

تعیین مناسب‌ترین شاخص آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با مقایسه دراستیک فازی و معمولی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سرخون)

احمد نوحه‌گر^۱، فاطمه ریاحی^{۲*}

ahmad.nohegar@gmail.com

۱. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران

۲. دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱/۲۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۷/۲۱

چکیده

دشت سرخون نزدیک‌ترین منبع آب‌رفتی آب شیرین بندرعباس و شهرک‌های اطراف است. بهره‌برداری‌های بی‌رویه آب به خصوص در بخش شرقی دشت، همچنین خشکسالی‌های حاکم بر منطقه موجب منفی‌شدن گرادیان هیدرولیکی آب شده است و رودخانه شورخورجیل که به علت عبور از سازندهای تخییری و شور دارای کیفیت نامناسب است عملاً دشت را تغذیه می‌کند. به همین دلایل ارزیابی آسیب‌پذیری در تصمیم‌های مدیریتی این دشت حائز اهمیت است. به این منظور در این پژوهش از روش شاخص همپوشانی دراستیک که از کاربردی‌ترین روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری است استفاده شد. سیستم رتبه‌بندی این روش به علت استفاده از منطق بولین به ویژه در مقادیر نزدیک مرزهای دسته‌بندی، قابل اعتماد و درست نیست. در این پژوهش سیستم رتبه‌بندی این شاخص با استفاده از مبانی تئوری فازی که در آن هر موضوع یا مفهومی دارای یک درجه عضویت است اصلاح شد. در این راستا رتبه‌بندی ۴ پارامتر کمی مدل شامل عمق سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی، تغذیه و شیب با استفاده از عملگر فازی نرم‌افزار MATLAB تصحیح سپس، نقشه نهایی آسیب‌پذیری با اضافه‌شدن پارامترهای کیفی مدل تولید شد. برای مقایسه، نقشه دراستیک با رتبه‌بندی پارامترها (طبق منطق بولین) نیز تولید شد. در مرحله بعد خروجی مدل فازی و دراستیک معمولی با استفاده از عامل EC به‌منزله شاخص آلاینده‌گی منطقه مورد مطالعه صحت‌سنجی شد. نتایج همبستگی اسپیرمن، نشان‌دهنده همبستگی بالاتر مدل فازی با عامل EC، نسبت به مدل دراستیک معمولی است و توانایی مدل‌سازی فازی پارامترهای هیدروژئولوژیک، که قطعیت ذاتی ندارند، را تأیید می‌کند. با توجه به نتایج، از مدل دراستیک فازی به منظور تعیین آسیب‌پذیری ذاتی دشت سرخون استفاده شد. طبق نقشه آسیب‌پذیری حاصل، آسیب‌پذیری ذاتی دشت در ۲ طبقه کم و متوسط قرار گرفت.

کلیدواژه

ارزیابی آسیب‌پذیری، تئوری فازی، دراستیک، شاخص همپوشانی، همبستگی اسپیرمن.

۱. سرآغاز

زیان‌آوری مانند برداشت مازاد، نامناسب‌شدن کیفیت آب و اثر آن روی آب آشامیدنی و محصولات کشاورزی و نشست زمین در اثر پمپاژ بیش از اندازه آب چه در حال و آینده جلوگیری شود. حفاظت و نگهداری کیفیت آب زیرزمینی در حوزه وسیع شامل دو مجموعه بررسی‌های هیدرولوژیکی و سیاست‌های مدیریتی منابع آب است که

با توجه به افزایش نیاز مبرم به آب و اینکه یکی از منابع مطمئن بهره‌برداری در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران سفره آب زیرزمینی است، لذا نقش مدیریت صحیح بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی پررنگ می‌شود. نحوه مدیریت باید به ترتیبی باشد که از آثار

به طور کلی می‌توان این دو مورد را از طریق مؤلفه آسیب‌پذیری بررسی و تشریح کرد.

یکی از راه‌های مناسب برای پیشگیری از آلودگی‌های آتی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر سیستم‌های آب زیرزمینی و مدیریت کاربری اراضی است. بنابراین، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیستم‌های آب زیرزمینی برای جلوگیری از آلودگی‌های آینده ضروری است. آسیب‌پذیری از نظر مفهومی به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌شود. آسیب‌پذیری ذاتی به مفهوم حساسیت آبخوان به عوامل طبیعی است. این در حالی است که آسیب‌پذیری ویژه، آسیب‌پذیری ذاتی را همراه احتمال قرارگرفتن آب‌های زیرزمینی در معرض نفوذ آلاینده‌ها بررسی می‌کند.

دراستیک مدل شاخص و همپوشانی است که برای تولید نمره‌های آسیب‌پذیری برای نقاط مختلف با ترکیب چندین لایه موضوعی طراحی شده است. مشابه روش‌های دیگر شاخص و همپوشانی، در این روش نیز پارامترهای مختلف هیدروژئولوژیکی که هر یک در انتقال آلودگی تأثیرگذارند، با یک ضریب وزنی و رتبه با یکدیگر جمع می‌شوند و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری را ارائه می‌دهند. روش‌های شاخص همپوشانی کاربردی‌ترین روش‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به شمار می‌روند، زیرا به نسبت ارزان‌اند، به طور مستقیم به هدف می‌رسند، داده‌های استفاده‌شده آن در دسترس یا قابل تخمین‌اند، نتایج نهایی آن به آسانی قابل توصیف و برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب‌اند (Focazio et al., 2002). این در حالی است که سیستم رتبه‌دهی پارامترهای این روش سیستم غیرمنطقی و غیر قابل اعتماد است. به طور معمول این طبقه‌بندی‌ها بر اساس روش بولین است و که در آن ابتدا باید مرز بین طبقات مشخص شود. بنابراین، با توجه به شاخص‌های آسیب‌پذیری که ماهیت طیفی و دامنه‌دار دارند، اگر طبقه‌بندی بر اساس روش بولین انجام گیرد موجب می‌شود که یک منطقه با کوچک‌ترین تغییر از یک طبقه به طبقه بالاتر یا پایین‌تر جابه‌جا شود که اصولاً

پذیرفتنی و توجیه‌شدنی نیست. به نظر می‌رسد با استفاده از مبانی تئوری فازی که در آن هر موضوع یا مفهومی دارای درجه عضویت است، می‌توان روش مناسبی برای طبقه‌بندی و رتبه‌گذاری نسبت به روش بولین ارائه کرد (et Malano al., 1992).

