

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 شمال شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب غربی 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 آغاچاری، سازندهای آهکی- مارنی میشان، سازند گچساران، سازند آهکی آسماری است. چاه‌ها عمده‌ترین منابع تامین کننده 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.

۱- مقدمه

شناخته می‌شود [۵]. بوسه 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 زمین‌آماري 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 زمین‌آماري 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 آبخوبی 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

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 زمین‌آمار 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 آلاینده‌های که منابع آب زیرزمینی را تهدید می‌کند نیترات است، غلظت بالای نیترات باعث کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌شود [۳، ۴]. 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 نیترا ته قرار گرفته‌اند متغیر است. خطر اولیه نیترات در آب‌های آشامیدنی زمانی اتفاق می‌افتد که در دستگاه گوارش نیترات تبدیل به نیتريت می‌شود. نیتريت 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

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 جنوب شرق مسجدسلیمان در شمال غرب تاقدیس آسماری و حوضه کارون میانی واقع شده است (شکل ۱). 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 (شکل ۲). 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.

محیط نرم افزار GIS استفاده کردند. نتایج حاصل از مدل‌های DRASTIC و SINTACS نشان داد بخش اعظم محدوده آسیب‌پذیری عمدتاً 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 همکاران (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.



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی دشت گل‌گیر در نقشه ایران (مربع قرمز رنگ)



شکل ۲: پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقطه منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای

۳- روش تحقیق

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 پیژومترهای دشت که توسط سازمان آب منطقه‌ای خوزستان اندازه‌گیری شده‌اند، استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا جدولی از اطلاعات

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 نرم‌افزاری Arc GIS 9.2 و مدل‌سازی فازی به وسیله نرم‌افزار 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 نرم‌افزار Excel وارد شده، سپس به محیط GIS فراخوانده شدند. این داده‌های نقطه‌ای شامل موقعیت جغرافیایی و ارتفاع پیژومترها، موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و ضریب ذخیره‌اند. تمام داده‌ها به یک سیستم تصویر (UTM) و یک سیستم مرجع (WGS84) در آمدند. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل Arc View 3.3، Arc GIS 10.2، Arc View 3.3، Arc GIS 10.2، MATLAB 7.6.0، Surfer 8، PCI Geomatica 9.1، Micro Station - j است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تهیه نقشه‌های معیار

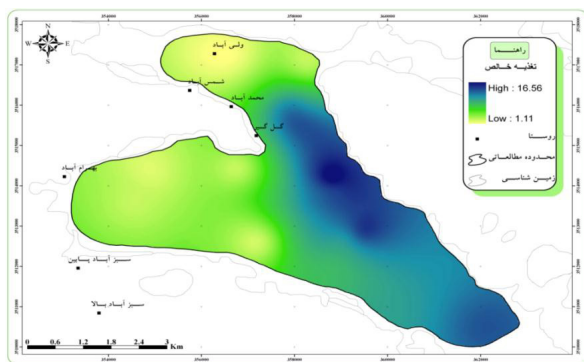
در این پژوهش، بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده اقدام به تهیه نقشه‌های معیار بر پایه توابع GIS شده است. یک نقشه

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 رابطه ۱ از حاصل ضرب نقشه حاصل از تفریق حداقل تراز از حداکثر تراز در نقشه قابلیت ذخیره محاسبه می‌شود [۱۴].

$$R = S_y dh / dt = S_y \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

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 (شکل ۴).

