

## مقایسه ارزیابی آسیب پذیری آبخوان به روش‌های DRASTIC و منطق فازی مطالعه موردی: دشت گل گیر مسجد سلیمان

حمیدرضا ناصری\*

دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

فردوس صارمی نژاد

دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

### چکیده

به منظور دست یابی به یک روش مناسب جهت حفاظت منابع آب زیرزمینی از آلودگی‌هایی که در آینده آن‌ها را تهدید می‌کند، سیستم‌های ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی توسعه یافته‌اند. در حال حاضر روش‌های مختلفی جهت پتانسیل یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی وجود دارد. این روش‌ها بر این اساس هستند که بعضی از مناطق دارای استعداد بیشتری برای آلوده شدن نسبت به سایر مناطق می‌باشند. در این تحقیق آسیب پذیری آبخوان دشت گل گیر بررسی شده است. دشت گل گیر در شرق استان خوزستان واقع شده است. این دشت به دلیل دارا بودن منابع غنی آب زیرزمینی و خاک حاصل خیز از کشاورزی پر رونقی برخوردار است. به دلیل گسترش زیاد فعالیت‌های کشاورزی کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر مواد شیمیایی کشاورزی به ویژه نیترات می‌باشد. به همین دلیل ارزیابی آسیب پذیری در تصمیم گیری‌های مدیریتی این دشت اهمیت دارد. از میان روش‌های موجود جهت ارزیابی آسیب پذیری، از مدل DRASTIC و استنتاج فازی بهره گرفته شده است. اصول مدل DRASTIC بر پایه ترکیب شاخص‌های تأثیرگذار هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی بر انتقال و یا عدم انتقال آلودگی می‌باشد و در محاسبه شاخص آن از منطق بولین استفاده می‌شود. منطق بولین می‌تواند موجب نتیجه گیری‌های غلط در مورد مقادیر نزدیک مرز دسته بندی‌ها شود. استفاده از منطق فازی می‌تواند به افزایش دقت نتایج به خصوص در مورد مقادیر مرزی کمک کند. نتایج این تحقیق توانایی مدل سازی فازی پارامترهای هیدروژئولوژیکی که از عدم قطعیت ذاتی برخوردارند را تأیید می‌نماید.

واژگان کلیدی: آسیب پذیری، پهنه بندی، مدل DRASTIC، منطق فازی.

### مقدمه

منابع آب زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی به عنوان یک منبع مهم مورد توجه می‌باشند (US EPA, 1996). وجود منابع مهم آلاینده‌های انتشاری و نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان موجب کاهش کیفیت آب

E- mail: h-nassery@sbu.ac.ir

\*نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۰۹۴۲۸۷

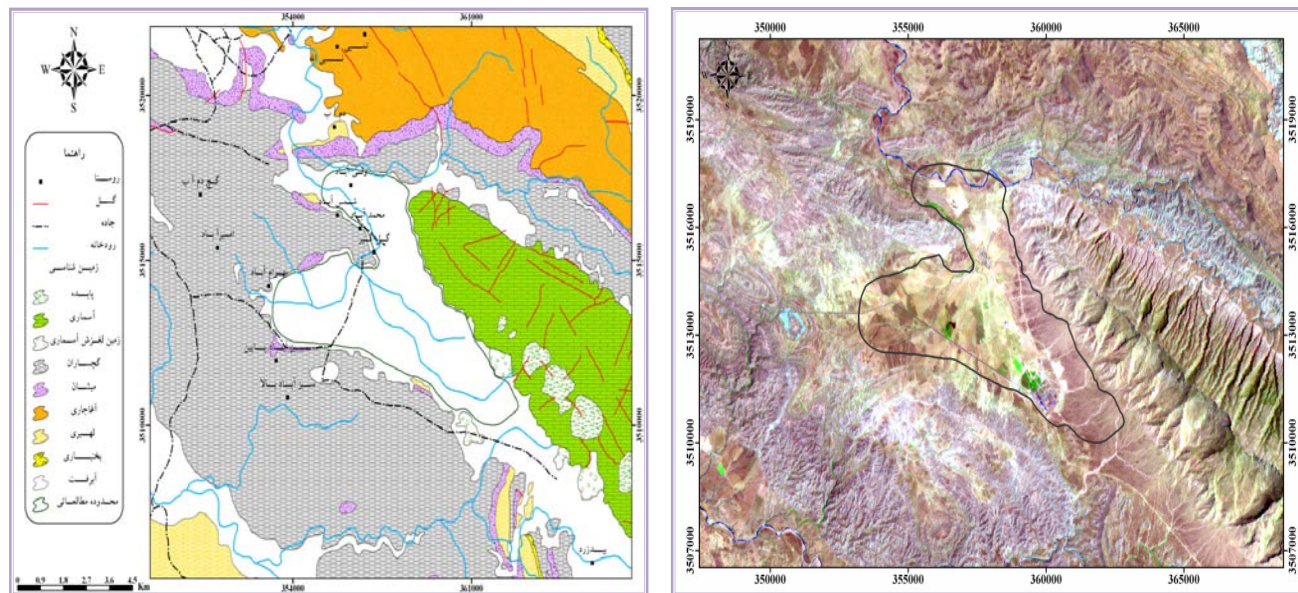
زیرزمینی می‌شود. بنابراین جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرزمینی ضروری است (Melloul & Collin, 1994). ارزیابی آسیب پذیری روشی مناسب و کم هزینه در شناسایی نواحی مستعد به آلودگی است. مفهوم آسیب پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی بخشی در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارایه شده است (Vrba & Zaporozec, 1994). آسیب پذیری را می‌توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف کرد. آسیب پذیری به عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات فعالیت انسانی و یا طبیعی می‌باشد. آسیب پذیری از نظر مفهومی به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌شود. آسیب پذیری ذاتی به مفهوم حساسیت آبخوان به عوامل طبیعی است. در حالی که آسیب پذیری ویژه، آسیب پذیری ذاتی را همراه با احتمال قرار گرفتن آب‌های زیرزمینی در معرض نفوذ آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد.

یکی از روش‌هایی که کمک مؤثری به مدیریت آب‌های زیرزمینی می‌کند، تهیه نقشه‌هایی است که در آن‌ها مناطق آسیب پذیر یا حساس نسبت به آلودگی مشخص می‌باشند. همچنین شاخصی تعریف می‌شود که می‌توان بر اساس آن مناطقی که بیشتر تحت تأثیر آلودگی قرار دارند را از دیگر مناطق تشخیص داد. به این ترتیب می‌توان مناطق مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد و معیاری واحد جهت ارزیابی در اختیار داشت. جهت تجزیه و تحلیل نتایج و محاسبه شاخص آسیب پذیری، باید نقشه‌ها و داده‌های به دست آمده ترکیب و طبقه بندی شوند. به طور معمول این طبقه بندی‌ها بر اساس روش بولین می‌باشند. در طبقه بندی به روش بولین ابتدا باید مرز بین طبقات مشخص شود. با توجه به این که شاخص‌های آسیب پذیری دارای ماهیت طیفی و دامنه دار هستند، طبقه بندی به روش بولین موجب می‌شود که یک منطقه با کوچک‌ترین تغییر از یک طبقه به طبقه بالاتر یا پائین تر جابه جا شود که اصولاً قابل قبول و توجیه نمی‌باشد. اما با استفاده از مبانی تئوری فازی که در آن هر موضوع و یا مفهومی دارای یک درجه عضویت است، می‌توان روشی مناسب جهت طبقه بندی و رتبه‌گذاری نسبت به روش بولین ارایه کرد (Malano & Gao, 1992). هدف از این بررسی، مشخص کردن مناطق مستعد آلودگی در آبخوان دشت گل گیر و بررسی امکان استفاده از منطق فازی در طبقه بندی نقشه‌های آسیب پذیری می‌باشد.

