۳	۲۳۵۳	۴۷۹۰	۲۲/۹	۱۹	۰	۵/۴	-۰/۲۵	۲۸/۷	۷	۱۱	۶۱	۹/۵	۹۰۰
۱۲	کلخوران فولادلو	۶/۹	۳۳۲	۴۷۵	۰/۴	۰/۴	۰	۴	-۰/۳	۲/۳	-۰/۳	۲	۵۰	۲/۱۴	۱۱۵
۱۳	تیراقلو	۷/۶	۲۵۸	۳۶۹	-۰/۱	-۰/۷	۰	۳	۰	۱/۶	-۰/۹	۱	۴۹	۱/۶	۹۵
۱۴	انتخابی آرخارلو	۶/۹	۴۴۵	۶۳۶	۰/۴	۳/۳	۰	۲/۸	-۰/۱۲	۴/۲	-۰/۶	۱/۴	۶۶	۴/۲	۱۰۰
۱۵	چشمه کوچک کلخوران	۷/۵	۳۶۱	۵۱۶	۰/۷	۰/۶	۰	۴	-۰/۸	-۰/۹	۲/۱	۲	۱۸	-۰/۶	۲۰۵
۱۶	گورادل	۷/۳	۲۴۷۸	۳۵۴۰	۱۶/۴	۱۳	۰	۶/۳	-۰/۳۸	۲۴/۱	۱/۵	-۰/۵	۶۶	۹/۸	۶۰۰
۱۷	آرالو بزرگ	۶/۷	۱۰۲۲	۱۴۶۰	۳/۷	۱/۵	۰	۹/۶	-۰/۱۲	۱۰/۱	-۰/۲	۴/۲	۶۹	۶/۸	۲۲۰
۱۸	مرنی	۷/۸	۳۳۶	۴۸۱	۰/۸	۰/۵	۰	۲/۶	۰	۵/۶	۱	۱/۱	۵۵	۲/۵	۱۰۵
۱۹	اسدراب	۷/۵	۴۴۰	۶۳۵	۱/۱	-۰/۸	۰	۴/۵	-۰/۴	۲/۴	۱/۸	۲	۳۸	۱/۷	۱۹۰
۲۰	شمس آباد	۷/۴	۳۴۶	۴۹۵	۰/۷	-۰/۴	۰	۴	۰	۲/۱	-۰/۷	۲	۴۴	۱/۸	۱۳۵
۲۱	نوشهر	۷/۲	۵۸۱	۸۳۱	۱/۴	۱/۸	۰	۵/۳	-۰/۸	۶	-۰/۹	۱/۳	۷۲	۵/۷	۱۱۰
۲۲	آقایاقر	۷/۲	۳۷۹	۵۴۲	۳/۶	۱/۴	۰	-۰/۶	-۰/۳	۳/۲	-۰/۸	۱/۳	۶۰	۳/۱	۱۰۵
۲۳	اردی موسی	۷	۹۱۷	۱۳۱۰	۳/۵	۱/۹	۰	۷/۸	-۰/۱۲	۶	۳	۴	۴۶	۳/۲	۳۵۰
۲۴	شهریور	۷/۷	۳۳۸	۴۸۴	۰/۱	-۰/۹	۰	۲/۹	۰	۱/۳	۱/۲	۲/۳	۲۷	-۰/۹	۱۷۵
۲۵	صومعه	۷/۳	۷۲۱	۱۰۳۰	۳/۳	۲/۶	۰	۴/۸	-۰/۸	۳/۳	-۰/۹	۲/۴	۴۹	۲/۵	۳۱۵
۲۶	نوران	۶/۹	۴۷۲	۶۷۵	-۰/۹۳	۱	۰	۴/۸	-۰/۸	۳/۳	-۰/۹	۲/۴	۴۹	۲/۵	۱۶۵
۲۷	انتخابی آقایاقر	۷/۳	۸۲۷	۱۲۱۰	۱/۵	۶/۷	۰	۴	-۰/۱۲	۷/۴	۱/۲	۳/۴	۶۱	۴/۸	۲۳۰
۲۸	طالب قشلاقی	۷	۱۸۱۳	۲۵۹۰	۱۰/۵	۹	۰	۶/۶	-۰/۱	۱۴/۶	۴/۵	۶/۷	۵۷	۶/۱۷	۵۶۰
۲۹	نوجه ده	۷/۶	۶۲۵	۸۹۳	۱/۴	۱/۷	۰	۵/۷	-۰/۸	۴/۸	۱	۳	۵۴	۳/۳	۲۰۰
۳۰	گرگان	۷/۲	۵۳۹	۷۷۰	۲/۴	۱	۰	۴/۳	-۰/۳	۳/۸	۱/۳	۲/۵	۵۰	۲/۷	۱۹۰
۳۱	یگجه ملا محمد	۷/۲	۱۳۷۹	۱۹۷۰	۵/۷	۷/۸	۰	۶/۳	-۰/۲۵	۱۲/۴	۲/۲	۵	۶۲	۶/۵	۳۶۰
۳۲	ساخصلو	۷/۲	۱۲۰۴	۱۷۲۰	۵/۹	۶	۰	۵/۴	-۰/۱۷	۸/۶	۳/۷	۴/۵	۵۱	۴/۲	۴۱۰
۳۳	گیانده	۷/۴	۱۰۴۳	۱۴۹۰	۳/۷	۵/۸	۰	۵/۵	-۰/۱۷	۹/۸	۱/۶	۳/۶	۶۵	۶	۲۶۰
۳۴	کرکرق	۷/۱	۱۱۱۳	۱۵۹۰	۶/۹	۴/۵	۰	۴/۶	-۰/۱۲	۱۰/۷	۲	۳/۱	۶۷	۶/۷	۲۵۵
۳۵	انتخابی تیراقلو	۷/۸	۳۷۳	۵۳۳	۰/۵	-۰/۹	۰	۴	-۰/۱۲	۳/۷	-۰/۴	۱/۱	۷۰	۴/۲	۷۵
۳۶	سامیان	۷/۱	۷۷۰	۱۱۰۰	۱/۸	۲/۳	۰	۷	-۰/۸	۵	۲	۳/۸	۴۶	۲/۹	۲۹۰
۳۷	گرم چشمه	۷/۶	۳۳۰	۳۲۹	۱	۱/۱	۰	۱/۳	۰	-۰/۹	۱/۵	-۰/۷	۲۹	-۰/۸	۱۱۰
۳۸	انزاب بالا	۶/۹	۹۲۴	۱۳۲۰	۴/۳	۳/۸	۰	۵/۲	-۰/۸	۶/۷	۲/۶	۳/۸	۵۱	۳/۷	۳۲۰
۳۹	آتیچه کندی	۷/۲	۹۴۵	۱۳۵۰	۵/۸	۲/۵	۰	۵/۳	-۰/۸	۷/۴	۱/۳	۴/۷	۵۵	۴/۲	۳۰۰
۴۰	سریند	۷/۴	۱۲۳۹	۱۷۷۰	۶/۶	۶/۱	۰	۵/۱	-۰/۱۲	۹/۶	۵/۲	۲/۸	۵۴	۴/۸	۴۰۰
۴۱	چگر کندی	۷/۸	۵۳۴	۷۶۳	۰/۲	۱/۹	۰	۵/۵	-۰/۴	۴/۳	-۰/۲	۳	۵۷	۳/۴	۱۶۰
۴۲	دورجین	۷/۵	۲۷۷	۳۹۷	-۰/۳	-۰/۹	۰	۲/۹	۰	۱/۹	-۰/۴	۱/۵	۵۰	۱/۹	۹۵
۴۳	آبی بیگللو	۷/۳	۲۷۷	۳۹۶	۰/۹	-۰/۹	۰	۲/۴	۰	۱/۱	۱/۱	۱/۶	۲۹	-۰/۹	۱۳۵
۴۴	کنارق	۷/۴	۱۷۸۵	۲۵۵۰	۱۹/۵	۱/۵	۰	۴/۶	-۰/۸	۲۲/۷	۱/۲	۱/۵	۸۷	۱۹/۵	۱۳۵
۴۵	قره چناق	۷/۷	۲۶۴	۳۷۸	-۰/۳۱	۱	۰	۲/۳	۰	۱/۶	-۰/۷	۱/۳	۴۴	۱/۶	۱۰۰
۴۶	سعید آباد	۷/۵	۴۸۱	۶۸۸	۲/۸	۲/۵	۰	۱/۷	-۰/۸	۳/۶	-۰/۷	۲/۴	۵۳	۲/۸	۱۵۵
۴۷	محمود آباد	۷/۴	۳۴۲	۴۸۹	۰/۴	۱/۵	۰	۳/۱	-۰/۳	۲/۹	۵	۱/۳	۶۱	۳	۹۰
۴۸	بی ریس	۷/۶	۳۴۰	۴۸۶	۰/۹	۱	۰	۲/۱	-۰/۳	۲/۷	-۰/۳	۱/۷	۵۷	۲/۷	۱۰۰
۴۹	خان کندی	۷/۴	۵۷۱	۸۱۷	۰/۴	۳/۲	۰	۴/۸	-۰/۸	۳/۹	۲/۹	۱/۵	۴۷	۲/۶	۲۲۰
۵۰	ملاباشی	۷/۴	۸۷۵	۱۲۵۰	۶/۴	۱/۴	۰	۵	-۰/۱۲	۹/۴	۱	۲	۷۵	۷/۴	۱۵۰
۵۱	خانکندی	۷/۴	۶۵۱	۹۳۰	۱/۴	۲	۰	۶	-۰/۱۲	۴/۸	۱/۳	۳/۲	۵۱	۳/۲	۲۲۵
۵۲	جبهدر	۷/۳	۷۴۲	۱۰۶۰	۲/۴	۲	۰	۶/۳	-۰/۸	۶/۵	۱/۶	۳/۳	۵۷	۴/۱	۲۴۵
۵۳	کزه تیراقی	۷/۴	۱۷۲۲	۲۴۶۰	۱۰/۷	۷/۴	۰	۶/۶	-۰/۲۵	۱۴/۵	۳/۶	۵/۶	۶۱	۶/۷	۴۶۰
۵۴	کمی آباد	۷/۲	۳۳۳۲	۴۷۶۰	۱۹/۳	۲۴	۰	۴/۵	-۰/۱۷	۲۶/۴	۱۵/۸	۵/۲	۵۵	۸/۱	۱۰۵۰
۵۵	شیخ کلخوران	۷/۲	۸۱۹	۱۱۷۰	۱/۶	۳/۱	۰	۷/۱	-۰/۱۲	۶/۱	۱/۸	۳/۷	۵۲	۲/۶	۲۷۵
۵۶	خلیل آباد	۷/۷	۳۲۸	۴۶۹	۱/۵	۰/۷	۰	۲/۶	۰	۲/۳	۱	۱/۱۲	۵۱	۲/۲	۱۱۰
۵۷	انزاب پایین	۷/۲	۱۴۸۴	۲۱۲۰	۷/۳	۷/۷	۰	۶/۳	-۰/۲۵	۱۳/۳	۲/۸	۵	۴۲	۶/۷	۳۹۰
۵۸	ابوریق	۷/۵	۳۴۱	۴۸۸	۰/۴	-۰/۸	۰	۳/۸	-۰/۸	۲/۵	-۰/۵	۱/۷	۵۲	۲/۳	۱۱۰
۵۹	کرگان	۷/۸	۳۵۰	۵۰۱	-۰/۴	-۰/۵	۰	۴/۴	۰	۳/۱	-۰/۶	۱/۲	۶۳	۳/۲	۹۰

