علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ویژه ۹۳

ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی منطقه لنجان سفلی اصفهان از نظر کل کربن آلی، نیترات، و برخی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در مقیاس پایلوت با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

افشین ابراهیمی[۱]

محمد مهدی امین[۱*]

amin@hlth.mui.ac.ir

مهدی حاجیان[۱]

بیژن بینا[۲]

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۲۵ **تاریخ پذیرش:۸۸/۱۰//۲**

چکیده

آلودگی آب‌های زیرزمینی به واسطهٔ فعالیت‌های مختلف انسانی و طبیعی صورت می‌گیرد. امروزه برای انجام ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی از GIS استفاده می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، آسیب پذیری بخشی از آبخوان دشت نجف آباد واقع در منطقه لنجان سفلی از نظر مواد شیمیایی شامل کل کربن آلی، نیترات، هدایت الکتریکی، سولفات، کلرور و سختی کل با استفاده از GIS می‌باشد.

برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی مختلف شامل کل کربن آلی، نیترات، هدایت الکتریکی، سولفات، کلرور و سختی کل که غلظت آن‌ها از طریق نمونه برداری طی ۴ فصل تابستان ۸۷ لغایت بهار ۱۳۸۸ از ۲۵ حلقه چاه در منطقه لنجان سفلی به دست آمده بود، تهیه شد. در نهایت پس از وزن دهی، امتیاز بندی و همپوشانی لایه‌ها، مناطق با آسیب پذیری مختلف در هر فصل و هم چنین به طور سالیانه تعیین گردید.

یافته‌های حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین غلظت ترکیباتی مانند نیترات، سختی کل، کلرور، سولفات و مقدار هدایت الکتریکی به ترتیب برابر ۹۸، ۳۸۰۰، ۶۷۴۵ و ۳۷۸۰ میلی گرم در لیتر و ۱۴/۵ میلی زیمنس بر سانتیمتر مربوط به فصل بهار سال ۱۳۸۸ بوده است. از سوی دیگر بیشترین غلظت کل کربن آلی برابر ۲۱/۶ میلی گرم در لیتر و در فصل تابستان ۱۳۸۷ اندازه گیری شده است، اما کمترین غلظت این ترکیبات بیشتر در فصول تابستان و پاییز ۱۳۸۷ سنجیده شده است.

نتایج تحلیلی GIS نیزنشان داد که ناحیه ای در مرکز منطقه لنجان سفلی که دارای خاک از نوع رسی بوده و عمق آب زیرزمینی در آن نیز نسبت به مناطق مجاور متوسط می‌باشد، کمترین آسیب پذیری را نسبت به آلاینده‌های مورد آنالیز دارد. هم چنین، با پیشروی به سمت شرق منطقه، بر آسیب پذیری ناحیه افزوده می‌گردد. لذا حفر چاه در آن منطقه با آلودگی منابع آبی آن رو به رو خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: کل کربن آلی، نیترات، کاتیون‌ها و آنیون‌ها، همپوشانی، GIS

۱- دانشیار مرکز تحقیقات محیط زیست و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان *(مسوول مکاتبات)

مقدمه

آلودگی آب‌ها توسط آفت کش ها و نیترات حاصل از فعالیت‌های روزانه کشاورزی، یک مساله معمول و رو به رشد در نواحی عمده کشاورزی دنیا است (۱). کشاورزی یک منبع نامشخص یا غیرنقطه ای آلاینده آب‌های زیرزمینی در مناطق تحت آبیاری است، به طوری که کودها و سایر ترکیبات شیمیایی به عنوان آلاینده‌های اصلی در آبی محسوب می‌شوند که از ناحیه ریشه گیاه خارج شده و به آبخوان وارد می‌گردد (۲).

آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی، استعداد آلودگی منابع آبی مورد مطالعه به آلاینده‌های سطحی یا زیر سطحی را تعیین می‌کند (۳). تعریف ساده ای از آسیب پذیری ذاتی یک آبخوان می‌تواند شامل ورود هر آلاینده ای به سطح زمین و نفوذ در خاک و آلوده نمودن آب‌های زیرزمینی آن منطقه باشد. ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی به انواع آلاینده‌ها، به عنوان ابزاری مؤثر در توصیف نواحی حفاظت شده در مناطقی که به دلیل مصرف بسیار زیاد کودهای شیمیایی تحت تأثیر آلودگی آب‌های زیرزمینی قرار دارند، بیان شده است (۴). اما ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی و یا توصیف نواحی بحرانی به دلیل وابستگی آلودگی‌ها به عوامل متعدد و پیچیده دارای تأثیر متقابل، آسان نبوده و تقریباً تمام روش‌های ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی را در یک بلاتکلیفی آشکار قرار داده است (۵).

در سال‌های اخیر، از GIS برای نشان دادن تغییرات فضایی (سه بعدی) اطلاعات ورودی در سطح منطقه و ترسیم خروجی در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی استفاده شده است (۲ و ۵). وجود تفاوت‌هایی مانند جنس خاک و شرایط هیدروژئولوژیکی و مواردی از این قبیل منجر به اختلاف در سطوح آسیب پذیری شده و درجه‌های حفاظتی متفاوتی را به وجود می‌آورد. باید توجه داشت که مفهوم آسیب پذیری به ماهیت آلاینده‌ها نیز وابسته است (۳).

تاکنون مطالعات بسیاری درباره بررسی وضعیت آلودگی و یا آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی در دنیا و هم چنین در مناطق مختلف ایران به انجام رسیده است که در این جا به جهت اختصار فقط به مرور چند مطالعه انجام شده می‌پردازیم که در رابطه با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در پهنه بندی و مدل سازی آلاینده‌های زیست محیطی در منابع آب و بررسی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی در ایران بوده است. به عنوان مثال در تحقیقی به منظور پایش کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت سرایان استان خراسان جنوبی، شبکه ای از چاه‌های آب شامل ۲۸ حلقه چاه در آبخوان مذکور با به کارگیری فن آوری GIS مورد تحلیل قرار گرفته است (۶). هم چنین در مطالعه دیگری جهت پایش کیفی و بررسی آسیب پذیری آبخوان دشت زاهدان به آلاینده‌های نفتی، ویژگی‌های آبخوان و نیز تأثیر موقعیت منابع آلاینده بر آبخوان و تاثیرات متقابل عوامل یاد شده بر یک دیگر در محیط GIS مورد بررسی قرار گرفته است (۷).

آلودگی نیتراتی آب‌های زیرزمینی ناحیه جنوب شرق شهر اصفهان نیز با استفاده از نرم افزار سورفر ترسیم شده و نتایج آن نشان داد که برخی از چاه‌های منطقه مورد بررسی که یکی از مراکز عمده کشاورزی در شهر اصفهان محسوب می‌شود، دارای غلظت نیترات بسیار بالاتر از سطح استاندارد بوده و توزیع آلودگی‌ها ارتباط بسیار نزدیکی با فعالیت‌های کشاورزی در منطقه داشته است (۸).