#### موقعیت و مشخصات عمومی محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی گل گیر مسجد سلیمان در حد فاصل طول جغرافیایی  $30^{\circ} 27' 49''$  تا  $31^{\circ} 19' 49''$  و عرض جغرافیایی  $44^{\circ} 05' 31''$  تا  $47^{\circ} 01' 31''$  با مساحت حدود ۱۶۰۰ هکتار در ۹۰ کیلومتری شمال شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب غرب مسجد سلیمان در حوضه کارون میانی واقع شده است (شکل ۱). مساحت آبخوان آبرفتی دشت گل گیر حدود ۲۴/۴۸ کیلومتر مربع می‌باشد. روستاهای گل گیر، تمبی، بهرام آباد، حاجی آباد، محمد آباد، شمس آباد و سبز آباد از مهم‌ترین مراکز جمعیتی در دشت گل گیر

می‌باشند. دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق جاهای اصلی اهواز - ایزه و مسجد سلیمان - هفتگل امکان پذیر می‌باشد. رودخانه‌های منطقه، شامل شور تمبی، آب گل گیر، آب لشگر، شور باریک، بید زرد و دره کوه لا می‌باشند. مهم ترین مرکز صنعتی منطقه مورد مطالعه کارخانه ۳۰۰۰ تنی سیمان مسجد سلیمان می‌باشد که در پای کوه آسماری و در پنج کیلومتری جنوب شرق گل گیر واقع شده است.



شکل ۱: نقشه زمین شناسی و تصویر ماهواره‌ای دشت گل گیر

### روش مطالعه

در این مقاله از روش DRASTIC و مدل فازی جهت پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت گل گیر استفاده شده است. پهنه بندی آسیب پذیری در محیط GIS انجام شده است. در این تحقیق از منابع اطلاعاتی گوناگونی از جمله نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان جغرافیایی ارتش)، نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، گزارش مطالعات خاک شناسی گل گیر مسجد سلیمان (شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور - مدیریت مطالعات کرخه)، داده‌های سطح آب زیرزمینی، نتایج آزمایشات پمپاژ، لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، اکتشافی و نقشه‌های مطالعات ژئوفیزیکی استفاده شده است. اطلاعات نقشه‌ای (مانند نقشه توپوگرافی) رقومی شده و در پایگاه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی وارد شدند و اطلاعات جدولی (مانند سطح آب زیرزمینی) به فرمت بانک اطلاعاتی تبدیل و وارد پایگاه اطلاعاتی گردیدند. مدل فازی به کار رفته در این تحقیق با استفاده از نرم افزار MATLAB 7.6.0، بر اساس استنتاج فازی حداقل - حداکثر ممدانی که به علت ساختار ساده و مؤثر بیشترین کاربرد را در مسائل عملی دارد و روش غیرفازی ساز مرکز ثقل انجام شده است. جهت فازی سازی از تابع عضویت گوسی به دلیل سادگی آن استفاده شده است.

## مدل DRASTIC

روش‌های مختلفی جهت تخمین آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش شاخص - هم پوشانی است که عوامل کنترل کننده حرکت آلاینده از سطح زمین به زون اشباع را ترکیب می‌کند و نتیجه را به عنوان شاخص آسیب پذیری در مکان‌های مختلف منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. یکی از مدل‌هایی که بیشترین استفاده از آن جهت ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی نسبت به دامنه وسیعی از آلاینده‌های بالقوه صورت می‌گیرد، مدل DRASTIC می‌باشد. این مدل رایج ترین مدل روش شاخص - هم پوشانی می‌باشد که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA - US) و انجمن چاه‌های آب آمریکا (AWWA) جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی توسعه یافته است. این مدل، پتانسیل آلودگی یک ناحیه را با جمع کردن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول ارزیابی می‌نماید. مدل DRASTIC با استفاده از هفت عامل مؤثر بر پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی محاسبه می‌شود. این عوامل شامل، عمق تا سطح ایستابی<sup>۱</sup> (D)، تغذیه خالص<sup>۲</sup> (R)، محیط آبخوان<sup>۳</sup> (A)، محیط خاک<sup>۴</sup> (S)، شیب توپوگرافی<sup>۵</sup> (T)، اثر محیط غیراشباع<sup>۶</sup> (I) و هدایت هیدرولیکی<sup>۷</sup> (C) می‌باشند (Aller et al., 1987).

هفت پارامتر ذکر شده اثر یکسانی در مدل ندارند. در بحث آسیب پذیری برخی از پارامترها اهمیت بیشتری نسبت به سایر عوامل دارند. بر این اساس به هر عامل با توجه به اهمیت نسبی آن نسبت به سایر عوامل وزن نسبی بین ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود. عمق تا سطح ایستابی و محیط غیراشباع بیشترین و شیب توپوگرافی کمترین ارزش را در بین پارامترهای مذکور دارند. همچنین هر کدام از پارامترها به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند که اثر بخشی آن‌ها بر پتانسیل آلودگی متفاوت است. به هر یک از این بازه‌ها رتبه‌ای بین ۱ تا ۱۰ (بیشترین اثر بخشی ۱۰ و کمترین اثر بخشی ۱) تعلق می‌گیرد. نتیجه مدل DRASTIC یک اندیس عددی است که از نرخ‌ها و وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل به دست می‌آید. برای تعیین اندیس DRASTIC از رابطه ۱ استفاده می‌شود:

$$\text{DRASTIC Index} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (1)$$

که در این رابطه،  $W$  وزن و  $R$  نرخ مربوط به هر کدام از پارامترهای مدل می‌باشد. پس از محاسبه اندیس DRASTIC، نواحی آسیب پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. بزرگ تر بودن این اندیس بیانگر آسیب پذیری بیشتر آب‌های زیرزمینی می‌باشد. باید توجه داشت که اندیس به دست آمده تنها یک ارزیابی نسبی را ارائه می‌کند و فقط نواحی شدیداً آسیب پذیر را از نواحی با قابلیت آسیب پذیری کمتر متمایز می‌نماید و قابلیت ارزیابی مطلق را ندارد.

<sup>1</sup> - Depth to water table

<sup>2</sup> - Net Recharge

<sup>3</sup> - Aquifer media

<sup>4</sup> - Soil media

<sup>5</sup> - Topography

<sup>6</sup> - Impact of vadose zone media

<sup>7</sup> - Hydraulic conductivity of the aquifer

## تهیه نقشه‌های معیار مدل

یک نقشه معیار نشان دهنده میزان وابستگی یک ویژگی نسبت به هدف مورد نظر می‌باشد. تهیه این نقشه‌ها شامل داده‌های جغرافیایی ورودی، ذخیره سازی، پردازش و تجزیه و تحلیل خروجی می‌باشد. به عبارت دیگر، نقشه‌های معیار می‌توانند به عنوان خروجی پردازش داده‌ها بر پایه GIS محسوب شوند (Malczewski, 1999).

– **عمق تا سطح ایستابی:** فاصله بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی، عمق برخورد را مشخص می‌کند و به عبارتی تعیین کننده ضخامت بخش غیراشباع می‌باشد. 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. جهت تهیه نقشه عمق سطح ایستابی از داده‌های سطح آب در پیژومترهای دشت استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا جدولی از اطلاعات 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 گردید. سپس از درون یابی به روش IDW به عنوان روش مناسب جهت تبدیل داده‌های نقطه ای ذکر شده به سطح استفاده شد. به این ترتیب نقشه هم ارزش عمق تا سطح ایستابی جهت تلفیق با لایه‌های دیگر، تهیه شد و مطابق با جدول ۱ کلاس بندی و ارزش گذاری شد. نقشه نرخ بندی عمق تا سطح ایستابی مورد استفاده در مدل DRASTIC دشت گل گیر در شکل ۲ - الف نشان داده شده است.