ردیف	نام محل	PH	TDS	EC	SO ₄ ⁻	CL ⁻	CO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁻	Na ⁺	Mg ⁻	Ca ⁻	Na	SAR	سختی کل
۶۰	گلی	۷/۷	۴۸۹	۶۹۹	۱/۳	۲/۳	۰	۳/۶	۰	۴/۹	-/۳	۱/۶	۲۳	۵/۰۲	۹۵
۶۱	آغیلاغ رستمخان	۶/۷	۵۰۴	۷۲۱	۱/۱	۱/۹	۰	۴/۳	۰/۸	۵	۱	۱/۱	۷۰	۴/۸	۱۰۵
۶۲	تبراقلو	۷/۵	۳۱۷	۴۵۴	۰/۶	۰/۶	۰	۳/۴	۰/۳	۱/۹	-/۴	۲/۱	۴۳	۱/۶	۱۲۵
۶۳	شیخ خیمهلو	۷/۴	۲۸۱	۴۰۲	۰/۱	۰/۹	۰	۳/۲	۰	۲	-/۶	۱/۳	۵۱	۲	۹۵
۶۴	تازه کند شریف آباد	۷/۴	۷۰۰	۱۰۰۰	۴/۴	۱/۵	۰	۴/۳	-/۱۲	۳/۷	۲/۴	۳/۸	۳۷	۲/۱	۳۱۰
۶۵	علی بلاغی	۷/۶	۱۶۳۱	۲۳۳۰	۵/۲	۷/۲	۰	۶	-/۱۸	۱۱/۷	۴/۷	۶/۸	۵۰	۴/۸	۵۷۵
۶۶	دولت آباد	۷/۳	۱۱۶۲	۱۹۶۰	۵/۳	۶/۶	۰	۴/۸	-/۱۸	۹/۲	۲/۸	۴/۵	۵۵	۴/۸	۳۶۵
۶۷	تپه کندی	۷/۳	۸۸۹	۱۲۷۰	۶	۲/۸	۰	۴	-/۸	۶/۶	۲/۵	۳/۲	۵۳	۳/۹	۲۸۵
۶۸	بزن آباد	۷/۴	۱۲۹۵	۱۸۵۰	۶/۲	۶	۰	۶/۴	-/۱۲	۹/۶	۱/۳	۷/۵	۵۲	۴/۵	۴۴۰
۶۹	حسن باری	۹/۶	۵۷۴	۸۲۰	۲/۱	۰/۷	۰	۵/۳	۰	۱۰/۷	۱/۳	۳	۴۶	۲/۵	۲۱۵
۷۰	بزن آباد	۷/۶	۱۴۶۳	۲۰۹۰	۶/۸	۸/۱	۰	۱	-/۲۵	۱۴/۳	۳/۳	۳/۲	۶۷	۷/۹	۳۲۵
۷۱	آقی زمان کندی	۷/۲	۱۴۰۰	۲۰۰۰	۱۰/۴	۵/۲	۰	۴/۶	۰	۱۳/۴	۲/۷	۳/۷	۶۸	۷/۴	۳۲۰
۷۲	آقی بلاغ مصطفی خان	۷/۵	۲۸۳	۴۰۵	۰/۳	۰/۵	۰	۴/۳	-/۰۳	۱/۷	-/۸	۱/۴	۴۳	۱/۶	۱۱۰
۷۳	پیراقوم	۸	۴۲۹	۸۱۴	۱/۲	۱/۱	۰	۳/۹	-/۰۳	۳/۵	-/۶	۱/۹	۵۷	۳/۱	۱۲۵
۷۴	آغ بلاغ آقاجان	۷/۲	۹۸۰	۱۴۰۰	۴/۵	۵/۱	۰	۴/۶	-/۱۲	۹/۶	۱/۹	۲/۳	۶۹	۶/۱	۲۱۰
۷۵	سلطان آباد	۷/۵	۱۱۲۷	۱۶۱۰	۴/۵	۵/۳	۰	۶/۴	-/۲۵	۹/۵	۲/۳	۴/۲	۵۸	۵/۲	۳۲۵
۷۶	تازه کند رضا آباد	۷/۳	۱۲۳۹	۱۷۷۰	۸/۶	۶	۰	۵	-/۱۲	۱۰/۴	۲/۶	۴/۶	۵۹	۵/۴	۳۶۰
۷۷	آبی بیگلو	۷/۳	۲۷۰	۳۹۰	۰/۹	۰/۹	۰	۲/۴	۰	۱/۱	۱/۱	۱/۶	۳۹	۰/۹	۱۳۵
۷۸	آقا باقر قصاب تپه	۷/۲	۳۷۹	۵۴۲	۳/۴	۱/۴	۰	-/۶	-/۰۸	۳/۲	-/۸	۱/۳	۵۹	۳/۱	۱۰۵
۷۹	دولت سر	۷/۵	۴۶۴	۶۶۳	۲/۳	۰/۷	۰	۳/۵	-/۰۸	۲/۳	۱/۷	۲/۵	۳۵	۱/۵	۲۱۰
۸۰	سولا	۷/۲	۸۲۶	۱۱۸۰	۴	۲/۱	۰	۵/۸	-/۱۸	۶/۵	۱/۸	۳/۴	۵۵	۴/۰۳	۲۶۰
۸۱	یونجالو	-	-	-	-	-	۰	-	-	-	-	-	-	۴/۵	۱۱۰