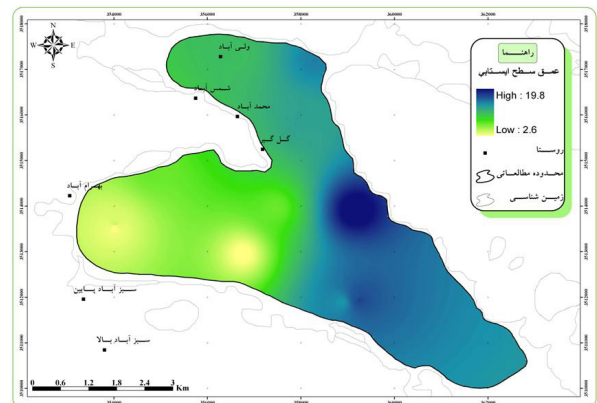


شکل ۴: نقشه تغذیه خالص منطقه مورد مطالعه

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

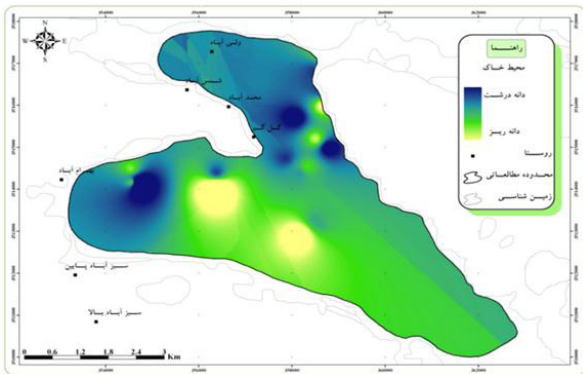
سطح آب شامل نام پیژومترها، موقعیت پیژومترها بر حسب UTM و عمق سطح آب در دوره آماری ۸۷-۸۶ در محیط Excel تهیه شد، سپس این اطلاعات به فرمت قابل قبول برای نرم افزار Arc GIS (*.xls) تبدیل شد. پس از بررسی انواع روش‌های درون‌یابی، روش IDW به عنوان روش مناسب برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای یاد شده به سطح انتخاب شد. بدین ترتیب لایه رستری عمق سطح ایستابی برای تلفیق با لایه‌های دیگر، تهیه شد (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه عمق سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه بر حسب متر

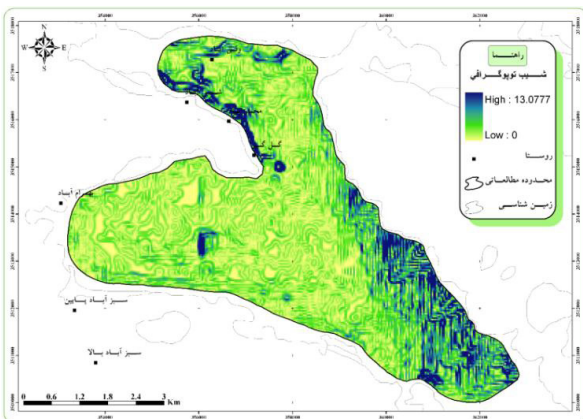
۴-۳- نقشه تغذیه خالص

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 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



شکل ۶: 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 (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه شیب توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

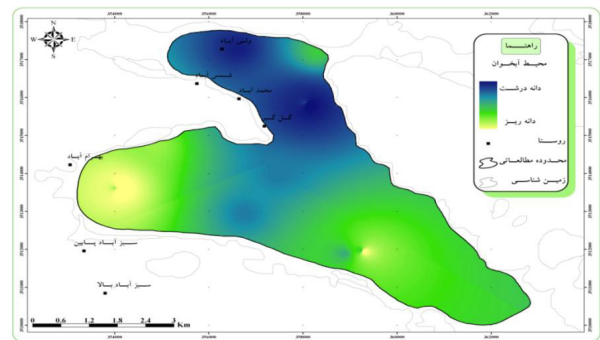
۴-۷- تاثیر منطقه غیراشباع

برای تهیه این لایه از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی استفاده و روشی مشابه با لایه محیط آبخوان به کار 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 (شکل ۸).

۴-۸- نقشه هدایت هیدرولیکی

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

در آبخوان را مشخص می‌کند. 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 (پیژومترها) بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل‌دهنده 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 (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه محیط آبخوان منطقه مورد مطالعه

۴-۵- نقشه محیط خاک

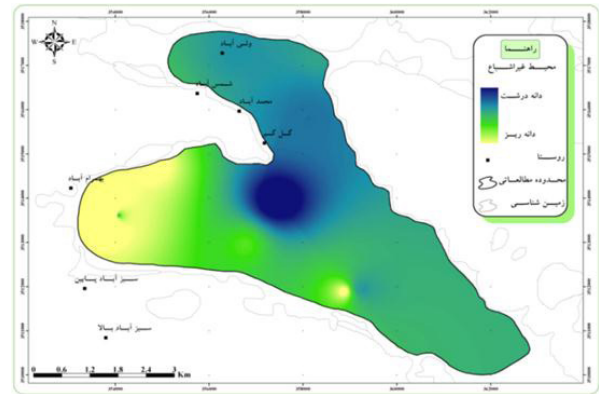
این بخش شامل قسمت بالایی منطقه غیراشباع است که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد و بافت خاک به عنوان عامل تاثیرگذار بر پتانسیل آلودگی استفاده می‌شود. نقشه خاک منطقه با توجه به گزارش مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی اراضی منطقه گل‌گیر مسجسدسلیمان، طرح تامین و انتقال آب و شبکه آبیاری 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 (شکل ۶).