مطالعه انجام شده روی آب‌های زیرزمینی منطقه اندیمشک و دشت شوش در استان خوزستان نیز نشان داد که غلظت نیترات در آب چاه‌های مورد بررسی، کمتر از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست امریکا و حداکثر غلظت آلاینده[1] سازمان بهداشت جهانی بوده است (۹).

هم اکنون برای جلوگیری از آلودگی منابع ارزشمند آب شیرین، بسیاری از کشورها و شهرها ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی خود را به عنوان بخشی از برنامه ریزی توسعه شهری خود انجام می‌دهند. تهیه نقشه‌های آسیب پذیری، مسوؤلین شهرها را به جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت این منابع در آینده قادر می‌سازد (۱۰).

با توجه به اثرات نامطلوب برخی از ترکیبات شیمیایی کشاورزی و با توجه به این واقعیت که بخشی از این مواد ممکن است پس از عبور از بستر خاک به آب‌های زیرزمینی راه یابند. لذا این مطالعه با هدف بررسی وضعیت پهنه بندی برخی آلاینده‌ها شامل کل کربن آلی و نیترات انجام شد که احتمالاً به واسطه فعالیت‌های کشاورزی و یا تخلیه آلاینده‌های صنعتی موجود در منطقه به آب‌های زیرزمینی راه می‌یابند. از طرفی هدایت الکتریکی، سولفات، کلرور و سختی کل نیز به عنوان شاخص‌های ترکیبات معدنی موجود در خاک و یا زهاب‌های کشاورزی نفوذی به آب‌های زیرزمینی با استفاده از نرم افزار GIS و نواحی آسیب پذیر از نظر مجموع این ترکیبات تعیین گردید.

روش بررسی

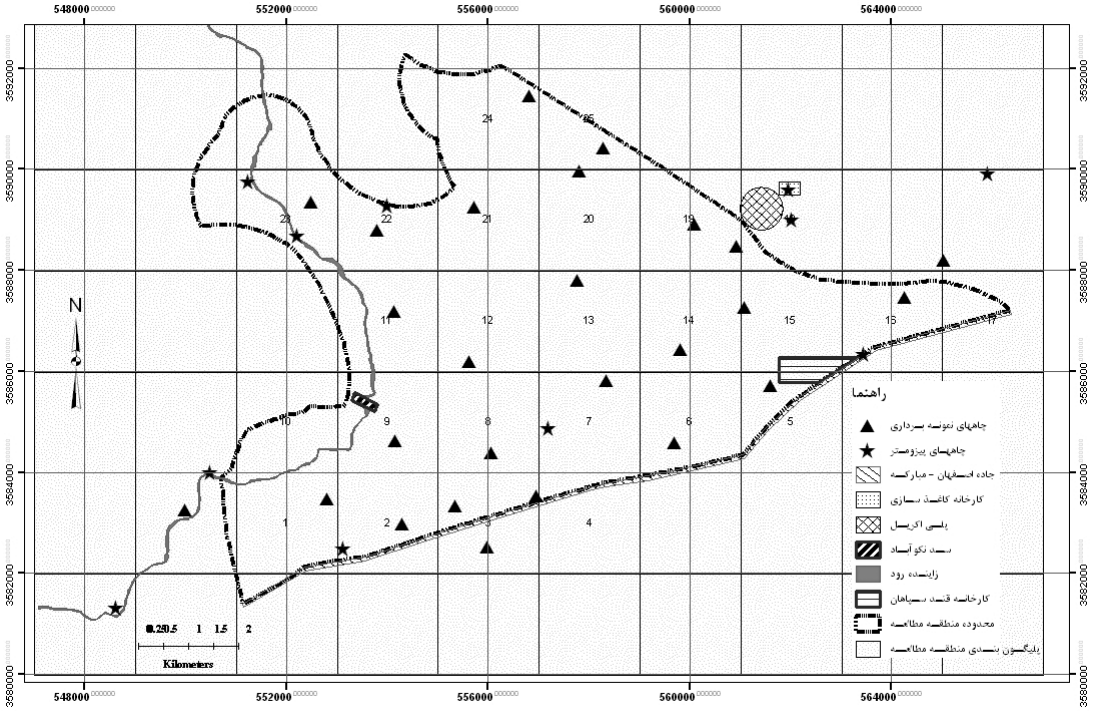
منطقه مورد مطالعه

نجف آباد یکی از شهرستان‌های واقع در ۲۸ کیلومتری غرب اصفهان با مساحت کل ۳۴۳۳ کیلومتر مربع بوده که حدود ۱۷۳۰ کیلومتر مربع آن را دشت فرا گرفته است. این شهر به عنوان یک مرکز تجاری برای محصولات کشاورزی در منطقه می‌باشد. آبخوان واقع در این منطقه طبق تقسیم بندی‌های سازمان مدیریت منابع آب

1- MCL: Maximum Contaminant Level

ایران با کد ۴۲۰۶ شناخته می‌شود که ناحیه جنوبی آن در بخش سفلی از توابع شهرستان لنجان قرار دارد. از روستاهای واقع در این منطقه می‌توان به روستاهای سمسان، دارافشان، زودان، دارگان، هراتمه، فخرآباد، پارچان، نکوآباد، خولنجان، باغملک، اسدآباد، دهسرخ، اکبرآباد و بروزاد اشاره نمود. شکل (۱) موقعیت منطقه پایلوت، چاه‌های نمونه برداری و پیزومتر و برخی تاسیسات موجود در منطقه را نشان می‌دهد. همان گونه که در این شکل دیده می‌شود، بخشی از رودخانه زاینده رود در غرب ناحیه پایلوت و جاده مبارکه - اصفهان نیز در جنوب آن قرار گرفته است. همان گونه که در این شکل دیده می‌شود، بخشی از رودخانه زاینده رود در غرب ناحیه پایلوت و جاده مبارکه - اصفهان نیز در جنوب آن قرار گرفته است.

تعداد چاه‌های عمیق که از سوی سازمان آب منطقه ای اصفهان در این منطقه گزارش گردیده است، ۲۱۰۷ حلقه چاه با عمق متوسط بیش از ۵۰ متر و حجم تخلیه ۳۲۳ میلیون متر مکعب در سال بوده است. علاوه بر این تعداد: ۸۴۴۹ حلقه چاه نیمه عمیق با عمق متوسط کمتر از ۵۰ متر و حجم تخلیه ۵۰۷ میلیون متر مکعب در سال، ۷۳ قنات با میزان تخلیه ۲۲ میلیون متر مکعب در سال و چشمه ای با میزان تخلیه ۱ میلیون متر مکعب در سال را می‌توان ذکر نمود. حجم کل آب برداشتی از منابع آب زیرزمینی که از سوی سازمان آب منطقه ای اصفهان در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ گزارش گردیده است، حدود ۸۵۳ میلیون متر مکعب می‌باشد.