در خصوص آسیب‌پذیری و آلودگی آب زیرزمینی با این مدل تحقیقاتی انجام شده است که از جنبه‌های مختلفی به بررسی موضوع پرداخته‌اند. در ادامه به چند مورد از این مطالعات اشاره می‌شود.

Ketema Tilahun و همکاران (۲۰۰۹) برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به آلودگی یک منطقه نیمه‌خشک در اتیوپی از روش دراستیک و برای تهیه نقشه‌ها و روی هم‌گذاری لایه‌های وزن‌داده‌شده از نرم‌افزار Arc View استفاده کردند. آن‌ها نتیجه تحقیق را این طور بیان کردند؛ بخشی از محدوده مطالعاتی که در شهر کوچک دیرداو^۱ قرار گرفته است دارای آسیب‌پذیری بالا و بخش غربی محدوده مطالعاتی به علت عمق زیاد آب زیرزمینی، بافت خاک رس و میزان کم تغذیه، دارای آسیب‌پذیری کم است. همین‌طور آن‌ها بیان کردند که در تعدادی از چاه‌های منطقه که در قسمت دیرداو (آسیب‌پذیری بالا) وجود دارند، غلظت نترات مشاهده‌شده بالاتر از استانداردهای مجاز است، در حالی که در چاه‌هایی که در قسمت غربی قرار گرفته‌اند (آسیب‌پذیری کم) نیراتی مشاهده نشده است.

Dixon و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از تکنیک‌های منطق فازی، آسیب‌پذیری سفره به آلودگی را در مقیاس منطقه‌ای پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که در ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، دسته‌بندی اطلاعات و تعیین مرز بین این دسته‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا منطق فازی آسیب‌پذیری را بهتر از روش‌های معمول ارزیابی می‌کند.

Niknam و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی با عنوان «تهیه نقشه آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از

متأسفانه در کنار این تحقیقات فراگیر جهانی و با توجه به ضرورت تحقیق در این مورد، هنوز تحقیق جامعی در این زمینه در ایران صورت نگرفته است و فقط برخی از محققان به صورت پراکنده به این امر همت گماشته‌اند.

به طور کلی این تحقیقات مبتنی بر دیدگاه‌های خاص و برای شرایط متفاوت مناطق مختلف شکل گرفته‌اند. بنابراین، برای شرایط استان هرمزگان، لازم است که با توجه به ویژگی‌های متفاوت هیدروژئولوژی دشت‌های مختلف آن، تحقیقات مربوطه صورت گیرد. آبخوان دشت سرخون که از مهم‌ترین مناطق کشاورزی و تأمین‌کننده آب این استان است، در این خصوص مورد توجه قرار گرفته و نقاط آسیب‌پذیر این آبخوان ارزیابی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی سرخون به فاصله تقریبی ۲۵ کیلومتری از بندرعباس در دامنه شرقی - شمال شرقی کوه گنو واقع شده است. این حوضه با مساحتی حدود ۱۰۴۶ کیلومتر مربع و در حدود عرض‌های شمالی ۹°، ۲۷ تا ۳۵°، ۲۷ و طول‌های شرقی ۷°، ۵۶ تا ۳۳°، ۵۶، در حوضه آبریز سرخون واقع شده است (شکل ۱). رودخانه شور واقع در این محدوده از نظر ساختار مورفولوژیکی تعیین حوضه آبریز، با زیرحوضه سرخون ارتباطی ندارد، اما به دلیل وجود مناطق بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در حاشیه شرقی دشت و ایجاد شیب هیدرولیکی، آن دشت را تغذیه می‌کند. جنس آبرفت در بخش غربی، ورودی و مرکزی دشت دانه‌درشت و با پیشروی به سمت شمال‌شرق و جنوب و بالاخص شرق و جنوب‌شرقی (خروجی دشت) از قطر دانه‌بندی آن کاسته می‌شود و حالت دانه‌ریز پیدا می‌کند. مهم‌ترین فعالیت انسانی در منطقه کشاورزی است و در حاشیه‌های دشت شهرک صنعتی بندرعباس و برخی صنایع کوچک پراکنده شده است.

منطق فازی و کاربرد آن در دشت تهران» به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در دشت تهران با استفاده از مدل دراستیک و منطق فازی پرداختند. پس از اجرای مدل دراستیک و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری با استفاده از منطق فازی و مقایسه این روش‌ها با هم به این نتیجه رسیدند که منطق فازی، مناطق آسیب‌پذیر بیشتری را نسبت به روش اندیس و همپوشانی دراستیک شناسایی کرده است.

Toranjian (۲۰۰۹) با توجه به آثار افزایش استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی روی کیفیت آب زیرزمینی به بررسی مناطق مستعد آلودگی در دشت همدان - بهار پرداخت. در این تحقیق با استفاده از روش DRATIC و به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه آسیب‌پذیری دشت تهیه شد. نتایج مدل نشان داد که پتانسیل آسیب‌پذیری به ترتیب ۶/۰۹، ۳۷/۵۳، ۴۵/۹۳ و ۱۰/۴۳ درصد از منطقه در محدوده‌های بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم قرار می‌گیرد.

این پژوهش با هدف بهره‌گیری از مبانی تئوری فازی در مدل‌سازی پارامترهای هیدروژئولوژیک دراستیک که قطعیت ذاتی ندارند، به منظور تعیین شاخص دراستیک فازی و مقایسه آن با دراستیک معمولی و به دست آوردن دقیق‌ترین و مناسب‌ترین شاخص ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی منطقه سرخون است تا به منزله ابزار کارآمد برای اتخاذ تدابیر مناسب در اختیار مدیران و مسئولان قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، آبخوان دشت سرخون واقع در استان هرمزگان است. منابع آب زیرزمینی دشت سرخون آب شرب، کشاورزی و صنعت شهرستان بندرعباس را تأمین می‌کنند. حساسیت ویژه این دشت در تأمین آب کشاورزی، صنعت و به خصوص شرب بندرعباس و لزوم برداشت آب بیشتر، در سال‌های آینده است. با توجه به موارد بالا و اهمیت آلودگی آب زیرزمینی، تحقیقات بسیار گسترده‌ای در زمینه شناسایی روند این پدیده و تأثیر آن در سطح جهان انجام شده است.

