



بررسی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، با کمک روش دراستیک و الگوریتم‌های فازی مطالعه‌ی موردی: دشت تبریز

مریم بیانی خطیبی^{*}، فائزه رستمی^۱، خلیل ولیزاده کامران^۲

۱-استاد ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲-دانش آموخته‌ی GIS & RS، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳-دانشیار گروه GIS & RS، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

ووصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

چکیده

آب‌های زیرزمینی از منابع مهم زمین و گاه تنها منبع شرب محسوب می‌شوند، به همین دلیل شناخت محدوده‌های آسیب‌پذیر و پهنه‌بندی این مناطق از اهمیت زیادی برخوردار است. دشت تبریز، یکی از دشت‌های بزرگ شمال‌غرب کشور است که امروزه با گسترش شهر تبریز، استخراج زیاد از آب‌های زیرزمینی و آلودگی آبخوان، آب‌های زیرزمینی این دشت، با مشکلات جدی مواجه شده‌اند. در این مقاله سعی شده، با استفاده از مدل‌های دراستیک و فازیو با در نظر گرفتن متغیرهایی مانند، عمق سطح آب، تغذیه‌ی خالص، محیط آبخوان، جنس خاک، توپوگرافی، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی، پتانسیل آلودگی آبخوان دشت و میزان آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بررسی و با استفاده از شاخص GQI کیفیت آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گیرد و با کمک نرم‌افزار Arc map در نهایت پهنه‌بندی گردد. نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌ها با استفاده از این مدل و روش‌ها نشان داد که، شاخص آسیب‌پذیری دشت، بین ۵۷ تا ۱۶۵ بوده، یعنی ۵/۷۸، ۱۴/۹۱، ۲۰، ۱۹/۴۳، ۲۷/۶۳، ۳۲/۰۲ درصد از آبخوان به‌ترتیب دارای درجات آسیب‌پذیری بدون خطر آلودگی، خیلی کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد می‌باشد. نقشه‌های حاصل از بکارگیری مدل فازی (عملگر ضرب) و پارامترهای مدل دراستیک نیز نشان داد که ۴۷ درصد از مساحت منطقه، در طبقات توصیفی آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد قرار می‌گیرند. مقایسه‌ی محدوده‌ها با دو روش نشان داد که اختلاف میان این دو مدل، تنها ۱ درصد است. این تفاوت پایین، نشان‌دهنده‌ی تطابق بالای این دو روش می‌باشد. مقایسه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری به روش‌های دراستیکو الگوریتم‌های فازی، نشان داد که مدل فازی دقت بیشتری نسبت به روش دراستیک دارد. نقشه‌های ترسیمی با استفاده از هر دو مدل نشان دادند که، قسمت‌های شمال‌غربی تا جنوب‌غربی (حدود بیست و پنج درصد) بیشترین پتانسیل و قسمت‌های جنوب‌غربی کمترین پتانسیل برای آلودگی (حدود بیست درصد) را دارا می‌باشد. بررسی کیفیت آب با استفاده از شاخص GQI و بر اساس استاندارد شرب WHO نشان داد که قسمت‌های شمال‌غربی و جنوب‌غربی آبخوان، دارای کمترین شاخص کیفیت نسبت به قسمت‌های جنوب شرقی آبخوان می‌باشد.

کلمات کلیدی: آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، مدل دراستیک، منطق فازی، شاخص کیفیت آب GQI، حساسیت، دشت تبریز.

۱-مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع آب شیرین دنیا، تحت تأثیر عواملی مانند شهرنشینی، صنعتی شدن، استفاده نامناسب از کودها و سموم دفع آفات در کشاورزی، دفع غیرمجاز فاضلاب و افزایش جمعیت از آب تهی و یا آلوده شده‌اند. حفاظت از کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق در حال رشد شهری یک موضوع مهم است، زیرا از یک طرف، اصلی‌ترین منبع اصلی آب برای شرب و فعالیت‌های صنعتی و از طرف دیگر هزینه‌ی کاهش آلاینده‌های آب زیرزمینی زیاد بوده و به زمان زیادی نیاز دارد. بنابراین، لازم است که مناسب‌ترین سیستم‌ها و مدل‌های هیدروژئولوژیکی برای حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرند. ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان یک عملکرد پیشگیرانه برای محافظت از آلوده شدن آبخوان باشد.

با توجه به اهمیت آبخوان‌ها، این منابع زیرزمینی در تحقیقات از مدل‌ها و روش‌های مختلف استفاده می‌شود. با عنایت به نتایج معتبر حاصل از مدل دراستیک، در اغلب مطالعات از این روش و مدل برای بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بهره‌گیری شده است. محققان داخلی و خارجی نیز به مساله آب‌های زیرزمینی پرداخت کرده‌اند. بهرامی و شهیدی (۱۴۰۰) با استفاده از مدل دراستیک آبخوان دشت کرمانشاه مورد مطالعه قرار دادند و تأیید کردند که میزان غلظت نیترات در این آبخوان زیاد می‌باشد. حسن‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) آسیب‌پذیری آبخوان دشت حاجی‌آباد را براساس مدل مذکور مورد مطالعه قراردادند و بخش‌های آسیب‌پذیر این دشت را مشخص نمودند. باباعلی (۱۴۰۰) از جمله محققانی هست که با استفاده از شبیه‌سازی‌های ریاضی سطح آب‌های زیرزمینی استان لرستان را مورد بررسی قرار داد و با بکارگیری الگوریتم‌های فراکاوشی، نوسانات آب‌های زیرزمینی این استان را مشخص نمود. شهیدی و خادم‌پور (۱۳۹۹) کیفیت آب‌های زیرزمینی جنگل استان خراسان رضوی را براساس شاخص‌های GWQI، سعیدی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل فازی آب‌های زیرزمین دشت سیلاخور و انصاری و همکاران (۱۴۰۰) بطور کلی کیفیت آب‌های زیرزمینی را براساس سازندهای زمین‌شناسی را بررسی و مشخص نمودند. اصغری مقدم و همکاران در سال (۱۳۹۴)، تحقیقی به‌منظور مشخص نمودن پتانسیل آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت اردبیل با مدل دراستیک و بهینه‌سازی آن با مدل هوش مصنوعی انجام داده‌اند و در این تحقیق از هفت مؤلفه تأثیرگذار در آسیب‌پذیری سفره‌ی آب‌های زیرزمینی استفاده کردند و در نهایت شاخص آسیب‌پذیری برای محدوده‌ی مورد مطالعه خود را بین ۸۲ تا ۱۵۱ به‌دست آورده‌اند. رضائی مقدم و همکاران در سال (۱۳۹۵) نیز با بهره‌گیری از دو مدل دراستیک و SI به پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان شهر عجب‌شیر پرداختند. آنها در این مطالعه با روش SI، از پنج پارامتر بهره‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که روش SI با ضریب همبستگی ۷۶ درصد، نسبت به مدل دراستیک از دقت

بیشتری برای ارزیابی آسیب‌پذیری برخوردار است. کانپانی و همکارانش در سال (۲۰۱۵) برای بررسی میزان آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی Basilicata در جنوب ایتالیا به تحقیق پرداختند و با استفاده از روش فازی نشان دادند که وجود زباله‌های غیرقانونی علت اصلی آلودگی آبخوان‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه است. حشمتی و بیگی (۱۳۹۳) نیز با استفاده از روش GQI به ارزیابی و بررسی کیفیت آب زیرزمینی شهر کرد پرداختند. آن‌ها با استفاده از پارامترهای هدایت هیدرولیکی، آنیون‌ها و کاتیون‌های پایه، کل جامدات محلول و جامدات معلق و PH، نقشه‌ی شاخص کیفی منطقه را به دست آوردند که با تحلیل نتایج به دست آمده مشخص گردید که شمال‌غربی آبخوان دارای کیفیت خوب با شاخص ۹۰ می‌باشد و در قسمت‌های جنوبی با مقدار کمتر از ۱۰ نیز می‌توان روبرو شد. خدائی و همکاران در سال (۱۳۸۷) با استفاده از روش سسینتاک^۱ به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اوان پرداخته‌اند. در این پژوهش، هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی عمق تا سطح ایستابی آب زیرزمینی، میزان نفوذ، ظرفیت میرایی منطقه غیراشباع، نوع خاک، خصوصیات آبخوان، هدایت هیدرولیکی و شیب سطح زمین مورد استفاده قرار گرفت و مشخص گردید که آبخوان مورد نظر در گروه آسیب‌پذیری متوسط رو به بالا تا شدید قرار گرفته است. آنها همچنین در تحقیقات خود از روش تحلیل حساسیت تک پارامتری نیز استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که حساسیت آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از پارامترهای عمق تا سطح ایستابی، زون غیراشباع، هدایت هیدرولیکی، خصوصیات آبخوان، تغذیه‌ی خالص، لایه خاک و شیب سطح زمین به ترتیب حذف پارامترهای مورد استفاده، کاهش می‌یابد. آنها تحلیل حساسیت حذف پارامتر را، با حذف یک یا چند پارامتر انجام دادند، که نتیجه حاصل نشان می‌دهد پارامتر تغذیه‌ی خالص در تحلیل حساسیت حذف پارامتری، بیشترین اثر را دارد. پس از آن بیشترین تغییر مختص به پارامتر لایه‌ی خاک می‌باشد. ماشیوال^۲ و همکاران (۲۰۱۱) برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه راجستان واقع در غرب هند، از شاخص GQI استفاده کردند. آن‌ها برای این تحقیق از ۸ فاکتور کیفی استفاده نمودند که نتیجه حاصل نشان داد کیفیت آب زیرزمینی منطقه با شاخص ۷۲، از درجه مناسبی برخوردار می‌باشد. مگاجی^۳ و همکاران در سال (۲۰۱۴) در سایتی واقع در مرز پراک و سلانگو در شبه‌جزیره‌ی مالزی، به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان این ناحیه پرداختند. آنها در این تحقیق با استفاده از تکنیک سلسله مراتبی سعی در کم‌تر کردن عدم اطمینان روش دراستیک بوده‌اند و نتایج این مطالعات نشان داد که بیش از ۵۰٪ مساحت متعلق به هر دو منطقه متوسط و بسیار آسیب‌پذیر است. سیمیترا^۴ و همکاران در سال (۲۰۱۸) در دانشگاه هند به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک، فازی و روش نسبت فرکانس پرداختند. آن‌ها در این تحقیق مشخص کردند که مناطق آسیب‌پذیر را می‌توان با استفاده از ابزارهای ساده و مؤثر کیفیت آب زیرزمینی را حفظ کرد.