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

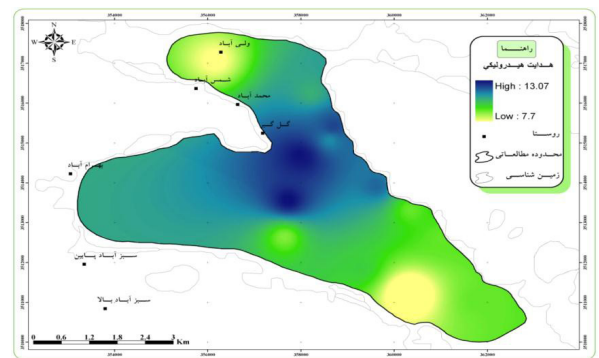
تلفیق لایه‌ها انجام می‌گیرد. توابع عضویت مختلفی برای فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مختلف وجود دارد. یک تابع عضویت باید توانایی تبدیل داده‌های مورد نظر به بازه $[0,1]$ را داشته باشد. همان‌گونه که بیان شد، توابع عضویت مختلفی از جمله، توابع خطی، مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی و نظایر آن وجود دارد که انتخاب نوع و 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 آشفتنی 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 اصطلاحاً 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



شکل ۸: 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 (شکل ۹).

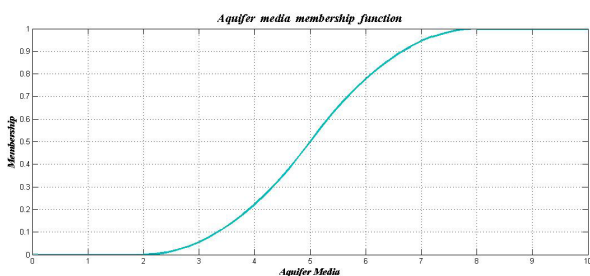


شکل ۹: نقشه هدایت هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه

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، تبدیل شدند. انتخاب نوع تابع عضویت با توجه به شناخت مساله حاکم و تاثیر لایه‌های مورد نظر فازی بر روی تغییرات شاخص حاصل از

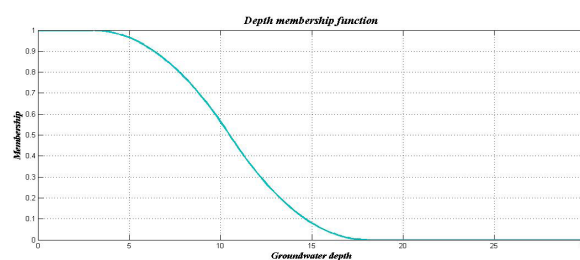
محیط آبخوان جنس رسوبات تجمع یافته در قسمت اشباع آبخوان است. این محیط و مواد تشکیل دهنده آن، طول و چگونگی روند سیر در سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. در مواد بسیار نفوذپذیر از قبیل ماسه و گراول، همرفتی مهمترین فرآیند انتقال است و پیش‌بینی انتقال فقط با توصیف سیستم جریان انجام می‌گیرد. محیط آبخوان با تابع عضویت K 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 K شکل تغییر می‌کند و هر چه به سمت ۸ نزدیک‌تر می‌شود، درجه عضویت آن نیز به یک نزدیک‌تر شده و بالعکس (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: تابع عضویت فازی محیط آبخوان

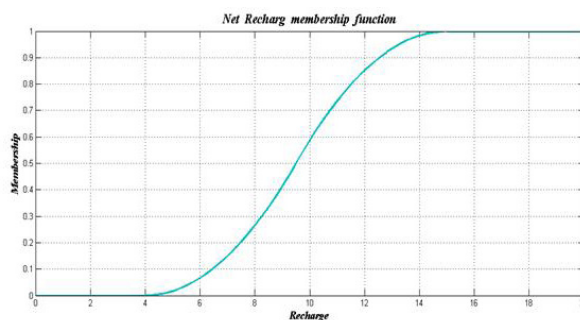
محیط خاک تاثیر مهمی در چگونگی تغذیه و حرکت آلاینده دارد. وجود مواد با بافت ریز مانند سیلت و رس تراوایی خاک را کاهش می‌دهند و برعکس مواد دانه درشت‌تر مانند شن، نفوذپذیری خاک و در نتیجه قابلیت انتقال آلاینده به سیستم آب زیرزمینی را افزایش می‌دهند. این محیط، بالاترین بخش غیراشباع است که تا حد نفوذ ریشه 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 K 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 K شکل است (شکل ۱۳).