– **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. در مدل DRASTIC فرض بر این است که عمده ترین منبع تغذیه ریزش های جوی می‌باشد. برای بررسی حجم ذخیره آب زیرزمینی دشت گل گیر، روش هم پوشانی نقشه تغییرات تراز سطح ایستابی و نقشه توزیع قابلیت ذخیره<sup>۸</sup> آبخوان مورد استفاده قرار گرفته است. در روش نوسانات تراز آب زیرزمینی از ضرب مقدار بالا آمدگی سطح ایستابی در آبدهی ویژه، برآورد مستقیم از تغذیه حاصل می‌شود (Rushton, 2003). این روش بر این فرض استوار است که بالا آمدگی در تراز آب زیرزمینی در آبخوان های 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. به این منظور ابتدا هیدروگراف واحد دشت گل گیر جهت مشخص شدن فصل تر(حداکثر تراز سطح ایستابی) و فصل خشک(حداقل تراز سطح ایستابی) ترسیم شد و نقشه هم تراز سطح ایستابی برای فصول خشک و تر تهیه گردید. برای تهیه لایه رستری قابلیت ذخیره از داده‌های حاصل از نتایج مدل جریان آب زیرزمینی دشت(سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۵) استفاده شد. سپس میزان تغذیه با توجه به رابطه ۲ (al., 2002)

<sup>8</sup> - Storativity

(Scanlon et al) از حاصل ضرب نقشه حاصل از تفریق حداقل تراز از حداکثر تراز در نقشه قابلیت ذخیره محاسبه شده و سپس با توجه به جدول ۱ نرخ بندی می شود (شکل ۲ - ب).

$$R = S_y dh / dt = S_y \Delta h / \Delta t \quad (2)$$

در این رابطه R نرخ تغذیه،  $S_y$  آبدهی ویژه، h ارتفاع تراز آب و t زمان می باشند.

- **محیط آبخوان:** لایه محیط آبخوان یک لایه توصیفی و وابسته به جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان می باشد. محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن، چگونگی روند سیر در سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می کند. برای تهیه لایه محیط آبخوان دشت گل گیر از لوگ چاه های مشاهده ای و اکتشافی استفاده شده است. جهت تهیه لایه محیط آبخوان بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر کدام از چاه ها (از سطح ایستابی تا سنگ کف)، با توجه به جدول ۱، یک ارزش عددی بین ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد. سپس نقشه نرخ بندی شده محیط آبخوان تهیه گردید (شکل ۲ - ج).

- **محیط خاک:** این بخش شامل قسمت بالایی منطقه غیراشباع می باشد که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد. در مدل DRASTIC از بافت خاک به عنوان عامل تأثیرگذار بر پتانسیل آلودگی استفاده می شود. نقشه خاک منطقه با توجه به گزارش مطالعات خاک شناسی نیمه تفصیلی اراضی منطقه گل گیر مسجد سلیمان، طرح تأمین و انتقال آب و شبکه آبیاری تحت فشار (شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور، مدیریت مطالعات کرخه، ۱۳۸۸) تهیه شده است. به این ترتیب که پس از تعیین نقاط نمونه برداری شده و شناسایی تیپ های مختلف خاک در منطقه مورد نظر، لایه خاک منطقه استخراج و به صورت یک لایه رستری ذخیره شد و در نهایت با استفاده از جدول ۱ نرخ بندی گردید (شکل ۲ - د).

- **شیب توپوگرافی:** افزایش شیب توپوگرافی موجب کاهش ماندگاری آب بر روی سطح زمین و کاهش نرخ نفوذ می شود. کاهش شیب نیز موجب افزایش نرخ نفوذ شده و پتانسیل آلودگی بیشتری را ایجاد می نماید. برای تهیه نقشه شیب از فایل های ارتفاعی رقمی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور استفاده شده است. این فایل ها شامل خطوط میزان، نقاط ارتفاعی و آبراهه ها می باشند. با استفاده از این عوامل مدل ارتفاعی رقمی<sup>۹</sup> منطقه تهیه گردید. پس از ویرایش DEM به دست آمده در محیط Arc GIS، در قسمت Spatial Analyst و با استفاده از تابع Analysis Surface نقشه شیب منطقه به دست آمد. سپس با توجه به رتبه های شیب مدل DRASTIC در جدول ۱، لایه توپوگرافی منطقه تهیه شد (شکل ۲ - ه).

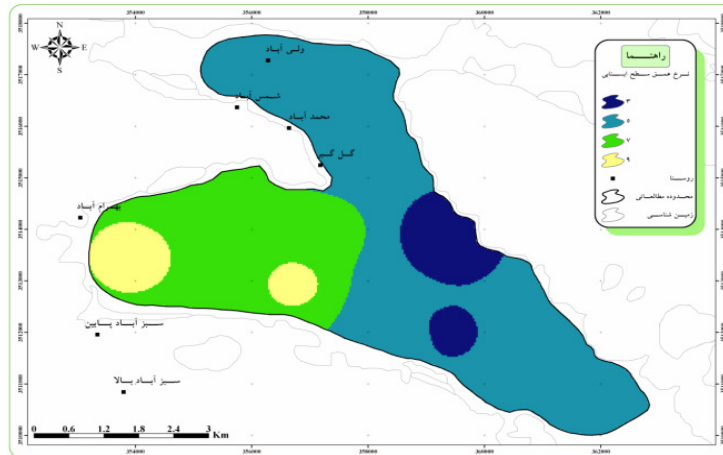
- **محیط غیراشباع:** منطقه غیراشباع، رسوبات موجود از سطح ایستابی تا زون خاک را شامل می شود. این منطقه غیراشباع بوده و یا به طور ناپیوسته اشباع می باشد. برای تهیه این لایه از لوگ چاه های مشاهده ای و اکتشافی استفاده و روشی مشابه با لایه محیط آبخوان به کار برده شده است. با این تفاوت که ضخامت و جنس لایه های بالایی سطح ایستابی در لوگ چاه ها مد نظر قرار می گیرد (شکل ۲ - و).

<sup>9</sup> - Digital Elevation Model

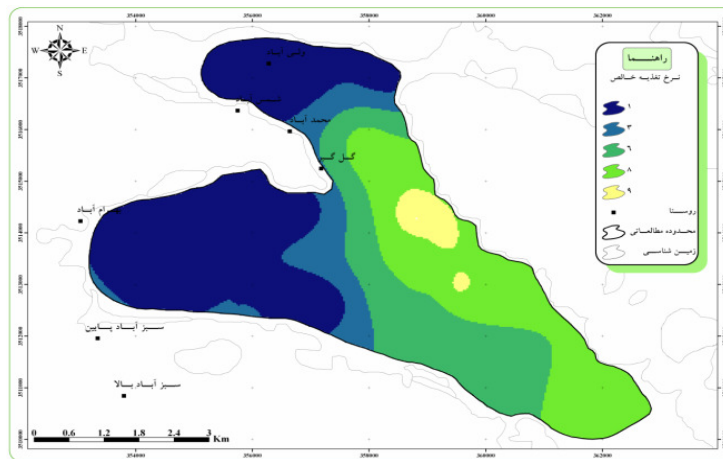
- هدایت هیدرولیکی: هدایت هیدرولیکی به جنس خاک، منطقه میانی و آبخوان بستگی دارد. این پارامتر بیان کننده قابلیت هدایت آب و آلاینده‌های محلول در آن است. هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، میزان میرایی آلودگی کاهش می‌یابد. برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی، نقشه‌های هم قابلیت انتقال و هم ضخامت آبخوان مورد نیاز است. با تقسیم کردن لایه هم قابلیت انتقال بر ضخامت آبرفت، نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمد و مطابق با جدول ۱ نرخ بندی شد. به این ترتیب لایه هدایت هیدرولیکی جهت تلفیق با دیگر لایه‌ها به دست آمده است (شکل ۲-ی).