پارامتر با توجه به اهميت آن بين ۱ تا ۵ متغير است. عمق تا سطح ايستابي و محيط غيراشباع بيشترين و شيب كمترين ارزش را در بين پارامترهاي مذكور دارند. همچنين، هر کدام از پارامترها به بازه‌هاي تقسيم مي‌شوند كه اثربخشي آنها در پتانسيل آلودگي متفاوت است. نتيجه مدل دراستيك يك انديس عددي است. بزرگ‌تر بودن اين انديس بيانگر آسيب‌پذيري بيشتر آب‌هاي زيرزميني است.

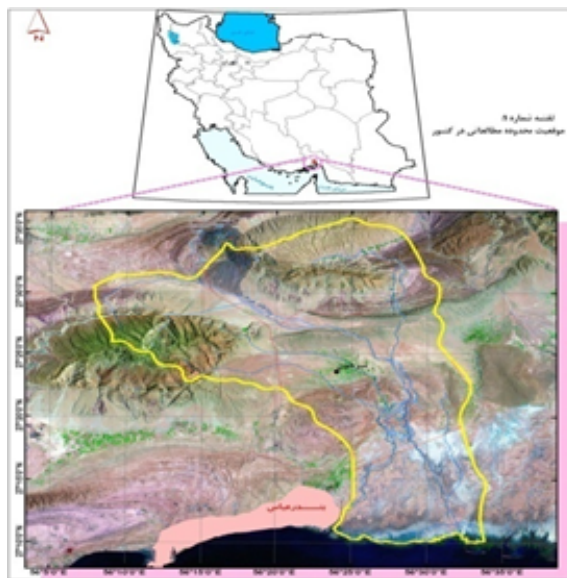
$$D_i = \sum_{j=1}^v (W_i \times R_j) \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

D_i = شاخص دراستيك، W_i = وزن فكتور i ، R_j = رتبه فكتور j

سيستم رتبه‌دهي پارامترهاي اين روش غيرمنطقي و غير قابل اعتماد است كه مي‌توان با اندك دقتي در آن به اين نكته پي برد.

۳.۲. منطق فازی

در همه روش‌هاي ارزيابي آسيب‌پذيري، نبود قطعيت و اطمينان امري ذاتي است. اين نبود قطعيت ناشي از خطاي اطلاعاتي و متغير بودن پارامترهاي هيدروژئولوژيك نسبت به زمان و مكان است (Anonymous, 1993). بنا بر اين، تهيه مدلي انعطاف‌پذير كه توانايي پاسخگويي تحت شرايط نبود قطعيت با كمترين اطلاعات ورودی را دارد، ابزار مديریتی مناسبی برای ارزيابي آسيب‌پذيري آب‌هاي زيرزميني است. استفاده از منطق فازی در بسياري از شاخه‌هاي علوم كه به طبقه‌بندي اطلاعات نیازمندند، گسترش فراواني يافته است. در ارزيابي آسيب‌پذيري آب‌هاي زيرزميني نيز دسته‌بندي اطلاعات و تعيين مرز بين اين دسته‌ها از اهميت ویژه‌اي برخوردار است بنا بر اين، منطق فازی می‌تواند آسيب‌پذيري را بهتر از روش‌هاي معمول ارزيابي كند (Dixon et al., 2002).



شكل ۱. موقعيت دشت سرخون روی تصوير ماهواره‌اي

۲.۲. شاخص دراستيك

آزانس حفاظت محيط‌زيست امريكا روش DRASTIC را برای استاندارد كردن سيستمي تهيه كرد كه آسيب‌پذيري آب زيرزميني به آلودگي را ارزيابي كند. اين مدل بر پایه مفهوم وضعيت هيدروژئولوژيكي استوار است. اولين هدف روش DRASTIC اعمال فوريت‌هاي اجرايي فعاليت‌هايي است كه در خصوص آب زيرزميني صورت مي‌گيرند. همچنين، تهيه ابزاري کاربردی برای ارزيابي آسيب‌پذيري منابع آب زيرزميني به آلودگي از اهداف ديگر اين روش است. از روش DRASTIC می‌توان برای تنظيم چگونگي انجام فعاليت‌ها در پايش آب زيرزميني در يك منطقه استفاده كرد. مشابه روش‌هاي ديگر شاخص و همپوشاني، در اين روش نيز پارامترهاي مختلف هيدروژئولوژيكي در انتقال آلودگي تأثيرگذارند. شاخص آسيب‌پذيري در اين روش از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه هفت پارامتر مطابق فرمول ۱ به دست مي‌آيد. مدل دراستيك با استفاده از هفت عامل مؤثر در پتانسيل آلودگي آب زيرزميني محاسبه مي‌شود. اين عوامل شامل عمق تا سطح ايستابي، تغذيه خالص، محيط آبخوان، محيط خاك، شيب، اثر محيط غيراشباع و هدايت هيدروليكي مي‌شوند (Aler et al., 1987). رتبه مربوط به هر پارامتر بين ۱ تا ۱۰ و وزن هر

جدول ۱. توصیف و وزن پارامترهای مدل دراستیک

وزن نسبی	توصیف	پارامتر
۵	عمق از زمین تا سطح ایستابی را بیان می‌کند، سطوح ایستابی عمیق‌تر احتمال آلودگی کمتری دارند.	عمق سطح ایستابی
۴	مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ می‌کند و به سطح ایستابی می‌رسد، آب تغذیه‌ای عاملی برای انتقال آلاینده‌هاست.	تغذیه خالص
۳	به خصوصیات مواد منطقه اشباع اشاره دارد که فرایندهای رقیق‌شدن آلاینده‌ها را کنترل می‌کنند.	محیط آبخوان
۲	به بخش هوازده بالایی منطقه غیراشباع اشاره دارد و مقدار آب نفوذی را کنترل می‌کند.	محیط خاک
۱	به شیب سطح زمین اشاره دارد، هرچه شیب کمتر باشد، زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر است بنابراین، امکان نفوذ آلاینده‌ها بیشتر خواهد بود.	توپوگرافی
۵	به‌منزله مواد منطقه غیراشباع تعریف می‌شود و عبور و رقیق‌شدن مواد آلاینده را به منطقه اشباع کنترل می‌کند.	منطقه غیراشباع
۳	توانایی آبخوان را در انتقال آب نشان می‌دهد، هرچه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد امکان جریان‌یافتن آلاینده‌ها در آبخوان بیشتر خواهد بود.	هدایت هیدرولیکی

۴.۲. مراحل تشکیل سیستم استنتاج فازی

۱. تعیین سیستم قاعده‌بنیاد فازی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای؛
۲. فازی‌سازی بخش مقدم و تالی با استفاده از توابع عضویت فازی؛
۳. ترکیب قسمت‌های مختلف بخش مقدم هر یک از قواعد و به دنبال آن تعیین شدت و میزان تأثیر قاعده مزبور در خروجی نهایی سیستم؛
۴. ترکیب بخش تالی قواعد برای به دست آوردن خروجی نهایی سیستم در قالب مجموعه فازی؛
۵. تبدیل خروجی نهایی سیستم به عدد کلاسیک با استفاده از روش‌های غیرفازی‌ساز (در صورتی که نیاز باشد خروجی سیستم در قالب یک عدد کلاسیک بیان شود).

