Archive of SID

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

دوره دوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۵۳ تا ۶۶
Vol. 2, No. 3, Autumn 2017, pp. 53-66

مطالعه‌ی وضعیت ژئواستاتیکی غلظت نیترات با استفاده از GIS در آب‌های زیرزمینی دشت گل‌گیر مسجدسلیمان

فاطمه امیری[۱*]، مهسا اشرفی بیرگانی[۲]، امین احمدی[۳]

۱- استادیار، گروه نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان، مسجد سلیمان
۲- کارشناسی ارشد، کارشناس مسئول آبفا استان خوزستان و عضو شورای راهبردی آب و فاضلاب کشور
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، ماهشهر

(دریافت ۱۳۹۶/۰۴/۲۶، پذیرش ۱۳۹۶/۰۹/۱۹)

چکیده

منطقه مورد مطالعه در ۹۰ کیلومتری شمال‌شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب‌غربی مسجدسلیمان واقع شده است. آمارهای بلندمدت ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نشان می‌دهد که این منطقه با متوسط بارش سالانه ۴۶۴٫۸ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالانه ۲۵٫۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی سالانه ۲۹ درصد، طبق طبقه‌بندی دمارتن، منطقه دارای اقلیم نیمه خشک است. بیشتر بارندگی‌های منطقه در فصل زمستان رخ می‌دهد. سازندهایی که در این منطقه رخنمون دارند به ترتیب سن از قدیم به جدید به ترتیب شامل رسوبات عهد حاضر، سازند ماسه سنگی- مارنی آغاجاری، سازندهای آهکی- مارنی میشان، سازند گچساران، سازند آهکی آسماری است. چاه‌ها عمده‌ترین منابع تامین‌کننده آب منطقه‌اند. در این مقاله به منظور بررسی آبخوان دشت گل‌گیر، در محیط GIS مراحل آماده‌سازی نقشه‌های معیار، وزن‌دهی و تلفیق آن‌ها انجام شد، تهیه این نقشه‌ها با استفاده از بسته نرم افزاری Arc GIS 9.2 و مدلسازی فازی به وسیله نرم افزار MATLAB انجام شد. برای اجرای مدل هم‌پوشانی - شاخص نرم افزار Arc GIS انتخاب شد. برای تلفیق فازی، با توجه به توانمندی بالای نرم افزار MATLAB در کار با داده‌های رستری به صورت ماتریس و امکان برنامه‌نویسی ساده در آن و نیز از نرم افزار PCI Geomatica استفاده می‌شود. در نهایت هشت نقشه آسیب‌پذیری ذاتی به دست می‌آید که برای هر نقشه آسیب‌پذیری، همبستگی بین شاخص آسیب‌پذیری و غلظت نیترات محاسبه شده است. این همبستگی با ضریب همبستگی اسپیرمن تعیین می‌شود.

کلمات کلیدی

دشت گل‌گیر، ژئواستاتیکی، نیترات، محیط GIS.

[*] نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: f.amiri.2011@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

وجود تغییرات مکانی در پراکنش متغیرهایی که به نوعی با فضا و مکان در ارتباط هستند، امری کاملا طبیعی است و لازم است در تحلیل و پردازش اطلاعات حاصل از آن‌ها، بعد مکان مورد توجه ویژه قرار گیرد. از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی مولفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی نیست، از زمین آمار به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود[۱]. وجود منابع مهم آلاینده‌های انتشاری و نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان موجب کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود، بنابراین جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرزمینی ضروری است[۲]. فعالیتهای کشاورزی نیز با مصرف زیاد کودهای شیمیایی و حیوانی باعث ورود آلاینده‌های آلی و غیرآلی به داخل آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفی‌ت این آب‌ها می‌شوند. از آنجا که خواص فیزیکی و هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی و سطحی تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله سازندهای زمین‌شناسی و عوامل لیتولوژیکی نیز است، این عوامل گاه باعث تغییرات شدیدی در کیفیت آب در آبخوان‌ها می‌شوند. به عنوان مثال وجود سازندهای گچی یا نمکی در بیشتر موارد موجب تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی و دور شدن آن‌ها از وضعیت استاندارد می‌شوند، بنابراین به نظر می‌رسد تعیین وضعیت ژئواستاتیکی عناصر و مواد مختلف در آب‌های زیرزمینی در یک دشت از جوانب مختلف (به ویژه از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی) حایز اهمیت باشد. در این راستا مطالعات کیفی بر روی آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها انجام گرفته است. فراوان‌ترین و شاید شایع‌ترین آلاینده‌ای که منابع آب زیرزمینی را تهدید می‌کند نیترات است، غلظت بالای نیترات باعث کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌شود[۴،۳] . غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی معمولا بین ۰٫۱ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. حداکثر غلظت مجاز آن در آب شرب ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است ولی مقادیر آن تا بیش ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر در آب‌های زیرزمینی که تحت تاثیر کودهای نیتراته قرار گرفته‌اند متغیر است. خطر اولیه نیترات در آب‌های آشامیدنی زمانی اتفاق می‌افتد که در دستگاه گوارش نیترات تبدیل به نیتریت می‌شود. نیتریت باعث اکسید شدن آهن موجود در هموگلوبین گلبول‌های قرمز شده و نهایتا نمی‌تواند اکسیژن را با خود حمل کند به این حالت متهموگلوبینمیا گویند که به سندرم کودکان آبی شناخته می‌شود[۵]. یوسه و همکاران (۲۰۰۹) اثرات لیتولوژی را بر کیفیت آب‌های زیرزمینی و میزان ورود عناصر کمیاب موجود در سنگ‌های منطقه به آب‌های زیرزمینی را مورد مطالعه قرار دادند[۶] اما بررسی وضعیت ژئواستاتیکی نیترات در چاه‌های یک پهنه که در دو فصل خشک و تر برداشت شده نتایج بیشتری را با توجه به وارد کردن بعد موقعیت چاه‌ها در تجزیه و تحلیل در این پژوهش در اختیار می‌گذارد که هدف اصلی این مطالعه نیز پرداختن به این مساله است. چاه‌ها عمده‌ترین منابع تامین‌کننده آب منطقه‌اند. رسوبات موجود که آبخوان دشت را تشکیل می‌دهند، در شمال، غرب و جنوب دشت گل‌گیر، رخنمون‌های سازند گچساران و در شرق سازند آسماری‌اند. از آنجا که تاکنون تحقیق جامع و کاملی در مورد وضعیت ژئواستاتیکی آب‌ها در این دشت انجام نشده است بنابراین در این تحقیق به این موضوع پرداخته می‌شود. نجاتی جهرمی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی زمین آماری توزیع نیترات در آبخوان آبرفتی دشت عقیلی پرداختند. درون‌یابی بین داده‌های نیترات با استفاده از درون‌یاب‌های مختلف کریجینگ و همچنین با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان‌های مختلف انجام گرفت. بررسی نتایج تجزیه شیمیایی با روش‌های مختلف زمین‌آماری نشان داد که کریجینگ معمولی با مدل کروی بهترین روش درون‌یابی برای بررسی تغییرات مکانی نیترات محلول در آبخوان دشت عقیلی است[۷]. یاسر استواری و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی پراکنش نیترات آب زیرزمینی دشت لردگان و تحلیل مکانی تغییرات نیترات این سفره و چگونگی نوسانات غلظت و تغییرات پهنه‌بندی در طی یک فصل پرداختند. نتایج نشان داد غلظت نیترات در فصول گرم سال که شدت عملیات کشاورزی بیشتر است افزایش می‌یابد و احتمالا می‌تواند به دلیل مصرف زیاد کودهای شیمیایی و آبشویی نیترات خاک در اثر آبیاری مکرر باشد. بیشترین غلظت نیترات در چهار زمان نمونه‌برداری در قسمت شمال و شمال‌شرقی آبخوان (حوالی روستای خاردان) و کمترین مقدار نیترات در قسمت جنوب‌غربی آبخوان (حوالی روستای شش بهره) دیده شد. همچنین معیارهای R^2 و RMSE روش وزن‌دهی معکوس فاصله، روش مناسب‌تری نسبت به روش کریجینگ در تخمین مقدار نیترات آب زیرزمینی دشت لردگان در چهار نوبت نمونه‌برداری تشخیص داده شد[۸] . اصغر اصغری‌مقدم و همکاران (۱۳۹۴) برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بستان‌آباد در برابر عوامل آلاینده از دو روش وزن‌دهی DRASTIC و SINTACS در