فرآیندهای موثر بر انتقال نیترات و تاثیر عمق آب زیرزمینی بر این فرآیندها می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات عمق آب زیرزمینی تقریباً 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 (شکل ۱۰).



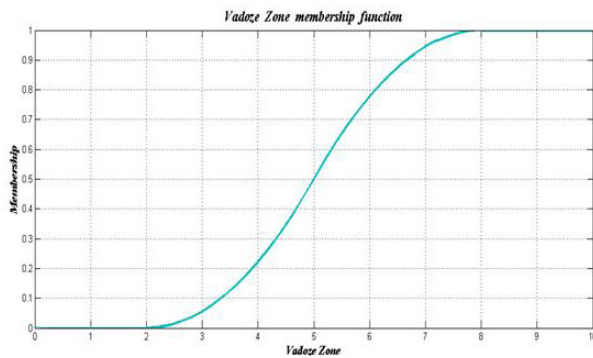
شکل ۱۰: تابع عضویت فازی عمق آب زیرزمینی

مقدار آب ورودی از سطح زمین که موجب انتقال آلودگی به آبخوان می‌شود، تغذیه خالص نامیده می‌شود. معمولاً 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 K 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 K شکل دارند (شکل ۱۱).



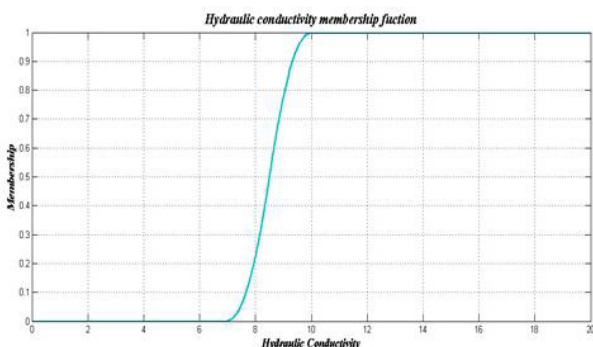
شکل ۱۱: تابع عضویت فازی تغذیه خالص

به نحوی که، به نرخ ۸ و بیشتر، درجه عضویت یک و نرخ ۲ و کمتر از آن درجه عضویت صفر تعلق می‌گیرد (شکل ۱۵).



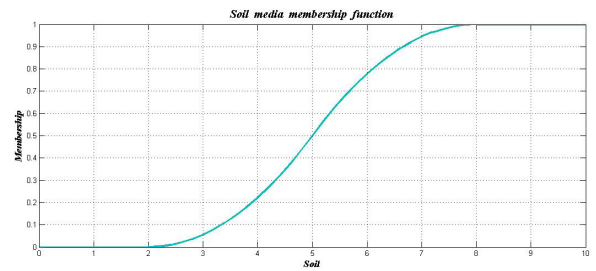
شکل ۱۵: تابع عضویت فازی محیط غیر اشباع

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 تأثیر می‌گذارد، بنابراین از تابع عضویت K 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 (شکل ۱۶).