جدول ۱: طبقه بندی و نرخ بندی پارامترهای مدل DRASTIC در منطقه مورد مطالعه

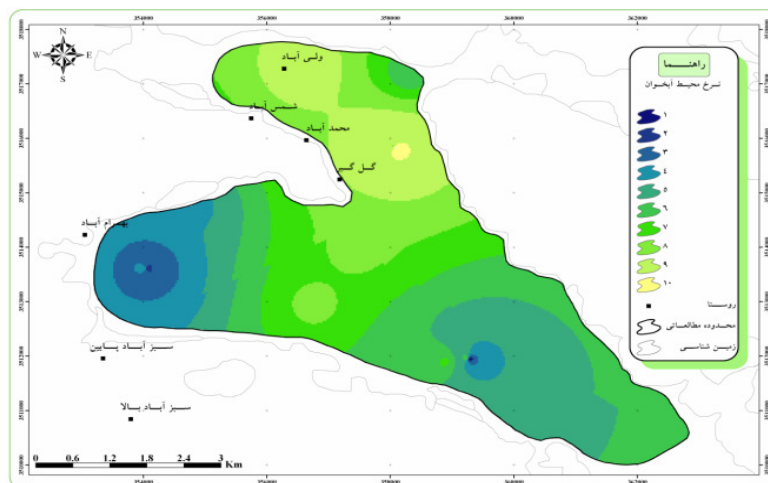
نرخ	پارامتر	نرخ	پارامتر	نرخ	پارامتر
	شیب توپوگرافی (درصد)		تغذیه خالص (cm/year)		عمق سطح ایستابی (m)
۱۰	۰ - ۲	۱	۱,۱۱ - ۴,۴	۹	۲,۶ - ۴,۵
۹	۲ - ۶	۳	۴,۴ - ۷,۶	۷	۴,۵ - ۹
۵	۶ - ۱۲	۶	۷,۶ - ۱۰,۹	۵	۹ - ۱۵
۳	۱۲ - ۱۳	۹	۱۰,۹ - ۱۴,۱	۳	۱۵ - ۱۹,۸
		۸	۱۴,۱ - ۱۶,۵۶		
نرخ	هدایت هیدرولیکی (m/d)	نرخ	محیط غیر اشباع	نرخ	محیط آبخوان
۱	۷,۷ - ۸,۶	۹	گراول با ماسه	۱۰	گراول
۲	۸,۶ - ۹,۴۹	۷	لایمستون	۹	گراول با ماسه
۴	۹,۴۹ - ۱۰,۳۹	۷	سیلت با ماسه و گراول ریز دانه	۸	رس با ماسه و گراول ریز دانه
۶	۱۰,۳۹ - ۱۱,۲۸	۶	سیلت ماسه ای	۸	ماسه
۸	۱۱,۲۸ - ۱۲,۱۸	۶	لایمستون با ماسه	۷	سیلت با ماسه و گراول ریز دانه
۱۰	۱۲,۱۸ - ۱۳,۰۷	۵	مارن و لایمستون	۷	لایمستون
		۵	سیلت رسی با ماسه	۷	سیلت با پیل
		۵	رس با ماسه	۶	رس با گراول
		۴	سیلت	۶	سیلت ماسه ای
		۳	سیلت رسی	۶	لایمستون با ماسه
		۲	مارن	۵	سیلت
		۲	رس با سیلت	۵	سیلت رسی با ماسه
				۵	مارن و لایمستون
				۴	رس با ماسه
				۳	سیلت رسی
				۲	رس با سیلت
				۲	مارن
				۱	رس
نرخ	محیط خاک				
۱۰	خاک سیلت لومی				
۸	خاک لومی				
۶	خاک رس لومی				
۴	خاک سیلت رس لومی				
۲	خاک سیلت رسی				



الف



ب

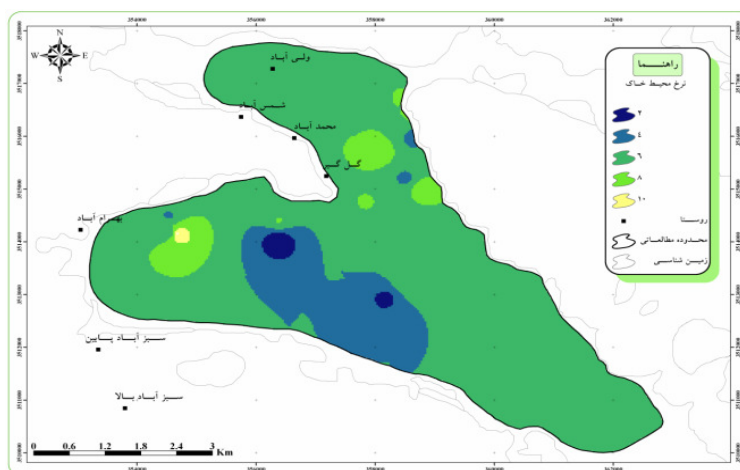


ج

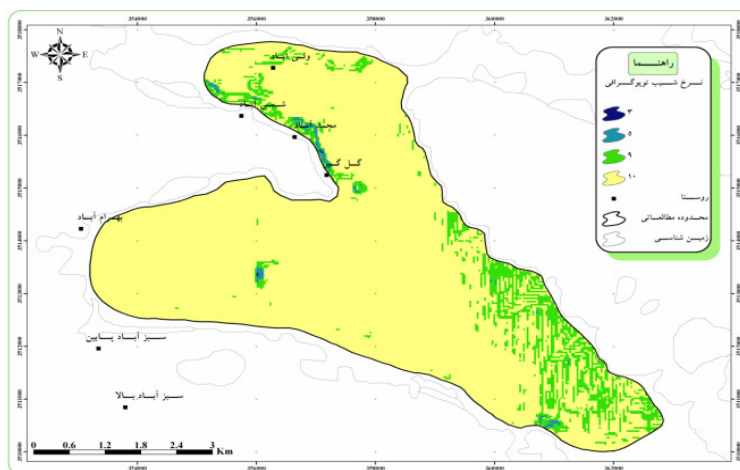
شکل ۲: نقشه لایه های مدل DRASTIC (الف- عمق تا سطح ایستابی، ب- تغذیه خالص، ج- محیط آبخوان، د- محیط خاک،

ه- شیب توپوگرافی، و- محیط غیراشباع، ی- هدایت هیدرولیکی)