1- SINTACS

2- Machiwal

3- Magagi

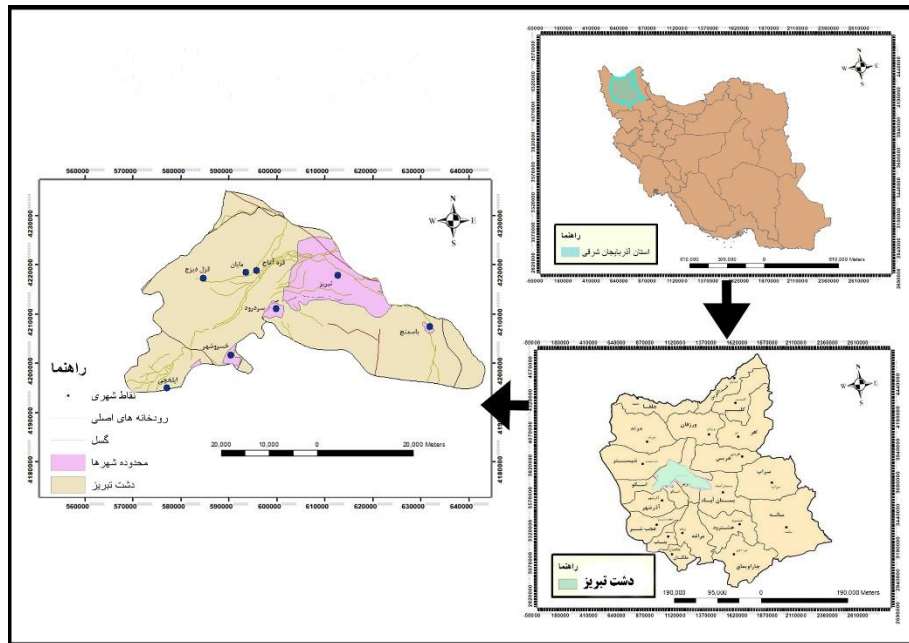
4- Smitarani

دشت تبریز، یکی از دشتهای بزرگ شمال غرب کشور است که، محل استقرار تمدنهای بزرگی از گذشته تاکنون بوده است. امروزه با گسترش شهر تبریز، استخراج زیاد از آبهای زیرزمینی و آلودگی آبخوان، بررسی محدودههای آسیبپذیر این دشت را الزامی کرده است. در این تحقیق، با استفاده از محیط نرمافزار ArcMap به ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت تبریز بر مبنای دو روش دراستیک و فازی پرداخته شده و در ادامه برای مشخص نمودن اثرگذارترین پارامتر برای مدل دراستیک از روش تحلیل حساسیت استفاده شده است. با توجه به اینکه در محدودهی مورد مطالعه شاهد رشد روز افزون جمعیت، افزایش استقرار صنایع و بهره‌گیری بیشتر از زمینهای کشاورزی هستیم که همه اینها به استخراج آب بیشتر و به آلودگی زیاد این آبخوان منجر می‌شود. با توجه به مواردی که ذکر شد، نیاز اساسی به محافظت از آبخوانها وجود دارد. این محدوده تاکنون با روشهای مذکور مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین نتایج انجام این تحقیق می‌تواند در نحوه‌ی مدیریت و استفاده مناسب از منابع آبهای زیرزمینی به کار گرفته شود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت تبریز با مساحت حدود ۵۳۹۲/۲ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است و از نظر وسعت بعد از دشتهای مرند و جلفا از بزرگترین دشتهای شمال غرب محسوب می‌شود (شکل ۱). شکل این دشت مثلثی بوده و از شمال به دامنه‌های جنوبی کوه‌های میشو، از جنوب به دامنه‌های شمالی سه‌پند، از شرق به محدوده‌ی شهر محدود می‌شود (واعظی، ۱۳۹۲). پست‌ترین نقطه‌ی ارتفاعی در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی ۱۰۳۰ متر از سطح دریا در غرب دشت و بیشترین ارتفاع در کوه‌های جنوب شرقی (سه‌پند) با ارتفاعی بیش از ۳۰۰۰ متر از دریا قرار دارد (عبدالرضا واعظی هیر سال ۹۲ نشریه آب و خاک). این منطقه اقلیمی نیمه‌خشک سرد طبق طبقه‌بندی آمبرژه دارد و میانگین بارش سالانه آن حدود ۳۰۰ میلی‌متر تا سال ۹۷ (بر اساس داده‌های مرکز آمار ایران) و بیشترین بارش مختص به ماه‌های اردیبهشت و اسفند است. همچنین مطابق منحنی‌های دمای منطقه مشخص می‌شود که میانگین دما برابر ۹/۵ درجه سانتی‌گراد و برای قسمت‌های دشت و کوهستان آن نیز به ترتیب ۱۱/۵ و ۸/۹ درجه سانتی‌گراد است (احمد فاخری فرد و همکاران).



شکل (۱): محدوده‌ی مورد مطالعه

Fig (1): The study area

۲-۲- روش تحقیق

- معرفی مدل دراستیک (DRASTIC)

در این پژوهش به منظور شناسایی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت تبریز، از دو روش دراستیک (DRASTIC) و فازی استفاده شده است. این سیستم متکی بر هفت داده ورودی (عمق سطح ایستابی D، تغذیه‌ی خالص R، محیط اشباع آبخوان A، محیط خاک S، توپوگرافی T، اثر منطقه غیراشباع I، هدایت هیدرولیکی C) است و از سه بخش وزن، بازه و رتبه تشکیل شده است به هر یک از این مؤلفه‌ها بر اساس اهمیت آن‌ها در آسیب‌پذیری وزنی معادل ۱ تا ۵ داده می‌شود، که به مهم‌ترین پارامتر وزن ۵ و به کم‌ترین وزن ۱ داده می‌شود. همچنین هر کدام از پارامترهای هفت‌گانه این روش به بازه‌های مهم و اثرگذار در پتانسیل آلودگی تقسیم می‌شوند. در نهایت برای ارزش‌گذاری نسبی این بازه‌ها از رتبه استفاده می‌شود. رتبه‌ها بین ۱ تا ۱۰ متغیر می‌باشند. جدول ۱ سیستم طبقه‌بندی عددی این روش را نشان می‌دهد. نتیجه‌ی استفاده از این روش دست یافتن به شاخصی عددی (D_i) است که از مجموع حاصل ضرب وزن (w) و رتبه (R) تمامی هفت پارامتر، به دست می‌آید. بعد از رتبه‌دهی تمام پارامترهای مورد استفاده بر اساس جدول در نرم‌افزار Arc Map، می‌توان با استفاده از رابطه‌ی ۱ نقشه‌ی آسیب‌پذیری نهایی را به دست آورد.

$$DRASTIC \text{ index} = D_r * D_w + R_r * R_w + A_r * A_w + S_r * S_w + T_r * T_w + I_r * I_w + C_r * C_w \quad (1)$$

جدول (۱): وزن‌های اختصاص داده شده برای عوامل هیدروژئولوژیک با استفاده از داده‌های مدل DRASTIC (الر و همکاران، ۱۹۸۷)

Tab (1): Ranges and ratings for various hydrogeological settings using DRASTIC model