www.SID.ir

Archive of SID

محیط نرم افزار GIS استفاده کردند. نتایج حاصل از مدل‌های DRASTIC و SINTACS نشان داد بخش اعظم محدوده آسیب‌پذیری عمدتا شامل بخش مرکزی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه است [۹] . رضا لاله‌زاری و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تغییرات ماهانه نیترات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد با سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های میانی دشت در مقایسه با شمال و جنوب، غلظت نیترات پایین‌تری دارد و تغییرات کمتری را در طول فصول مختلف سال می‌توان مشاهده کرد. این پژوهش همچنین حلالیت بالای نیترات و در ادامه شسته شدن آن در اثر آبیاری و نیز نقش فعالیت‌های کشاورزی در سالم نبودن آب را نشان می‌دهد [۱۰]. احمد بدیعی‌نژاد و همکارن (۱۳۹۱) به بررسی عوامل موثر بر غلظت نیترات منابع آب شرب زیرزمینی شیراز با استفاده از نرم افزار Arcview GIS 9.3 پرداخته‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش عمق چاه، غلظت نیترات کاهش می‌یابد. نقشه‌های به دست آمده نشان دادند، غلظت نیترات از غرب دشت شیراز به شرق در حال افزایش است و مهمترین منبع آلودگی چاه‌های شرب شهر شیراز، فاضلاب شهری و خانگی است. حرکت آب از آبخوان رسوبی به آبخوان آهکی از عوامل موثر بر آلودگی چاه‌های این منطقه است[۱۱]. این تحقیق با هدف بررسی وضعیت ژئواستاتیکی آب‌ها از نظر پراکنش میزان نیترات در تمام دشت گل‌گیر انجام شد.

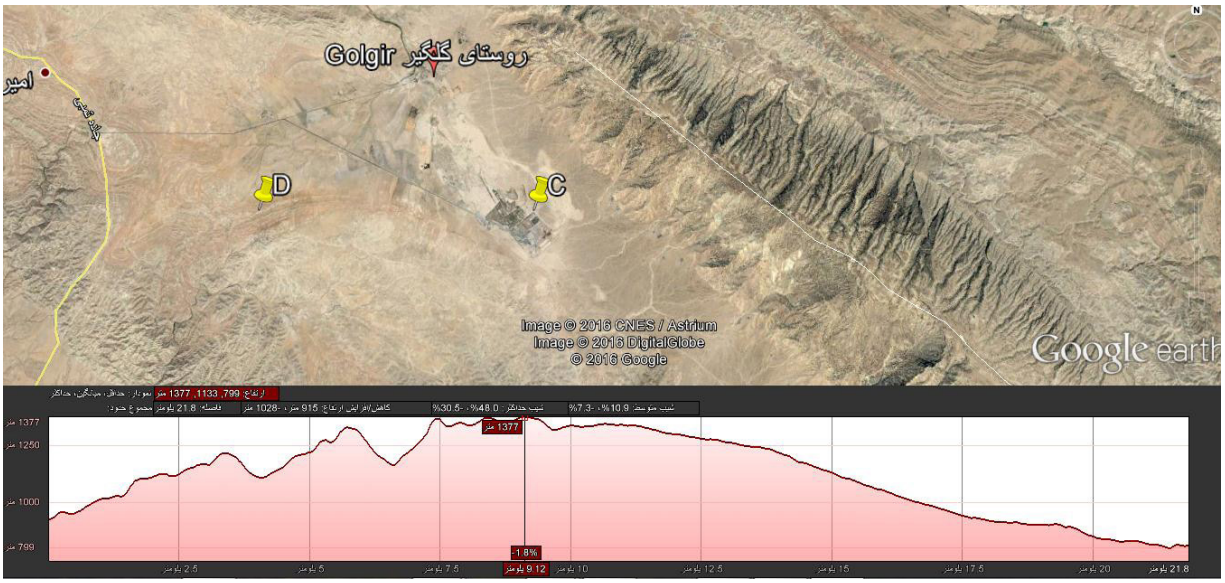
۲- منطقه مورد مطالعه

دشت گل‌گیر در حد فاصل طول جغرافیایی "۳۰ '۲۷ °۴۹ تا "۱۹ '۳۱ °۴۹ و عرض جغرافیایی "۰۵ '۴۴ °۳۱ تا "۰۱ '۴۷ °۳۱ با مساحت حدود ۱۶۰۰ هکتار در ۹۰ کیلومتری شمال شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب‌شرق مسجدسلیمان در شمال‌غرب تاقدیس آسماری و حوضه کارون میانی واقع شده است (شکل۱). ارتفاعات مهم منطقه مورد مطالعه شامل کوه آسماری، کوه گچ لادرازی، کوه مرده فل، کوه گچ پولکی و کوه گچ جارو است. مرتفع‌ترین نقطه در منطقه مورد مطالعه، در کوه آسماری با ارتفاع ۱۳۸۰٫۱ از سطح دریا و پست‌ترین نقطه در محل خروجی رودخانه آب لشکر با ارتفاع ۲۴۶٫۳ است (شکل۲). دشت گل‌گیر و مخروط افکنه‌های تاقدیس آسماری با مساحت حدود ۵۶ کیلومتر مربع، بزرگترین دشت و آبخوان آبرفتی در منطقه محسوب می‌شود. متوسط رواناب سالانه برابر ۵٫۸۹ میلیون مترمکعب در سال و حجم نفوذ آب به سیستم آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت، حدود ۹٫۸۷ میلیون مترمکعب در سال است. رودخانه‌های سطحی موجود در منطقه عبارت‌اند از: رودخانه شور تمبی، آب گل‌گیر، رودخانه آب لشگر، رودخانه شور باریک، رودخانه فصلی بید زرد و رودخانه فصلی دره کوه لا.

شکل 1: موقعیت محدوده مطالعاتی دشت گل‌گیر در نقشه ایران (مربع قرمز رنگ)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲: پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقطه منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای

۳- روش تحقیق

برای بررسی آبخوان دشت گل‌گیر، در محیط GIS مراحل آماده‌سازی نقشه‌های معیار، وزن‌دهی و تلفیق آن‌ها انجام شد. تهیه این نقشه‌ها با استفاده از بسته نرم افزاری Arc GIS 9.2 و مدلسازی فازی به وسیله نرم افزار MATLAB انجام شد. داده‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه‌ها و تحلیل‌های مورد نیاز با فرمت‌های گوناگون و از منابع مختلف جمع‌آوری شده‌اند. برای ساخت پایگاه اطلاعاتی، داده‌های با فرمت نقطه‌ای در محیط نرم افزار Excel وارد شده، سپس به محیط GIS فراخوانده شدند. این داده‌های نقطه‌ای شامل موقعیت جغرافیایی و ارتفاع پیزومترها، موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و ضریب ذخیره‌اند. تمام داده‌ها به یک سیستم تصویر (UTM) و یک سیستم مرجع (WGS84) در آمدند. نرم افزارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل Arc GIS 10.2، Arc View 3.3، MATLAB 7.6.0، PCI Geomatica 9.1، Surfer 8 و Micro Station - j است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تهیه نقشه‌های معیار

در این پژوهش، بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده اقدام به تهیه نقشه‌های معیار بر پایه توابع GIS شده است. یک نقشه معیار نشان دهنده میزان وابستگی یک ویژگی نسبت به هدف مورد نظر است. تهیه این نقشه‌ها شامل داده‌های جغرافیایی ورودی (کسب اطلاعات، تغییر فرمت، زمین مرجع کردن، منظم کردن و ثبت داده‌های مربوطه)، ذخیره‌سازی (ویژگی‌ها یا داده‌های فضایی)، پردازش و تجزیه و تحلیل خروجی است. به عبارت دیگر، نقشه‌های معیار می‌توانند به عنوان خروجی پردازش داده‌ها بر پایه GIS محسوب شوند [۱۲].

