

ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت یاسوج به روش دراستیک

پروین زابلی زاده^۱، علیرضا مظلومی بجزستانی^{۲*}، ناصر حافظی مقدس^۳، اعظم قزی^۴

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

چکیده: در این مقاله، جهت تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت یاسوج، روش دراستیک، یکی از کاربردی ترین روش های همپوشانی، بکار گرفته شده است. نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت، براساس تلفیق نقشه های رستری هفت گانه پارامترهای دراستیک (عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، منطقه اشباع و غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی) در محیط GIS، نشان می دهد که به ترتیب ۱۶٪، ۳٪ و ۱٪ از آبخوان به ترتیب دارای آسیب پذیری متوسط تا زیاد، زیاد و خیلی زیاد بوده و مابقی فاقد خطر آلودگی یا آلودگی کم هستند. جهت ارزیابی دقت مطالعات، نقشه آسیب پذیری منطقه با نقشه هم غلظت نترات و نقشه کاربری اراضی مورد واسنجی قرار گرفت. ضریب همبستگی نقشه هم غلظت نترات با نقشه شاخص آسیب پذیری ۴۹٪ بدست آمد. همچنین نتایج با کاربری اراضی منطقه مورد بررسی قرار گرفت، که نشان دهنده دقت قابل قبول مدل مورد نظر است.

واژه های کلیدی: آسیب پذیری آبخوان، دراستیک، دشت یاسوج، کیفیت آب، آلودگی

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه پیام نور، تهران،

۲ استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور، تهران

۳ استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

۴ دکتری زمین شناسی مهندسی، مهندسین مشاور زمین فیزیک پویا، تهران.

* مسئول مکاتبات

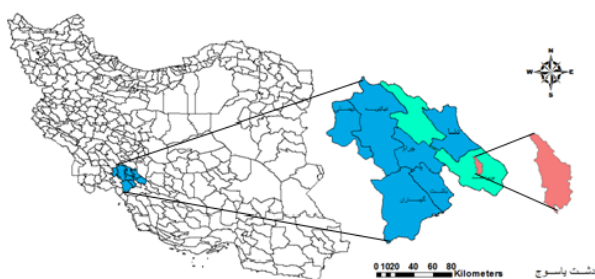
۱. مقدمه:

پارامترهای مختلف به صورت تلفیقی و به طور موازی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و سپس توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش می‌گردند (Dixon, 2005). روش شاخص حساسیت یکی از روش‌هایی است که برای ارزیابی این نوع آسیب‌پذیری استفاده می‌شود و در آن آسیب‌پذیری آبخوان به طور مشخص نسبت به آلاینده‌های کشاورزی (نیتراژ) بررسی می‌گردد (Nejati jahromi et al., 2019; Zendehbad et al., 2019; Hamza et al., 2007). با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه های آسیب پذیری آب زیرزمینی مناطق مختلفی در دنیا تهیه شده است و صحت روش مورد تایید قرار گرفته است (Al-Adamat et al., 2003; Dixon et al., 2005; Babiker et al., 2005; Baalousha et al., 2006; Naqa et al., 2006; Jamrah et al., 2007; Added et al., 2007; Karthik, 2007; Rahman et al., 2008; Leone et al., 2009; Erhan et al., 2009; Voudouris et al., 2010; Ali Khan et al., 2010; Saidi et al., 2011; Wang et al., 2012; Dipankar et al., 2014; Ramaraju et al., 2017; Souleymane and Zhonghua 2017; Jesiya et al., 2019; Hasan et al., 2019). همچنین در ایران برای آبخوان های متعددی از جمله آبخوانهای دشت شیراز (Baghapour et al., 2016)، دشت ماهیدشت کرمانشاه (گرگانی و همکاران، ۱۳۹۵)، دشت سرخون (نوحه گر و ریاحی، ۱۳۹۳)، خاتون آباد (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲)، دشت خران خوزستان (Chitsazan, and Akhtari, 2009)، دشت امامزاده جعفر گچساران (عزیزی و محمدزاده، ۱۳۹۱)، دشت خویس (آدینه پور و همکاران، ۱۳۸۹)، دشت فارسان-جونقان (افروزی و محمدزاده، ۱۳۹۰)، دشت ساوه-نوباران (Sadat-Noori and Ebrahimi, 2016)، دشت نیشابور (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۲)، دشت خزر آباد (صادقی روش و زهتابیان، ۱۳۹۲)، دشت