رتبه‌بندی	عمق سطح D×5 (m)	تغذیه‌ی خالص R×4	مواد تشکیل‌دهنده آبخوان A×3	محیط خاک S×2	توپوگرافی Tx1	تأثیر منطقه غیراشباع I×5	هدایت هیدرولیکی (M/DAY) C×3
۱۰	۰/۱-۵		سنگ آهک کارستی	خاک نازک / شن	۰-۲	سنگ آهک کارستی	<۸۲
۹	>۱/۵-۴/۵	>۲۵۰	بازالت	ماسه	۶-۲	بازالت	
۸		۱۸۰-۲۵۰	شن و ماسه	کودگیاهی		شن و ماسه	۸۲-۴۱
۷	>۴/۵-۹			رس جمع شده			
۶		۱۰۰-۱۸۰	ماسه سنگ توده‌ای، سنگ آهک توده‌ای	لوم ماسه‌ای		سنگ آهک، ماسه سنگ، شن و ماسه با سیلیت و رس	۴۱/۲۹
۵	>۹-۱۵			لوم	۱۲-۶		
۴			آذرین / دگرگونی هوازده	لوم سیلیتی		آذرین / دگرگونی	۲۹-۱۲
۳	>۱۵-۲۳	۵۰-۱۰۰	آذرین / دگرگونی	لوم رسی	۱۸-۱۲	سیلیت / رس، شیل	
۲	>۲۳-۳۱		شیل توده‌ای	خاک سطحی			۱۲-۴
۱	>۳۱	۰-۵۰		رس غیر متراکم	>۱۸		۰/۰۴-۴/۱

جدول (۲): کلاس‌بندی آسیب‌پذیری به روش DRASTIC (الر و همکاران)

Tab. (2): Classification of the quality of water according to DRASTIC method

شاخص دراستیک	پتانسیل آلودگی
۷۹>	بدون خطر آلودگی
۹۹-۸۰	خیلی کم
۱۱۹-۱۰۰	کم
۱۳۹-۱۲۰	کم تا متوسط
۱۵۹-۱۴۰	متوسط تا زیاد
۱۷۹-۱۶۰	زیاد
۱۹۹-۱۸۰	خیلی زیاد
۲۰۰<	کاملاً مستعد آلودگی

- معرفی منطق فازی

منطق فازی، مجموعه مدل‌های ریاضی برای نمایش ابهام و مفاهیم غیردقیق ارائه می‌کنند. نظریه مجموعه‌های فازی اقدام در شرایط عدم اطمینان را بیان می‌کند. برای توصیف اطلاعات مربوط به مجموعه فازی و مشخص نمودن کاربرد آن‌ها و تعیین کردن مقدار فازی بودن یک مجموعه، از تابع عضویت استفاده می‌شود. حرف

نشان‌دهنده‌ی تابع عضویت فازی می‌باشد. و برای نشان دادن تابع که عضو مجموعه فازی \tilde{A} است از تابع $\mu_{A(x)}$ استفاده می‌شود. در توابع عضویت کلاسیک تنها دو عضو صفر و یک بوده، در حالی که در توابع عضویت فازی بازه‌ای بین صفر تا یک مد نظر قرار می‌گیرد. درجه عضویت هر اندازه به صفر نزدیک‌تر باشد احتمال تعلق به مجموعه مد نظر کاهش می‌یابد و هر قدر به یک نزدیک‌تر باشد شانس تعلق آن، به مجموعه افزایش می‌یابد (محمدزاده و داوودی، ۱۳۹۲).

- معرفی پهنه‌بندی کیفیت آبخوان با شاخص (GQI)

کیفیت آب در هر محلی بیانگر ویژگی‌های زمین‌شناسی، منابع آلاینده‌ی طبیعی و انسانی، ریزش‌های جوی و ویژگی‌های اقلیمی می‌باشد. که با به‌دست آوردن شاخص کیفی آب هر منطقه می‌توان نسبت به مدیریت و نحوه‌ی رفتارهای انسانی برنامه‌ریزی صحیحی کرد، که بهترین زمان قبل از آلوده شدن آبخوان‌ها می‌باشد. در این شاخص از ده پارامتره پارامتر $Ec, TH, TDS, K_{na}, Mg, ca, so4, CL, Hco3$ استفاده می‌شود. برای یکسان سازی شاخص‌ها، مقدار هر پیکسل با ارزش استاندارد آن پارامتر، طبق رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود تا نقشه‌ی نرمال به‌دست بیاید. (Babiker et al., 2007)

$$K = \frac{k - k_{who}}{k + k_{who}} \quad (2)$$

در فرمول (۲) k نشانگر مقدار هر پیکسل در نقشه‌ی اولیه هر کدام از مؤلفه‌ها و k_{who} نماد حد مطلوب استاندارد جهانی برای هر پارامتر در سال (۲۰۱۱) می‌باشد. که در نهایت نقشه‌هایی با مقادیر عددی ۱- تا ۱+ ایجاد خواهد شد. سپس میانگین هر پارامتر محاسبه می‌شود و به‌عنوان رتبه در معادله‌ی ۳ جایگذاری می‌گردد.

$$GQI = 100 - [(W_1R_1 + W_2R_2 + \dots + W_nR_n)/n] \quad (3)$$

نقشه‌ی $k - k_{who}$ نهایی دارای پیکسل‌هایی با ارزش عددی صفر تا ۹۹ می‌باشد، که هر قدر اعداد به صد نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده‌ی کیفیت بالای آب می‌باشد و هر قدر اعداد به صفر نزدیک‌تر باشند یعنی شاخص کیفی آب پایین است.

جدول (۳): توصیف کیفی وضعیت آب شرب بر اساس استاندارد WHO (Babiker et al., 2007)

Tab(3): Qualitative description of drinking water status according to WHO standard

کیفیت آب	مناسب	قابل قبول	متوسط	ضعیف	پایین
GQI	۹۱-۱۰۰	۷۱-۹۰	۵۱-۷۰	۲۶-۵۰	۰-۲۵

در این تحقیق از پارامترهای مختلف برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده و نقشه‌های مربوط به لایه‌ها ترسیم شده است. اطلاعات مربوط به سطح ایستابی (D) از داده‌های چاه‌های پیزومتری موجود در آبخوان دشت تبریز از سازمان آب منطقه‌ای گرفته شده است. میانگین سطح آب آبخوان از بین ۹۵ چاه برای ۴ ماه از سال ۹۷ (ماه‌های اردیبهشت، تیر، آبان، اسفند) که در این ماه‌ها کمترین و بیشترین میزان بارش بوده، به دست آمده است. داده‌های سطح ایستابی از فایل اکسل، به فرمت رقومی، مناسب برای تجزیه و تحلیل با محیط ARC map تبدیل شده و در نهایت با استفاده از روش درون‌یابی IDW نقاط معلوم به نقاط مجهول تعمیم داده و نقشه به دست آمده از این روش طبق رتبه‌بندی ال‌ر جدول ۱ طبقه‌بندی شده است.

پارامتر مربوط به تغذیه‌ی خالص (R) از جمله لایه‌ی مهم مورد توجه در این تحقیق بوده است. یکی از روش‌هایی که با استفاده از آن می‌توان به محاسبه‌ی تغذیه‌ی خالص پرداخت روش پیسکوپو (Piscopo, 2001) می‌باشد (جدول ۴). در این روش، نیاز به داشتن سه لایه اطلاعاتی درصد شیب، بارندگی و میزان نفوذپذیری بود که پس از جمع‌آوری نقشه‌های بیان شده بایستی طبق جدول ۴ طبقه‌بندی و سه لایه با هم جمع شوند تا در نهایت نقشه‌ی تغذیه‌ی خالص به دست آید. در این بررسی، برای تهیه‌ی نقشه‌ی درصد شیب از نقشه‌ی رقومی ارتفاع (DEM) ۹۰ متری استفاده شده است. میانگین بارش سالانه دشت تبریز حدود ۳۰۰ میلی‌متر (تا سال ۹۷ بعد از آن نیز اغلب از این مقدار کمتر بوده) است که براساس جدول مربوطه، در طبقه‌ی اول قرار می‌گیرد. با توجه به رتبه‌بندی پیسکوپو و طبقه‌بندی نفوذپذیری انواع خاک که توسط چاشمن جدول ۵ در سال ۲۰۰۱ تهیه شده، نقشه‌ی رستری نفوذپذیری خاک ایجاد شده است. در نهایت نقشه‌ی تغذیه‌ی خالص، از تلفیق سه لایه‌ی (نقشه‌ی رستری) در محیط GIS و به‌کارگیری قابلیت Raster Calculator، طبق رابطه‌ی ۴ تهیه شده است.

$$R = \text{Slope}(\%) + \text{Rainfall}(\text{mm}) + \text{Soil permeability}(\text{m/s}) \quad (4)$$

جدول (۴): رتبه‌های مربوط به پارامترهای تغذیه‌ی خالص طبق تقسیم‌بندی (Piscopo, 2001)

Tab. (4): Recharge rating systems (piscopo, 2001)

تغذیه خالص		نفوذ پذیری خاک		بارندگی		شیب، توپوگرافی	
محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده (mm)	رتبه	محدوده %	رتبه
۱۳-۱۱	۱۰	بالا	۵	>۸۵۰	۴	<۲	۴
۱۱-۹	۸	نسبتاً بالا	۴	۷۰۰-۸۵۰	۳	۱۰-۲	۳
۹-۷	۵	متوسط	۳	۵۰۰-۷۰۰	۲	۳۳-۱۰	۲
۷-۵	۳	کم	۲	<۵۰۰	۱	>۳۳	۱
۵-۳	۱	خیلی کم	۱				

محیط اشباع آبخوان (A)، از دیگر پارامترهای مهم در این روش بوده که در بررسی‌ها وارد می‌شود. در این پارامتر جنس سازندها و رسوبات تشکیل‌دهندهی آبخوان مورد بررسی قرار می‌گیرد. هر قدر ذرات تشکیل‌دهندهی دانه درشت‌تر و درز و شکاف بین آن‌ها بیشتر باشد، میرایی آلاینده‌ها بیشتر شده و پتانسل آلودگی آبخوان افزایش می‌یابد. برای مشخص نمودن جنس محیط آبخوان، از اطلاعات لاگ‌های حفاری موجود در سازمان آب منطقه‌ای استان استفاده شده و سپس با استفاده از روش درون‌یابی (IDW) نقشه‌ی محیط اشباع به صورت رستر تهیه گردید و در نهایت طبق جدول طبقه‌بندی الر (جدول ۱) رتبه‌بندی در محیط GIS انجام گرفته است.