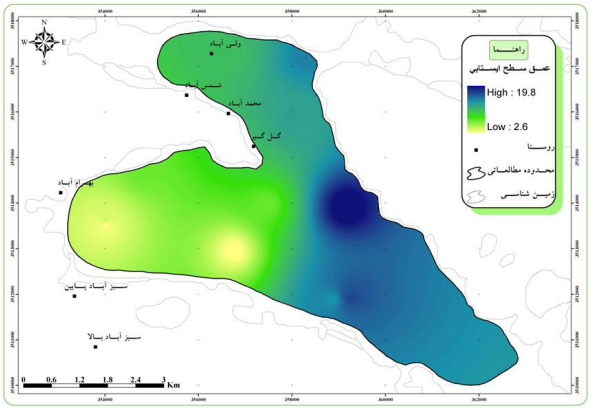
۴-۲- نقشه عمق سطح ایستابی

فاصله بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی، عمق برخورد را مشخص می‌کند و به عبارتی تعیین‌کننده ضخامت بخش غیراشباع است. با نوسان سطح آب، ضخامت بخش غیراشباع نیز تغییر می‌کند. هر چه عمق سطح ایستابی بیشتر باشد، زمان بیشتری طول می‌کشد تا این مواد به آبخوان برسند و امکان پخش شدن، رقیق شدن و جذب مواد آلاینده در خاک وجود خواهد داشت. دامنه نرخ‌بندی این پارامتر، بین صفر تا بزرگ‌تر از ۳۰ متر تعیین شده است. میزان نرخ بیشتر در این پارامتر نشان دهنده آن است که عمق سطح ایستابی به سطح زمین نزدیک‌تر و آبخوان نسبت به آلودگی آسیب پذیرتر است. برای تهیه این لایه، از داده‌های سطح آب در پیزومترهای دشت که توسط سازمان آب منطقه‌ای خوزستان اندازه‌گیری شده‌اند، استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا جدولی از اطلاعات

www.SID.ir

Archive of SID

سطح آب شامل نام پیزومترها، موقعیت پیزومترها بر حسب UTM و عمق سطح آب در دوره آماری ۸۷-۸۶ در محیط Excel تهیه شد، سپس این اطلاعات به فرمت قابل قبول برای نرم افزار Arc GIS (*.xls) تبدیل شد. پس از بررسی انواع روش‌های درون‌یابی، روش IDW به عنوان روش مناسب برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای یاد شده به سطح انتخاب شد. بدین ترتیب لایه رستری عمق سطح ایستابی برای تلفیق با لایه‌های دیگر، تهیه شد (شکل۳).



شکل۳: نقشه عمق سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه بر حسب متر

۴-۳- نقشه تغذیه خالص

تغذیه آب زیرزمینی موجب می‌شود تا مواد آلاینده به صورت عمودی انتقال یافته، به سطح ایستابی رسیده و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. از آنجا که عمده‌ترین منبع تغذیه، ریزش‌های جوی است، برای ترسیم نقشه تغذیه خالص و مشخص کردن مکانی تغذیه خالص، از پهنه‌بندی تغییرات حجم ذخیره آب زیرزمینی در آبخوان استفاده شده است. برای بررسی حجم ذخیره آب زیرزمینی دشت گل‌گیر، روش هم‌پوشانی نقشه تغییرات تراز سطح ایستابی و نقشه توزیع قابلیت ذخیره[1] آبخوان مورد استفاده قرار گرفته است. این روش بر درون‌یابی تراز آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای سال آبی استوار است. قابلیت ذخیره آبخوان در این روش به صورت عدد میانگین اعمال نمی‌شود و توزیع قابلیت ذخیره به صورت نقشه هم میزان در محاسبات منظور می‌شود. از مزیت‌های عمده این روش می‌توان به دقت بسیار زیاد در تعیین تغییرات حجم آب زیرزمینی، صرفه‌جویی در زمان و سادگی عمل اشاره کرد. در روش نوسانات تراز آب زیرزمینی از ضرب مقدار بالا آمدگی سطح ایستابی در آبدهی ویژه، برآورد مستقیم از تغذیه حاصل می‌شود [۱۳]. این روش بر این فرض استوار است که بالا آمدگی در تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های غیرمحبوس، از تغذیه رسیده به آبخوان ناشی می‌شود. حجم بالا آمدگی آب زیرزمینی حاصل از این روش، متناسب با میزان تغذیه از طریق تغذیه از سطح خاک است. بدین منظور ابتدا نقشه هم تراز سطح ایستابی برای فصول خشک و تر با استفاده از روش درون‌یابی IDW تهیه شد. برای تهیه لایه رستری قابلیت ذخیره از داده‌های حاصل از نتایج مدل جریان آب زیرزمینی دشت (سازمان آب و برق خوزستان) استفاده شد. سپس میزان تغذیه با توجه به رابطه۱ از حاصل ضرب نقشه حاصل از تفریق حداقل تراز از حداکثر تراز در نقشه قابلیت ذخیره محاسبه می‌شود [۱۴].

$$R = S_y\, dh/dt = S_y \Delta h/\Delta t \qquad (۱)$$

که در آن:

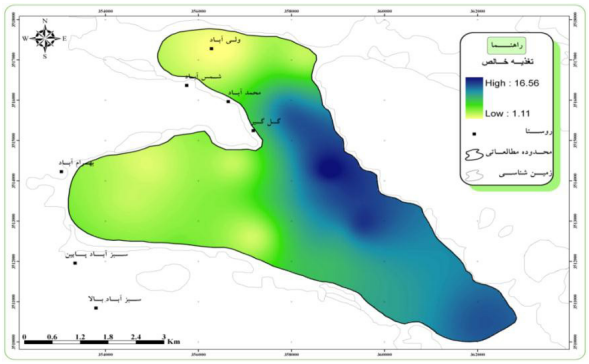
R نرخ تغذیه

S_y آبدهی ویژه

h ارتفاع تراز آب

t زمان

محاسبات فوق با استفاده از تابع آنالیز مکانی Raster calculator در محیط نرم افزار Arc GIS انجام می‌گیرد (شکل۴).



شکل۴: نقشه تغذیه خالص منطقه مورد مطالعه

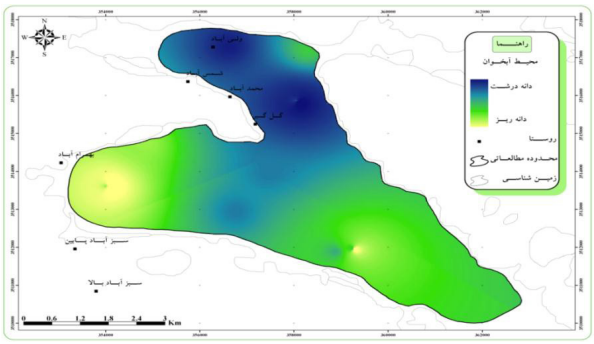
۴-۴- نقشه محیط آبخوان

لایه محیط آبخوان یک لایه توصیفی و وابسته به جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان است. محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن، چگونگی روند سیر در سیستم جریان آب زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

در آبخوان را مشخص می کند. برای تهیه لایه محیط آبخوان دشت گل‌گیر از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی استفاده شده است. بدین ترتیب که ابتدا جدولی شامل اطلاعات نام چاه، موقعیت آن‌ها بر حسب UTM و جنس لاگ چاه‌ها ایجاد شد و سپس برای هر یک از نقاط (پیزومترها) بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر کدام از چاه‌ها (از سطح ایستابی تا سنگ کف)، یک ارزش عددی بین ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد، سپس با توجه به ارزش عددی داده شده به هر نقطه، عمل درون‌یابی به روش IDW انجام گرفت و لایه رستری محیط آبخوان برای تلفیق با دیگر لایه‌ها تهیه شد (شکل۵).



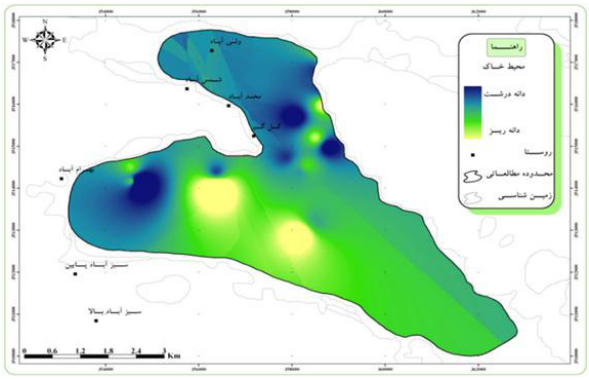
شکل۵: نقشه محیط آبخوان منطقه مورد مطالعه

۴-۵- نقشه محیط خاک

این بخش شامل قسمت بالایی منطقه غیراشباع است که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد و بافت خاک به عنوان عامل تاثیرگذار بر پتانسیل آلودگی استفاده می‌شود. نقشه خاک منطقه با توجه به گزارش مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی اراضی منطقه گل‌گیر مسجدسلیمان، طرح تامین و انتقال آب و شبکه آبیاری تحت فشار (شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور، مدیریت مطالعات کرخه، ۱۳۸۸) تهیه شده است. بدین ترتیب که پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری شده و شناسایی تیپ‌های مختلف خاک در منطقه مورد نظر، لایه خاک منطقه استخراج و به صورت یک لایه رستری ذخیره شد (شکل۶).