روش وزنی معکوس فاصله (IDW)

(بازگیر و همکاران، ۲۰۱۲)، در روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه گیری وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزن دهی کنترل می شود، به طوری که توان های بزرگ تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان های کوچک تر وزن ها را به طور یکنواخت تری بین نقاط هم جوار توزیع می کنند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i - \alpha}{\sum_{i=1}^n D_i - \alpha} \quad (1)$$

که در آن λ_i = وزن ایستگاه i ام، D_i = فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول، α = توان وزن دهی می باشند.

روش و معیار ارزیابی

برای انتخاب بهترین روش میان یابی نیترات آب زیرزمینی، از روش اعتبارسنجی متقابل (ایساکس و اسریواستوا، ۱۹۸۹) استفاده شد. معیار ارزیابی شامل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z^*(u_i) - Z(u_i))^2}{N}} \quad (2)$$

که در آن: $Z^*(u_i)$ و $Z(u_i)$ به ترتیب مقادیر تخمین زده شده و واقعی متغیر Z در نقطه u_i و N تعداد کل مشاهدات می باشد. بهترین راه کار، روشی است که دارای کم ترین مقدار RMSE باشد.

نتایج و بحث

داده های اندازه گیری شده ی غلظت نیترات در روستاهای مختلف وارد نرم افزار SPSS گردیدند و از لحاظ نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفتند. سپس وارد نرم افزار ArcGis شدند و بعد از بررسی مجدد نرمال بودن با استفاده از روش های زمین آمار کریجینگ، وزن دهی عکس فاصله، تابع شعاع محور، تخمین گرام و تخمین گر موضعی نقشه های نیترات برای منطقه برای فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان تهیه گردید. روش وزن دهی عکس فاصله با داشتن حداقل خطا به عنوان روش مناسب برای منطقه انتخاب گردید و با استفاده از این مدل اقدام به تهیه نقشه هم مقدار نیترات برای منطقه انجام گرفت. جدول ۴ مقدار RMSE مدل های مختلف درون یابی را در فصل های مختلف نشان می دهد. معیار RMSE یا جذر میانگین مربعات خطا، یکی از شاخص های مهم جهت ارزیابی و انتخاب مدل بهینه در روش های زمین آماری محسوب می شود. مقدار RMSE

RMSE در فرآیند درون‌یابی شده است هم‌چنین در فصل بهار اوج کودهی کشاورزی در منطقه اتفاق می‌افتد لذا غلظت املاح در این فصل بسیار بالا بوده و RMSE اعداد در مدل‌های درون‌یابی بالا بدست آمده است اما در فصل تابستان که برداشت گندم وجو صورت می‌گیرد و کود دهی متوقف می‌گردد مقادیر غلظت و RMSE آن‌ها کاهش می‌یابد. در فصول پاییز و زمستان فعالیت‌های کشاورزی تقریباً متوقف شده و غلظت و RMSE آن‌ها دچار کاهش می‌گردد.

نشان‌دهنده میزان اختلاف بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده در نقاط اندازه‌گیری‌شده است. مقادیر پایین‌تر RMSE بیانگر دقت بالاتر مدل در پیش‌بینی مقدار متغیر مورد نظر (در این پژوهش، نیترات) است. در این تحقیق به دلیل تنوع مکانی زیاد، فعالیت شدید کشاورزی و ثبت داده‌های فصلی در بازه‌های مختلف زمانی، دامنه تغییرات غلظت نیترات بسیار گسترده بوده و از مقادیر کم‌تر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر تا مقادیر بالای ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده است. چنین گستره‌ای از تغییرات موجب افزایش طبیعی مقدار

جدول ۲- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی (میلی‌گرم بر لیتر) (استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳)

ردیف	نوع ترکیب	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
۱	کل مواد جامد محلول (TDS) ^a	۱۰۰۰	۱۵۰۰
۲	سختی کل بر حسب CaCO ₃	۲۰۰	۵۰۰*
۳	کلرور بر حسب Cl	۲۵۰	۴۰۰*
۴	سولفات بر حسب SO ₄	۲۵۰	۴۰۰*
۵	هیدروژن سولفور H ₂ S	۰/۰۵	-
۶	آهن بر حسب Fe	۰/۳	-
۷	منگنز بر حسب Mn	۰/۱	۰/۴
۸	آلومینیوم بر حسب Al	۰/۱	۰/۱ - ۰/۳*
۹	روی بر حسب Zn	۳	-
۱۰	مس بر حسب Cu	۱	۲
۱۱	نیترات بر حسب NO ₃	-	۵۰ ^b
۱۲	نیتريت بر حسب NO ₂	-	۳ ^b
۱۳	کلسیم بر حسب Ca	۳۰۰	-
۱۴	منیزیم بر حسب Mg	۳۰*	-
۱۵	آمونیاک بر حسب NH ₃	۱/۵	-
۱۶	سدیم بر حسب Na	۲۰۰	۲۰۰ ^c

یادآوری ۱- نظر به این‌که بین یون منیزیم و سولفات از نظر تغییر طعم و امکان اختلال در جهاز هاضمه ارتباطی وجود دارد، از این رو در شرایطی که مقدار منیزیم از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر باشد، مقدار سولفات نباید بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد.