جدول (۵): مقادیر نفوذپذیری خاک‌های مختلف (Cashman et al., 2001)
Tab. (5): Permeability values of different soils (Cashman et al., 2001)

نوع خاک	طبقه‌بندی کیفی نفوذپذیری خاک
گراول	بالا
ماسه یا گراول مخلوط	بالا تا متوسط
ماسه ریز و متوسط	متوسط تا کم
ماسه سیلیتی، سیلیت ماسه دار	کم
ماسه دانه‌ریز سیلیت دار و چینه‌های لایه لایه یا مخلوط سیلیت، ماسه و رس	کم تا خیلی کم
رس‌های متورق یا ترک دار	خیلی کم
رس‌های بدون ترک (دست‌نخورده)	نفوذناپذیر

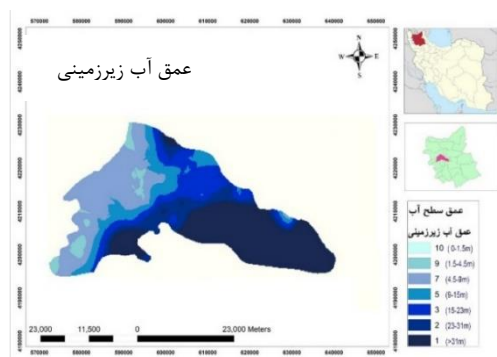
محیط خاک (S) تعیین‌کنندهی وسعت آلودگی آب‌های زیرزمینی است. این پارامتر اثر بسیاری در تغذیهی نفوذی به سطح ایستابی و حرکت آلاینده‌ها می‌گذارد. اگر مواد تشکیل‌دهندهی این سطح درشت باشند مانند شن، نفوذپذیری و در نتیجه قابلیت انتقال آلودگی به آبخوان را افزایش می‌دهد. همچنین اگر مواد تشکیل‌دهندهی ریزبافت باشند مانند رس و سیلیت نفوذپذیری نسبی خاک کاهش می‌یابد. در این مقاله، با استفاده از لاگ‌های حفاری و چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری موجود نقشه محیط خاک تا عمق ۲ متری تهیه گردید. سپس با روش درون‌یابی نقاط معلوم به نقاط مجهول تعمیم داده شده است.

توپوگرافی (T) از جمله پارامترهای مهم در تمرکز و هدایت آلودگی در زیر سطح زمین محسوب می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت هر چقدر شیب کمتر باشد امکان آلودگی آبخوان بیشتر می‌شود. برای بررسی این عامل در میزان آسیب‌پذیری آبخوان دشت تبریز، لایه‌ی DEM، وارد نرم‌افزار GIS گردید و در نهایت نقشه‌ی درصد شیب به صورت رستر تهیه شده است.

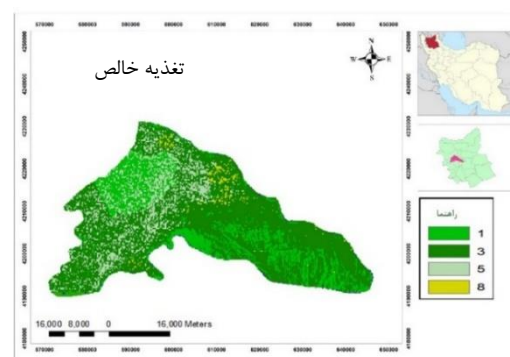
پارامتر مربوط به منطقه‌ی غیراشباع (I)، یکی از اثرگذارترین لایه‌ها در روش DRASTIC می‌باشد، چرا که آلودگی برای رسیدن به سطح ایستابی بایستی از این محیط عبور کند. در این تحقیق برای تهیهی این لایه

مشابه، لایه‌ی محیط آبخوان از لاگ‌های حفاری استفاده شده است. برای این منظور در مرحله‌ی نخست، در محیط اکسل نام و مشخصات جغرافیایی چاه‌ها وارد شده و سپس جنس مواد تشکیل‌دهنده از زون سطح خاک تا سطح ایستابی مشخص گردیده و طبق جدول مربوطه رتبه‌بندی شده است.

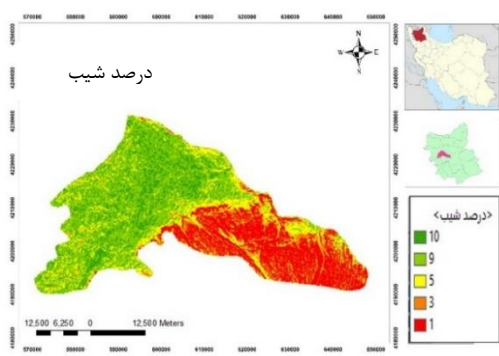
هدایت هیدرولویکی (C)، از دیگر پارامترهای تأثیرگذار در آبخوان‌ها است که در مدل دراستیک در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق، برای تهیه‌ی نقشه‌ی پارامتر هدایت هیدرولویکی از نتایج آزمایش پمپاژ استفاده شده است. بعد از محاسبه و ایجاد لایه‌ها (شکل ۳)، به‌وسیله‌ی تابع همپوشانی وزنی لایه‌ها بر اساس رابطه‌ی ۱ با هم ترکیب شدند و شاخص نهایی بین پتانسیل آسیب‌پذیری ۵۷ تا ۱۶۵ به‌دست آمد که در شش طبقه توصیفی، بدون خطر آلودگی تا خطر آلودگی زیاد قرار دارد (شکل ۳). در جدول ۶ رتبه و وزن شاخصه‌های مدل DRASTIC و مساحت طبقات آن‌ها در آبخوان دشت به‌صورت مجزا تفکیک شده است. در نهایت برای مشخص نمودن اثرگذارترین پارامتر از روش تحلیل حساسیت تک‌پارامتری استفاده شده است.



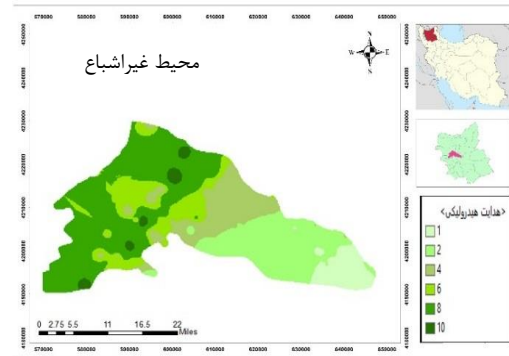
(B)



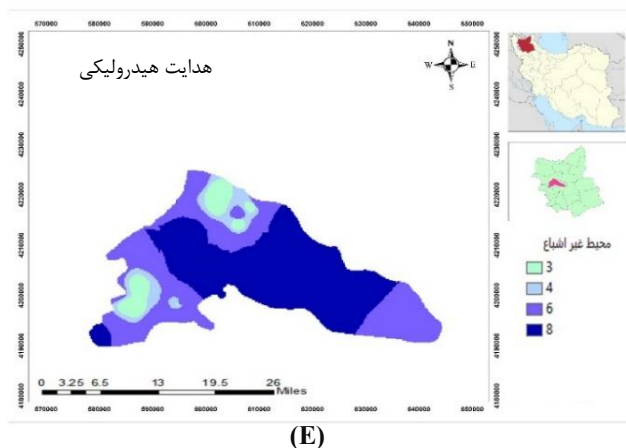
(A)



(D)

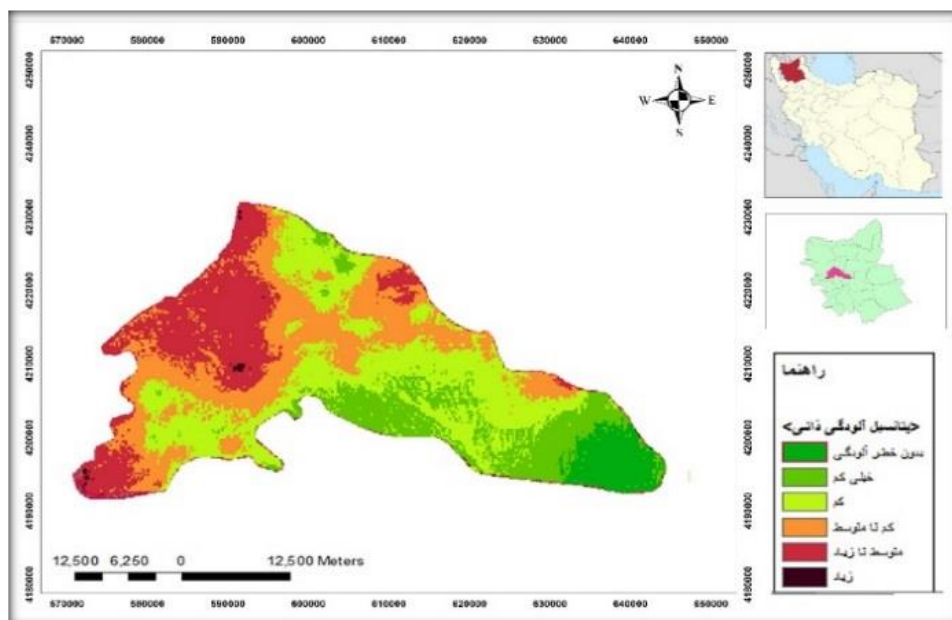


(C)