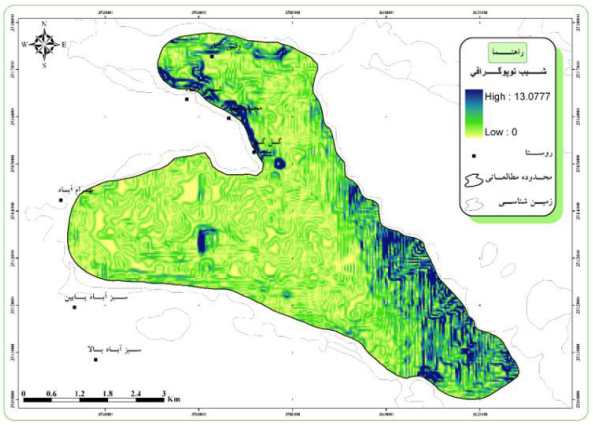
۴-۶- نقشه توپوگرافی

برای تهیه نقشه شیب از فایل‌های ارتفاعی رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شده است. این فایل‌ها شامل خطوط میزان، نقاط ارتفاعی و آبراهه‌ها است. با



شکل۶: نقشه محیط خاک منطقه مورد مطالعه

استفاده از این عوامل مدل ارتفاعی رقومی(DEM) منطقه تهیه شد. پس از ویرایش DEM به دست آمده در محیط Arc GIS، در قسمت Spatial Analyst و با استفاده از تابع Surface Analysis نقشه شیب منطقه به دست آمد (شکل۷).



شکل۷: نقشه شیب توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

۴-۷- تاثیر منطقه غیراشباع

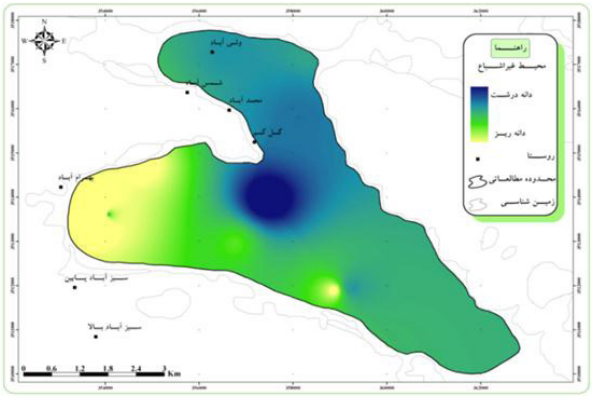
برای تهیه این لایه از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی استفاده و روشی مشابه با لایه محیط آبخوان به‌کار برده شده است. با این تفاوت که ضخامت و جنس لایه‌های بالایی سطح ایستابی در لاگ چاه‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. با نرخ‌بندی نقطه‌ای چاه‌ها و درون‌یابی به روش IDW لایه رستری منطقه غیراشباع تهیه شد (شکل۸).

۴-۸- نقشه هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی به جنس خاک، منطقه میانی و آبخوان بستگی دارد. این پارامتر بیان‌کننده قابلیت هدایت آب و

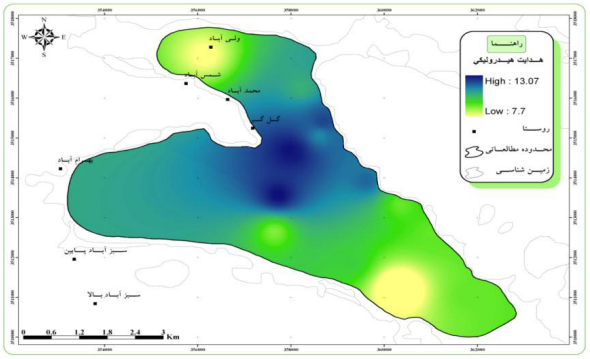
www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸: نقشه محیط غیراشباع منطقه مورد مطالعه

آلاینده‌های محلول در آن است. هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، میزان میرایی آلودگی کاهش می‌یابد. برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی، نقشه‌های هم قابلیت انتقال و هم ضخامت آبخوان مورد نیاز است. با تقسیم کردن لایه هم قابلیت انتقال بر ضخامت آبرفت، هدایت هیدرولیکی به دست می‌آید (شکل۹).



شکل۹: نقشه هدایت هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه

۴-۹- هم مقیاس سازی نقشه‌های معیار و تلفیق آن‌ها

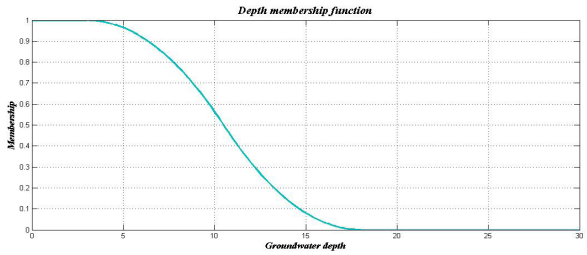
با توجه به عدم قطعیت و تدریجی بودن تغییرات بین طبقات، از روش فازی برای هم مقیاس‌سازی نقشه‌های معیار استفاده می‌شود. در این روش با توجه به دانش کارشناسی و استفاده از انواع توابع فازی، نسبت به هم مقیاس‌سازی فازی اقدام شده است. برای این کار در ابتدا نقشه‌های معیار تهیه شده در محیط نرم افزاری Arc GIS به فرمت قابل قبول نرم‌افزار MATLAB 7.6.0، (*.txt) تبدیل شدند. انتخاب نوع تابع عضویت با توجه به شناخت مساله حاکم و تاثیر لایه‌های مورد نظر فازی بر روی تغییرات شاخص حاصل از تلفیق لایه‌ها انجام می‌گیرد. توابع عضویت مختلفی برای فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مختلف وجود دارد. یک تابع عضویت باید توانایی تبدیل داده‌های مورد نظر به بازه [0,1] را داشته باشد. همان‌گونه که بیان شد، توابع عضویت مختلفی از جمله، توابع خطی، مثلثی، ذوزنقه‌ای، گوسی و نظایر آن وجود دارد که انتخاب نوع و شکل آن‌ها به دانش فردی نسبت به متغیر مورد مطالعه بستگی دارد. به طور کلی تابع مورد نظر باید بتواند نظر کارشناس را مدل کند و شکل آن اهمیت چندانی ندارد [۱۵].

لایه‌های مورد نظر در این تحقیق شامل، عمق سطح ایستابی(D)، تغذیه خالص(R) ، محیط آبخوان(A)، محیط خاک(S)، شیب توپوگرافی(T)، محیط غیراشباع(I) و هدایت هیدرولیکی(C) است که با تلفیق این هفت پارامتر میزان آسیب‌پذیری منطقه به دست می‌آید. در منطقه مورد مطالعه، فعالیت عمده کشاورزی و به دلیل مصرف کودهای نیتروژنه، آلاینده اصلی نیترات است. سازوکارهای اصلی موثر بر انتقال مواد محلول در آب‌های زیرزمینی شامل همرفتی، انتشار، تجزیه، جذب، هیدرولیز، پخشیدگی و تبدیلات بیولوژیکی است. فرآیند همرفتی انتقال جرم ناشی از جریان آب، محتوی ماده محلول است که نرخ انتقال آن مطابق با آب‌های زیرزمینی است به طوری که انتقال آلاینده با سرعتی مشابه با سرعت خطی میانگین آب زیرزمینی انجام می‌گیرد. اختلاط ناشی از تغییرات موضعی در سرعت جریان حول سرعت میانگین خطی پخشیدگی مکانیکی است که تابعی از سرعت خطی میانگین است و آن را با ضریب پخشیدگی مکانیکی بیان می‌کنند. فرآیند انتشار یک پدیده فیزیکی در ارتباط با آشفتگی مولکولی است و به حرکت کلی محلول بستگی ندارد. نیروی رانش در پدیده انتشار، حرکت تصادفی متشکله‌های یونی و مولکولی تحت تاثیر فعالیت جنبشی ذرات در جهت گرادیان غلظت است که حرکت براونی نامیده می‌شود. اگر انتقال آلودگی از طریق پدیده انتشار انجام شود با گذشت زمان منبع آلاینده در اطراف پخش می‌شود. فاصله‌ای که آلاینده تا رسیدن به سطح ایستابی طی می‌کند را اصطلاحا عمق تا سطح ایستابی می‌گویند. این فاصله معادل ضخامت بخش غیراشباع آبخوان است. هر چه عمق آب زیرزمینی بیشتر باشد، زمان حرکت و ماندگاری آلودگی فروشویی شونده از سطح بیشتر شده و امکان پخش شدن، رقیق شدن و جذب مواد آلاینده در منطقه بالای سطح ایستابی وجود خواهد داشت. با توجه به ماهیت