۴.۵. نرم‌افزارهای استفاده‌شده

آنالیز داده‌ها و اجرای مدل‌های به‌کار برده‌شده در نرم‌افزار ARCGIS 9/3 انجام شد. همچنین، برای تصحیح رتبه‌بندی پارامترها از منوی فازی نرم‌افزار MATLAB و صحت‌سنجی مدل و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS 14 استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تهیه نقشه رتبه‌بندی هر یک از پارامترهای شاخص

در روش DRASTIC باید نقشه‌های رتبه‌بندی رقومی هر یک از پارامترها محاسبه شوند به همین علت از نرم‌افزار GIS ARC استفاده شد. برای هر یک از پارامترها، بانک اطلاعاتی با توجه به اطلاعات مورد نیاز شاخص و پارامتر مورد نظر در محیط نرم‌افزار EXCEL تهیه و به فرمت قابل استفاده در محیط GIS ARC تبدیل شد.

نقشه رتبه‌بندی عمق سطح آب با توجه به نقشه هم‌عمق به‌دست‌آمده از آمار و اطلاعات ۲۴ چاه تهیه شد. برای تهیه نقشه رتبه‌بندی تغذیه خالص دشت، ابتدا بیلان آب زیرزمینی تهیه شد. سپس، با توجه به نقشه هدایت هیدرولیکی دشت و مقدار نفوذپذیری آن، توزیع میزان تغذیه خالص در سطح دشت تخمین زده شد.

با استفاده از لوگ‌های حفاری دشت سرخون و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک، نوع و جنس محیط آبخوان، خاک و منطقه غیراشباع مشخص و برای تهیه نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان، خاک و منطقه غیراشباع از

توابع عضویت است. پارامترهای ورودی مدل شامل عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، شیب توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی می‌شوند. برای سه پارامتر دیگر مدل دراستیک به علت اینکه مقادیر بینابینی ندارند، امکان فازی‌سازی وجود ندارد. از تابع عضویت گوسی برای فازی‌سازی پارامترها استفاده شد. فازی‌سازی هر پارامتر به صورت مستقل در محیط نرم‌افزار Matlab صورت گرفت. در شکل ۲ توابع عضویت متغیرهای ورودی مدل فازی نشان داده شده است. در این نمودارها درجه عضویت از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\mu(X) = f(x, \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$\mu(X)$ = درجه عضویت پارامتر مورد نظر

X = مقدار پارامتر مورد نظر

C = میانگین تابع گوسی پارامتر مورد نظر

σ = انحراف معیار تابع گوسی پارامتر مورد نظر

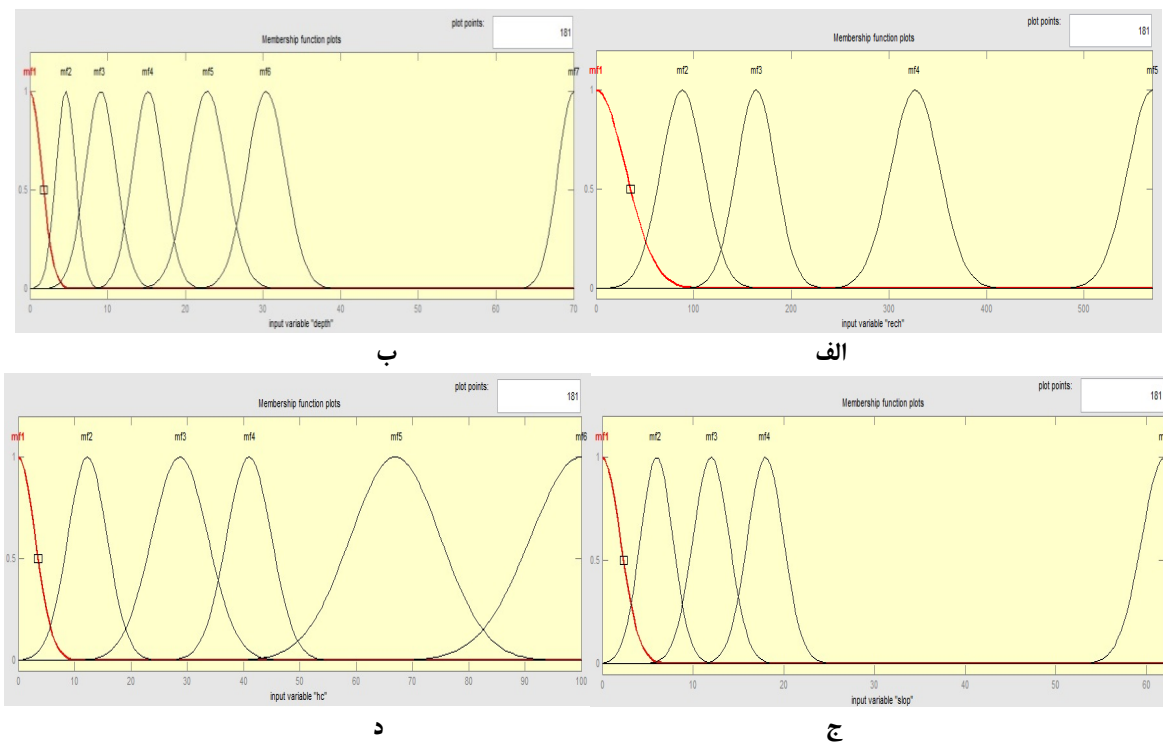
موقعیت چاه‌های حفاری، نوع و جنس محیط مورد نظر استفاده شد.

برای تهیه نقشه رتبه‌بندی شیب از نقشه DEM منطقه استفاده شد.

با توجه به آنکه در آزمایش‌های پمپاژ، مقدار پارامتر ضریب قابلیت انتقال آب اندازه‌گیری می‌شود، با استفاده از ضخامت اشباع آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم ضریب قابلیت انتقال آب بر ضخامت اشباع آبخوان به دست آمد. اطلاعات و نقاط جغرافیایی مربوط به ضریب قابلیت انتقال و ضخامت آبرفت دشت از نقشه‌های موجود تهیه شده است. سپس، از تفریق نقشه هم‌ضخامت آبرفت و هم‌عمق سطح آب، نقشه ضخامت اشباع حاصل شد و پس از تقسیم نقشه ضریب انتقال بر نقشه ضخامت آبخوان نقشه هدایت هیدرولیکی دشت به دست آمد.