شکل ۱- نمایی از محدوده طرح (لنجان سفلی)، شبکه بندی، چاه‌های نمونه برداری و پیزومتر و کارخانجات موجود در منطقه

انتخاب محل های نمونه برداری

در این مطالعه، نیترات به عنوان شاخص مصرف کودهای شیمیایی ازته، کل کربن آلی به عنوان شاخص ترکیبات آلی مصرفی از قبیل آفت کش ها و حشره کش های کشاورزی و نشت احتمالی مواد آلی تولیدی در کارخانجات موجود در منطقه مانند پلی اکریل، کارخانه قند سپاهان و کارخانه کاغذ سازی منابع آب زیرزمینی منطقه، و هم چنین آنیون‌ها و کاتیون‌های دیگری مانند هدایت الکتریکی، سولفات، کلرور و سختی کل ضمن نمونه برداری از چاه‌های منطقه آنالیز گردید.

به دلیل وسعت منطقه و وجود تعداد چاه‌های بسیار در آن و هم چنین به منظور امکان اطلاع از وضعیت منابع آب ورودی به منطقه و نوع محصولات کشاورزی آن، از مجموع ۱۷۳۰ کیلومتر مربع دشت واقع در منطقه مذکور و با توافق کارشناسان سازمان آب منطقه ای اصفهان و محققان، ناحیه ای به وسعت تقریبی ۸۰ کیلومتر مربع در منطقه لنجان سفلی در شهرستان نجف آباد اصفهان به عنوان پایلوت انتخاب گردید که انتظار می‌رفت بیشترین احتمال آلودگی را دارا باشد.

بر اساس دستورالعمل سازمان زمین شناسی امریکا[1] در مناطقی که قرار باشد در آن‌ها ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی انجام گردد، باید حدوداً به ازای هر ۳ کیلومتر مربع یک حلقه چاه انتخاب و عملیات نمونه برداری از آن انجام شود (۱۱). لکن در این مطالعه به دلیل شرایط خاص موجود، علاوه بر این دستورالعمل، انتخاب محل‌های نمونه برداری بر اساس عوامل دیگری همچون توزیع مکانی چاه‌ها که نشان دهنده کیفیت آب زیرزمینی در منطقه باشد، عمق چاه، وجود اطلاعات ساختمانی چاه و اجازه مالک یا مالکان چاه‌ها برای نمونه برداری بوده است. از میان ۱۰۵۵۶ حلقه چاه در دشت نجف آباد، تعداد ۶۳۰ حلقه چاه در ناحیه پایلوت قرار داشتند که طبیعتاً امکان نمونه برداری از تمامی آن‌ها وجود نداشته و محدودیت‌های زمانی و مالی بر تعداد نمونه برداری‌ها تأثیر گذار بوده و به این دلیل به ازای هر ۴ کیلومتر مربع یک چاه انتخاب گردیده است. بنابراین با عنایت به مجموعه عوامل گفته شده، سرانجام تعداد ۲۵ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق کشاورزی و هم چنین برخی چاه‌های آب آشامیدنی در روستاهای واقع در منطقه پایلوت، به عنوان محل‌های نمونه برداری انتخاب شده و سپس با کمک نقشه و دستگاه موقعیت یاب جهانی[2] در منطقه مکان یابی شدند.

مکان چاه‌های نمونه برداری، ناحیه ای است در جنوب غربی شهر اصفهان که فعالیت‌های زیاد کشاورزی طی ماه‌های مختلف سال در آن به انجام می‌رسد. عملیات نمونه برداری به صورت فصلی طی مدت یک سال یعنی از تابستان سال ۱۳۸۷ تا انتهای بهار سال ۱۳۸۸ انجام شد. در مجموع از هر یک از چاه‌های مذکور ۴ بار نمونه برداری شده و از نظر غلظت نیترات، کل کربن آلی، سختی کل، سولفات، کلرور و هدایت الکتریکی مورد آنالیز قرار گرفتند.

آنالیز

بر اساس دستورالعمل‌های موجود، در هنگام عملیات نمونه برداری از چاه‌ها اجازه داده می‌شد تا حداقل مدت نیم ساعت پمپ آب چاه روشن گردیده و آب تازه از سفره زیرزمینی به لوله چاه وارد شود، سپس مطابق با شرایط مندرج در آخرین ویرایش کتاب روش‌های استاندارد، عملیات نمونه برداری برای هر ترکیب به نحو مناسبی صورت گرفت. نمونه‌ها در کمترین زمان ممکن مطابق با دستورالعمل‌های موجود و در مجاورت یخ به آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت اصفهان منتقل شدند و از نظر نیترات، کلرور، سولفات و سختی کل مورد آنالیز قرار گرفتند (۱۲).

اندازه گیری TOC با استفاده از دستگاه آنالایزر کل کربن آلی مدل Shimadzu TOC-V_{CSH} (ژاپن) و با استفاده از روش احتراق در درجه حرارت بالا و در آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان انجام شد. برای تعیین غلظت نیترات از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-5000 و معرف‌های شیمیایی در دامنه غلظت متوسط بین ۰/۳ تا ۳۰ میلی گرم در لیتر بر اساس دستورالعمل Hach استفاده گردید. برای سنجش هدایت الکتریکی از دستگاه هدایت سنج پرتابل مدل ۴۴۶۰۰ شرکت Hach استفاده شد. سایر آنالیزها بر اساس آخرین ویرایش کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب به انجام رسید (۱۲).

تحلیل نتاج با استفاده از GIS

معرفی روش های موجود

برای انجام عملیات پهنه بندی با کمک GIS از روش‌های مختلفی مانند روش رتبه ای، روش نسبی، روش مقایسه زوجی، روش وزن دهی افزایشی ساده و روش سلسله مراتبی تحلیلی استفاده می‌شود که هر کدام از این روش‌ها بنابر اطلاعات موجود و نوع متغیرهای مورد مطالعه در جای خود قابل استفاده هستند. در این تحقیق از روش وزن دهی افزایشی ساده با بهره گیری از GIS استفاده گردیده است. این روش بر مبنای محاسبه ارزش - سودمندی استوار است، یعنی کاربر بین دو متغیر، مقایسه ای انجام داده و اولویت هر کدام از آن‌ها را نسبت به دیگری تعیین می‌کند. هر چه ارزش یک متغیر نسبت به دیگری بیشتر باشد، وزن بیشتری به آن معیار داده می‌شود (۱۳). در ادامه مراحل این رتبه بندی ارایه شده است:

نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی نمونه‌ها به تفکیک فصل نمونه برداری برای هر یک از شش ترکیب، بر اساس طول و عرض جغرافیایی چاه‌ها در نرم افزار ArcGIS/ArcInfo نسخه ۹/۳ بارگذاری شد. در ادامه با استفاده از تحلیل گر زمین آمار[3] و مدل kriging، لایه‌های اطلاعاتی[4] برای هر یک از ترکیبات مذکور ایجاد گردید. سپس با کمک از دستور طبقه بندی مجدد[5] در تحلیل گر فضایی[6]، این لایه‌های اطلاعاتی طبقه بندی مجدد شدند که نتایج همپوشانی[7] لایه‌های ایجاد شده برای هر ترکیب طی دوره یک ساله مطالعه در شکل (۲) ارایه شده است. پس از امتیاز دهی و وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر ترکیب شیمیایی که روش امتیاز دهی آن‌ها در جدول (۱) ارایه و با استفاده از همپوشانی و قابلیت محاسبات ریاضی لایه‌های اطلاعاتی[8] در نرم افزار GIS، از روی هم قرار دادن ۶ لایه اطلاعاتی مربوط به شش ترکیب مورد آنالیز در هر فصل، وزن نهایی هر پلی گون از حاصل جمع امتیازات آن پلی گون در هر لایه

1- USGS: United State Geological Survey
2- GPS: Global Positioning System
3- Geostatistical Analyst
4- Raster
5- Reclassify
6- Spatial Analyst
7- Overlay Index
8- Raster Calculator

اطلاعاتی به دست آمد. امتیازات به دست آمده توسط نرم افزار GIS نرمالایز شده و در محدوده ای بین صفر تا ۱۰۰ به سه منطقه آسیب پذیر، مناطق با آسیب پذیری متوسط و مناطق غیر آسیب پذیر تقسیم بندی شدند که نتایج حاصل از این عملیات در شکل‌های (۳) تا (۷) ارایه شده است.