www.SID.ir

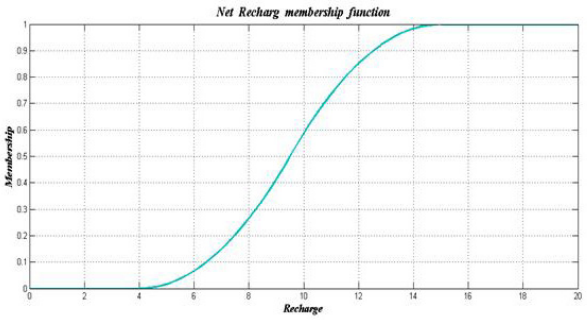
Archive of SID

فرآیندهای موثر بر انتقال نیترات و تاثیر عمق آب زیرزمینی بر این فرآیندها می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات عمق آب زیرزمینی تقریبا به طور خطی موجب تغییرات آلودگی آبخوان می‌شود. بر این اساس از تابع عضویت Z شکل برای فازی کردن پارامتر عمق آب زیرزمینی استفاده می‌شود. به این ترتیب که درجه عضویت اعماق کمتر از ۳ متر، یک و بیشتر از ۱۸ متر، صفر در نظر گرفته می‌شود. برای اعماق بین این دو مقدار، تابع به صورت Z شکل تغییر می‌کند (شکل۱۰).



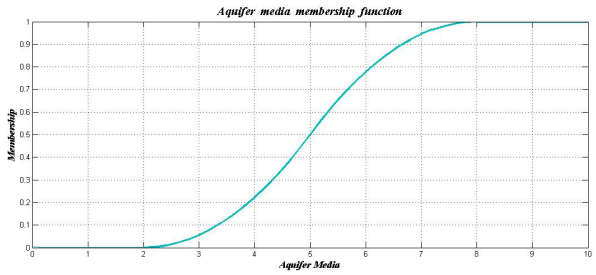
شکل۱۰: تابع عضویت فازی عمق آب زیرزمینی

مقدار آب ورودی از سطح زمین که موجب انتقال آلودگی به آبخوان می‌شود، تغذیه خالص نامیده می‌شود. معمولا هر چه تغذیه بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی به علت احتمال بیشتر انتقال آلاینده، افزایش می‌یابد. این پدیده موجب می‌شود تا مواد آلاینده از سطح زمین به صورت عمودی انتقال یافته به سطح ایستابی رسیده و سپس به طور افقی در آبخوان حرکت کنند. بدین منظور از تابع عضویت S شکل برای فازی‌سازی لایه تغذیه استفاده شده است. درجه عضویت مقادیر کمتر از ۴ سانتی‌متر در سال، صفر و برای مقادیر بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر در سال، یک در نظر گرفته می‌شود. مقادیر بین این دو مقدار، درجه عضویت S شکل دارند (شکل۱۱).



شکل۱۱: تابع عضویت فازی تغذیه خالص

محیط آبخوان جنس رسوبات تجمع یافته در قسمت اشباع آبخوان است. این محیط و مواد تشکیل دهنده آن، طول و چگونگی روند سیر در سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. در مواد بسیار نفوذپذیر از قبیل ماسه و گراول، همرفتی مهمترین فرآیند انتقال است و پیش‌بینی انتقال فقط با توصیف سیستم جریان انجام می‌گیرد. محیط آبخوان با تابع عضویت S شکل فازی شده است. به این ترتیب که درجه عضویت نرخ‌های کمتر از ۲، صفر و برای نرخ‌های بیشتر از ۸، یک در نظر گرفته می‌شود. میزان درجه عضویت مقادیر بین ۲ و ۸ به صورت S شکل تغییر می‌کند و هر چه به سمت ۸ نزدیک‌تر می شود، درجه عضویت آن نیز به یک نزدیک‌تر شده و بالعکس (شکل۱۲).

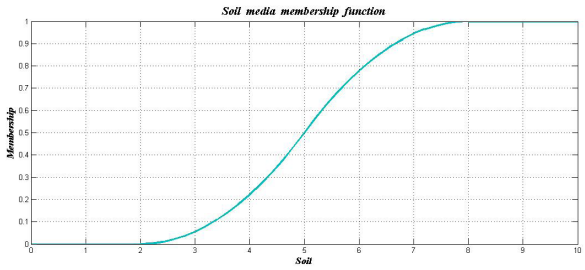


شکل۱۲: تابع عضویت فازی محیط آبخوان

محیط خاک تاثیر مهمی در چگونگی تغذیه و حرکت آلاینده دارد. وجود مواد با بافت ریز مانند سیلت و رس تراوایی خاک را کاهش می‌دهند و برعکس مواد دانه درشت‌تر مانند شن، نفوذپذیری خاک و در نتیجه قابلیت انتقال آلاینده به سیستم آب زیرزمینی را افزایش می‌دهند. این محیط، بالاترین بخش غیراشباع است که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد. نیترات قابلیت انحلال و تحرک زیادی دارد که این امر، جذب نیترات به وسیله گیاهان را تسهیل می‌بخشد و آن را برای فروشویی از خاک به وسیله آب‌های نفوذی مستعد می‌سازد. بر این اساس هر چه نفوذپذیری خاک بیشتر باشد به همان نسبت فروشویی نیترات بیشتر می‌شود. فازی‌سازی محیط خاک با استفاده از تابع عضویت S شکل انجام می‌گیرد. همانند محیط آبخوان برای مقادیر کمتر از ۲، درجه عضویت صفر و مقادیر بیشتر از ۸، درجه عضویت یک در نظر گرفته می‌شود. فازی‌سازی مقادیر بین ۲ تا ۸ به صورت S شکل است (شکل۱۳).

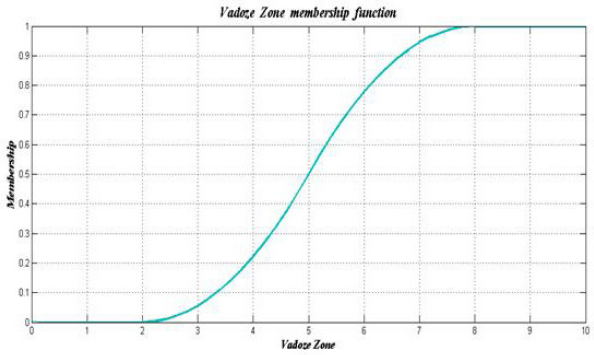
www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۳: تابع عضویت فازی محیط خاک

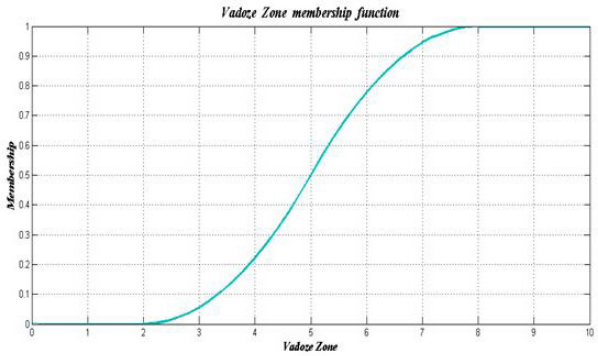
افزایش تغییرات شیب موجب کاهش نرخ ماندگاری آب بر روی سطح زمین شده و به تبع آن کاهش نفوذ را به همراه دارد و عکس Z شکل فازی این قاعده نیز موجب افزایش نفوذ می‌شود و پتانسیل آلودگی بیشتری را ایجاد می‌کند. با توجه به تاثیر شیب توپوگرافی بر انتقال آلاینده‌ها، از تابع عضویت Z شکل برای فازی کردن این پارامتر استفاده شده است. به طوری که برای شیب‌های کمتر از ۲ درصد، درجه عضویت یک و برای شیب‌های بیشتر از ۱۰ درصد، درجه عضویت صفر در نظر گرفته می‌شود. شیب‌های بین ۲ و ۱۰ درصد، درجه عضویت Z شکل دارند (شکل۱۴).