۲.۳. فازی‌سازی مقادیر ورودی

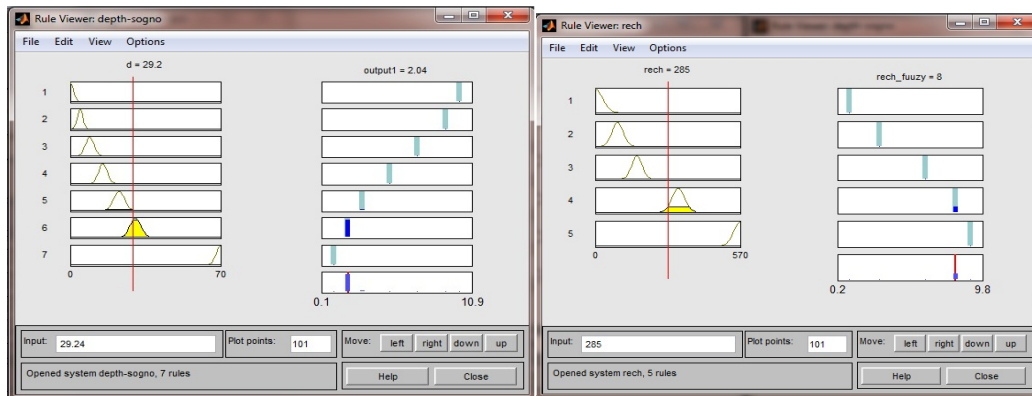
اولین مرحله در ایجاد سیستم فازی، تعریف ورودی‌ها و



شکل ۲. توابع عضویت ورودی پارامترها (الف. تغذیه، ب. عمق، ج. شیب، د. هدایت هیدرولیکی)

برای مجموعه‌های فازی ورودی از تابع عضویت گوسی، برای مجموعه‌های فازی خروجی تابع عضویت ثابت (CONSTANT) و برای روش غیرفازی سازی در این مدل از روش میانگین وزنی و استنتاج سوگنو استفاده شد. در پایان بر مبنای ورودی‌های غیرفازی (همان مقادیر لایه‌های بالا) خروجی‌ها (رتبه‌های واقعی این مقادیر) به دست آمدند (شکل ۳). سرانجام جدول شکل گرفته از نقاط دارای مختصات و رتبه وارد نرم‌افزار GIS شد. با استفاده از روش IDW درون‌یابی روی نقاط دارای رتبه انجام شد تا رتبه‌های تمامی پیکسل‌ها حاصل شوند و به این ترتیب نقشه رتبه‌دهی این پارامترها به دست آمد (شکل ۴).

پس از فازی‌سازی پارامترهای ورودی، پایگاه قواعد فازی ساخته می‌شود. قواعد فازی با ساختار اگر-آنگاه بیان می‌شود که در هر یک از این قواعد آثار ترکیبی شاخص‌های استفاده‌شده از دیدگاه مورد نظر تعیین می‌شوند. کلیه گزاره‌های فازی ساده و متغیرها عددی هستند. در این تحقیق با توجه به ثابت بودن رتبه‌ها در هر یک از قواعد از مدل استنتاج فازی سوگنو استفاده شد. به این ترتیب در این مرحله (۱۰۰ نقطه) کل محدوده در یک لایه shap file جداگانه ترسیم شدند. با استفاده از دستور extract values to points مقادیر عمق سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی، تغذیه و شیب تمام این نقاط به تک تک آن‌ها نسبت داده شد. با تعیین مختصات Utmx و Utmny این نقاط، جدول به صورت فایل excel به خارج از نرم‌افزار منتقل شد.



ب) تغذیه

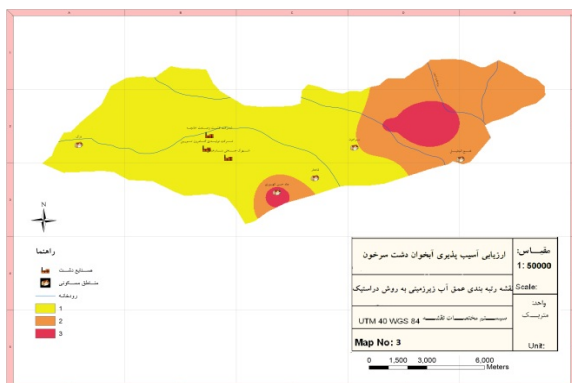
الف) عمق



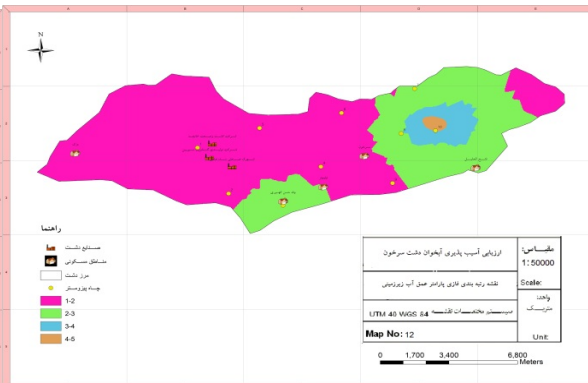
د) شیب

ج) هدایت هیدرولیکی

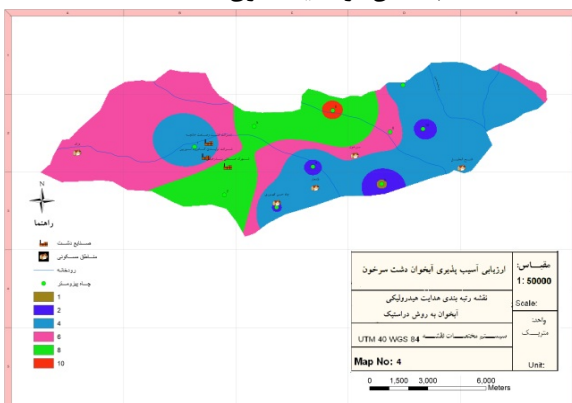
شکل ۳. خروجی رتبه‌بندی نرم‌افزار فازی متلب