یادآوری ۲- حداکثر مجاز کل مواد جامد محلول، کلرور، سولفات، آلومینیوم و سدیم، به علت اهداف غیر بهداشتی بوده و در راستای منافع ملی ارائه شده است.

یادآوری ۳- مقدار حداکثر مجاز آلومینیوم برای تصفیه خانه‌های بزرگ ۰/۱ و برای تصفیه خانه‌های کوچک ۰/۲ می‌باشد.

یادآوری ۴- حداکثر مجاز سختی از نقطه نظر اقتصادی ارائه شده است.

a- Total Dissolved Solids

b- در مورد نیترات و نیتريت- مجموع نسبت غلظت هر کدام به مقادیر توصیه شده نباید از یک بیش‌تر باشد.

$$\frac{\text{غلظت نیتريت اندازه گیری شده}}{\text{غلظت نیتريت استاندارد}} + \frac{\text{غلظت نیترات اندازه گیری شده}}{\text{غلظت نیترات استاندارد}} \leq 1$$

c- در شرایط نبودن منبع آب با کیفیت برتر در منطقه تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مجاز است.

کاهش و دوباره در جنوب منطقه به حداکثر میزان خود می‌رسد. روند شمالی به جنوبی مقدار نیترات در فصل زمستان به همان منوال بوده ولی در جهت غربی به شرقی هر قدر به مرکز منطقه مورد مطالعه نزدیک‌تر می‌شود میزان نیترات افزایش می‌یابد. هم‌چنین شکل ۴ و ۵ تغییرات مکانی نیترات در منطقه را نشان می‌دهد.

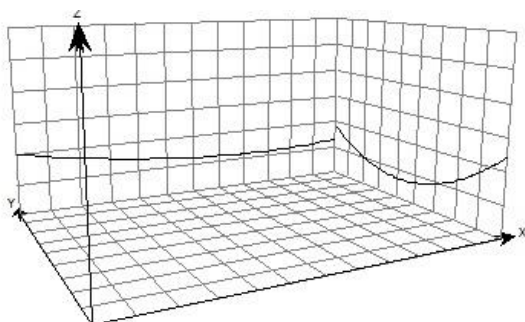
در گراف‌های نشان داده شده، نمودار X جهت غربی- شرقی و نمودار Y، جهت جنوبی- شمالی و نمودار Z، میزان نیترات را نمایش می‌دهند. در بررسی گراف بهار، میزان نیترات از سمت غرب به شرق در منطقه به طور کلی کاهش یافته و در قسمت‌های شمالی منطقه بیش‌تر و هر قدر به سمت وسط منطقه نزدیک‌تر شویم این میزان

جدول ۳- مقدار متوسط غلظت نیترات روستاها در فصل‌های مختلف

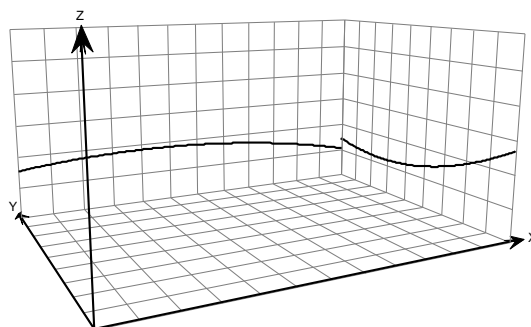
ردیف	نام روستا	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	ردیف	نام روستا	بهار	تابستان	پائیز	زمستان
۱	جابلو	۱۱/۳	۲۰/۸۹	۲۳/۲۵	۱۵/۷۵	۲۷	بایرام برنی	۲۸	۳۶/۱۲	۴۷/۶۲	۴۹/۶۸
۲	جمایران	۵۴/۶۶	۵۷/۹۴	۴۳/۶۱	۶۹/۸۴	۲۸	نوشهر	۱۱/۳۳	۲۰/۳۷	۴۲/۷۶	۴۰/۱۱
۳	پته خور	۱۱۰/۱۵	۷۱/۱۱	۵۱/۴۰	۱۱۶/۹۵	۲۹	کهریز	۷۴/۳۶	۹۶/۴۸	۸۱/۳۰	۵۶/۶۱
۴	سربند	۳۷۱/۳۳	۹۳/۷۷	۶۳/۱۷	۱۰۰/۲۳	۳۰	قزل قیه	۳۳۷/۲۹	۱۰۵/۵۹	۴۳/۸۳	۱۰۸/۱۲
۵	گیلانده	۵۲/۹۱	۶۷/۱۶	۶۳/۹۴	۴۲/۶۹	۳۱	شیلو	۴۹/۵۹	۵۳/۱۵	۴۴/۲۸	۳۸/۷۹
۶	یزن آباد	۵۳/۷۵	۴۹/۸۹	۴۵/۰۸	۷۴/۳۱	۳۲	یونچالو	۱/۳۳	۸/۴۸	۴۹/۹۳	۳۹/۰۶
۷	دولت آباد	۱۷/۳۱	۲۶/۸۲	۲۹/۹۱	۲۴/۷۷	۳۳	آراللوی بزرگ	۷۴/۱	۵۶/۵۹	۶۰/۱۴	۶۶/۲۵
۸	انزاب بالا	۹/۳۳	۱۵/۱۴	۲۴/۸۵	۳۸/۶۸	۳۴	توریاخلو	۲۱/۰۸	۳۰/۰۷	۴۲/۲۲	۲۱/۰۷
۹	لله لو	۹۷/۶۱	۵۵/۷۳	۳۸/۴۵	۷۵/۸۷	۳۵	خانقاه	۴۳/۹۵	۴۵/۱۸	۴۳/۴۹	۳۷
۱۰	قشلاق چای	۳۳۹/۴۸	۱۱۴/۹۸	۱۱۲/۳۵	۱۱۱/۲۶	۳۶	حور	۱۴۷/۲۷	۶۸/۱۶	۵۶/۷۸	۵۳/۱۲
۱۱	قره لر	۱۲/۴۷	۵۷/۶	۳۶/۳۳	۱۵/۳۷	۳۷	ورنیاب	۳۶۷/۹۹	۱۵۹/۷۹	۱۳۴/۲۸	۹۸/۷۲
۱۲	شیخ کلخوران	۱۱/۳۳	۵۱/۳۷	۶۹/۷۱	۱۹/۱۸	۳۸	جوراب	۴۰/۱۵	۲۵/۵۹	۴۲/۰۸	۳۲/۶۱
۱۳	خان کندی	۴/۶۱	۲۵/۶۳	۳۹/۸۵	۱۰/۴۳	۳۹	آقی قلعه	۱۸۹/۱۶	۹۳/۵۹	۵۲/۴۳	۱۴۴/۳۱
۱۴	جید	۲۶۱/۳۳	۱۱۱/۳۴	۸۱/۴۴	۹۱/۱۵	۴۰	آلما گلین	۲۳۴/۱۹	۱۷۵/۷۱	۳۴/۴۱	۲۰۸/۰۸
۱۵	سقرچی	۲۱۸/۷۲	۸۶/۳۰	۶۶/۳۸	۹۸/۴۱	۴۱	قلعه چی	۱۸۰/۵۴	۶۴/۰۷	۲۸/۳۱	۱۸۳/۸۰
۱۶	عموقین	۴۴/۳۰	۴۳/۷۶	۳۵/۳۲	۵۹/۵۲	۴۲	بنقشه درق	۳۸/۵	۴۶/۸	۴۰/۳۷	۴۵/۶۸
۱۷	ایمچه	۲۰/۲۱	۳۶/۷۶	۵۸/۸۹	۲۲/۲۶	۴۳	بوسجین	۲۱۹/۹۴	۵۶/۶۷	۳۵/۹	۶۷/۰۱
۱۸	صومعه	۴۸	۴۷/۲۷	۴۱/۳۱	۶۲/۳۰	۴۴	کوزه تیراچی	۲۳۳/۸۹	۱۳۳/۴۶	۲۷/۹۴	۱۱۳/۰۸
۱۹	کمال آباد	۵۲/۷۸	۴۰/۳۸	۳۶/۵۸	۴۲/۱۵	۴۵	امین آباد	۸۱/۳۳	۹۱/۷۷	۷۷/۵۱	۸۳/۹۶
۲۰	لورون	۱/۳۳	۸/۷۱	۳۹/۵۸	۱۲/۸۷	۴۶	مهماندوست	۱۲۰/۳۵	۶۱/۵۴	۵۰/۷۲	۹۱/۰۶
۲۱	تقی دیزج	۲۰/۰۹	۴۶/۳۶	۴۵/۱۸	۱۲/۰۳	۴۷	آقی درق	۱۶۱/۳	۱۱۹/۳۸	۱۵۵/۸۵	۶۱/۳۴
۲۲	دیولق	۳۶/۵۷	۲۴/۳۳	۲۱/۱۹	۴۱/۳۱	۴۸	پیر الوان	۴۵۴/۶۳	۴۸۱/۳۷	۸۷/۲۱	۸۵
۲۳	سردابه	۱۱۴/۴۹	۶۲/۳۸	۵۵/۷۱	۹۳/۱۴	۴۹	دمدمه	۳۹/۹۹	۳۴/۲۸	۳۹/۵۹	۷۶/۶۵
۲۴	لای	۹۷/۸۲	۷۰/۶۴	۳۹/۹۵	۶۴/۰۱	۵۰	کنه چول	۴۳/۴۷	۴۸/۷۴	۱۰۸/۶۸	۹۵/۸۲
۲۵	قوناق قیران	۳/۲۴	۵۱/۶۴	۴۳/۱۲	۳۵/۵۴	۵۱	کوهساره	۲۶/۶۳	۳۸/۷۶	۵۲/۲۱	۱۲۳/۵۶
۲۶	تازه کند محمدیه	۸/۲۲	۱۵/۳۵	۴۸/۰۹	۱۴/۳۸						