شکل۱۴: تابع عضویت فازی شیب توپوگرافی

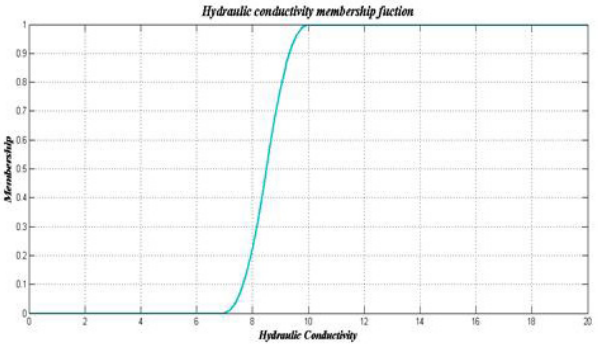
محیط غیراشباع، رسوبات موجود از سطح ایستابی تا زون خاک را شامل می‌شود که غیراشباع بوده و یا به طور ناپیوسته اشباع است. این محیط تاثیر زیادی بر آلاینده‌ها دارد. چون آلاینده‌ها در این منطقه تا قبل از رسیدن به سطح ایستابی، فرصت جذب یا رقیق‌شدگی پیدا می‌کنند. با توجه به پیچیدگی‌های جریان و انتقال آلودگی در این محیط عملا نمی‌توان اثر این محیط بر روی پتانسیل آلودگی را به درستی تعیین کرد. با تفهیمی نمودن محیط غیراشباع در طبقات، نرخ مختلف این پارامتر با استفاده از تابع S شکل فازی شده است.

به نحوی که، به نرخ ۸ و بیشتر، درجه عضویت یک و نرخ ۲ و کمتر از آن درجه عضویت صفر تعلق می‌گیرد (شکل۱۵).



شکل۱۵: تابع عضویت فازی محیط غیر اشباع

حرکت و انتشار آلودگی در آبخوان با پارامتر هدایت هیدرولیکی کنترل می‌شود. این پارامتر بیانگر قابلیت هدایت آب و آلاینده‌های محلول در آن است. هرچه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد، میزان زوال آلاینده کاهش می‌یابد. هدایت هیدرولیکی به طور مستقیم بر سرعت جریان آب زیرزمینی و در نتیجه انتقال همرفتی نیترات در آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارد، بنابراین از تابع عضویت S شکل برای فازی‌سازی این لایه استفاده شده است. با توجه به مقادیر هدایت هیدرولیکی منطقه، درجه عضویت مقادیر کمتر از ۷ متر بر روز، صفر و بیشتر از ۱۰ متر بر روز، یک در نظر گرفته می‌شود (شکل۱۶).



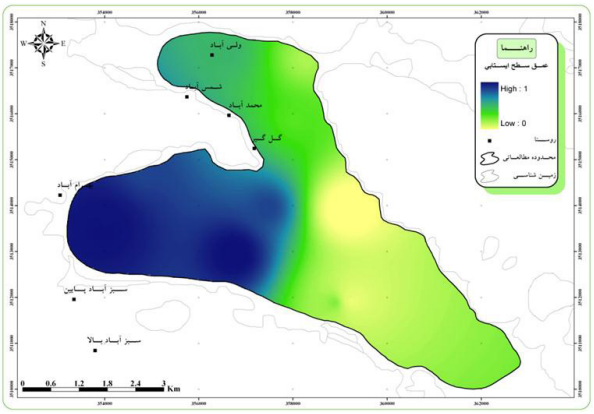
شکل۱۶: تابع عضویت فازی هدایت هیدرولیکی

بر این اساس لایه‌های مختلف با اعمال توابع عضویت S شکل و Z شکل به صورت فازی تعریف می‌شوند. اشکال ۱۷ تا ۲۳ نقشه‌های هم مقیاس شده فازی را نشان می‌دهند. در هر

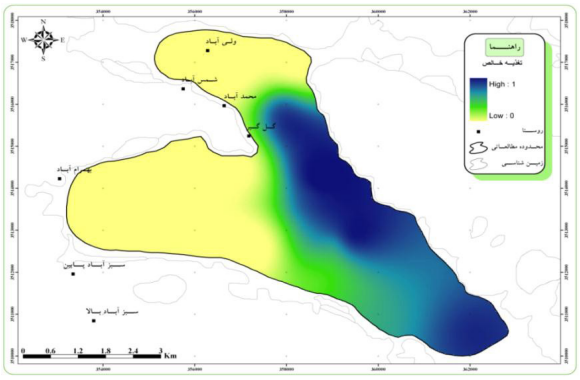
www.SID.ir

Archive of SID

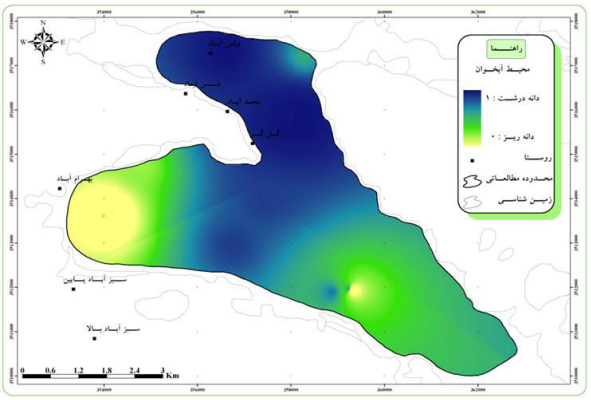
نقشه به هر پیکسل درجه عضویتی بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود. درجه عضویت یک بیشترین تاثیر و درجه صفر نشان دهنده کمترین تاثیر بر پتانسیل آلودگی است.



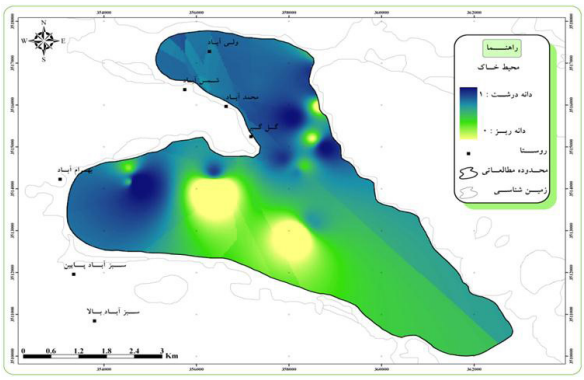
شکل۱۷: نقشه عمق سطح ایستابی فازی شده منطقه مورد مطالعه



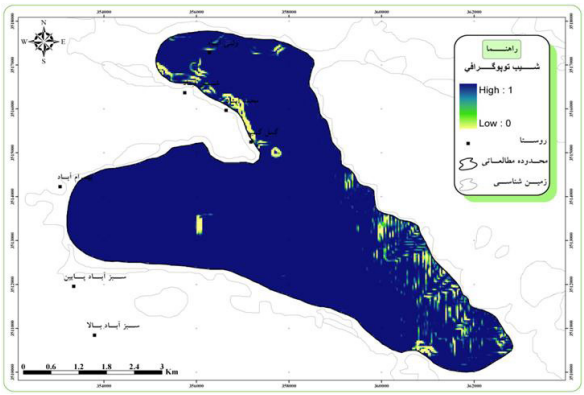
شکل۱۸: نقشه تغذیه خالص فازی شده منطقه مورد مطالعه



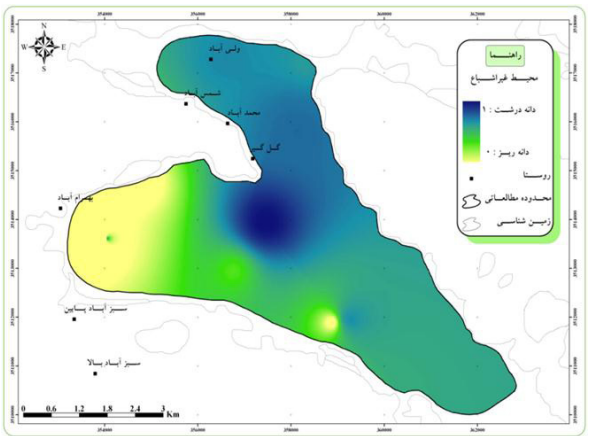
شکل۱۹: نقشه محیط آبخوان فازی شده منطقه مورد مطالعه