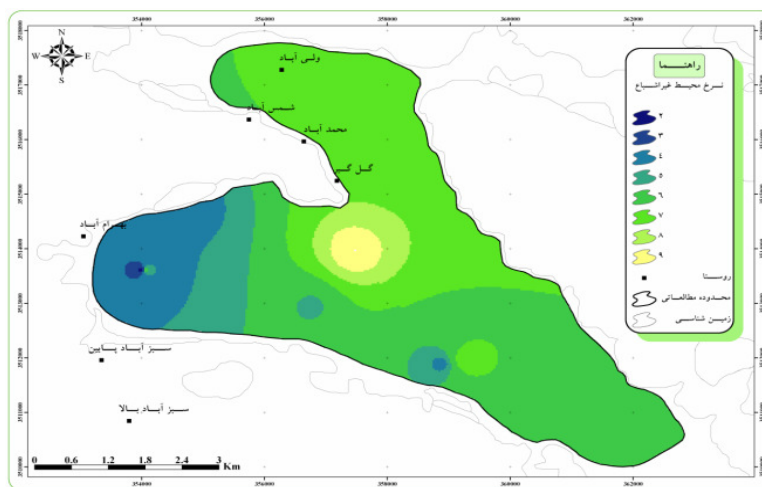




د

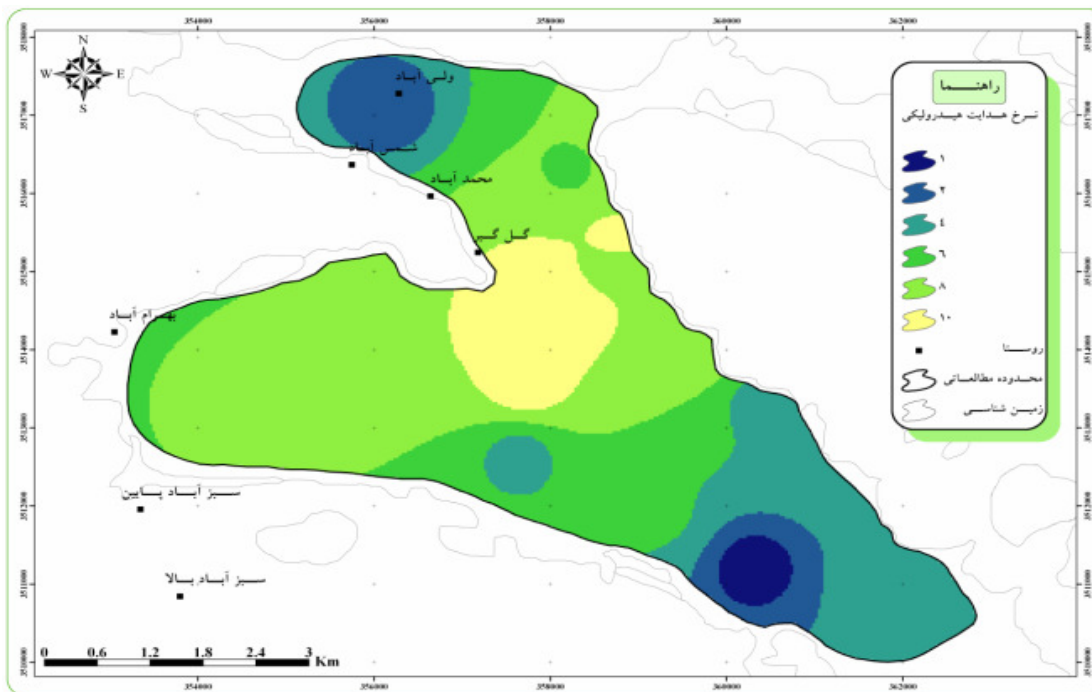


ه



و

ادامه شکل ۲



ی

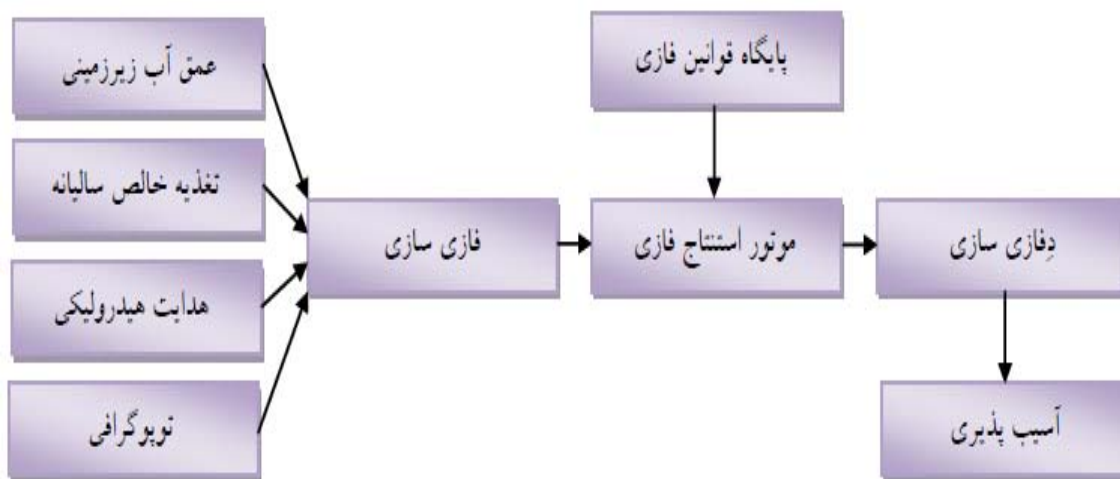
ادامه شکل ۲

### مدل فازی

ارزیابی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی یا توصیف مناطق آلوده آسان نمی باشد زیرا به پارامترهای پیچیده زیادی بستگی دارد. در همه روش های ارزیابی آسیب پذیری، عدم قطعیت و اطمینان امری ذاتی است. این عدم قطعیت ناشی از خطای اطلاعاتی و متغیر بودن پارامترهای هیدروژئولوژیک نسبت به زمان و مکان می باشد (Anonymous, 1993). بنابراین تهیه مدلی قابل انعطاف که توانایی پاسخ گویی تحت شرایط عدم قطعیت با کمترین اطلاعات ورودی را دارد، ابزار مدیریتی مناسبی جهت ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی می باشد. استفاده از منطق فازی در بسیاری از شاخه های علوم که نیازمند طبقه بندی اطلاعات هستند، گسترش فراوانی یافته است. از آنجا که در ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی نیز دسته بندی اطلاعات و تعیین مرز بین این دسته ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است، بنابراین منطق فازی آسیب پذیری را بهتر از روش های معمول ارزیابی می کند (Dixon et al., 2002).

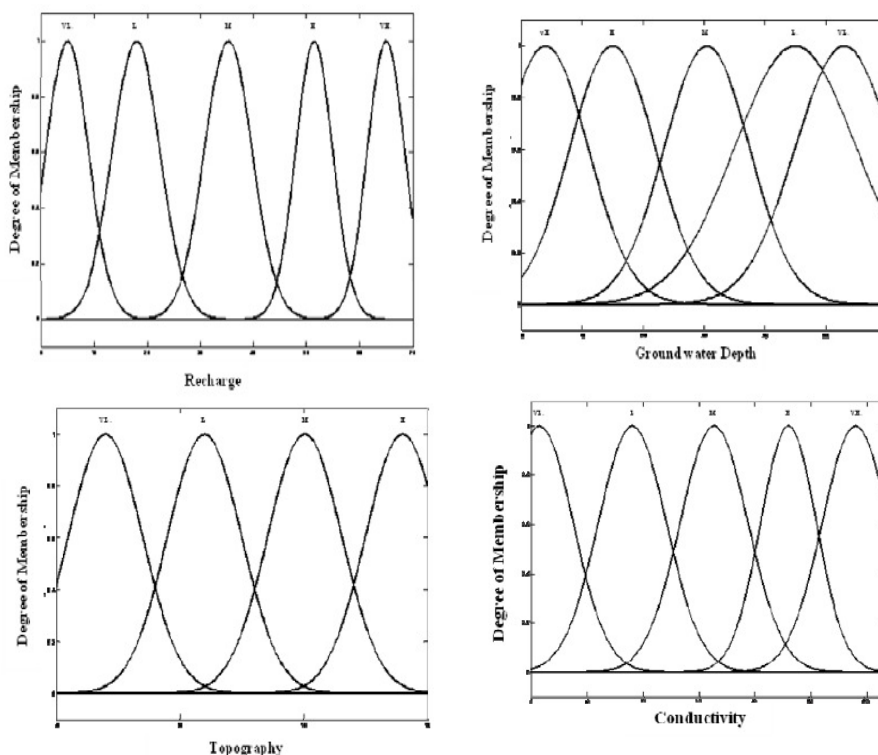
به طور کلی مراحل ساختن یک سیستم کنترل فازی را می توان به صورت زیر بیان کرد (شکل ۳):

- ۱- فازی سازی مقادیر قطعی ورودی؛
- ۲- استخراج پایگاه قواعد و روش استنتاج فازی؛
- ۳- غیرفازی سازی مقادیر فازی خروجی.



شکل ۳: ساختار مدل فازی ارزیابی آسیب پذیری

**فازی سازی مقادیر قطعی ورودی:** اولین گام در ایجاد یک سیستم فازی، تعریف ورودی‌ها و توابع عضویت می‌باشد. پارامترهای ورودی مدل استنتاج فازی شامل عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، شیب توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی می‌باشند. برای سه پارامتر دیگر مدل DRASTIC یعنی محیط آبخوان، محیط غیر اشباع و محیط خاک به دلیل این که فاقد مقادیر بینابینی می‌باشند، امکان فازی سازی وجود ندارد. فازی سازی پارامترهای ذکر شده با استفاده از تابع عضویت گوسی صورت گرفته است. با برنامه نویسی در محیط نرم افزار MATLAB نمودار فازی سازی هر پارامتر رسم شد. چون پارامترها مستقل می‌باشند، فازی سازی هر پارامتر به صورت جداگانه انجام می‌پذیرد. برای متغیرهای عمق سطح ایستابی، میزان تغذیه خالص و هدایت هیدرولیکی با توجه به محدوده عددی آن‌ها توابع عضویت خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین تعریف شده است. برای متغیر شیب توپوگرافی توابع عضویت به صورت بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین در نظر گرفته شده اند (شکل ۴).