جدول ۴- خطای مدل‌های درون‌یابی (RMSE) (میلی‌گرم بر لیتر)

مدل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
Kiriging کریجینگ	۱۰۸/۷	۷۹/۶	۲۹/۳	۴۶/۲
IDW وزن دهی عکس فاصله	۱۰۷	۷۵/۲	۲۹/۳	۴۲/۹
RBF تابع شعاع محور	۱۱۲/۴	۸۲	۳۰/۱۸	۴۳/۲
LPI تخمینگر موضعی	۱۱۸/۹	۸۴/۹	۲۹/۸	۴۶/۱
GPI تخمینگرعام	۱۱۱/۵	۷۸/۱	۳۰/۶	۴۶/۷



شکل ۵- تغییرات مکانی نیترات در منطقه (فصل بهار)

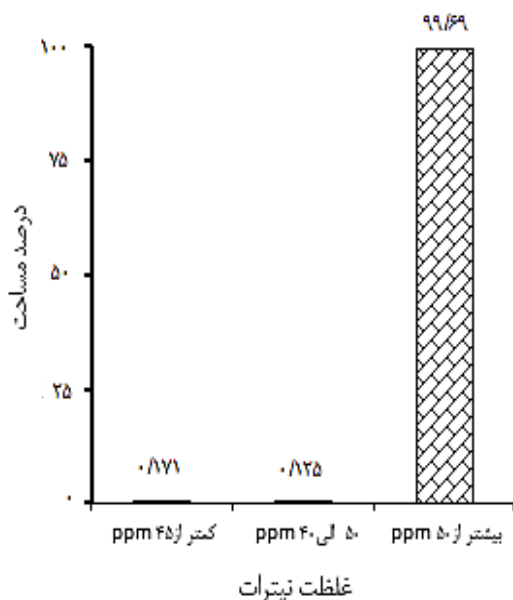


شکل ۴- تغییرات مکانی نیترات در منطقه (فصل زمستان)

۳۷۱، بیش‌ترین میزان نیترات را دارا بوده‌اند. بررسی آماری نشان داد که حدود ۲۵ روستا از مجموع ۵۱ روستای مورد مطالعه (حدود ۴۹

بررسی توزیع مکانی غلظت نیترات در فصل بهار نشان می‌دهد که روستاهای پیرالوان و سربند به‌ترتیب با غلظت ۴۵۴ppm و ۴۹

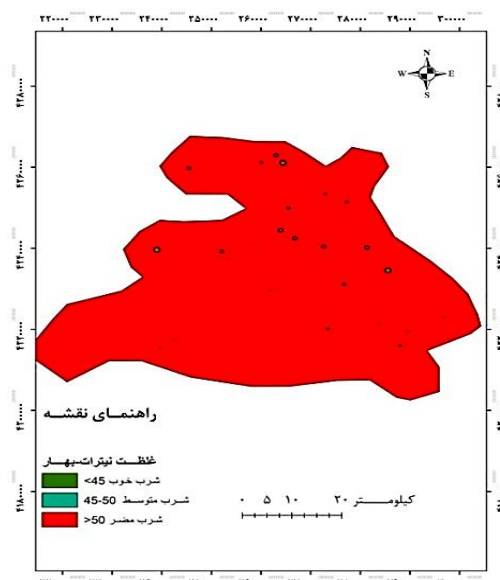
یونج‌الو با $8/14 \text{ ppm}$ و $8/48 \text{ ppm}$ به ترتیب کم‌ترین غلظت را به خود اختصاص دادند. در این فصل نیز همانند فصل بهار، حدود ۲۷ روستا (تقریباً ۵۳ درصد روستاهای مطالعه‌شده) دارای غلظت نیترات بیش از 50 ppm بودند که مساحتی بالغ بر 3443 کیلومتر مربع از منطقه (معادل ۹۸ درصد) را در بر می‌گیرد. همچنین ۶ روستا غلظتی در محدوده 45 ppm تا 50 ppm داشته و سطح پوشش مکانی آن‌ها حدود $8/28$ کیلومتر مربع بوده است. این تحلیل‌ها نشان می‌دهد که آلودگی نیترات به‌ویژه در فصول کشاورزی به‌طور گسترده در منابع آب زیرزمینی منطقه گسترش یافته و اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی فوری را ایجاب می‌کند. نقشه‌های تهیه شده توسط مدل وزن دهی عکس فاصله همراه با نمودارهای آن برای فصل‌های بهار و زمستان در شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ نشان داده شده است.