شکل۲۰: نقشه محیط خاک فازی شده منطقه مورد مطالعه



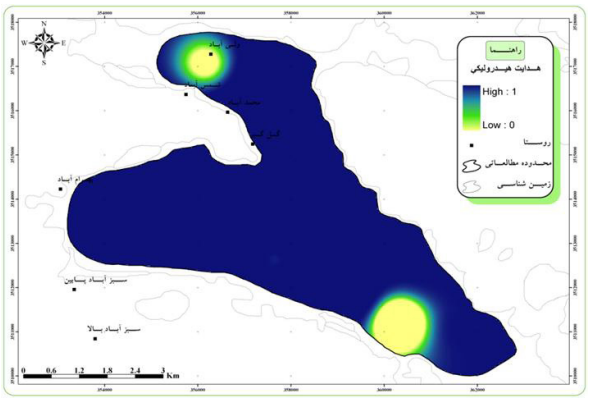
شکل۲۱: نقشه شیب توپوگرافی فازی شده منطقه مورد مطالعه



شکل ۲۲: نقشه محیط غیراشباع فازی شده منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲۳: نقشه هدایت هیدرولیکی فازی شده منطقه مورد مطالعه

۴-۱۰- نتایج حاصل از روش AHP برای تعیین وزن‌های بهینه

برای کاهش خطای تصمیم‌گیری از چندین نظر کارشناسی برای وزن‌دهی به روش AHP استفاده شده است. برای تعیین وزن نسبی هر پارامتر، وزن‌های پیشنهادی به صورت دودویی با یکدیگر مقایسه و در جدولی قرار گرفته‌اند که همان مقایسه زوجی است (جدول‌های ۱ و ۳).

پس از این مرحله از ماتریس مقایسه زوجی، وزن‌های نسبی به دست می‌آیند (جدول ۲).

برای جلوگیری از تصادفی بودن قضاوت‌های کارشناسی، به میزان سازگاری نیز توجه شده است. در صورتی که مقدار این شاخص بیشتر از ۰/۱ باشد، ماتریس نسبت‌ها باید دوباره ارزش‌دهی شود.

۴-۱۱- نتایج حاصل از تلفیق فازی با استفاده از عملگر جمع جبری

در بخش تلفیق لایه‌ها با عملگر جمع جبری فازی از وزن‌های بهینه حاصل از روش AHP استفاده شده است. در نهایت با محاسبه همبستگی بین غلظت نیترات و شاخص آسیب‌پذیری به دست آمده، بهترین مدل انتخاب شد. مناطق با آسیب‌پذیری بالا بر مناطق با تغذیه بالا، خاک دانه درشت و

جدول۱: وزن‌های اصلی و تصحیح شده بر اساس ضریب همبستگی بین پارامترهای مدل و غلظت نیترات

پارامتر	وزن اولیه	ضریب همبستگی اسپیرمن	وزن تصحیح شده
عمق تا سطح ایستابی	۵	۰/۲۲۴	۳
تغذیه خالص	۴	۰/۵۱۴	۵
محیط آبخوان	۳	۰/۳۱۴	۳/۵
محیط خاک	۲	۰/۲۷۴	۳
شیب توپوگرافی	۱	۰/۲۰۸	۱
محیط غیر اشباع	۵	۰/۲۷۹	۳/۵
هدایت هیدرولیکی	۳	۰/۳۸۸	۴

جدول ۲: درجه اهمیت نسبی عوامل در روش دوتایی

درجه اهمیت	تعریف
۹	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر ۱۰۰درصد اهمیت دارد.
۷	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر بسیار مهم است.
۵	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر مهم است.
۳	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر تا اندازه ای مهم است.
۱	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر با متغیر ستون از نظر اهمیت مساوی است.
۱/۳	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر تا اندازه ای کم اهمیت است.
۱/۵	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر کم اهمیت است.
۱/۷	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر کم اهمیت است.
۱/۹	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر ۱۰۰درصد بی اهمیت دارد.

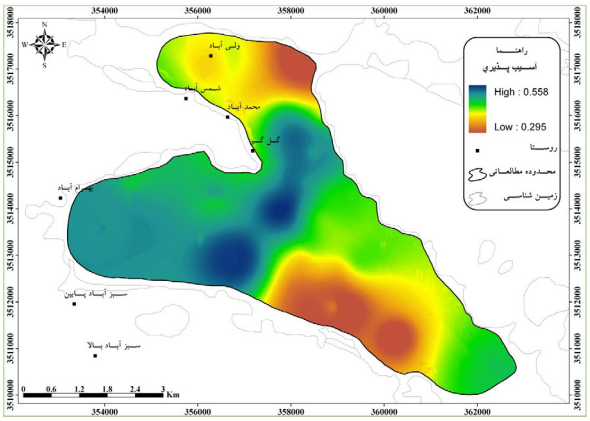
www.SID.ir

Archive of SID

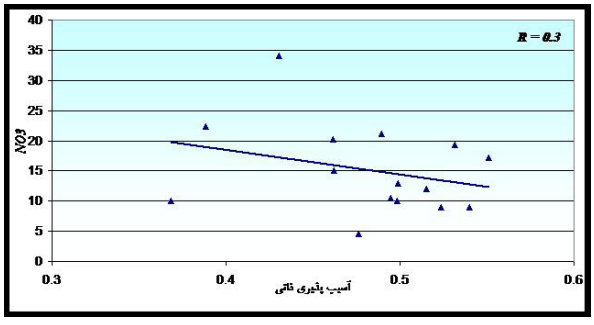
جدول۳: وزن پارامترهای حاصل از روش AHP

پارامتر	وزن ۱	وزن ۲	وزن ۳
عمق تا سطح ایستابی	۰/۳۷۴	۰/۳۹۹	۰/۴۴۹
تغذیه خالص	۰/۲۴۴	۰/۱۳۴	۰/۲۵۹
محیط آبخوان	۰/۱۴۹	۰/۰۹۵	۰/۱۱۴
محیط خاک	۰/۰۶۶	۰/۰۳۸	۰/۰۲۹
شیب توپوگرافی	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴	۰/۰۲۲
محیط غیر اشباع	۰/۰۳۸	۰/۲۴۸	۰/۰۸۱
هدایت هیدرولیکی	۰/۱۰۳	۰/۰۶۲	۰/۴۴۹

محیط آبخوان و غیراشباع دانه درشت‌تر منطبق‌اند (شکل۲۴). نمودار ۱ میزان همبستگی بین شاخص آسیب‌پذیری حاصل از این روش را با غلظت نیترات نشان می‌دهد.



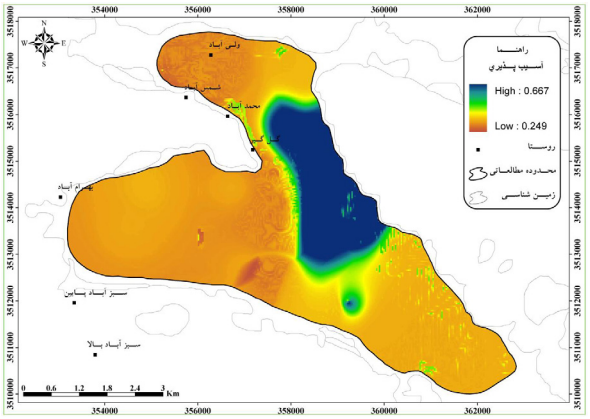
شکل ۲۴: نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت گل‌گیر بر اساس تلفیق جمع جبری فازی



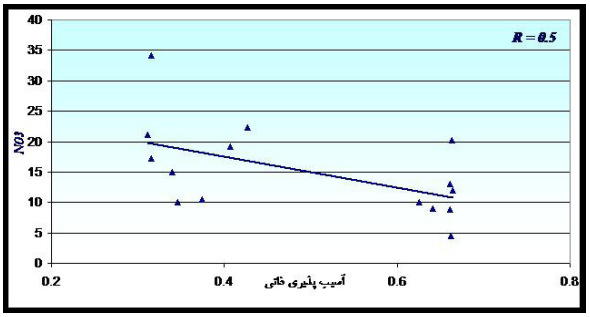
نمودار ۱: نمودار همبستگی شاخص آسیب‌پذیری حاصل از تلفیق جمع جبری فازی با غلظت نیترات

۴-۱۲- نتایج حاصل از مدل استنتاج فازی

نتیجه سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد که بخش شرقی دشت منطبق بر بیشترین میزان آسیب‌پذیری است. این منطقه بیشترین میزان تغذیه را دارد. در این روش قسمت وسیعی از دشت در رده آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرد (شکل ۲۵). نمودار ۲ همبستگی شاخص آسیب‌پذیری حاصل از مدل استنتاج فازی با غلظت نیترات را در منطقه نشان می‌دهد.