شکل (۲): نقشه‌های مربوط به پارامترهای عمق تا سطح ایستابی (a)، تغذیه‌ی خالص (b)، درصد شیب (c)، محیط اشباع (d)، هدایت هیدرولیکی (e)

Fig. (2): Maps of seven layers of DRASTIC model, Depth of water(a), Recharge aquifer media (b) Topography (c).Impact of vadose zone (d) Hydraulic conductivity (e)



شکل (۳): نقشه‌ی ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت تبریز با استفاده از روش DRASTIC

Fig. (3): DRASTIC groundwater vulnerability to pollution index

جدول (۶): رتبه و وزن شاخصه‌های مدل DRASTIC و مساحت طبقات در آبخوان دشت تبریز

Tab. (6): Rank and weight of DRASTIC model characteristics and floor area in Tabriz plain aquifer

پارامتر	وزن	کلاس	رتبه	مساحت (درصد)
عمق تا سطح ایستابی (D)	۵	۲/۹۷-۴/۹	۹	۲/۱۷
		۴/۹-۹	۷	۲۶/۱۶
		۹-۱۵	۵	۱۱/۶۶
		۱۵-۲۳	۳	۱۴/۷۲
		۲۳-۳۰	۲	۱۰/۴۸
تغذیه‌ی خالص (R)	۴	>۳۰	۱	۳۴/۷۵
		۳-۵	۱	۲۱/۱۹
		۵-۷	۳	۶۲/۱۴
		۷-۹	۵	۱۵/۲۷
		۹-۱۱	۸	۱/۴
محیط آبخوان (A)	۳	ماسه، سیلیت، رس	۳	۵/۲
		ماسه، شن، سیلیت، رس	۶	۴۰/۵۳
		ماسه، شن	۸	۵۴/۲۵۰
		لوم رس دار	۳	۴
		لوم سیلیتی	۴	۱۱
محیط خاک (S)	۲	لوم ماسه‌ای	۶	۱۷
		رس	۷	۳۰
		ماسه، شن	۹	۲۶
		۲-۰	۱۰	۱۲
		۶-۲	۹	۱۶
توپوگرافی (T) (%)	۱	۱۲-۶	۵	۳۷
		۱۸-۱۲	۳	۱۶
		>۱۸	۱	۸
		رس، سیلیت	۳	۲۲
		رس یا ماسه کم	۴	۶/۲۸
محیط غیراشباع (I)	۵	شن، ماسه، رس، سیلیت	۶	۶/۳۸
		شن، ماسه	۸	۳۷/۱۲
		۲-۴	۱	۵۰/۲۰
		۴/۱-۱۲/۳	۲	۶/۸۶
		۱۲/۳-۲۸/۷	۴	۲۲/۵۳
هدایت هیدرولیکی (C)(m/day)	۳	۲۸/۷-۴۱	۶	۱۵/۰۱
		۴۱/۸۲	۸	۱۳/۸۲
		> ۸۲	۱۰	۳۹/۶۹
				۲/۰۵

جدول (۷): مساحت طبقات آسیب‌پذیری روش DRASTIC

Tab. (7): Area of vulnerability classes DRASTIC method

درجه آسیب‌پذیری	اندیس آسیب‌پذیری	مساحت (درصد)
بدون خطر آلودگی	<۷۹	۵/۷۸
خیلی کم	۸۰-۹۹	۱۴/۹۱
کم	۱۰۰-۱۱۹	۳۲/۰۲
کم تا متوسط	۱۲۰-۱۳۹	۲۷/۶۳
متوسط تا زیاد	۱۴۰-۱۵۹	۱۹/۴۳
زیاد	۱۵۹-۱۷۹	۰/۲۰

جدول (۸): نتایج آماری حاصل از تحلیل حساسیت تک پارامتری (مدل دراستیک) در منطقه‌ی مورد مطالعه

Tab. (8): Statistics of single parameter sensitivity analysis

پارامتر	وزن ثنوری	حداکثر	وزن مؤثر حداقل	میانگین	انحراف معیار
D	۵	۳۹/۹	۴/۲	۲۲/۵	۸/۲۱
R	۴	۲۹/۰۳	۱۳/۰۵	۱۳/۲۷	۱/۶۳
A	۳	۲۱/۸	۲/۷	۱۰/۴۵	۲/۷۷
S	۲	۱۶/۳	۱/۸	۶/۶۷	۱/۷۴
T	۱	۶/۳۲	۰/۲۳	۳/۶۳	۲/۵۳
I	۵	۳۶/۳	۴/۵	۱۶/۸	۴/۰۵
C	۳	۲۷/۲	۲/۷	۸/۷۶	۴/۲۴

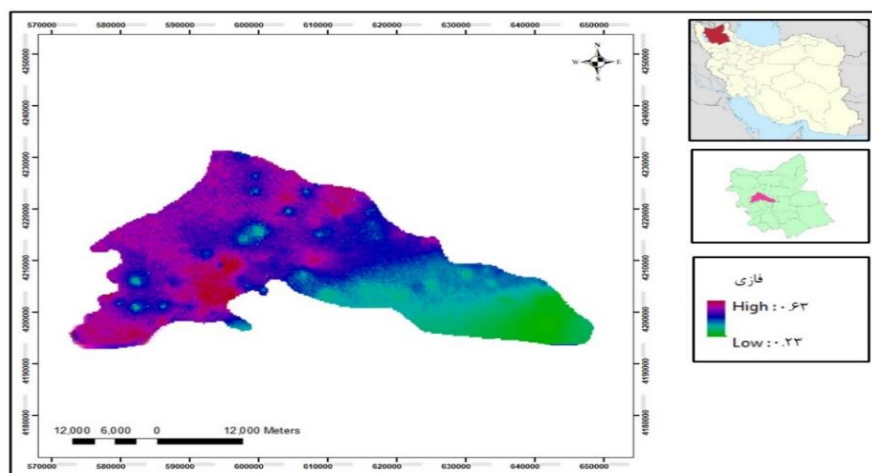
۳-۱- طراحی مدل فازی

برای به‌کارگیری این مدل، نخست نقشه‌ی رستری تمامی پارامترها تهیه شد و سپس نقشه‌های حاصل با دستور fuzzymembership در نرم‌افزار ARC map فازی‌سازی شدند. با توجه به اینکه سه پارامتر محیط آبخوان، جنس خاک و اثر محیط غیراشباع توصیفی بودند برای فازی‌سازی از دستور Liner استفاده شد، تا مقادیر بین ۰ تا ۱ قرار بگیرند. برای فازی‌سازی شیب و تغذیه‌ی خالص نیز از روش liner و عمق سطح آب نیز از روش small در نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. علت آن نیز رفتار نمایی تابع مد نظر نسبت به رتبه و بازه‌ی مقادیر می‌باشد. در نهایت برای فازی‌سازی پارامتر هدایت هیدرولیکی از روش Larg بهره گرفته شد. دلیل آن نیز تابع مربوط به رتبه و بازه مقادیر و شکل لگاریتمی آن می‌باشد (جدول ۹). مطابق نقشه‌ی به‌دست آمده (شکل ۴) کمترین میزان پتانسیل آسیب‌پذیری متعلق به مناطق جنوب شرقی دشت (کوه‌های سهند) بوده و نواحی شمال غربی، جنوب غربی و همچنین قسمت‌هایی از مرکز دشت (محل قرارگیری شهر تبریز)، دارای بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند. با توجه به نقشه‌ی ترسیمی (شکل ۴) حدود نیمی از دشت (۴۷٪) دارای ظرفیت بالای آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، می‌باشد.