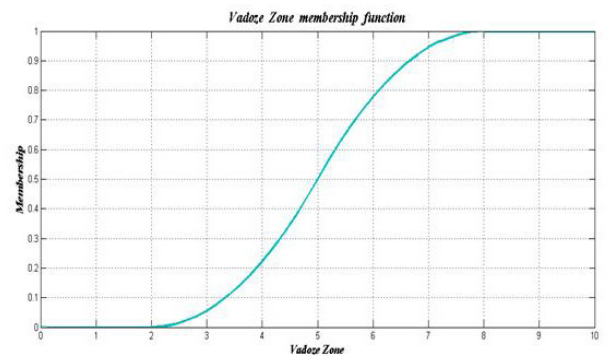
شکل ۱۶: تابع عضویت فازی هدایت هیدرولیکی

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



شکل ۱۳: تابع عضویت فازی محیط خاک

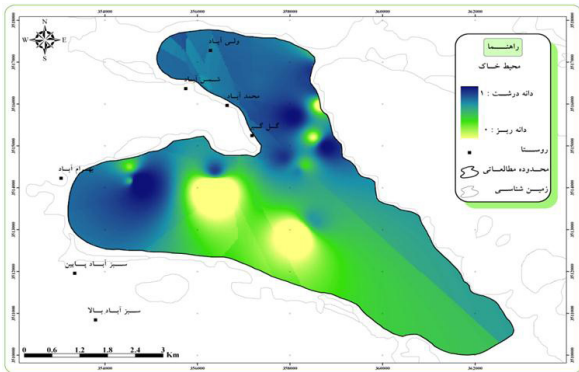
افزایش تغییرات شیب موجب کاهش نرخ ماندگاری آب بر روی سطح زمین شده و به تبع آن کاهش نفوذ را به همراه دارد و عکس Z شکل فازی این قاعده نیز موجب افزایش نفوذ می‌شود و پتانسیل آلودگی بیشتری را ایجاد می‌کند. با توجه به تأثیر شیب توپوگرافی بر انتقال آلاینده‌ها، از تابع عضویت Z شکل برای فازی کردن این پارامتر استفاده 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 (شکل ۱۴).



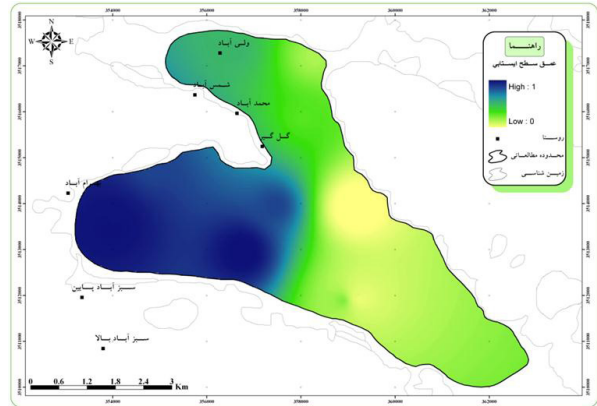
شکل ۱۴: تابع عضویت فازی شیب توپوگرافی

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 تأثیر 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 عملاً 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 K شکل فازی شده است.

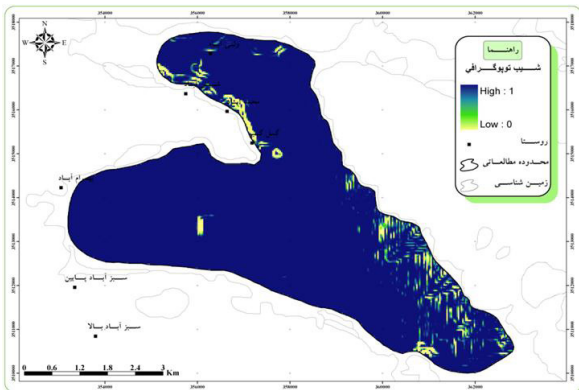
نقشه به هر پیکسل درجه عضویتی بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود. درجه عضویت یک بیشترین تاثیر و درجه صفر نشان دهنده کمترین تاثیر بر پتانسیل آلودگی است.



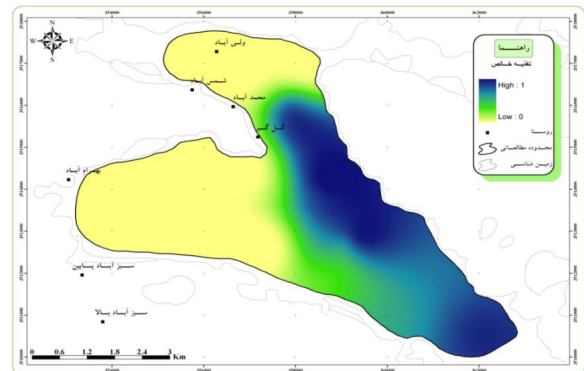
شکل ۲۰: نقشه محیط خاک فازی شده منطقه مورد مطالعه