جدول ۱- امتیاز بندی و وزن دهی[1] لایه‌های اطلاعاتی

لایه اطلاعاتی		هدایت الکتریکی		کل کربن آلی		نیترات		کلرور		سولفات		سختی کل	
طبقه بندی	امتیاز	وزن	امتیاز نهایی	وزن	امتیاز نهایی	وزن	امتیاز نهایی	وزن	امتیاز نهایی	وزن	امتیاز نهایی	وزن	امتیاز نهایی
هدف	۸	۲/۵	۲۰	۲	۱۶	۰/۱	۰/۸	۰/۰۴	۰/۳۲	۰/۱	۰/۸	۰/۰۰۸	۰/۰۶۴
بسیار مطلوب	۷		۱۷/۵		۱۴		۰/۷		۰/۲۸		۰/۷		۰/۰۵۶
مطلوب	۶		۱۵		۱۲		۰/۶		۰/۲۴		۰/۶		۰/۰۴۸
قابل قبول	۵		۱۲/۵		۱۰		۰/۵		۰/۲۰		۰/۵		۰/۰۴۰
نسبتاً قابل قبول	۴		۱۰		۸		۰/۴		۰/۱۶		۰/۴		۰/۰۳۲
نسبتاً نامطلوب	۳		۷/۵		۶		۰/۳		۰/۱۲		۰/۳		۰/۰۲۴
نامطلوب	۲		۵		۴		۰/۲		۰/۰۸		۰/۲		۰/۰۱۶
غیر قابل قبول	۱		۲/۵		۲		۰/۱		۰/۰۴		۰/۱		۰/۰۰۸

۱- لایه‌ها بر اساس معکوس غلظت معمول هر یک از آلاینده‌های مورد نظر در منابع آب زیرزمینی که از مراجع علمی به دست آمده است، وزن دهی شده‌اند (۱۴).

یافته‌ها

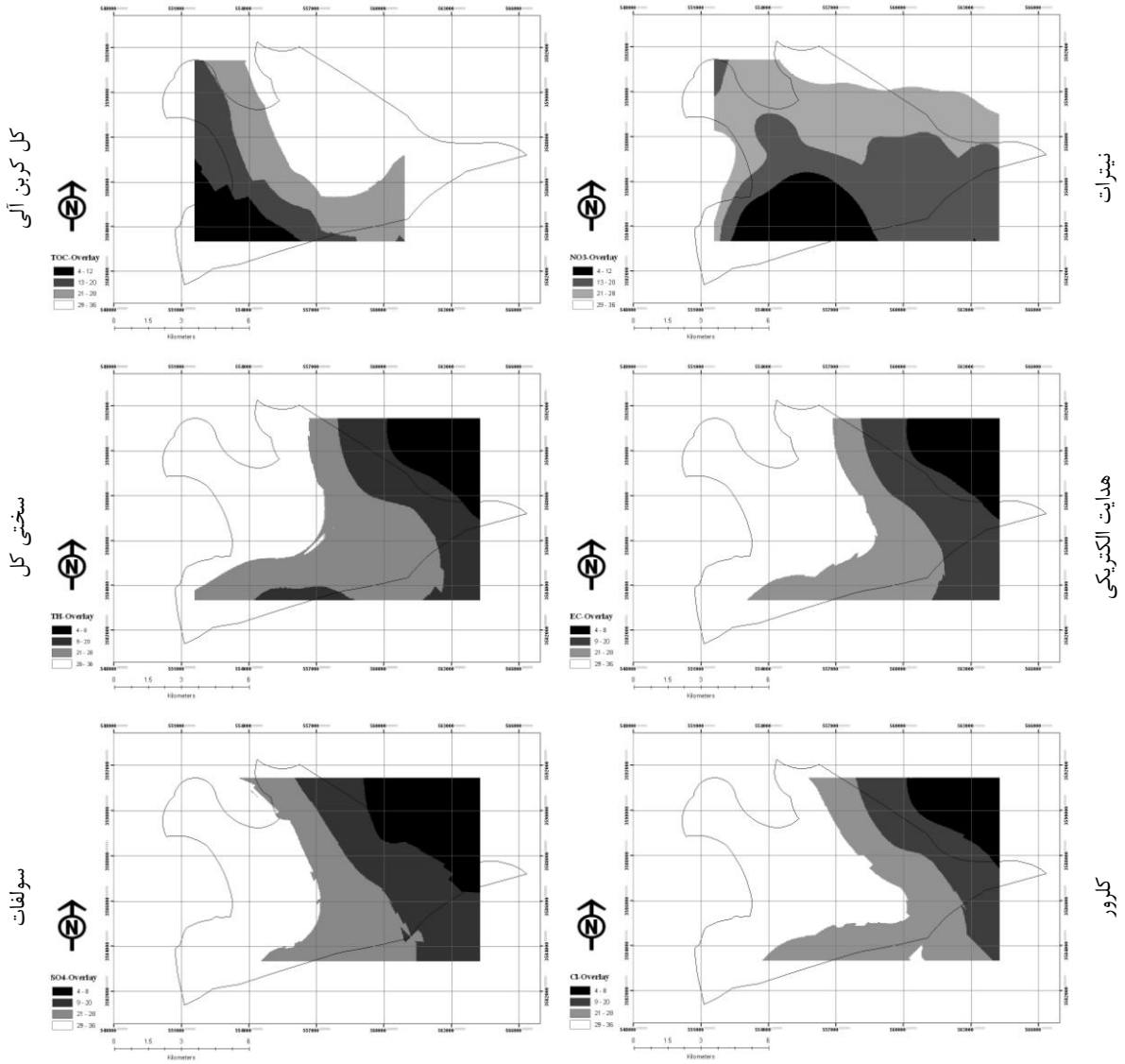
جدول (۲) نتایج آنالیز شش ترکیب شیمیایی را بر حسب حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار نمونه‌ها طی چهار فصل نمونه برداری از ۲۵ حلقه چاه آب واقع در منطقه لنجان سفلی اصفهان نشان می‌دهد. در شکل (۲) مجموع لایه‌های اطلاعاتی آسیب پذیری منطقه لنجان سفلی، به تفکیک شش آلاینده اندازه گیری شده طی یک سال نمونه برداری ارایه شده است. هم چنین در شکل‌های (۳) تا (۶) نیز به ترتیب لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مناطق با درجات مختلف آسیب پذیری به شش آلاینده اندازه گیری شده در فصول تابستان ۸۷ تا بهار ۱۳۸۸ نشان داده شده است. در شکل (۷) نیز لایه اطلاعاتی حاصل از همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی چهار فصل نمونه برداری در منطقه لنجان سفلی اصفهان ارایه شده است.