شکل ۴: توابع عضویت متغیرهای ورودی مدل فازی

میزان عضویت در این نمودارها از رابطه ۳ به دست می آید:

$$f = (x; \delta, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\delta^2}} \quad (3)$$

در این رابطه  $c$ ، میانگین یا مرکز منحنی گوسی،  $\delta$  انحراف معیار تابع عضویت و  $x$  مقدار پارامتر مورد نظر می باشد. مقادیر این پارامترها برای توابع عضویت مدل فازی به صورت زیر می باشد:

$c = [2,2,2,2,2,5]$	$\delta = [5,5,9,9,16,5,22,27]$	- پارامتر عمق سطح ایستابی
$c = [1,5,1,5,1,5,1,5,1,5]$	$\delta = [3,5,7,10,5,14,17,5]$	- پارامتر تغذیه خالص
$c = [4,4,4,4,4]$	$\delta = [2,8,15,22,28]$	- پارامتر هدایت هیدرولیکی
$c = [1,1,1,1]$	$\delta = [4,8,14,18]$	- پارامتر شیب توپوگرافی

**استخراج پایگاه قواعد و روش استنتاج فازی:** پس از فازی سازی پارامترهای ورودی، به ساختن پایگاه قواعد فازی اقدام می شود. قواعد فازی ارزیابی آسیب پذیری عبارتهایی با ساختار اگر - آن گاه فازی است که در هر یک از این قواعد آثار ترکیبی شاخص های مورد استفاده از دیدگاه مورد نظر تعیین می شود. تعداد قواعد مورد نیاز به تعداد شاخص ها و تعداد طبقات هر شاخص بستگی دارد و مطابق رابطه ۴ محاسبه می شود.

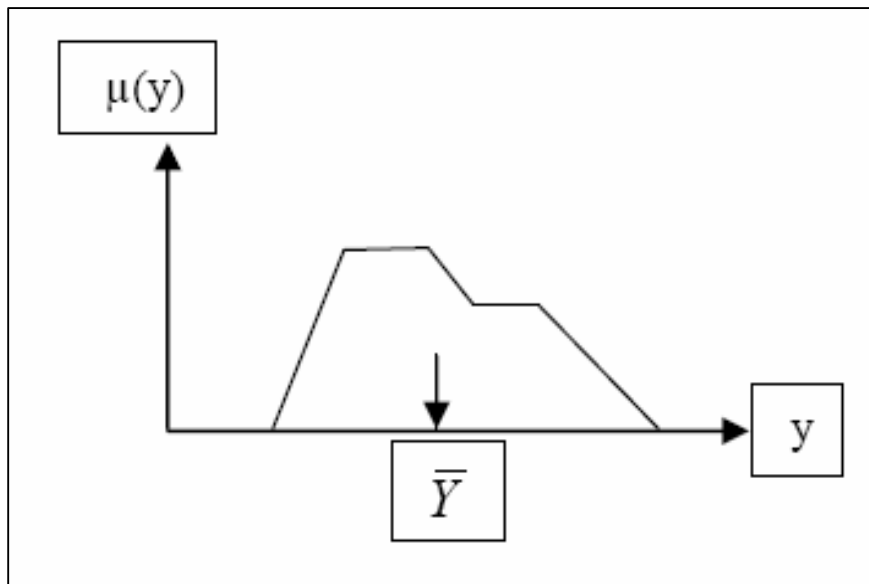
$$I = K_1 \times K_2 \times \dots \times K_n \quad (4)$$

در این رابطه I تعداد قواعد، n شماره شاخص و K تعداد طبقات هر شاخص می باشد. مطابق این رابطه در این بررسی با توجه به تعداد متغیرها و طبقات آنها ۵۰۰ قانون قابل تعریف می باشد که با بررسی های صورت گرفته، ۱۰۰ قانون تعریف شده است (جدول ۲).

برای هر یک از قواعد موجود با توجه به روش استنتاج فازی ممدانی، یک تابع عضویت برای خروجی آن ایجاد می شود. در این روش که جهت قواعد عطفی به کار می رود، از میان درجه عضویت ورودی های یک قاعده فازی در هر محدوده، کم ترین درجه عضویت انتخاب و به خروجی منتقل می شود. این کار برای تمامی قواعد در کل محدوده تغییرات متغیرها تکرار شده و متغیر فازی خروجی به دست می آید.

**غیرفازی سازی مقادیر فازی خروجی:** مقادیر فازی خروجی را باید با استفاده از روش غیرفازی ساز و با توجه به تابع عضویت خروجی به عدد حقیقی تبدیل کرد. روش های مختلفی برای غیرفازی کردن خروجی وجود دارد. از جمله این روش ها می توان به روش ارتفاع، میانگین، حداکثر، مرکز ثقل و .... اشاره کرد. در این تحقیق با استفاده از روش غیرفازی سازی مرکز ثقل مقدار حقیقی شاخص خروجی استفاده شده است. این روش رایج ترین روش تبدیل کمیت فازی به کمیت کلاسیک می باشد. جهت محاسبه این مقدار از رابطه ۵ استفاده می شود (تشنه لب و همکاران، ۱۳۸۸).

$$\bar{Y} = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy} \quad (5)$$



در این رابطه y مقدار خروجی،  $\mu(y)$  درجه عضویت خروجی y و  $\bar{Y}$  مقدار حقیقی شاخص خروجی است.

شکل ۵: غیرفازی ساز مرکز ثقل

جدول ۲: پایگاه قواعد مدل فازی آسیب پذیری

ردیف	مقیاس سطح ایستایی	تندی حاصل	مدایت میدروئیک	توپوگرافی	آسیب پذیری
۱	VL	VH	M	H	M
۲	VL	H	H	M	L
۳	VL	M	H	L	VL
۴	L	VH	M	L	L
۵	M	VH	M	M	H
۶	M	VH	L	L	M
۷	H	H	M	L	H
۸	H	H	M	M	H
۹	H	L	L	VL	L
۱۰	H	L	M	L	M
۱۱	M	L	VH	VL	M
۱۲	M	VL	H	VL	M
۱۳	H	VL	L	VL	M
۱۴	VH	H	M	L	H
۱۵	VH	M	M	VL	H
۱۶	VH	L	M	VL	M
۱۷	VH	VL	L	VL	L
۱۸	VH	L	L	L	L
۱۹	VH	VL	M	VL	M
۲۰	H	VL	VL	H	L
۲۱	H	L	VL	M	L
۲۲	M	VL	VL	L	VL
۲۳	M	VL	M	VL	L
۲۴	M	VL	L	L	L
۲۵	H	L	VL	M	L
۲۶	H	L	VL	H	L
۲۷	M	L	L	M	VL
۲۸	L	L	L	L	VL
۲۹	L	M	L	H	VL
۳۰	L	M	L	L	L
۳۱	L	L	VL	M	VL
۳۲	M	M	M	VL	M
۳۳	M	H	M	L	M
۳۴	H	H	L	L	H
۳۵	H	M	L	L	H
۳۶	H	L	L	L	M
۳۷	M	VL	VH	VL	M
۳۸	M	L	H	VL	M
۳۹	H	VH	M	M	VH
۴۰	H	H	M	M	H
۴۱	L	VH	H	H	M
۴۲	L	H	H	L	M
۴۳	L	H	M	L	M
۴۴	H	VH	H	L	VH
۴۵	M	VH	M	VL	H
۴۶	VL	M	H	M	L
۴۷	VL	H	H	L	L
۴۸	VL	H	H	L	L
۴۹	L	VH	H	L	M
۵۰	M	VH	H	VL	H
۵۱	M	VH	H	VL	H
۵۲	L	VH	H	M	VH
۵۳	VL	M	H	H	M
۵۴	VL	H	M	H	L
۵۵	VL	M	M	VL	M
۵۶	VL	H	M	L	L
۵۷	VL	M	H	VL	L
۵۸	VL	H	M	M	L
۵۹	VL	M	M	H	L
۶۰	L	H	M	H	VL
۶۱	L	M	H	M	VL
۶۲	L	L	M	L	VL
۶۳	L	M	M	H	VL
۶۴	M	H	M	H	L
۶۵	M	M	H	H	L
۶۶	M	M	M	L	M
۶۷	M	M	VH	H	M
۶۸	L	H	M	M	L
۶۹	L	M	H	L	VL
۷۰	L	L	L	H	VL
۷۱	VL	L	M	M	VL
۷۲	VL	M	L	H	VL
۷۳	L	VL	M	H	VL
۷۴	VL	L	L	H	VL
۷۵	H	L	M	L	H
۷۶	VH	M	L	VL	H
۷۷	VH	H	H	M	VH
۷۸	VH	H	M	L	VH
۷۹	H	M	H	VL	H
۸۰	H	H	M	L	H
۸۱	H	VH	H	L	VH
۸۲	H	H	M	L	H
۸۳	H	L	H	L	M
۸۴	H	M	M	M	M
۸۵	M	H	H	L	M
۸۶	H	M	M	VL	H
۸۷	VH	M	H	M	H
۸۸	VL	L	M	H	VL
۸۹	VL	VL	H	L	VL
۹۰	VL	M	M	H	VL
۹۱	VL	M	M	M	VL
۹۲	VL	L	L	VL	VL
۹۳	VL	L	VL	L	VL
۹۴	VL	M	L	VL	VL
۹۵	VL	M	H	VL	L
۹۶	VL	L	VL	H	VL
۹۷	VL	L	L	VL	VL
۹۸	VL	M	VL	VL	VL
۹۹	M	VL	VL	L	VL
۱۰۰	M	M	VL	L	M