جدول (۹): توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc map 10.4.1 برای مؤلفه‌های روش DRASTIC

Tab. (9): Fuzzy membership functions in Arcmap 10.4.1 software for DRASTIC method components

ردیف	پارامتر	تابع	توضیحات
۱	عمق آب زیرزمینی	Small	تابع همبستگی میان بازه‌ی مقادیر و رتبه این مؤلفه «نمایی» می‌باشد در نتیجه در نرم‌افزار Arc GIS از تابع small استفاده شد.
۲	تغذیه‌ی خالص	Linear	تابع همبستگی میان بازه مقادیر و رتبه‌ی این مؤلفه «خطی» می‌باشد در نتیجه از بین نمودارهای موجود در نرم‌افزار Arc GIS از تابع liner استفاده شد.
۳	محیط آبخوان	Linear	با توجه به اینکه داده‌های مربوط به این پارامتر کیفی می‌باشند، جهت همسو شدن با سایر پارامترهای مورد استفاده در روش DRASTIC از تابع liner استفاده شد.
۴	نوع خاک	Linear	با توجه به اینکه داده‌های مربوط به این پارامتر کیفی می‌باشند، جهت همسو شدن با سایر پارامترهای مورد استفاده در روش DRASTIC از تابع liner استفاده شد.
۵	توپوگرافی	Linear	با توجه به اینکه داده‌های مربوط به این پارامتر کیفی می‌باشند، جهت همسو شدن با سایر پارامترهای مورد استفاده در روش DRASTIC از تابع liner استفاده شد.
۶	اثر محیط غیراشباع	Linear	با توجه به اینکه داده‌های مربوط به این پارامتر کیفی می‌باشند، جهت همسو شدن با سایر پارامترهای مورد استفاده در روش DRASTIC از تابع liner استفاده شد.
۷	هدایت هیدرولیکی	Large	تابع همبستگی میان بازه‌ی مقادیر و رتبه این مؤلفه «لگاریتمی» می‌باشد در نتیجه در نرم‌افزار Arc GIS از تابع larg استفاده شد.



شکل (۴): نقشه‌ی پهنه‌بندی ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت تبریز با استفاده از روش فازی

Fig. (4): Fuzzy pattern recognition groundwater vulnerability to pollution index

۳-۲- پهنه‌بندی کیفیت آبخوان با استفاده از شاخص GQI

بررسی و ارزیابی کیفیت آبخوان از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل با استفاده از داده‌های لازم،

کیفیت آبخوان دشت تبریز مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱۰ ویژگی‌های آماری پارامترهای مورد استفاده، درج شده است. اطلاعات این نقشه‌ها نشان می‌دهد که غلظت پارامترها، در بخش‌های شمال غربی و جنوب غربی بیشتر از سایر قسمت‌های آبخوان می‌باشد.

جدول (۱۰): ویژگی‌های آماری پارامترهای کیفی شاخص GQI
Tab. (10): Statistical characteristics of GQI index quality parameters

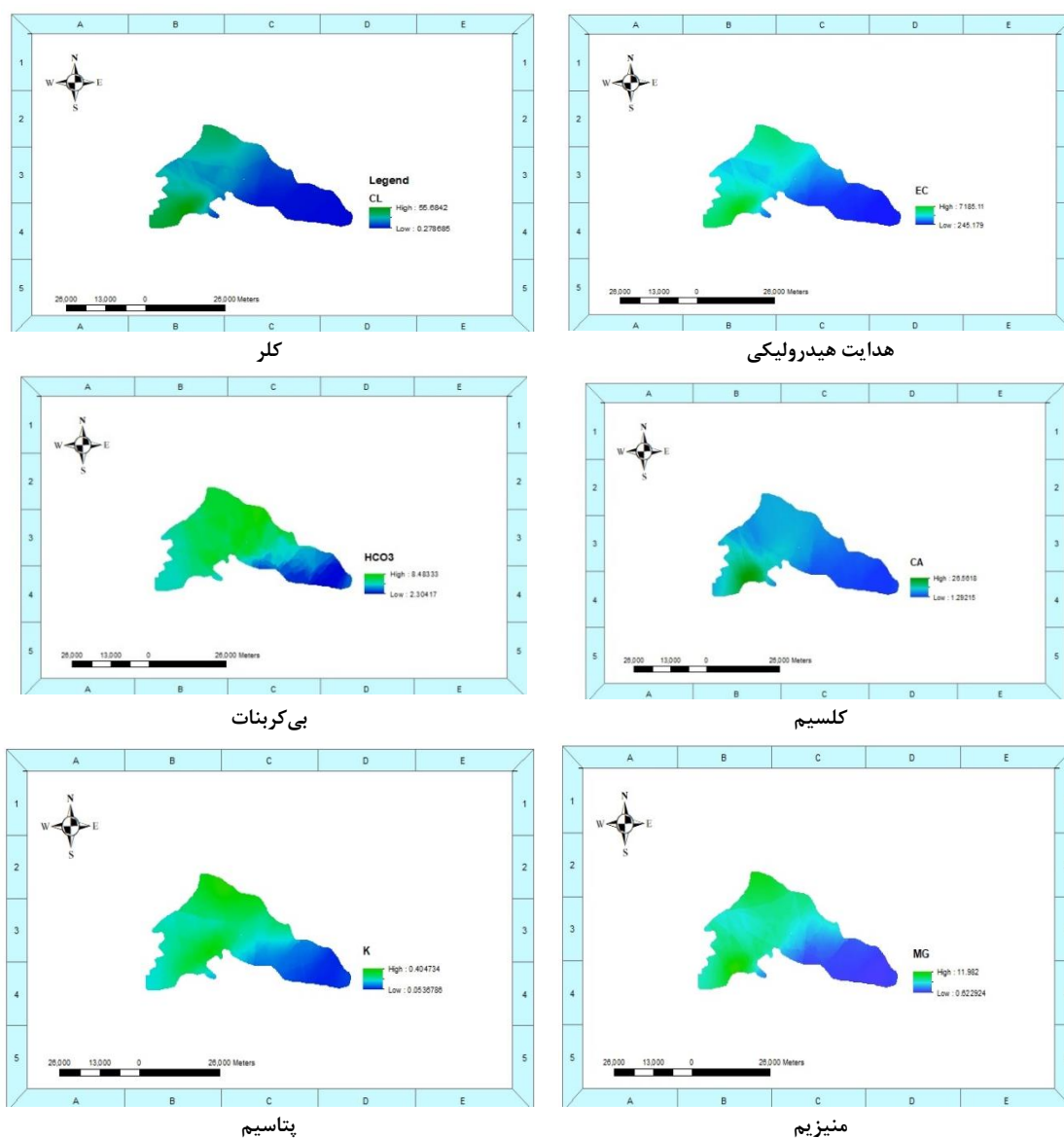
پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	استاندارد جهانی (WHO(2011)
K	۰/۰۲	۰/۵۶	۰/۱۸	۱۲
Na	۰/۳۵	۷۷	۱۰/۷۱	۲۰۰
Mg	۰/۴	۲۵/۴	۴/۴۸	۳۰
Ca	۰/۵۶	۵۶	۷/۶۳	۷۵
So4	۰/۱	۲۶/۵	۴/۶	۲۰۰
Cl	۰/۱	۱۲۰	۱۳/۳	۲۰۰
Hco3	۱/۱۵	۱۷/۵	۵	۳۰۰
Tds	۸۳/۴	۸۵۶۷	۱۴۵۶	۵۰۰
Ec	۱۳۸/۴	۱۳۱۸۰	۲۲۵۱	۷۵۰
Th	۴۸	۴۰۵۰	۶۰۶	۵۰۰

خلاصه آماری نقشه‌های ده‌گانه پارامترهای مورد استفاده در شاخص (GQI) در جدول ۱۰ گردآوری شده است. برای محاسبه این شاخص‌ها از ارزش رتبه پیکسلی هر مؤلفه استفاده شده است و طبق جدول ۱۱ مؤلفه‌های Tds, Th, Ec بیشترین وزن را بخود اختصاص داده‌اند و مهم‌ترین عامل در کاهش کیفیت آب شرب شناخته شدند.

جدول (۱۱): ویژگی‌های آماری نقشه‌های رتبه‌ی پارامترهای کیفی آبخوان دشت تبریز
Tab. (11): Statistical characteristics of rank maps of quality parameters of Tabriz plain aquifer

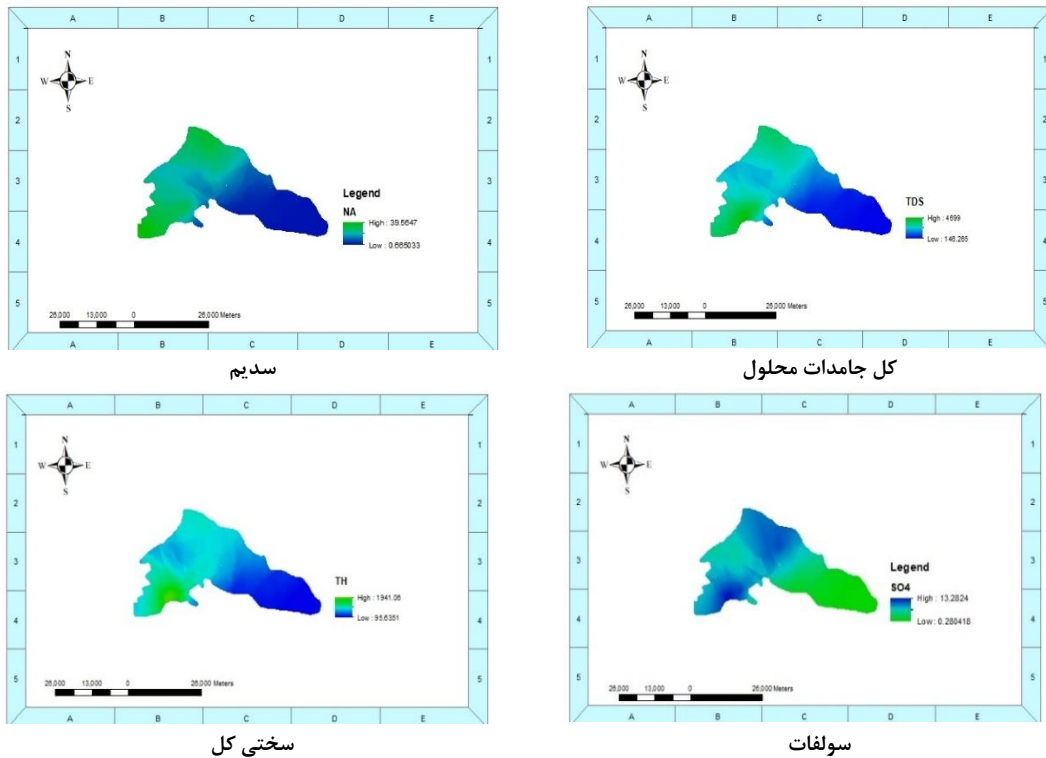
پارامتر	میانگین رتبه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
K	۱/۱۱	۱/۰۲	۱/۲۳	۰/۰۵
Na	۱/۴۲	۱/۲۰	۲/۲۱	۰/۳۴
Mg	۲	۱/۱۴	۳/۱۶	۱/۵۵
Ca	۱/۵۴	۱/۱۹	۲/۹۶	۰/۳۳
So4	۱/۱۶	۱	۱/۴۴	۰/۱۱
Cl	۱/۴۲	۱	۲/۶	۰/۴۱
Hco3	۱/۱۲	۱	۱/۲	۰/۰۳
Tds	۶/۶۱	۲/۶۸	۸/۹۶	۱/۸۰
Ec	۶/۷۰	۲/۸	۸/۹	۱/۷۳
Th	۴/۹	۲/۱۷	۷/۸	۱/۳۸