پتانسیل آلودگی = DRDW+RRRW+ARAW+SRSW+TRTW+IRTW+CRCW

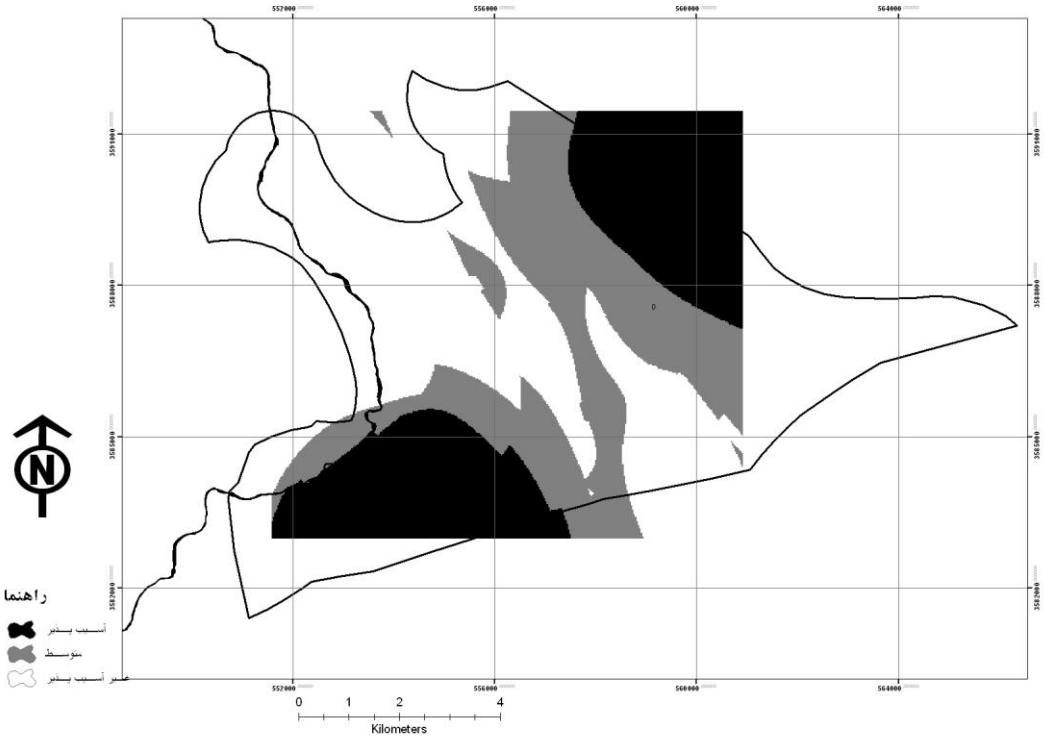
جدول ۲- غلظت نیترات، کل کربن آلی، هدایت الکتریکی، سولفات، کلرور و سختی کل و انحراف معیار نمونه‌ها

فصل نمونه برداری	تابستان ۱۳۸۷				پائیز ۱۳۸۷			
ترکیبات مورد آنالیز	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کل کربن آلی	۰/۳	۲۱/۶	۲/۶	۶/۱	۰/۰۱	۲/۸	۱/۱	۰/۸
نیترات	۱۱/۵	۷۲/۷	۲۸/۹	۱۷/۹	۰/۰	۶۱/۹	۲۶/۲	۱۴/۳
هدایت الکتریکی	۰/۷	۸/۹	۳/۰	۲/۷	۰/۹	۹/۹	۳/۲	۲/۶
سختی کل	۲۳۰	۲۵۶۰	۸۸۰/۵	۷۱۹/۸	۳۲۴	۲۳۵۲	۸۵۹/۱	۶۱۹/۵
کلرور	۱۰۷	۲۴۱۴	۵۷۵/۵	۶۹۶/۴	۲۷	۲۲۲۴	۴۵۴/۷	۵۹۶/۴
سولفات	۱۰۵	۳۰۲۰	۸۵۳/۵	۹۸۸/۶	۱۴۰	۳۷۱۶	۱۱۸۳/۸	۱۰۴۵/۴
فصل نمونه برداری	زمستان ۱۳۸۷				بهار ۱۳۸۸			
کل کربن آلی	۰/۱	۴/۵	۲/۰	۱/۴	۰/۱	۳/۵	۱/۳	۱/۰
نیترات	۴/۸	۵۱/۸	۱۹/۳	۱۱/۹	۷/۵	۹۸	۲۷/۵	۲۳/۲
هدایت الکتریکی	۰/۸	۱۰/۶	۳/۲	۲/۹	۰/۸	۱۴/۵	۳/۹	۳/۸
سختی کل	۲۸۸	۲۵۰۸	۸۴۸/۸	۶۵۹/۹	۳۰۰	۳۸۰۰	۹۹۹/۲	۹۴۵/۵
کلرور	۹۲	۳۹۵۸	۷۵۷/۸	۱۱۰۸/۴	۸۹	۶۷۴۵	۱۱۵۲/۲	۱۸۰۹
سولفات	۹۹	۲۲۹۳	۶۷۴	۷۶۴/۲	۷۵	۳۷۸۰	۶۹۶/۶	۱۰۲۶/۶