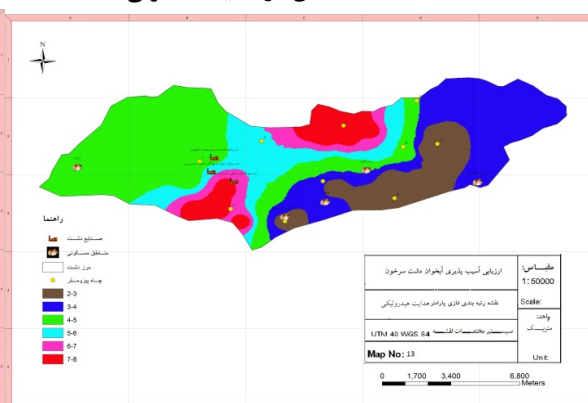
ب) عمق دراستيك فازى



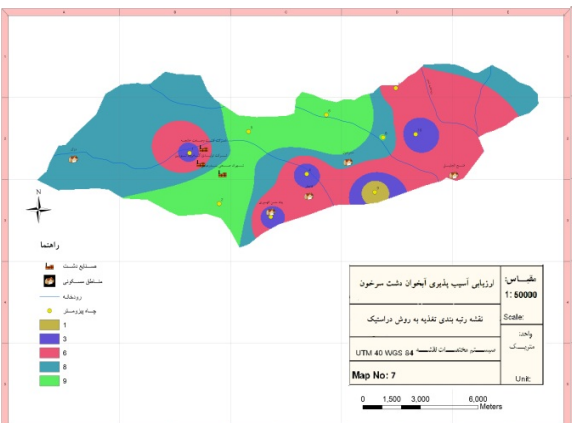
الف) عمق دراستيك معمولى



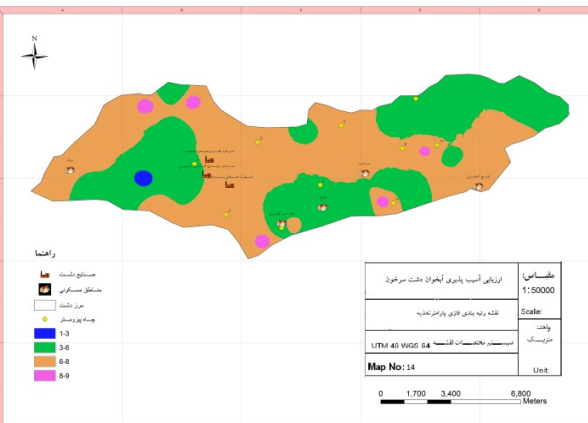
ت) هدايت هيدروليكي دراستيك فازى



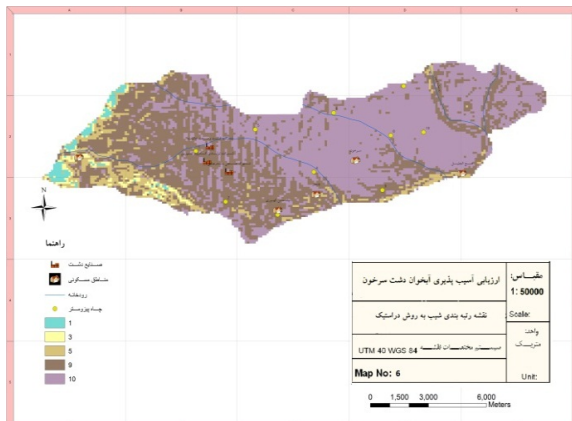
ب) هدايت هيدروليكي دراستيك معمولى



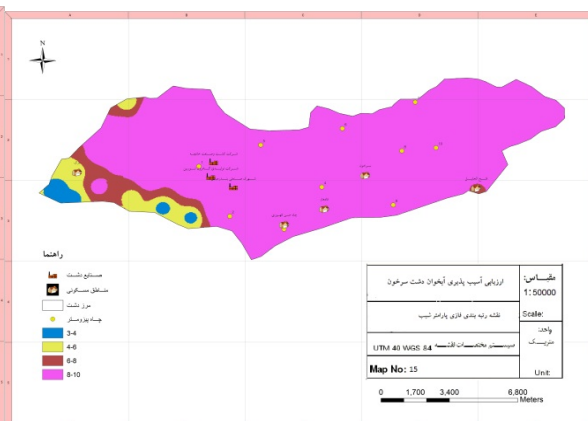
ج) تغذيه دراستيك فازى



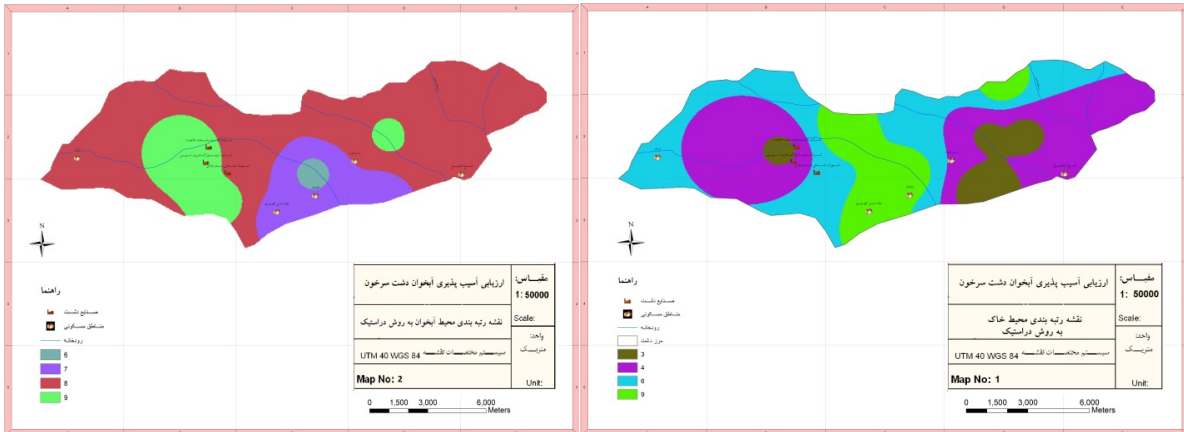
ث) تغذيه دراستيك معمولى



ح) شيب دراستيك فازى

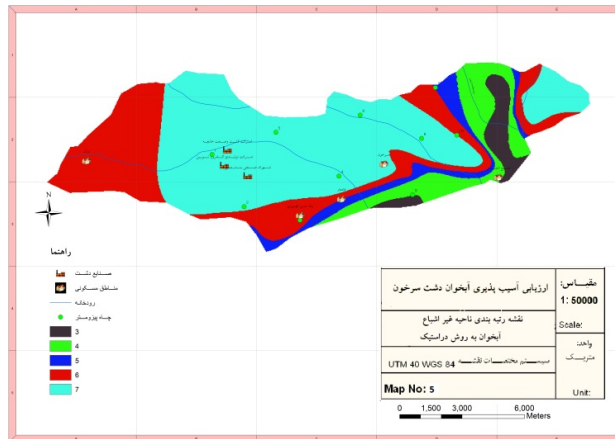


چ) شيب به روش دراستيك معمولى



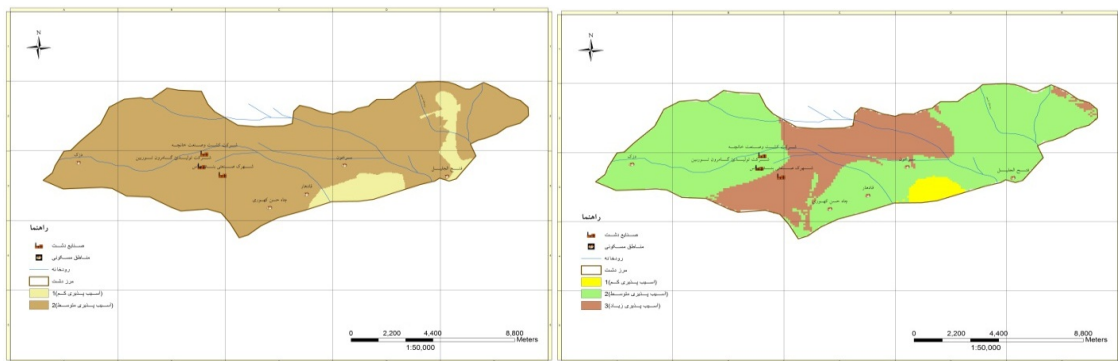
(د) محیط خاک

(خ) محیط آبخوان



(ذ) ناحیه غیراشباع

شکل ۴. نقشه رتبه‌دهی پارامترهای دراستیک معمولی و فازی



شکل ۵. نقشه دراستیک فازی (سمت راست) و معمولی (سمت چپ)

دشت سرخون به روش دراستیک فازی مشاهده می‌شود این است که شاخص آسیب‌پذیری ذاتی منطقه بین ۷۰ تا ۱۲۷ قرار دارد که در ۲ طبقه آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار می‌گیرد. ۷/۸ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری کم و ۹۲/۲ درصد دارای آسیب‌پذیری متوسط است (شکل ۵).

مطابق نقشه‌های خروجی بالا، در منطق بولین که اساس روش دراستیک است بسیاری از مناطق آسیب‌پذیر با پتانسیل خیلی کم و خیلی زیاد نادیده گرفته شده‌اند که این مناطق در منطق فازی به حساب آمده و حائز درصدی واقعی و مناسب از آسیب‌پذیری شده‌اند.

آنچه از نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان

۳.۳. صحت سنجى مدل

با توجه به برداشت‌هاى بيش از اندازه و خشكسالى اخير در منطقه مورد مطالعه بيلان دشت منفى شده و رودخانه شور كه از كيفيت ذاتى نامناسبى برخوردار است عملاً دشت را تغذيه مى‌كند. اين امر سبب کاهش كيفيت آب زيرزمينى در اين منطقه شده به طورى كه محدوده پارامتر هدايت الكتريكي از غرب به شرق بين ۶۸۲ تا ۶۲۵۰ ميكروموس بر سانتى متر است (Water affairs study office of Hormozgan province, 2010).