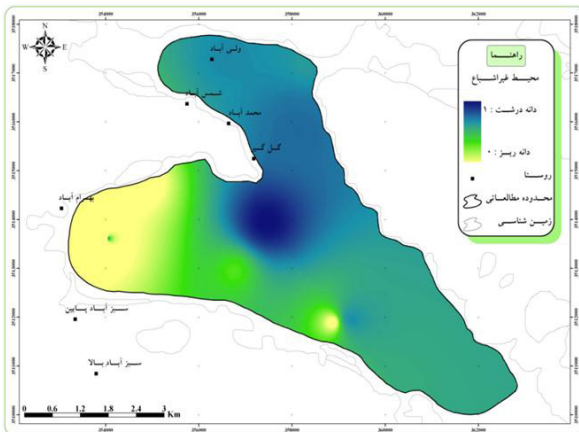
شکل ۱۷: نقشه عمق سطح ایستابی فازی شده منطقه مورد مطالعه



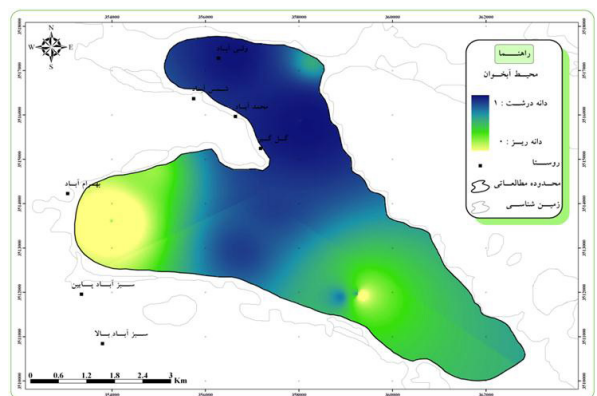
شکل ۲۱: نقشه شیب توپوگرافی فازی شده منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۸: نقشه تغذیه خالص فازی شده منطقه مورد مطالعه

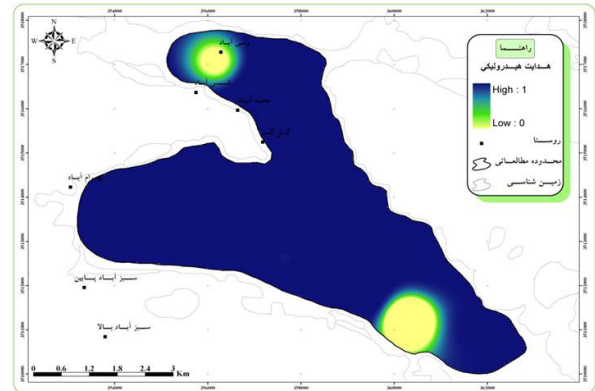


شکل ۲۲: نقشه محیط غیرشاخ فازی شده منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۹: نقشه محیط آبخوان فازی شده منطقه مورد مطالعه

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.



شکل ۲۳: نقشه هدایت هیدرولیکی فازی شده منطقه مورد مطالعه

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

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

جدول ۱: وزن‌های اصلی و تصحیح شده بر اساس ضریب همبستگی بین پارامترهای مدل و غلظت نیترات

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

جدول ۲: درجه اهمیت نسبی عوامل در روش دوتایی

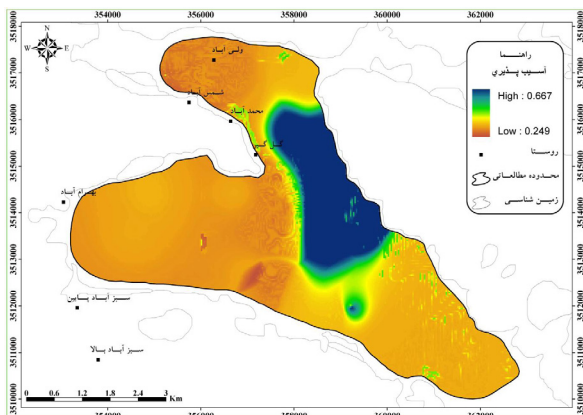
تعریف	درجه اهمیت
نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر ۱۰۰ درصد اهمیت دارد.	۹
نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر بسیار مهم است.	۷
نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر مهم است.	۵
نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر تا اندازه ای مهم است.	۳
نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر با متغیر ستون از نظر اهمیت مساوی است.	۱
نسبت به متغیر ستون،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