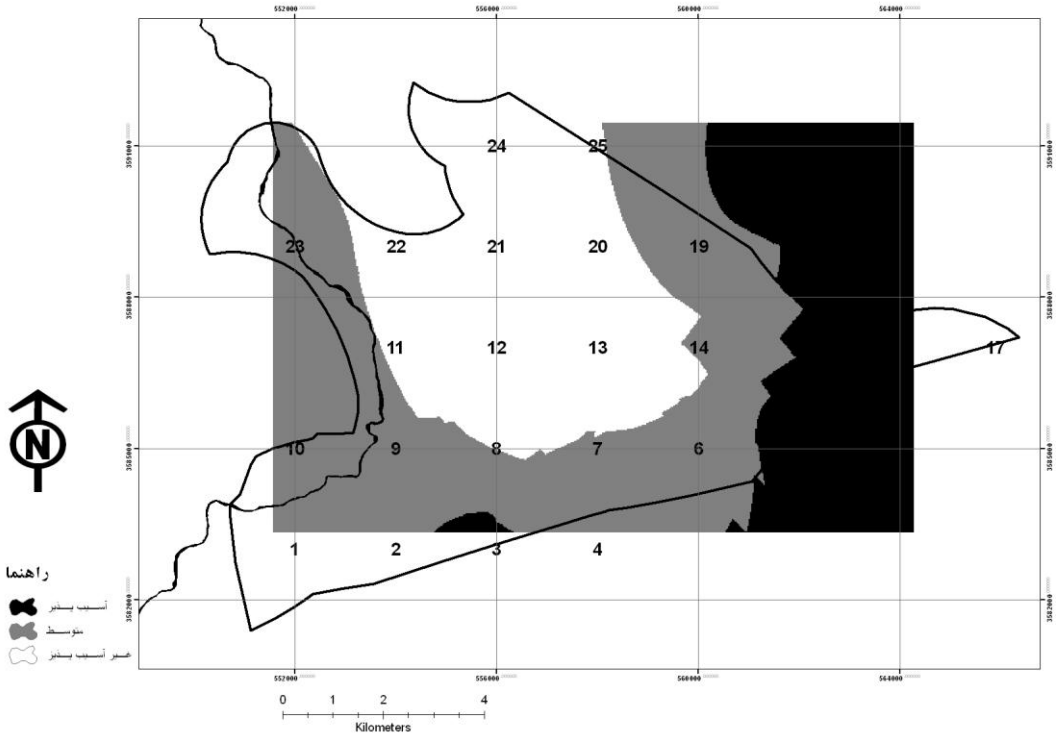
۱- غلظت تمام ترکیبات به استثنای هدایت الکتریکی، بر حسب میلی گرم در لیتر می‌باشد. واحد بیان هدایت الکتریکی میلی زیمنس بر سانتی متر است.



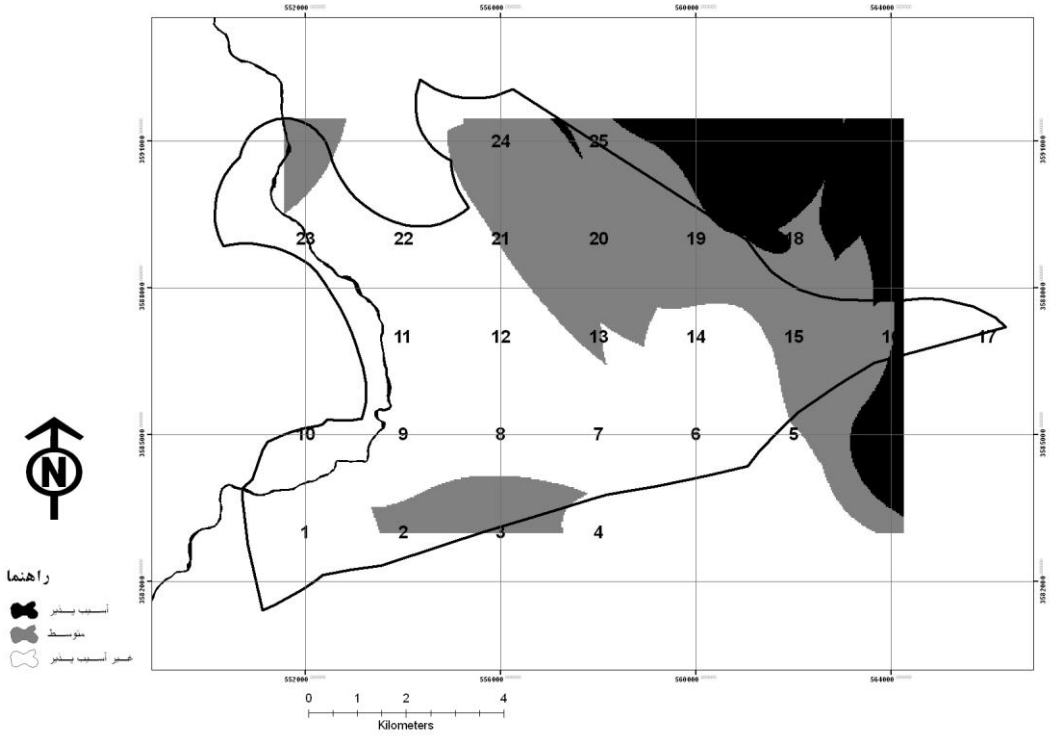
شکل ۲- مجموع لایه‌های اطلاعاتی آسیب پذیری منطقه لنجان سفلی، به تفکیک شش آلاینده اندازه گیری شده



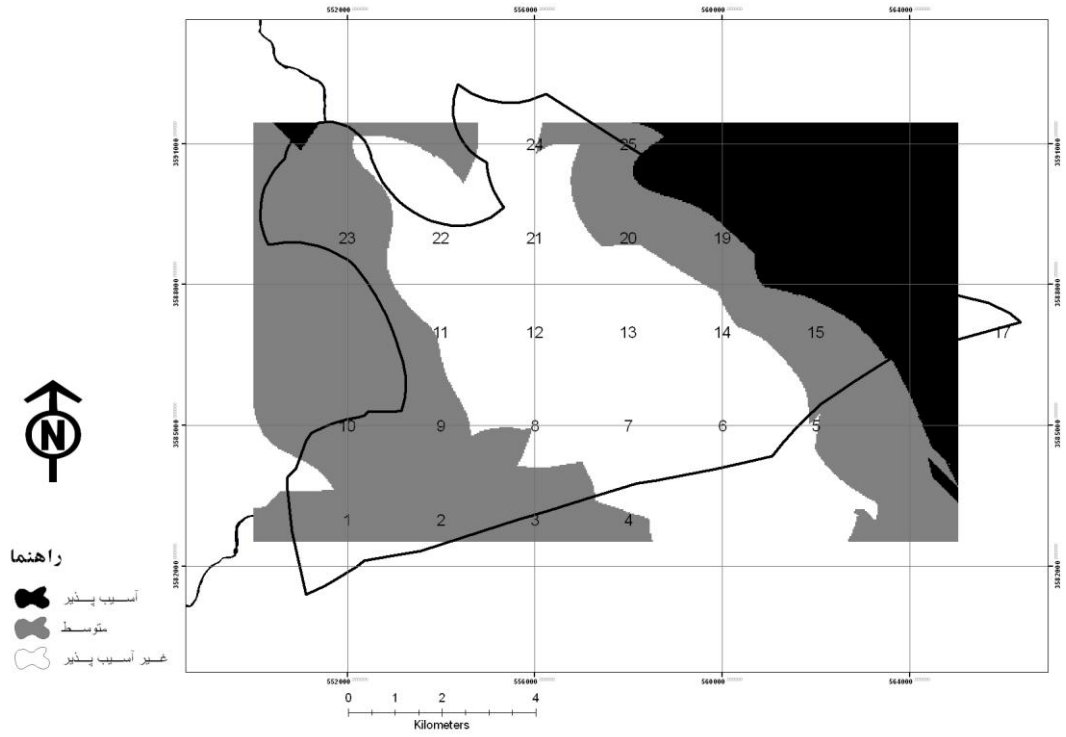
شکل ۳- مناطق با درجات مختلف آسیب پذیری به آلاینده‌های اندازه گیری شده در تابستان ۸۷ در منطقه لنجان سفلی