نتیجه‌ی محاسبات برای دشت تبریز مطابق شکل ۶ شاخصی بین ۸۲ تا ۹۴ را به‌دست آمده است که در تقریباً در بازه‌ی قابل قبول تا مناسب جدول ۳ قرار می‌گیرد. به‌صورت کلی جنوب و شمالی غربی تا قسمت‌هایی از شمال شرقی دارای کیفیت مناسبی و در جنوب شرقی این میزان به‌صورت قابل قبول برای شرب می‌باشد.



شکل (۵): نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی پارامترها در آبخوان دشت تبریز

Fig. (5): The map of 10 parameters of GQI model



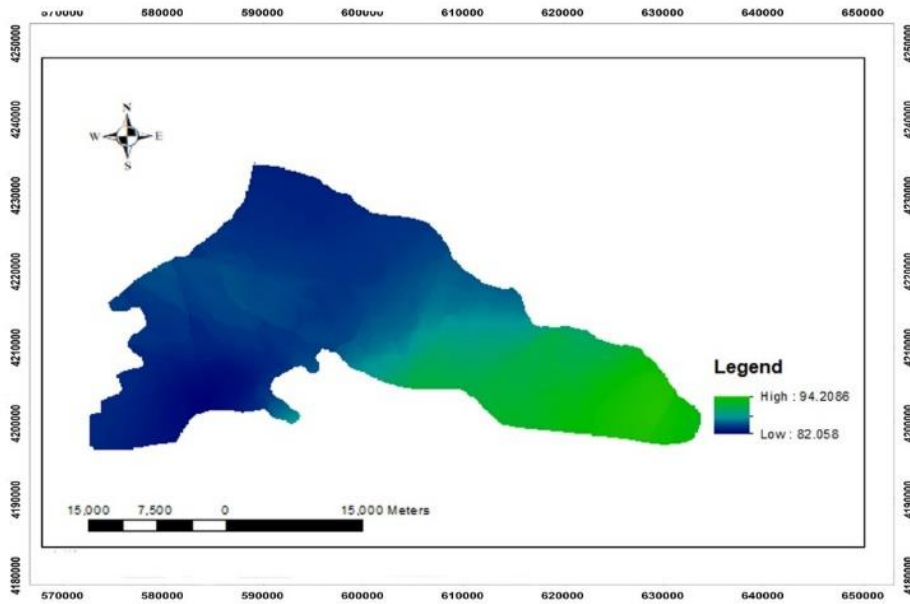
ادامه‌ی شکل (۵): نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی پارامترها در آبخوان دشت تبریز (به ترتیب از راست به چپ شامل: هدایت هیدرولیکی، کلر، کلسیم، بی‌کربنات، منیزیم، پتاسیم، کل جامدات محلول، سدیم، سولفات و سختی کل)

Con. Fig. (5): The map of 10 parameters of GQI model

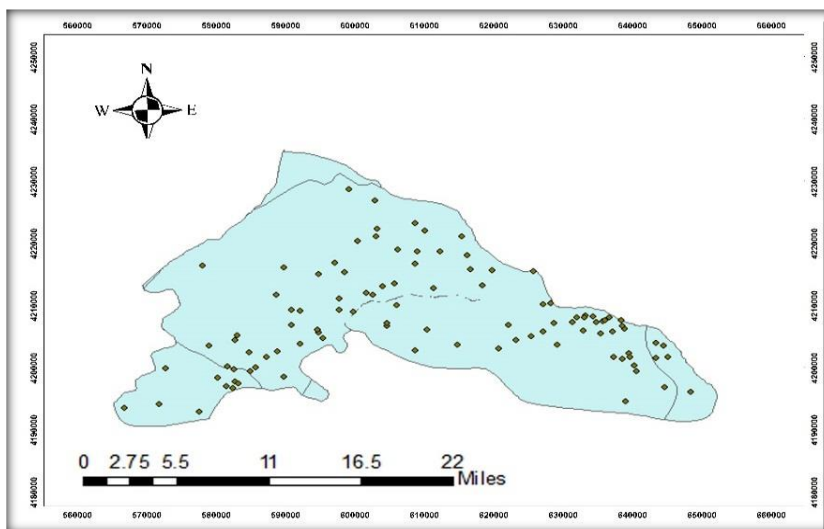
جدول (۱۲): ویژگی‌های آماری نقشه‌های رتبه‌ی پارامترهای کیفی آبخوان دشت تبریز

Tab. (12): Statistical characteristics of rank maps of quality parameters of Tabriz plain aquifer

انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین رتبه	پارامتر
۰/۰۵	۱/۲۳	۱/۰۲	۱/۱۱	K
۰/۳۴	۲/۲۱	۱/۰۲	۱/۴۲	Na
۰/۵۵	۳/۱۶	۱/۱۴	۲	Mg
۱/۳۳	۲/۹۶	۱/۱۹	۱/۵۴	Ca
۰/۱۱	۱/۴۴	۱	۱/۱۶	So4
۰/۴۱	۲/۶	۱	۱/۴۲	Cl
۰/۰۳	۱/۲	۱	۱/۱۲	Hco3
۱/۸۰	۸/۹۶	۲/۶۸	۶/۶۱	Tds
۱/۷۳	۸/۹	۲/۸	۶/۷۰	Ec
۱/۳۸	۷/۸	۲/۱۷	۴/۶	Th

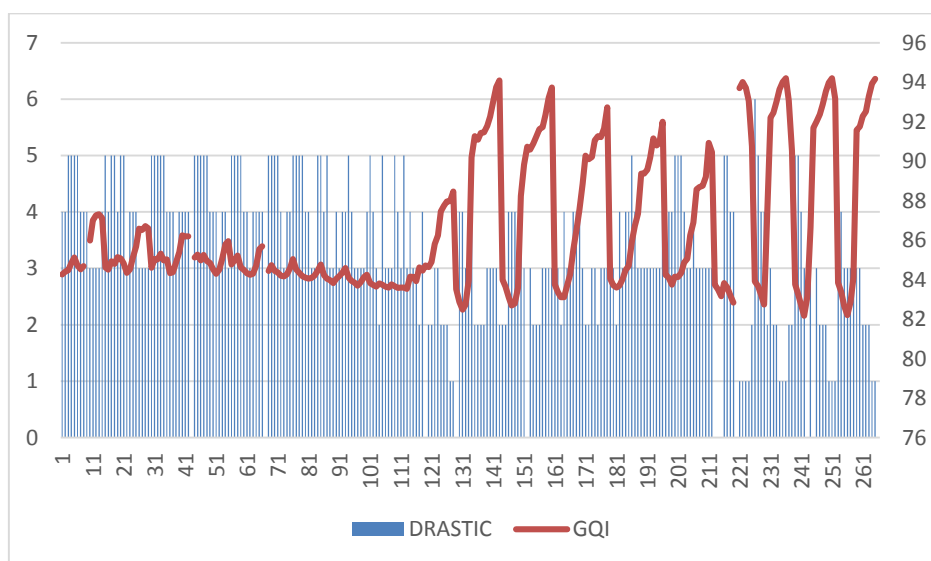


شکل (۶): نقشه‌ی پهنه‌بندی شاخص کیفی آبخوان دشت تبریز
Fig. (6): Zonation map of groundwater quality based on GQI model



شکل (۷): نقشه‌ی موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده برای محاسبه‌ی شاخص GQI
Fig. (7): Location map of sampled wells to calculate GQI index

بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی مربوط به شاخص GQI و مشخص شدن کیفیت آب نواحی مختلف دشت، همبستگی میان این شاخص با مدل DRASTIC در محیط اکسل محاسبه و در نهایت مقدار $0/63253$ - به دست آمد.