شکل ۷- مقدار طبقات نیترات در فصل بهار

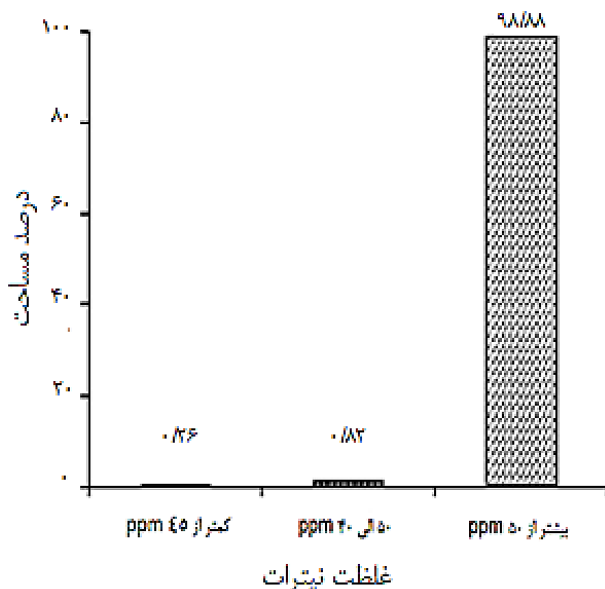
برخی نقاط میزان آن به حدود 50 ppm می‌رسد. بیش‌ترین غلظت در فصل زمستان در روستاهای آلم‌گین و قلعه‌چی با مقادیر 208 ppm و 183 ppm اندازه‌گیری شده و کم‌ترین آن در روستای خان‌کندی با حدود 10 ppm ثبت شده است. از لحاظ کیفیت آب زیرزمینی، در فصل زمستان بهبودی نسبی نسبت به سایر فصول قابل مشاهده است، به گونه‌ای که مساحتی بالغ بر ۳۸ درصد از منطقه دارای غلظت نیترات کمتر از 45 ppm بوده و حدود ۷/۵ درصد از منطقه غلظتی بین 45 ppm تا 50 ppm را دارا است. در مجموع، مقایسه داده‌های این فصل با سایر فصول بیانگر کاهش قابل توجه شدت آلودگی نیترات است که می‌تواند به دلیل کاهش چشم‌گیر استفاده از کودهای نیتروژنی و آبیاری باشد. نقشه‌های هم‌غلظت و نمودارهای مربوطه برای فصل‌های پاییز و زمستان در شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ ارائه شده‌اند.

درصد از روستاها)، دارای غلظت نیترات بالاتر از 50 ppm هستند که این میزان فراتر از حد استاندارد تعیین شده برای آب آشامیدنی است. همچنین در ۶ روستا، غلظت نیترات بین 45 ppm تا 50 ppm اندازه‌گیری شد که نزدیک به حد استاندارد بوده و در صورت ادامه روند موجود، امکان افزایش این میزان به مقادیر خطرناک‌تر وجود دارد. کم‌ترین میزان نیترات مربوط به روستاهای لورون و یونج‌الو با غلظت $1/33 \text{ ppm}$ بوده است. از لحاظ سطح پوشش مکانی، مناطق دارای غلظت نیترات بالای 50 ppm ، مساحتی حدود 3471 کیلومتر مربع (معادل ۹۹ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه) را شامل می‌شوند که نشان‌دهنده وضعیت نگران‌کننده آلودگی منابع آب زیرزمینی در فصل بهار است. در فصل تابستان نیز روستای پیرالوان با غلظت 481 ppm بیش‌ترین غلظت نیترات را داشته و روستاهای لورون و

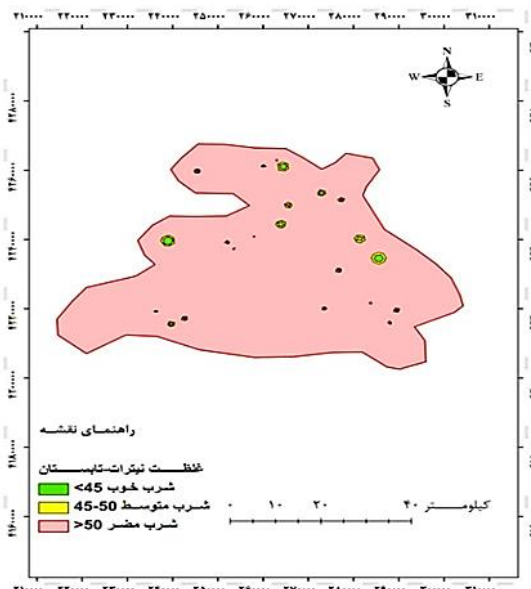


شکل ۶- نقشه طبقه‌بندی شده غلظت نیترات در بهار

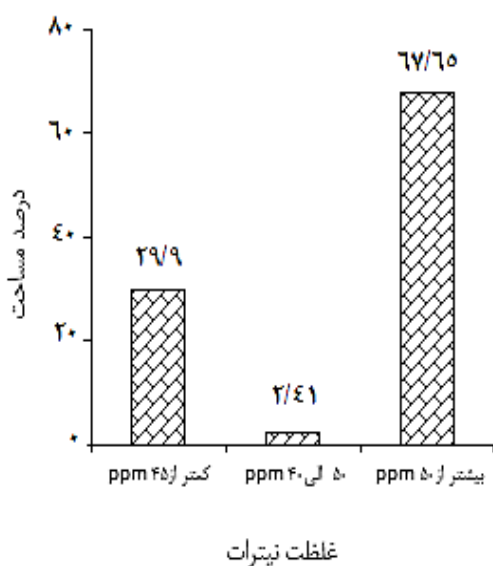
با نزدیک شدن به فصول پاییز و زمستان، به دلیل کاهش فعالیت‌های کشاورزی و مصرف کم‌تر کودهای شیمیایی، میزان غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی منطقه کاهش پیدا می‌کند. در فصل پاییز، بیش‌ترین میزان غلظت نیترات مربوط به روستاهای آق‌دره و ورنیاب به‌ترتیب با 155 ppm و 134 ppm بوده و کم‌ترین غلظت نیترات (حدود 21 ppm) در روستای دیولق اندازه‌گیری شده است. در این فصل، مساحت مناطقی که غلظت نیترات کمتر از 45 ppm دارند حدود 1041 کیلومتر مربع است که معادل ۳۰ درصد مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. کاهش غلظت نیترات در این فصل، نشان‌دهنده‌ی اثر مستقیم کاهش فعالیت‌های کشاورزی و همچنین کاهش آبشویی کودها در این دوره است. در فصل زمستان نیز، اگرچه روند کلی غلظت نیترات کاهش یافته است، اما همچنان در