جدول ۳: وزن پارامترهای حاصل از روش AHP

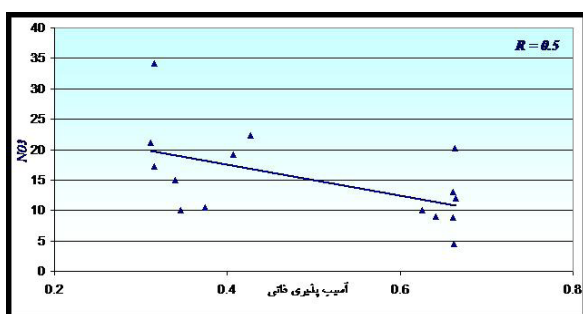
وزن ۳	وزن ۲	وزن ۱	پارامتر
۰/۴۴۹	۰/۳۹۹	۰/۳۷۴	عمق تا سطح ایستابی
۰/۲۵۹	۰/۱۳۴	۰/۲۴۴	تغذیه خالص
۰/۱۱۴	۰/۰۹۵	۰/۱۴۹	محیط آبخوان
۰/۰۲۹	۰/۰۳۸	۰/۰۶۶	محیط خاک
۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	شیب توپوگرافی
۰/۰۸۱	۰/۲۴۸	۰/۰۳۸	محیط غیر اشباع
۰/۴۴۹	۰/۰۶۲	۰/۱۰۳	هدایت هیدرولیکی

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.

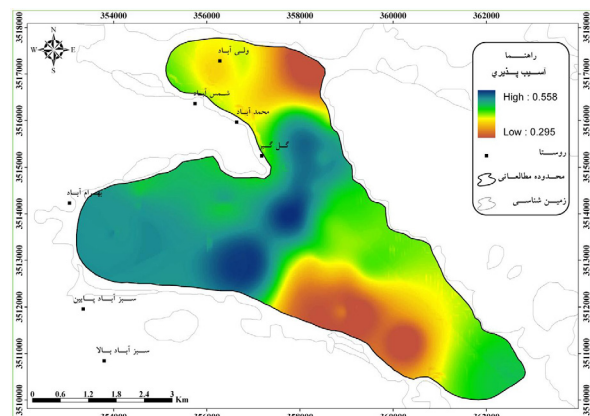


شکل ۲۵: نقشه آسیب‌پذیری حاصل از مدل استنتاج فازی

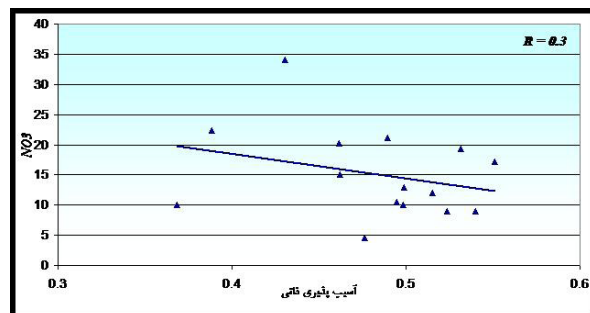


نمودار ۲: همبستگی شاخص آسیب‌پذیری حاصل از مدل استنتاج فازی با غلظت نیترات

محیط آبخوان و غیراشباع دانه درشت‌تر منطبق‌اند (شکل ۲۴). 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

۵- نتیجه‌گیری

در نواحی شرقی دشت آهکی بوده و ژئوپس 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 می‌گردد.

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 منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های 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

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 ایستایی 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 بهرام‌آباد) 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 ولی‌آباد به حدود ۲۰ تا ۳۰ متر می‌رسد. به طور کلی عمق سنگ کف، روند کاهشی از شرق (کارخانه سیمان) به طرف غرب (روستای بهرام‌آباد) 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

- [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.
- [۱۲] Malczewski, J. (1999). "GIS and multicriteria decision analysis". John Wiley & Sons, New York.
- [۱۳] Rushton, K. R. (2003). "Groundwater Hydrology, Conceptual and Computational Models". John Wiley & Sons Inc., pp. 416.
- [۱۴] Scanlon, B. R., Healy, R. W., and Cook, P. G. (2002). "Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge". Hydrology Journal, 10(1): 18-39.
- [۱۵] Zadeh, A. (1987). "Fuzzy sets as a basis for theory of possibility". Fuzzy Sets and Systems, 1(1): 3-28.
- [۷] نجاتی چهرمی، 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 DRATIC و SINTACS"، 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، ص ۱۷-۹.

Storativity