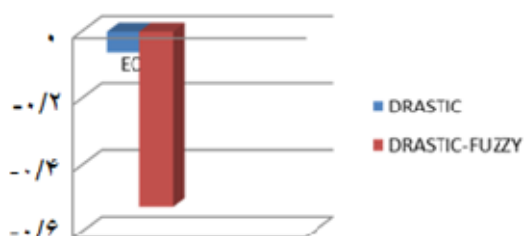
به منظور صحت سنجى مدل دراستيك فazy و معمولى از عامل شورى كه مهم ترين عامل تأثيرگذار روى كيفيت آبخوان منطقه مورد مطالعه است، به منزله شاخص آلايندگى استفاده شد.

از ضريب همبستگى اسپيرمن براى همبستگى مدل‌هاى دراستيك فazy و معمولى با داده‌هاى EC بر اساس ۲۴ نمونه اندازه‌گيرى شده با ميانگين ۱۰ ساله آمارى استفاده شد (Moshaver yekom, 2012). جدول ۲ ضريب همبستگى مدل‌هاى آسيب و لايه EC را نشان مى‌دهد. هرچه كيفيت آب بيشتر باشد آسيب‌پذيرى آب زيرزمينى در مقابل آلوده‌كننده‌ها بيشتر خواهد شد كه منفى شدن ضريب همبستگى نيز مؤيد همين مطلب است. همان‌طور كه جدول ۲ نشان مى‌دهد ضريب همبستگى در مدل دراستيك فazy ۰/۵۲۶- و معمولى ۰/۰۶۶- است. در مدل دراستيك فazy در مقابل آسيب‌پذيرى بيشتر EC كمترى خواهيم داشت كه اين امر صحت فazy را مى‌رساند و

مى‌توان نتيجه گرفت مدل فazy دراستيك از دقت و صحت بالاترى نسبت به دارستيك معمولى برخوردار است (شكل ۶).

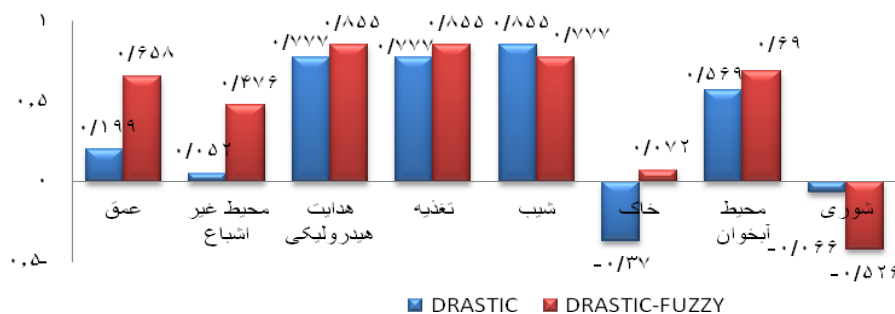
جدول ۲. ضريب همبستگى مدل‌ها و عامل EC

پارامتر	EC
DRASTIC	-۰/۰۶۶
DRASTIC-FUZZY	-۰/۵۲۶



شكل ۶. نمودار همبستگى مدل‌هاى دراستيك و عامل EC

همچنين، به منظور همبستگى بين پارامترها و مدل‌هاى فazy و دراستيك معمولى نيز از ضريب اسپيرمن استفاده شد. همان‌طور كه در جدول ۳ و شكل ۷ مشاهده مى‌شود همبستگى پارامترهاى عمق، هدايت هيدروليكي، تغذيه، شيب و محيط آبخوان در سطح معنى دار ۵ درصد به ترتيب ۰/۶۵، ۰/۸۵، ۰/۸۵ و ۰/۶۹ درصدند كه همبستگى بالايى را نشان مى‌دهند و مى‌توان صحت نتايج دراستيك فazy را تا حدود زيادى تأييد كرد.