«V.H.: خیلی بالا، H.: بالا، M.: متوسط، L.: کم، V.L.: خیلی کم»

## ارزبایی آسیب پذیری آبخوان

نتایج مدل DRASTIC (شکل ۶- الف) نشان می‌دهد که بیشترین میزان آسیب پذیری در شرق دشت گل گیر مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد زیاد بودن میزان تغذیه، دانه درشت بودن محیط آبخوان، محیط غیر اشباع، محیط خاک و هدایت هیدرولیکی عوامل بالا بودن میزان آسیب پذیری در این قسمت از دشت می‌باشند. کمترین میزان آسیب پذیری در بخش‌های شمال، غرب، شمال غرب و جنوب غرب دشت مشاهده می‌شود. بر این اساس ۱۵/۵۴ درصد از دشت آسیب پذیری خیلی زیاد، ۳۹/۲۵ درصد آسیب پذیری زیاد و ۴۵/۲۱ درصد آسیب پذیری متوسط می‌باشد. نتیجه سیستم استنتاج فازی (شکل ۶- ب) نیز بیانگر آن است که بخش شرقی دشت منطبق بر بیشترین میزان آسیب پذیری است. این منطقه از بیشترین میزان تغذیه برخوردار می‌باشد. بر این اساس ۴/۶۹ کیلومتر مربع برابر با ۱۵/۳۶ درصد آسیب پذیری خیلی زیاد، ۲/۳۲ کیلومتر مربع معادل ۷/۵۸ درصد دارای آسیب پذیری زیاد و ۲۳/۵۶ کیلومتر مربع از منطقه برابر با ۷۷/۰۵ درصد آسیب پذیری متوسط دارد. در این روش قسمتی وسیعی از دشت در رده آسیب پذیری متوسط قرار می‌گیرد.

## صحت سنجی مدل

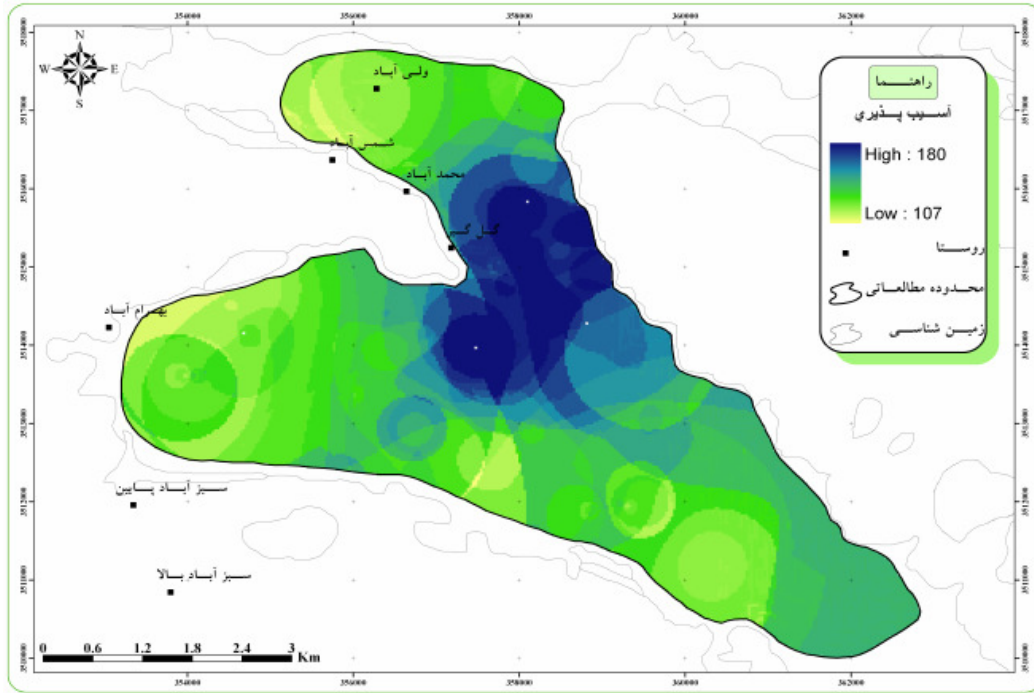
جهت صحت سنجی نتایج مدل از داده‌های غلظت نیترات نمونه‌های چاه‌های آب مربوط به اسفند ۱۳۸۴ استفاده شده است. وجود نیترات در آب‌های زیرزمینی نشانگر تخریب کیفیت آب می‌باشد. به دلیل این که کودهای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه غالباً کودهای حیوانی و یا کودهای شیمیایی نیتراته می‌باشند، یون نیترات موجود در آب‌های زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

با توجه به نقشه هم ارزش نیترات (شکل ۷)، میزان نیترات موجود در آب‌های زیرزمینی در بخش‌های شرقی و شمال بیش از سایر مناطق دشت می‌باشد که نتایج به دست آمده از مدل را تأیید می‌کند.

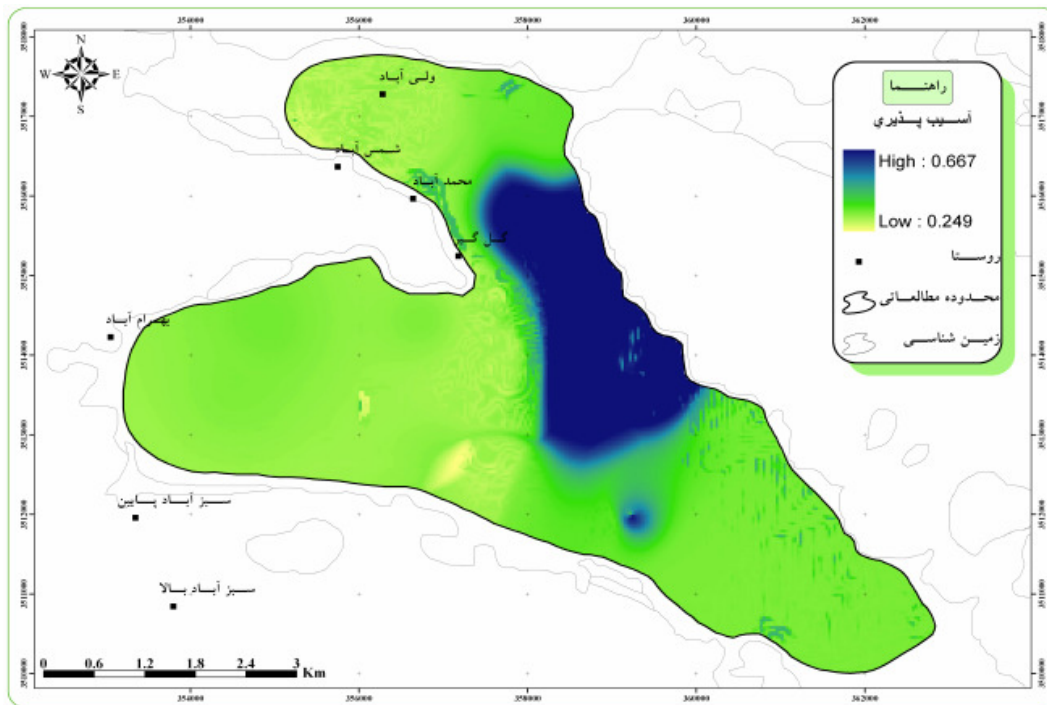
برای مشخص کردن مؤثرترین پارامتر بر روی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، ضریب همبستگی بین پارامترهای مدل DRASTIC با لایه نیترات محاسبه شد (جدول ۳). نتایج موجود نشان می‌دهد که عامل تغذیه خالص از بیشترین همبستگی با لایه نیترات برخوردار است و بنابراین نسبت به سایر پارامترهای مدل DRASTIC تأثیر بیشتری بر روی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی دارد. هدایت هیدرولیکی، محیط آبخوان و محیط غیر اشباع در رده‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۳: همبستگی بین لایه‌های مدل DRASTIC و غلظت نیترات