شکل (۸): نمودار مقایسه‌ی نقشه‌ی شاخص GQI و نقشه‌ی حاصل از مدل DRASTIC

Fig. (8): Comparison diagram of GQI index map and DRASTIC model map

۴- نتیجه‌گیری

از جمله اصلی‌ترین اهداف تحقیق مقایسه‌ی دو مدل دراستیکو فازی، با هدف انتخاب دقیق‌ترین روش برای ارزیابی پتانسیل آلودگی دشت تبریز بوده است. نتایج ارزیابی‌ها و تحلیل‌ها بر مبنای روش‌های دراستیک و فازی نشان داد که به ترتیب ۴۶ و ۴۷ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه در طبقات آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد قرار گرفته‌اند که بیشترین مقادیر مربوط به نواحی شمال‌غربی تا جنوب‌غربی می‌باشد که از مهم‌ترین علل آن پایین بودن سطح ایستابی در این مناطق و همچنین بالا بودن میزان هدایت هیدرولیکی و جنس محیط غیراشباع نیز می‌باشد.

با مقایسه‌ی این دو روش مشخص گردید که مدل دراستیک، مناطق با پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی کم را نادیده می‌گیرد و مدل فازی مناطق آسیب‌پذیری را با دقت بیشتری از جهت مساحت نسبت به مدل دراستیک مشخص می‌کند. در ادامه به وسیله‌ی تحلیل حساسیت تک پارامتری، مؤلفه‌های عمق تا سطح ایستابی و سپس با اختلاف کم، شاخص محیط غیراشباع، به عنوان اثر گذارترین پارامتر بر مدل دراستیک شناخته شدند.

در ادامه مطالعه، کیفیت آب شرب منطقه، با استفاده از شاخص GQI و بهره گرفتن اطلاعاتی که از چاه‌های دشت به‌دست آمده بود، مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از این شاخص ارقامی بین ۸۲ تا ۹۴ به‌دست آمد، که براساس نقشه حاصل قسمت‌های جنوب شرقی دشت بیشترین کیفیت و قسمت‌های شمال غربی، جنوب غربی تا مرکز دشت نیز کمترین میزان شاخص به‌دست آمده را دارا می‌باشند. در این مطالعه بیشترین وزن مربوط به پارامترهای کل مواد جامد محلول، هدایت هیدرولیکی و سختی کل می‌باشد و بقیه‌ی پارامترها از وزن‌های تقریباً برابری برخوردار هستند از لحاظ توصیفی کیفیت آبدشت بر اساس جدول طبقه‌بندی (جدول ۳) در بازه‌ی قابل قبول تا مناسب قرار می‌گیرد. در نهایت برای بررسی صحت نتایج به‌دست آمده، از روش همبستگی بین مدل DRASTIC و شاخص GQI استفاده شد و نتیجه $0/63253$ - به‌دست آمد که بیان‌کننده‌ی همبستگی منفی بین این دو شاخص می‌باشد یعنی با افزایش پتانسیل آسیدپذیری آبخوان میزان کیفیت آب آن کاهش یافته است.

۵-منابع

- Abbasi, Sorayya; Masoud Heydari (2017). The Groudwater Potential Assessment by the Use of AHP and Fuzzy Technuques (Case Study of Northern Basins of Ilam Province), *Hydrogeomorphology*, 3(6): 75-93, Winter 2017.
- Ansari, Maryam; Iraj Jabbari; Farhang Sargordi (2021). Spatial Modelling of Water Quality Parameters Based on Geological Formations, *Hydrogeomorphology*, 8(26): 137-117, Spring 2021, <http://dx.doi.org/10.22034/hyd.2021.44081.1571>.
- Babaali, hamidreza (2021), Simulating Groundwater Level of Selseleh Plain in Lorestan Province Using Modern Metaheuristic Algorithms, *Hydrogeomorphology*, 8(28), 145-162, Autumn 2021, <http://dx.doi.org/10.22034/hyd.2021.47162.1598>.
- Bahrami, Erfan, Ali Shahidi. (2021). Improving DRASTIC Model by Planning Gene Expression in Determining Aquifer Vulnerability to Nitrate (Case Study: Kermanshah Plain), *Hydrogeomorphology*, 8(28): 39-62, Autumn, 2021, <http://dx.doi.org/10.22034/hyd.2021.44284.1574>.
- Biabani, Leila; Arash Malekian; Behrooz Akbarpoor (2020). Evaluation of Groundwater Potential of Sufi Chay Basin Using Frequency Ratio Models and GIS, *Hydrogeomorphology*, 7(22): 43-65, Spring 2020, <http://dx.doi.org/10.22034/hyd.2020.10804>.
- Bayatikhatibi M.,(2020). Investigating the Role of Land Use Changes in Hydrological Changes of Surfaces in Mountainous Area, Case Study: Ojan Chay Basin, *Journal of Hydrogeomorphology*, No 24, 127-144.
- Heatishmati, S.S., Beigi, Harchgani, H. (2014). A GIS-Based Assessment of drinking of quality of shaerekord groundwater using and index, *JWSS - Journal of Water and Soil Science*, Vol.18,No 69, 179-190.
- Daneshvar Vousoughi, Farnaz; Vahid Manafianazar (2019). Using Hybrid Wavelet-Support Vector Machine and Wavelet-Neural Network Models for Groundwater Level Prediction in Ardabil Plain, *Hydrogeomorphology*, 5(17): 45-64, Winter 2019.
- Cashman P. M. and Preene M., (2001). Groundwater lowering in construction: a practical guide. USA and Canada (Book).
- Hassanzadeh, Mehrdad; Mehdi Momeni Reghabadi; Amir Robati (2021). Vulnerability of Hajiabad plain aquifer based on DRASTIC and SINTACS models, *Hydrogeomorphology*, 8(26): 202-183, Spring 2021, <http://dx.doi.org/10.22034/hyd.2021.45261.1584>.
- Karami, F., Bayatikhatibi, M., (2012). Spatial monitoring of groundwater quality characteristics in different geological formations: case study of upper Aji-chai basin, *Journal of Geography and Regional Development Reseach Journal*, No 17.PP.45-63.
- Khodaei, K., Shahsavari. A.A., Etebari. B. (2006). Evaluation of aquifer vulnerability of JOVEIN PLAIN using DRASTIC and gods methods, *IRANIAN JOURNAL OF GEOLOGY SPRING* 2006, 2(4): 37-87.

- Khorshiddoust A, M, Valizadeh Kamran Kh, Ghasemi Bghtash A. (2018). Analysis of temporal-spatial distribution of dangerous contaminants in Tabriz with emphasis on PM10, *Journal: PHYSICAL GEOGRAPHY RESEARCH QUARTERLY*, winter 2018, 49 (4), 585 To 602.
- Nakhostin Rouhi, M., Rezaei Moghaddam, M., Rahimpour, T. (2017). Groundwater vulnerability zonation using DRASTIC and SI models in GIS (Case Study: Ajabshir Plain), *Iranian Journal of ECO HYDROLOGY*, 4(2): 587-599.
- Napolitano, P. (1995). GIS for aquifer vulnerability assessment in the Piana Campana, southern Italy, using the DRASTIC and SINTACS Methods. MSc thesis, I TC, Enschede, The Netherlands.
- Machiwal, D., Jha M.K, Mal B.C. (2011). GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India, *Environ. Monit. Assess*, 174 (1-4) (2011), 645-663.
- Maghami Moghim, GholamReza; AliAkbar Taghipour; Houshang Khairy. (2020). Investigating Human Positive Impacts on the Changes in Groundwater Level of Safiabad Plain of Esferayen, *Hydrogeomorphology*, 6(21): 23-42, Winter 2020, Pages.
- Mogaji K.A, San Lim H, Abdullar Kh. (2014). Modeling groundwater vulnerability to pollution using Optimized DRASTIC model, IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. IP Address: 202.170.57.249.
- Mohamed, A.A., Mohamed & Tetsuya Hiyama (2007). Assessing groundwater quality using GIS, *Water Resources Management*, volume 21, pages 699-715.
- Nasir Ahmad Gesim, Takeo Okazaki (2018). Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution using DRASTIC Model and Fuzzy Logic in Herat City, Afghanistan.
- Piscopo, G. (2001). Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia (Book).
- Saeidi, Mohammad; Mehdi Komasi; Shahab Hasanpor. (2021). Potential mapping groundwater resources by using an integrated approach AHP and Fuzzy Topsis (Case Study: Silakhor Plain), *Hydrogeomorphology*, 8(26): 59-41. Spring 2021.
<http://dx.doi.org/10.22034/hyd.2021.37835.1548>.
- Shahidi, Ali; Fahime Khadempour. (2020). Investigating the Qualitative Satus of Groundwater in the Plain of Khorasan Razavi Province Using GWQI and AWQI Indexes and Its Zoning with Geographic Information System (GIS), *Hydrogeomorphology*, 7(22): 1-20 , Spring 2020,
<http://dx.doi.org/10.22034/hyd.2020.10802>.
- Soltani Asghari Moghaddam, A., Barzegar, R., Kazemian N. (2017). Identifying Effective Processes on Groundwater Chemistry of the Kordkandi Duzduzan Plain Aquifer, *Journal of water and soil Science*, 27(2): 77-89.