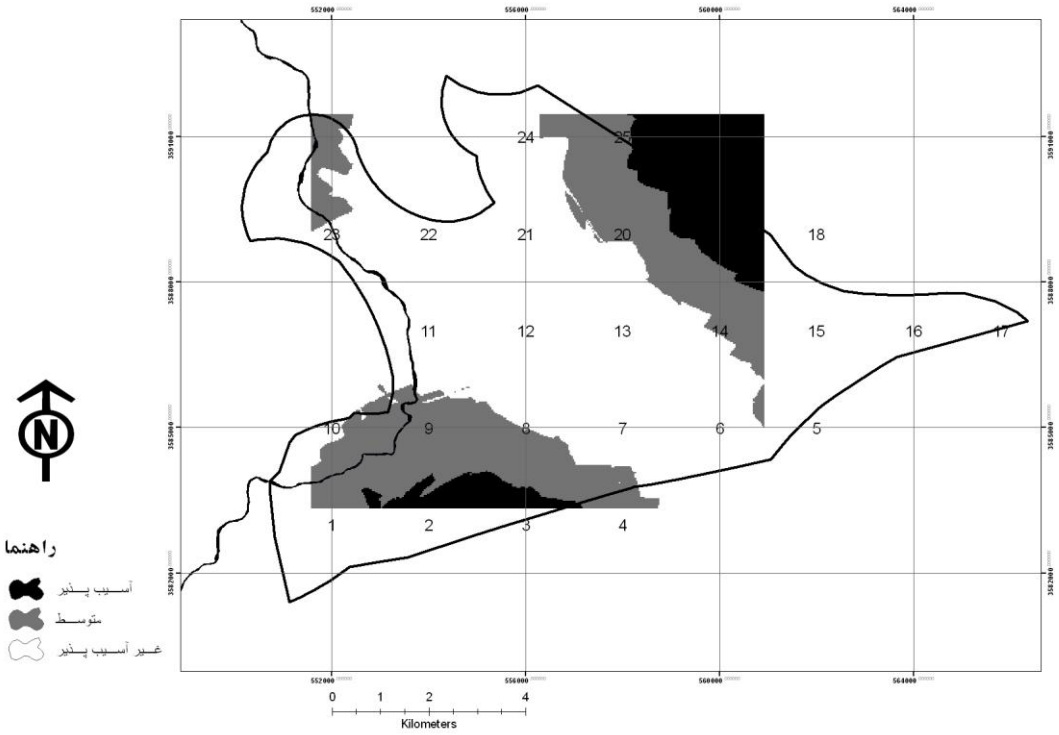
شکل ۴- مناطق با درجات مختلف آسیب پذیری به آلاینده‌های اندازه گیری شده در پائیز ۸۷ در منطقه لنجان سفلی



شکل ۵- مناطق با درجات مختلف آسیب پذیری به آلاینده‌های اندازه گیری شده در زمستان ۸۷ در منطقه لنجان سفلی



شکل ۶- لایه مناطق با درجات مختلف آسیب پذیری به آلاینده‌های اندازه گیری شده در بهار ۸۸ در منطقه لنجان سفلی



شکل ۷- مناطق با درجات مختلف آسیب پذیری به آلاینده‌های اندازه گیری شده در تابستان ۸۷ الی بهار ۱۳۸۸ در منطقه لنجان سفلی

تفسیر نتایج

تاکنون از روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی در سراسر جهان استفاده شده است. در این مطالعه، که در قطعه زمینی به مساحت ۸۰ کیلومتر مربع، به عنوان بخش از مساحت ۱۷۳۰ کیلومتر مربعی آبخوان دشت نجف آباد در فلات مرکزی ایران انجام شد، از روش تحلیلی با کمک روابط ریاضی و همپوشانی بین لایه‌های اطلاعاتی برای شش آلاینده و از طریق وزن دهی به آن‌ها بر اساس غلظت معمولشان در منابع آب‌های زیرزمینی استفاده شد.

بر اساس اطلاعات به دست آمده از حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده ای در منطقه تحت مطالعه، جنس لایه‌های زیرسطحی خاک در نزدیکی رودخانه زاینده رود بیشتر از جنس آبرفتی بوده و با حرکت از سمت رودخانه به طرف شرق، درصد بالایی از خاک از نوع رسی خواهد بود. از سوی دیگر اطلاعات حفاری چاه‌ها در سمت شرق منطقه پایلوت، نشان می‌دهد که خاک این مناطق بیشتر به صورت قلوه سنگی و شنی بوده و درصد کمتری از رس را شامل می‌گردد. بنابراین جنس خاک‌های منطقه در مرکز ناحیه مطالعاتی، بیشتر از نوع رسی بوده و با حرکت به طرف شرق و یا غرب، از میزان این نوع خاک کاسته می‌شود.

بر اساس شکل ۲، منطقه طرح از نظر دو ترکیب کل کربن آلی و نیترات دارای وضعیت تقریباً مشابهی بوده و میزان آلودگی آب چاه‌های مناطق ۱، ۲ و ۳ واقع در جنوب غربی منطقه لنجان سفلی (شکل ۱) نسبت به سایر مناطق مجاور بیشتر بوده است. بر پایه نتایج آزمایشات شیمیایی نیز بیشترین غلظت کل کربن آلی و نیترات مربوط به چاه‌های واقع در مناطق فوق الذکر می‌باشد. از طرفی همان گونه که در شکل ۷ نیز مشاهده می‌شود، ناحیه ای در حد فاصل چاه‌های واقع در مناطق مذکور که در مجاورت جاده مبارکه به اصفهان و روستاهای با تراکم بالای جمعیتی وجود دارد که دارای آسیب پذیری بالایی به آلاینده‌ها می‌باشد. طبق مطالعات میدانی نیز مشخص گردید که به دلیل عدم وجود شبکه جمع آوری و تصفیه مناسب فاضلاب در این نواحی مسکونی، احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی در این مناطق وجود دارد که می‌تواند ناشی از عدم بهسازی مناسب باشد. این مساله با تحقیقات مشابهی که در کشور عربستان سعودی انجام شده است، همخوانی دارد (۱۵).

همان گونه که در شکل‌های (۳) تا (۶) دیده می‌شود، ناحیه ای در مرکز منطقه پایلوت وجود دارد که از نظر شش ترکیب کل کربن آلی، نیترات، هدایت الکتریکی، سولفات، کلرور و سختی کل، دارای امتیاز بالایی بوده یا نسبت به آلاینده‌ها آسیب پذیر نمی‌باشد و به سمت شرق منطقه از این امتیاز کاسته شده و آب‌های منطقه آسیب پذیری بیشتری نسبت به ترکیبات مذکور دارد، یعنی دارای آلودگی بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد.