شكل ۷. نمودار همبستگى فاكورها و دراستيك معمولى و فazy

جدول ۳. ضریب همبستگی فاکتورها و مدل‌های دراستیک

پارامتر	عمق	محیط غیراشباع	هدایت هیدرولیکی	تغذیه	شیب	خاک	محیط آبخوان	شوری
DRASTIC	۰/۱۹۹	۰/۰۵۲	۰/۷۷۷	۰/۷۷۷	۰/۸۵۵	-۰/۳۷	۰/۵۶۹	-۰/۰۶۶
DRASTIC-FUZZY	*۰/۶۵۸	۰/۴۷۶	*۰/۸۵۵	*۰/۸۵۵	*۰/۷۷۷	۰/۰۷۲	*۰/۶۹	*۰/۵۲۶

* معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد ($P < 0/05$)

۴. نتیجه‌گیری

کیفیت آب زیرزمینی از طریق میزان قابل شرب بودن تعیین می‌شود. هرچه کیفیت آب بیشتر باشد آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در مقابل آلوده‌کننده بیشتر خواهد شد. ضریب اسپیرمن بین EC و دراستیک ($-۰/۰۶$) و مدل فازی دراستیک و EC ($-۰/۵۲۶$) همچنین، نتایج همبستگی مدل فازی و دراستیک با پارامترهای استفاده‌شده نشان داد که بین پارامترها و مدل فازی همبستگی بیشتری وجود دارد، به طوری که پارامترهای عمق، هدایت هیدرولیکی، تغذیه، شیب و محیط آبخوان در سطح ۵ درصد ارتباط معناداری با مدل فازی دارند که نتایج حاصل از منفی شدن ضریب اسپیرمن نیز مؤید همین مطلب است.

در نهایت از مدل فازی به‌منزله گزینه برتر آسیب‌پذیری ذاتی منطقه مورد مطالعه استفاده شد که در دو طبقه آسیب‌پذیری کم $۷/۸$ درصد و آسیب‌پذیری متوسط $۹۲/۲$ درصد قرار دارد. به طور کلی، نتایج این تحقیق توانایی مدل‌سازی فازی پارامترهای هیدروژئولوژیک که از قطعیت ذاتی ندارند را تأیید می‌کند.

یادداشت

1. DIRE DAW

هدف از انجام این پژوهش مقایسه شاخص دراستیک و مدل فازی به منظور انتخاب شاخص مناسب‌تر برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت سرخون (استان هرمزگان) است. با توجه به اینکه تلفیق لایه‌ها در روش دراستیک با منطق بولین انجام می‌گیرد، در مقادیر مرزی خطا ایجاد شده و تغییر جزئی در مقادیر عوامل موجب جابه‌جایی از یک طبقه به طبقه دیگر می‌شود که توجه‌پذیر است (استفاده از منطق فازی سبب افزایش دقت نتایج ویژه در مقادیر مرزی می‌شود). در این پژوهش در گام نخست لایه‌های هر کدام از پارامترهای مدل دراستیک (عمق، تغذیه، محیط آبخوان، خاک، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی) در محیط نرم‌افزار ARC GIS ساخته شد. در گام دوم همان‌طور که ذکر شد، با توجه به ماهیت طیفی و دامنه‌دار بودن سیستم رتبه‌دهی مدل دراستیک که سبب بی‌دقتی و بی‌اطمینانی به ویژه در مقادیر مرزی می‌شود از تئوری فازی استفاده شد؛ بدین ترتیب که تمامی مراحل کار با استفاده از عملگر فازی نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت. در نهایت به منظور مقایسه مدل فازی و دراستیک معمولی از عامل EC به‌منزله شاخص آلاینده‌گی منطقه مورد مطالعه برای صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده شد. بدین منظور از رابطه اسپیرمن برای بررسی همبستگی استفاده شد.

منابع

۱. مهندسان مشاور یکم. ۱۳۹۰. مطالعات طرح شناسایی و پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت سرخون، جلد سوم گزارش کیفیت و آلودگی آب‌های زیرزمینی.

2. Aller, L., Bennet, T., Lehr, JH., Petty. RJ. and Hackett, G. 1987 DRASTIC: a standardized system for evaluating

- groundwater pollution potential using hydro geological settings. EPA/600/2-87/035. US Environmental Protection Agency, Ada, OK, USA.
3. 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.
 4. Dixon, B., Scott, H. D., Steele, K. F. and Dixon, J. C. 2002. Prediction of aquifer vulnerability to pesticides using fuzzy rule-based models at the regional scale. *Physical Geography*, 23(2): pp. 130-153.
 5. Focazio, J.M., Reilly, E.T., Rupert, G.H. and Helset, R.D. 2002. Assessing groundwater vulnerability to contamination: providing scientifically defensible information for decision makers. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4273, 33 p.
 6. Ketema Tilahun ., Broder J. Merkel., “Assessment of groundwater vulnerability to pollution in Dire Dawa, Ethiopia using DRASTIC” *Environ Earth Sci* .2010. 59:1485–1496
 7. Malano, H.M. and 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.
 8. Niknam, R., Mohammadi, K., and Majd, V. 2007. Groundwater Vulnerability Evaluation of Tehran-Karaj Aquifer Using DRASTIC Method and Fuzzy Logic. *Iran Water Resources Research*. 2:39-47 (In Persian).
 9. Toranjian, A. 2009. Investigation of vulnerable locations to pollution in Hamedan-Bahar aquifer using GIS. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Department of water engineering , Bu-Ali Sina University (In Persian).
 10. Water affairs study office of Hormozgan province. 2010. Exploitation development prevention extension explanation report in the Sarkhon plain groundwater resources. Water affairs total office of Hormozgan province (In Persian).