لایه	عمق سطح ایستابی	تغذیه خالص	محیط آبخوان	محیط خاک	شیب توپوگرافی	محیط غیر اشباع	هدایت هیدرولیکی
نیترات	۰,۲۲۳۶	۰,۵۱۳۸	۰,۳۱۴۵	۰,۲۷۳۷	۰,۲۰۸۱	۰,۲۷۹۱	۰,۳۸۸۱



الف



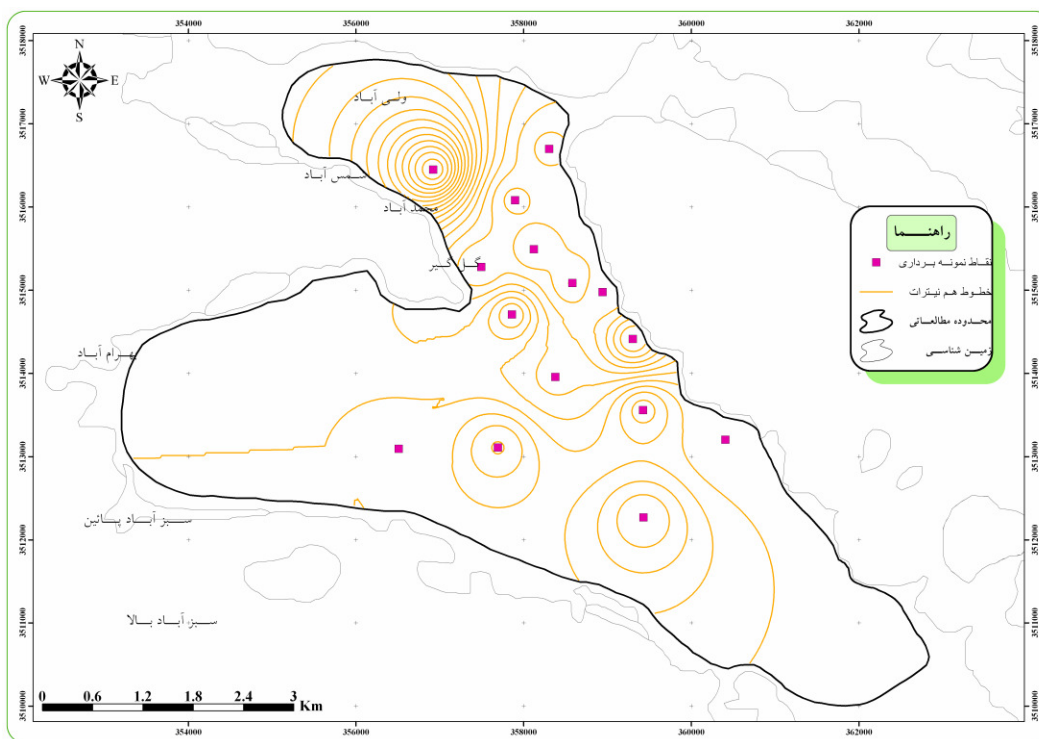
ب

شکل ۶: نقشه آسیب پذیری دشت گل گیر (الف- مدل DRASTIC ، ب- مدل فازی)



### نتیجه گیری

به طور کلی نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می دهد که در حالت استفاده از لایه های قطعی و فازی روند کلی آسیب پذیری یکسان می باشد اما هنگامی که از لایه های فازی استفاده می شود حالت تغییر تدریجی بهتر نمایان می شود. با توجه به این که تلفیق لایه ها در روش DRASTIC با منطق بولین انجام می پذیرد، در مقادیر مرزی خطا ایجاد شده و تغییر جزئی در مقادیر عوامل موجب جابه جایی از یک طبقه به طبقه دیگر می شود که قابل توجیه نمی باشد. بنابراین استفاده از منطق فازی موجب افزایش دقت نتایج به ویژه در مقادیر مرزی می گردد.



شکل ۷: نقشه هم ارزش نیرتات آبخوان دشت گل گیر

### منابع

- ۱- تشنه لب، م، صفار پور، ن، افیونی، د، (۱۳۸۸): سیستم های فازی و کنترل فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- ۲- سازمان آب و برق خوزستان، معاونت مطالعات پایه و طرح های جامع منابع آب، مدیریت مطالعات پایه منابع آب، (۱۳۸۸): گزارش مطالعات شناخت منابع آب سازند سخت (کارست) تاقدیس آسماری.

- ۳- سازمان آب و برق خوزستان، معاونت مطالعات پایه و طرح های جامع منابع آب، مدیریت مطالعات پایه منابع آب، (۱۳۸۵): گزارش مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب گل گیر.
- ۴- شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور - مدیریت مطالعات کرخه، (۱۳۸۸): گزارش مطالعات خاک شناسی نیمه تفصیلی دقیق اراضی منطقه گل گیر مسجد سلیمان.
- ۵- صارمی نژاد، فردوس (۱۳۸۹): پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت گل گیر مسجد سلیمان با استفاده از مدل DRASTIC و منطق فازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

- 6- Aller, L., Bennet, T., Leher, J. H., Petty, R. J., and Hackett, G., (1987): DRASTIC A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydro geologic Setting. EPA – 600/2 – 87 – 035. Ada, Oklahoma: U. S. Environmental Protection Agency.
- 7 - Anonymous, P., (1993). A Methodology and Decision Support System for Evaluating The Leaching Potential of Pesticides, U.S. Environmental Protection Agency, EPA, 600/S – 93/010.
- 8 - Dixon, B., Scott, H.D, Dixon, J.C., Steele, K.F., (2002): Prediction of Aquifer Vulnerability to Pesticides Using Fuzzy Rule – Based Models at The Regional Scale, Physical Geography 23.
- 9 - Freeze, R. A., Massmann, J. Smith, L. Sperling, T., James, B., (1990): Hydrological decision Analysis: 1. A Framework. Groundwater, 28(5): Pp. 738 – 66.
- 10 - Malano, H.M., Gao, G., (1992): Ranking and Classification of Irrigation System Performance Using Fuzzy Set Theory: Case Studies in Australia and China. Irrigation and Drainage Systems, (6): pp. 129 – 148.
- 11 - Malczewski. J., (1999): GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Willey & Sons, Inc.
- 12 - Melloul, A., Collin, M., (1994): Water Quality Factor Identification by The Principal Component's Statistical Method. J. Water Sci. Techno., 34, 41 – 50.
- 13 - Rushton, K.R. (2003): Groundwater Hydrology, Conceptual and Computational Models. John Wiley & Sons Inc. Pp. 416.
- 14- Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P. G., (2002): Choosing Appropriate Techniques for Quantifying Groundwater Recharge, Hydrology Journal 10(1), Pp. 18 – 39.
- 15- US EPA, (1996): Environmental Indicators of Water Quality in The United States, Washington, D.C., office of Water, EPA, Washington, D.C, EPA 841 – R – 96 – 002.
- 16- Vrba, J., Zaporozec, A., (1994): Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, IAH International Contribution for Hydrogeology 16, 131.