اطلاعات به دست آمده از تراز آب‌های زیرزمینی در منطقه نیز مشخص می‌کند که با حرکت از سمت رودخانه به طرف شرق منطقه، بر عمق آب‌های زیرزمینی و طول مسیر حرکت آب نیز افزوده می‌شود و مرکز منطقه با عمق متوسط سطح آب در مقایسه با مناطق مجاور، دارای آب‌های با حساسیت کمتری نسبت به آلاینده‌ها خواهد بود. بر طبق برخی متون علمی، بافت خاک و نفوذپذیری آن و نیز وجود مواد آلی در خاک نقش مهمی در حرکت و انتقال آلاینده‌هایی مانند آفت کش ها بازی می‌کند و خاک‌های دارای مقادیر بالای مواد آلی و ترکیبات رسی به طور موثری برخی آلاینده‌ها را قبل از رسیدن به آب‌های زیرزمینی متوقف می‌کنند (۱۶)، لذا این موضوع می‌تواند با شرایط منطقه مورد مطالعه در این تحقیق تا حدودی هم خوانی داشته و دلیل اصلی عدم تأثیر پذیری ناحیه مرکزی دشت لنجان سفلی به این آلاینده‌ها نیز به واسطه جنس خاک‌های منطقه باشد. از سوی دیگر برای ترکیباتی مانند سولفات، کلرور، سختی کل و هدایت الکتریکی، با توجه به محلول بودن این ترکیبات و ورود آن‌ها به آب‌های زیرزمینی از طرق مختلفی مانند بارندگی، عبور آب از لایه‌های مختلف خاک، تبخیر، تبادل یونی با خاک و انحلال ترکیبات آن‌ها و شرایط توپوگرافی، هر چه طول مسیر حرکت آب بیشتر گردد، انتظار می‌رود بر غلظت آن‌ها افزوده شود که نتایج این تحقیق که در شکل‌های ۲ و ۷ آمده است، نیز گویای این مطلب می‌باشد. این موضوع با نتایج برخی مطالعات مانند مطالعه براون و همکاران و هم چنین چن و همکاران هم خوانی دارد (۱۷ و ۱۸).

با اعمال شروط مختلف، وزن دهی و امتیاز بندی و نهایتاً همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی، یک لایه اطلاعاتی حاصل می‌شود که بخش‌های مختلف آن دارای امتیازات متفاوتی بین صفر تا ۱۰۰ بوده و به سه دسته مناطق آسیب پذیر، نواحی با آسیب پذیری متوسط و مناطق غیر آسیب پذیر طبقه بندی می‌گردند. نتایج این تحلیل نشان داد که روند انتقال آلاینده‌های شیمیایی مورد نظر در منابع آب‌های زیرزمینی به عواملی مانند ماهیت آلاینده، طول مسیر حرکت آب و جنس خاک بستگی داشته و می‌تواند به طور میانگین در تمام طول سال با مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی همسو باشد و در صورتی که حفر چاه در پایین دست منطقه (شمال شرقی منطقه مورد مطالعه)، لازم باشد، باید کشاورزان را از آلوده بودن آب‌های زیرزمینی این منطقه آگاه نمود.

پیشنهاد می‌گردد به منظور دستیابی به نتایج مطلوب، با استفاده از نرم افزار GIS که می‌تواند برای نظارت بر منابع آب به صورت مداوم مورد استفاده قرار گیرد و با استفاده از تصاویر ماهواره ای و کاربرد اطلاعات دیگری هم چون ضخامت آبخوان، جهت حرکت آب زیرزمینی، پوشش گیاهی، پارامترهای هیدرولیکی آبخوان مانند ضریب ذخیره و هدایت هیدرولیکی، میزان بارندگی و رواناب حاصله و حجم تغذیه مجدد آبخوان، می‌توان مطالعات دقیق تری را در زمینه تعیین مناطق آسیب پذیر به آلاینده‌های شیمیایی در مناطقی مانند آبخوان دشت نجف آباد که مستعد عملیات کشاورزی بوده و احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی در آن‌ها می‌رود، به انجام رساند.

سپاسگزاری

این طرح به شماره ۴۰۲۰۵۰۰۸ به صورت گرانت و همچنین در قالب طرح ارتباط دانشگاه با صنعت بوده و هزینه‌های آن به طور مشترک از طریق سازمان آب منطقه ای اصفهان (شرکت مدیریت منابع آب ایران) و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان تأمین گردیده است که بدین وسیله از زحمات مسوولین محترم این دو اداره تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Aslan, Türkman A. (2005), Combined biological removal of nitrate and pesticides using wheat straw as substrates. Process Biochemistry. 40(2):935-43.
2. Chowdary VM, Rao NH, Sarma PBS. (2005), Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. Agricultural Water Management. 75(3):194-225.
3. Worrall F, Besien T. (2005), The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly from observations of presence or absence in wells. Journal of Hydrology. 303(1-4):92-107.
4. Antonakos AK, Lambrakis NJ. (2007), Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. Journal of Hydrology. 333(2-4):288-304.
5. Dixon B. (2005), Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: a GIS-based sensitivity analysis. Journal of Hydrology. 309(1-4):17-38.
6. Shahnia AJ. (1386), The quality monitoring of groundwater resources in Sarayan aquifers through GIS. Water and Environment Journal. 67, (in Persian).
7. Narouyee A. (1386), The vulnerability of Zahedan aquifer to petrochemicals. Water and Environment Journal. 67, (in Persian).

8. Gheysari MM, Houdaji M, Najafi P, Abd elahi A. (2007), Assessment of nitrate pollution of groundwater in south-east of Isfahan region. Environmental Studies. 33(42):43-50, (in Persian).
9. Mahvi AH, Nouri J, Babaei AA, Nabizadeh R. (2005), Agricultural activities impact on groundwater nitrate pollution. Int J Environ Sci Tech. 2(1):41-7.
10. Takizawa S. (2008), Groundwater Management in Asian Cities: Technology and Policy for Sustainability: Springer.
11. Amin, MM., Ebrahimi, A., Hajian, M., Iranpanah, N., Bina, B. (2010), Spatial analysis of three agrichemicals in groundwater of Isfahan using GS^{+}. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. 7(1): 71-80.
12. APHA. (2005), Standard methods for the examination of water & wastewater. 21 edi. Washengton, D.C.
13. Sheikhi narani T, Hafezi Moghadas N. (2007), Susceptivity Zonation for wastes landfill by using GIS (study in Qom Province). 1 th Conference of Urban GIS; 26-27 August; Shomal University, Amol, Iran, (in Persian).
14. Qasim SR, Motley EM, Zhu G. (2000), Water works engineering: planning, design, and operation: Prentice Hall.
15. Alabdula'aly AI, Al-Rehaili AM, Al-Zarah AI, Khan MA. (2010), Assessment of nitrate concentration in groundwater in Saudi Arabia. Environ Monit Assess. 161(1-4):1-9.
16. Sahoo GB, Ray C, Wade HF. (2005), Pesticide prediction in ground water in North Carolina domestic wells using artificial neural networks. Ecological Modelling. 183(1):29-46.
17. Brown J, Wyers A, Aldous A, Bach L. (2007). Groundwater and Biodiversity Conservation: A methods guide for integrating groundwater needs of ecosystems and species into conservation plants in the Pacific Northwest: The Nature Conservancy.
18. Chen J, Tang C, Sakura Y, Kondoh A, Shen Y. (2002), Groundwater flow and geochemistry in the lower reaches of the Yellow River: a case study in Shandang Province, China. Hydrogeology Journal. 10(5):587-99.