شکل۲۵: نقشه آسیب‌پذیری حاصل از مدل استنتاج فازی



نمودار۲: همبستگی شاخص آسیب‌پذیری حاصل از مدل استنتاج فازی با غلظت نیترات

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

در منطقه مورد مطالعه، نیترات آلاینده اصلی است که به علت فعالیت‌های انسانی تولید و به آبخوان وارد می‌شود. وجود نیترات در آب‌های زیرزمینی نشانگر تخریب کیفیت آب است. تغذیه آب زیرزمینی موجب می‌شود تا مواد آلاینده به صورت عمودی انتقال یافته، به سطح ایستابی رسیده و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. سنگ کف آبخوان دشت گل‌گیر دارای عمقی متفاوت، از ۱۰ تا ۱۰۰ متر است. سازند گچساران، سنگ کف آبخوان آبرفتی در اکثر نقاط دشت است ولی در جنوب و شمال روستای بهرام‌آباد، رگه سازند میشان سنگ کف آبخوان را تشکیل داده است. حداقل عمق سنگ کف در جنوب غربی دشت (جنوب بهرام آباد) به مقدار ۱۰ متر و حداکثر عمق سنگ کف در غرب کارخانه سیمان به میزان ۱۰۰ متر وجود دارد. در شمال روستای گل‌گیر عمق سنگ کف به ۶۰ متر و در محل خروجی دشت در روستای ولی آباد به حدود ۲۰ تا ۳۰ متر می‌رسد. به طور کلی عمق سنگ کف، روند کاهشی از شرق (کارخانه سیمان) به طرف غرب (روستای بهرام آباد) منطقه دارد. ضخامت آبخوان از روند کلی عمق سنگ کف تبعیت می‌کند و روند کاهشی از شرق به غرب دارد. ضخامت آبخوان دشت گل‌گیر از ۶ تا ۸۳ متر متغیر است. حداکثر ضخامت آبخوان در قسمت‌های جنوب شرقی دشت و در اطراف کارخانه سیمان است که در این منطقه ضخامت آبخوان به ۸۰ متر می‌رسد که می‌تواند به عنوان مکان‌های مناسب برای حفاری چاه اکتشافی در نظر گرفته شود. در بخش‌های جنوب غربی و غربی دشت ضخامت آبخوان به کمتر از ۱۰ متر می‌رسد. در اطراف روستای گل‌گیر ضخامت آبخوان در حدود ۵۰ متر است. از جنوب شرقی و شرق دشت به سمت غرب ضخامت آبخوان آبرفتی کاهش می‌یابد. در قسمت‌های شمالی دشت که منطبق بر مقاطع خروجی آبخوان است، ضخامت آبخوان بین ۲۰ تا ۳۰ متر متغیر است. بر اساس نقشه‌ها، مقاومت عرضی آبخوان آبرفتی گل‌گیر از ۴۸ تا ۴۷۲۶ اهم متغیر است که این امر بیانگر ناهمگنی آبخوان گل‌گیر در محدوده مورد مطالعه است. در اکثر چاه‌های مشاهده‌ای شرق دشت گل‌گیر که در مجاورت سازند آسماری واقع شده‌اند، لایه واریزه و خرده سنگ آهکی وجود دارد که از فرسایش سازند آسماری ایجاد شده است. این لایه درشت دانه که جنس رسوبات آن آهکی است موجب افزایش قابل ملاحظه قابلیت انتقال و آبدهی آبخوان شده است. به علت آن که جنس رسوبات در نواحی شرقی دشت آهکی بوده و ژیپس و انیدریت کمی دارند، آب زیرزمینی در مقایسه با مناطق غرب و جنوب غربی دشت کیفیت بهتری دارد. در بخش تلفیق لایه‌ها با عملگر جمع جبری فازی از وزن‌های بهینه حاصل از روش AHP استفاده شده است. در نهایت با محاسبه همبستگی بین غلظت نیترات و شاخص آسیب‌پذیری به دست آمده، بهترین مدل انتخاب شد. مناطق با آسیب‌پذیری بالا بر مناطق با تغذیه بالا، خاک دانه درشت و محیط آبخوان و غیراشباع دانه درشت تر منطبق‌اند. نتیجه سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد که بخش شرقی دشت منطبق بر بیشترین میزان آسیب‌پذیری است. این منطقه بیشترین میزان تغذیه را دارد و در این روش قسمتی وسیعی از دشت در رده آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرد.

۶- سپاس‌گزاری

این مقاله از طرح پژوهشی درون دانشگاهی تحت عنوان "مطالعه‌ی وضعیت ژئواستاتیکی نیترات با استفاده از GIS در آب‌های زیرزمینی دشت گل‌گیر واقع در جنوب شرق شهرستان مسجدسلیمان" استخراج شده و هزینه آن توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجدسلیمان تامین گردیده است که بدین وسیله قدردانی می گردد.

۷- مراجع

[۱] نظری زاده، ف.؛ ارشادیان، ب.؛ زند وکیلی، ک.؛ ۱۳۸۵؛ "**بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان**"، اولین همایش منطقه ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوزه های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد، ص ۱۲۴۰-۱۲۳۶.

[2] Kraft, G. J., and Stites, W. (2003). *"Nitrate impacts on groundwater from irrigated-vegetable systems in a humid north-central US sand plain"*. Agriculture Ecosystems and Environment, 100(1): 63–74.

[3] Stuart, A., redrick, F., and Rick, J. (1994). *"Survey of Nitrate Contamination in Shallow Domestic Drinking Water Wells of the Inner Coastal of Georgia"*. Environmental Geochemistry and Health, 11(2): 215–231.

[4] Azgoly, A. (2005). *"Nitrate Concentration Alteration trend in Aquifer West Tehran of First District of Towns"*. Water and Environment Journal, 62(2): 35–41.

[۵] عودی، ق.؛ ۱۳۷۳؛ "**کیفیت آب آشامیدنی**"، انتشارات محقق، مشهد، ص ۱۴۷.

[6] USEPA. (2009). *"Estimated National Occurance and Exposure to nitrate and nitrite in Public Drinking Water*

www.SID.ir

Archive of SID

Supplies". Washington DC: United States Environmental Protection Agency (UAEPA), 600 / 1-77-030.

[۷] نجاتی جهرمی، ز.؛ ۱۳۸۸؛ "**شبیه سازی منابع آب زیرزمینی دشت عقیلی با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود**"، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۱۵۸.

[۸] استواری، ی.؛ بیگی، ح.؛ داودیان، ع.؛ ۱۳۹۱؛ "**بررسی تغییرات مکانی نیترات در آب زیرزمینی دشت لردگان**"، مدیریت آب و آبیاری، دوره دوم، شماره ۱، ص ۷۶-۵۵.

[۹] اصغری مقدم، ا.؛ ندیری، ع.؛ پاک نیا، و.؛ ۱۳۹۵؛ "**جهت ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت بستان آباد با استفاده از روش DRASTIC وSINTACS**"، مجله علمی پژوهشی هیدروژئومورفولوژی، شماره ۸، پاییز ۱۳۹۵، ص ۵۲-۲۱.

[۱۰] لاله زاری، ر.؛ طباطبایی، ح.؛ یارعلی، ن.؛ ۱۳۸۸؛ "**بررسی تغییرات ماهانه نیترات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد و پهنه بندی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی**"، مجله پژوهش آب ایران، سال سوم، شماره ۴، بهار و تابستان ۱۳۸۸، ص۱۷-۹.

[۱۱] بدیعی نژاد، ا.؛ غلامی، م.؛ جعفری، ا.؛ عامری، ا.؛ ۱۳۹۱؛ "**بررسی عوامل موثر بر غلظت نیترات منابع آب شرب زیرزمینی شیراز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)**"، فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد، دوره ۱۱، شماره ۲، ص ۵۶-۴۷.

[12] Malczewski, J. (1999). *"GIS and multicriteria decision analysis"*. John Willey & Sons, New York.

[13] Rushton, K. R. (2003). *"Groundwater Hydrology, Conceptual and Computational Models"*. John Wiley & Sons Inc., pp. 416.

[14] Scanlon, B. R., Healy, R. W., and Cook, P. G. (2002). *"Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge"*. Hydrology Journal, 10(1): 18–39.

[15] Zadeh, A. (1987). *"Fuzzy sets as a basis for theory of possibility"*. Fuzzy Sets and Systems, 1(1): 3–28.

---

[۱] Storativity

www.SID.ir