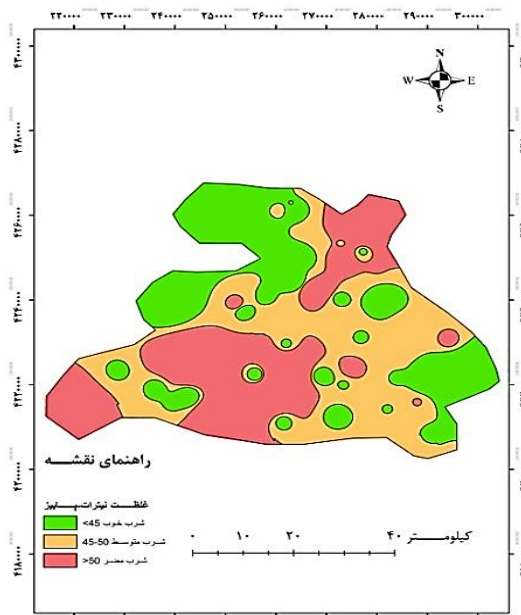
شکل ۹- مقدار نیترات در فصل تابستان



شکل ۸- نقشه طبقه‌بندی شده غلظت نیترات در تابستان



شکل ۱۱- مقدار نیترات در فصل پاییز



شکل ۱۰- نقشه طبقه‌بندی شده غلظت نیترات در پاییز

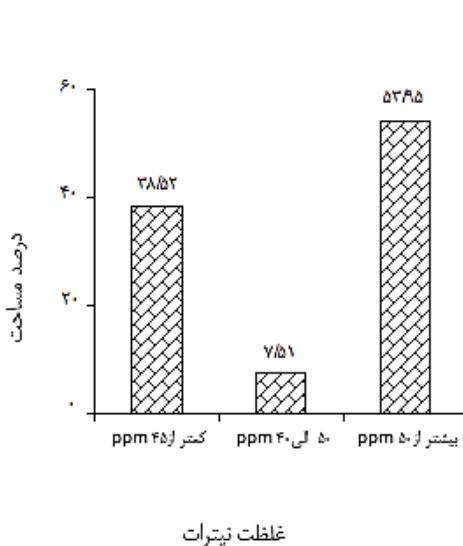
نتیجه‌گیری

و کوددهی مشاهده شد. در این بازه، در برخی روستاها از جمله پیرالوان و سربند، میزان نیترات به ترتیب به حدود ۴۸۱ ppm و ۳۷۱ رسیده که به مراتب فراتر از استانداردهای مجاز مصرف آب آشامیدنی است. در فصل‌های پاییز و زمستان به دلیل کاهش مصرف کود و محدود شدن فعالیت‌های زراعی، میانگین غلظت نیترات کاهش یافت و درصد بیش‌تری از منطقه دارای غلظت نیترات کم‌تر از ppm ۴۵ ثبت گردید. این روند نشان می‌دهد که ورود نیترات به منابع آب

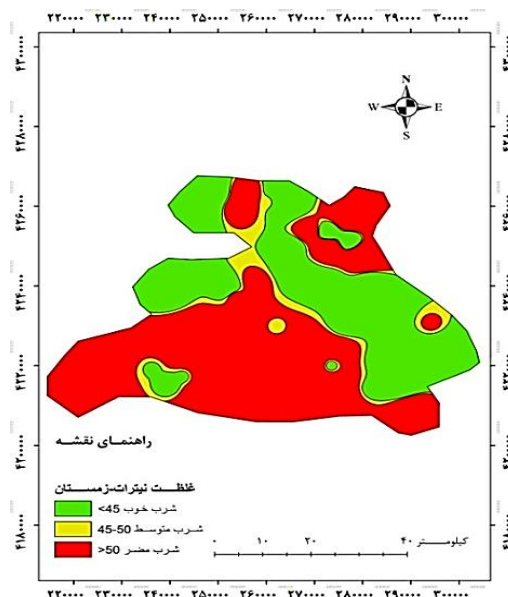
نتایج بررسی زمانی و مکانی غلظت نیترات در منابع آب شرب سه شهرستان اردبیل، نیر و نمین نشان داد که آلودگی نیترات به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن دار و تغییرات فصلی قرار دارد. بیش‌ترین غلظت نیترات در فصل‌های بهار و تابستان همزمان با آغاز فصل کاشت، افزایش آبیاری

خصوصیات نفوذپذیری خاک، ارتفاعات کم تر و هم‌چنین ویژگی‌های هیدروژئولوژیک این نواحی است. علاوه بر فعالیت‌های زراعی، امکان ورود نیترات از سایر منابع آلودگی هم‌چون فاضلاب‌های انسانی و دامی نیز در برخی نقاط وجود دارد.

زیرزمینی ارتباط مستقیمی با شدت مصرف نهاده‌های کشاورزی و میزان آبیاری دارد. از نظر مکانی، بیش‌ترین آلودگی در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوب غربی منطقه مشاهده شد که ناشی از تراکم بالای اراضی زراعی، میزان بالای مصرف کودهای شیمیایی،



شکل ۱۳- مقدار نیترات در فصل زمستان



شکل ۱۲- نقشه طبقه‌بندی شده غلظت نیترات در زمستان

محصولات کشت شده در منطقه صورت گیرد. هم‌چنین انجام پژوهشی در مورد تعیین غلظت نیترات زمین شناسی، حاصل از سازندهای موجود در منطقه و دیگر سازندها پیشنهاد می‌شود. در این منطقه با توجه به میزان بالای نیترات توصیه می‌شود جهت تامین آب مورد نیاز طرح تغذیه مصنوعی از سیلاب‌های که کمترین غلظت نیترات را دارند استفاده شود.

منابع

ایزائلو، ح.، رحیمی، ط.، واعظی، ن. و یآوری، ز. ۱۳۸۹. حذف نیترات از آب با جاذب گرانول هیدروکسید فریک. همایش ملی آب با رویکرد آب پاک. ۱۱ و ۱۲ اسفند. دانشگاه صنعت آب و برق.
 حیدری کوچی، ا. و حیدری کوچی، ا. ۱۳۸۸. بررسی روند تغییرات نیترات با میزان بارندگی در آب آشامیدنی روستاهای شهرستان فسا. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط. آبانماه. دانشگاه شهید بهشتی تهران.
 خزاعی، ا. و حبیب‌نژاد روشن، م. ۱۳۸۰. بررسی ترکیبات ازت در آب زیرزمینی سفره زاهدان، منطقه‌ای خشک در جنوب شرق ایران. بیابان. ۶(۳): ۱۴۱-۱۵۰.
 دلبری، م.، افراسیاب. و میرعمادی، س. ر. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل

در مجموع، یافته‌های این تحقیق بر ضرورت پایش مستمر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه، مدیریت بهینه مصرف کودهای شیمیایی و بهبود الگوهای کشت، افزایش آگاهی کشاورزان از پیامدهای آلودگی نیترات و نیز بررسی دقیق‌تر سایر منابع آلاینده تأکید دارد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود به منظور افزایش پایداری کیفیت آب شرب، طرح‌های تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با بهره‌گیری از منابع آب کم‌نیترات هم‌چون رواناب‌های سطحی مدنظر قرار گیرد. با توجه به اهمیت آلودگی نیترات به‌عنوان یکی از مشکلات زیست محیطی و کشاورزی، و نیز ارزش منابع آب زیرزمینی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک پیشنهاد می‌گردد غلظت این یون در آب‌های زیرزمینی منطقه به‌طور مدام و در تمام طول سال بررسی شود. با توجه به آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه به نیترات و تراکم عملیات کشت کار در این منطقه، پیشنهاد می‌شود آلودگی آب‌های زیرزمینی به افت کش‌ها بررسی شود. در مناطق کشاورزی، به ویژه مناطق دارای بیش‌ترین مقدار آلودگی با آگاه کردن کشاورزان در زمینه آلودگی آب‌های زیرزمینی بر اثر استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی نیتروژن دار و در عوض جایگزین کردن کودهای دیر حل یا غیر نیتراته، از آلوده شدن بیشتر منابع آب جلوگیری شود. با در نظر گرفتن خطرهایی که افزایش نیترات در بدن انسان ایجاد می‌کند توصیه می‌شود پژوهشی نیز به منظور بررسی میزان آلودگی نیتراته

- Karnataka State, India, E-Journal Chemistry. 6(2): 523-530.
- Ramirez, N. F. and Solano, F. 2004. Physic-chemical water quality indices - A comparative review. *Revista Bifua*. 27: 437-441.
- Lee, K. 2008. The World Health Organization (WHO). Routledge.
- Samani, S. 2021. Analyzing the groundwater resources sustainability management plan in Iran through comparative studies. *Groundwater for Sustainable Development*. 12: 100521.
- Plata, I., Humez, P., Wilson, L., Nightingale, M., McClain, C. and Mayer, B. 2025. Distribution, sources, and fate of nitrate in groundwater in agricultural areas of Southern Alberta, Canada. *Biogeochemistry*. 168(1): 1-22.
- Ji, X., Jiang, H., Huo, Z., Zhu, C. and Chen, H. 2024. Electrodialysis coupled with nano-activated carbon (ED-NAC): a promising technology for the removal of trace pollutants in saline-alkaline waters. *Frontiers in Environmental Science*. 12: 1507095.
- Kumar, V., Jahangeer, J., Singh, R. and Dikshit, P. K. S. 2025. Advancement in hydrological modeling and water resources management for achieving Sustainable Development Goals (SDGs). *Frontiers in Water*, 7, 1599795.
- Francis, O. A. and FAGBAYIDE, D. S. 2018. Nitrate in Drinking Water: How Safe Is This in Africa And Asia. *Annals of the University of Oradea, Geography Series*. 1: 28-35.
- Ward, M. H., Jones, R. R., Brender, J. D., De Kok, T. M., Weyer, P. J., Nolan, B. T., ... and Van Breda, S. G. 2018. Drinking water nitrate and human health: an updated review. *International journal of environmental research and public health*. 15(7): 1557.
- Sakizadeh, M., Zhang, C. and Milewski, A. 2024. Spatial distribution pattern and health risk of groundwater contamination by cadmium, manganese, lead and nitrate in groundwater of an arid area. *Environmental Geochemistry and Health*. 46(3): 80.
- Zahoor, I. and Mushtaq, A. 2023. Water pollution from agricultural activities: A critical global review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 23(1): 164-176.
- تغییرات مکانی- زمانی شوری و عمق آب زیرزمینی (مطالعه موردی: استان مازندران). نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۴(۳): ۳۷۴-۳۵۹.
- شاهپسندزاده، م.، رقیمی، م. و خادمی، س. م. ۱۳۸۳. اثرات زیست محیطی توسعه شهری بر آلودگی نترات در آب‌های زیرزمینی گستره گرگان، شمال خاور ایران. علوم زمین. ۵۴: ۴۸-۵۵.
- رئوف، م.، انوار، م.، فتح‌العلومی، س. و حضرتی نیاری، م. ۱۳۹۱. بررسی وضعیت نترات و سولفات در آب شرب روستاهای اردبیل، نیر و نمین و ارائه راهکارهای مناسب جهت رفع آنها. طرح تحقیقاتی شرکت آب و فاضلاب روستایی اردبیل.
- فاضلی، م.، کلانتری، ن.، رحیمی، م. ح. و خوبیاری، ع. ۱۳۹۰. بررسی توزیع زمانی و مکانی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت زیدون به نترات. فصلنامه علمی مهندسی منابع آب. ۴(۸): ۵۱-۴۵.
- قیصری، م. م.، هودچی، م.، نجفی، پ. و عبدالهی، آ. ۱۳۸۶. بررسی آلودگی نترات آبی زیرزمینی ناحیه جنوب شرق شهر اصفهان. محیط شناسی. ۴۲: ۴۳-۵۰.
- گلشن، محمد. ۱۴۰۳. بررسی آلودگی‌های تهدیدکننده شبکه توزیع آب شرب (مطالعه موردی: شهرستان آستارا). آب و توسعه پایدار، ۱۱(۲)، ۷۷-۸۶.
- ابراهیمی، ج. ا.، رحمانی، خالد، حیدری، ص.، گویلی، س.، بیدارپور، ف. و ابراهیم زاده، لیلیا. ۱۴۰۲. تحلیل مکانی مواد معدنی در آب آشامیدنی شبکه توزیع روستاهای استان کردستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان. ۲۸ (۴): ۱۳۹-۱۵۹.
- محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری. جلد دوم آمار مکانی. نشر پلک، چاپ اول.
- میران زاده، م.، مصطفایی، غ. و جلالی، ا. ۱۳۸۵. بررسی غلظت نترات در آب چاه‌های تامین کننده و شبکه توزیع آب شهر کاشان. فصلنامه علمی - پژوهشی فیض. ۲: ۴۴-۳۹.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. 1989. Applied geostatistics. New York: Oxford University Press , 561 pp .
- Ramakrishaniah, A. 2009. Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk,

Spatiotemporal Investigation of Nitrate Distribution in the Drinking Water of Villages in Ardabil, Nir and Namin

Majid Raouf^{1*}, Arash Amirzadeh²

Received: May.06, 2025

Accepted: Jul.04, 2025

Abstract

Groundwater reservoirs, unlike surface reservoirs, are safe and maintenance-free, and if managed properly they can be considered the most valuable water resources. Nitrate is one of the most common and significant non-point pollutants of water resources. A primary source of nitrate contamination is agricultural activities and the use of nitrogenous fertilizers. Due to the prevalence of agricultural operations in the counties of Ardabil, Nir, and Namin, the nitrate concentration in the water resources of these areas was investigated. To this end, a total of 612 samples were collected from 51 village drinking-water wells over the course of one year, with sampling repeated three times in each season. Nitrate concentrations were measured by spectrophotometry in the Soil Chemistry Laboratory at Mohagheh Ardabili University, enabling the assessment of seasonal and temporal variation. After confirming data normality in SPSS, the results were imported into ArcGIS, and nitrate interpolation was performed using the inverse-distance weighting (IDW) geostatistical method chosen for its minimal root-mean-square error (RMSE) compared to kriging, general estimator, radial basis function, and local estimator methods. The findings indicate that, relative to drinking-water standards, nitrate levels in parts of the study area exceed permissible limits, and these levels vary by season. Nitrate concentrations above 50 ppm occurred over 99.69 %, 98.88 %, 67.65 %, and 53.95 % of the study area in spring, summer, autumn, and winter, respectively. Peak concentrations approximately 481 ppm in spring and 454 ppm in summer coincide with the main agricultural growing seasons. This elevated nitrate is attributed to intensive farming practices and the excessive use of both chemical and manure fertilizers. Based on these measurements, the drinking-water quality in the region particularly during spring and summer does not meet established standards.

Keywords: ArcGIS, Chemical fertilizers, Drinking water quality, Spatial interpolation, Water pollution

1- Professor., Water Engineering Dept. and Water Management Research Institute, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

2- PhD Student, Water Engineering Dept., University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: majidraouf@gmail.com)