با افزایش روزافزون برداشت آب، سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های کشور به حد بحرانی رسیده است (Baghapour et al., 2016; گرگانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نوحه گر و ریاحی، ۱۳۹۳). این در حالی است که بخش فراوانی از مصارف شرب، کشاورزی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. لذا حفاظت کیفی و مدیریت آب‌های زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از راه‌های پیشگیری آلودگی آب‌های زیرزمینی شناسایی مناطقی است که استعداد آلوده شدن بالایی دارند و به وسیله این شناخت می‌توان منطقه را از لحاظ آسیب‌پذیری پهنه‌بندی نمود و در نتیجه با اعمال تمهیدات لازم از آلوده شدن مناطق با آسیب‌پذیری بالا جلوگیری نمود (Chassiot et al., 2019; Priyank et al., 2019; Mukherjee et al., 2019). یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های کیفی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری، مدل دراستیک است که بر اساس روش همپوشانی اطلاعات استوار بوده و به وسیله سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA) و انجمن چاه های آب آمریکا (AWWA) جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است، از این رو در این تحقیق نیز سعی شده نقشه آسیب‌پذیری دشت یاسوج به کمک مدل دراستیک در محیط GIS تهیه گردد (Dixon, 2006; Jamrah, et al., 2007; Voudouris et al., 2010). روش های مختلفی برای بررسی و ارزیابی پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی، روش‌های آماری و روش‌های شاخص و روش‌های همپوشان اشاره کرد (Almasri, 2008). دراستیک یک روش شاخص و همپوشان است که در آن اطلاعات حاصل از

در جهت شمال غرب - جنوب شرق کشیده شده است. علاوه بر یاسوج شهر مادوان نیز در این دشت واقع است و روستاهای زیادی نیز در این دشت واقع هستند (سازمان مسکن و شهرسازی کهکیلویه و بویر احمد، ۱۳۹۳). رودخانه بشار نیز تقریباً در مرکز این دشت جریان دارد. علاوه بر اینکه دشت یاسوج به لحاظ مراکز جمعیتی اهمیت دارد، به لحاظ کشاورزی نیز حائز اهمیت است (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱). اراضی کشاورزی و باغی در دشت پراکنده بوده که آب آنها از طریق چاهها، چشمه ها و سد شاه قاسم تأمین می گردد (سازمان مسکن و شهرسازی کهکیلویه و بویر احمد، ۱۳۹۳). ارتفاع متوسط دشت یاسوج ۱۷۹۰ متر از سطح دریای آزاد است. آبرفت متشکله دشت حاصل فعالیت های فرسایشی ارتفاعات حاشیه دشت و رسوب گذاری توسط رودخانه و مسیل های ورودی از دره های اطراف از جمله دره مهران و دره آبشار در سمت شمال، دره بشار در شرق و دره های سرای رود و چندین دره سیلاب رو در بخش جنوب و جنوب شرقی دشت است (مهندسین مشاور محاسبان آب صحرا، ۱۳۹۰). در محل ورود دره های اصلی مخروط افکنه های کوچک و بزرگی تشکیل شده که آبخوان های آبرفتی را در خود جای داده و منابع آب زیرزمینی منطقه را بوجود آورده است (سازمان مسکن و شهرسازی کهکیلویه و بویر احمد، ۱۳۹۳).

سلفچگان (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲) و دشت اصفهان (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳) انجام گرفته است. در مطالعه حاضر از این روش جهت ارزیابی آلودگی آبخوان دشت یاسوج استفاده شده است. ۱- معرفی محدوده مطالعاتی: حوزه شهری یاسوج متشکل از دو دشت سررود شمالی و سررود جنوبی است که از اطراف توسط ارتفاعات و جنگل محاط شده است. وسعت این حوزه تقریباً برابر با ۱۲۷/۶ کیلومترمربع است. از نظر موقعیت جغرافیایی، این محدوده بین ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۸/۵ درجه عرض شمالی قرار دارد. مساحت شهر یاسوج ۲۰ کیلومتر مربع و جمعیت آن طبق سرشماری سال ۱۳۹۱، برابر با ۲۰۴۸۵۹ نفر و تراکم جمعیتی آن ۴۲ نفر بر کیلومتر مربع بوده که در سالیان اخیر توسعه زیادی یافته است (سازمان مسکن و شهرسازی کهکیلویه و بویر احمد، ۱۳۹۳). مهمترین دشت های ناحیه دشت سررود و دشت مهران است. ارتفاع زمین از سمت جنوب به شمال و از سمت شرق به غرب کاهش می یابد (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱). محدوده مطالعاتی از دو بخش کوهستانی در قسمت های پیرامون حوزه و دشت ها در بخش مرکزی تشکیل شده است. مساحت دشت یاسوج حدود ۹۴ کیلومتر مربع است (سازمان مسکن و شهرسازی کهکیلویه و بویر احمد، ۱۳۹۳). دشت



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

تبعیت از شیب زمین و سنگ کف لایه آبدار، از سمت شمال و شرق و جنوب به طرف مرکز و نهایتاً به سمت شمال غربی است (مهندسین مشاور محاسبان آب صحرا، ۱۳۹۰). گرادیان هیدرولیک آبخوان آبرفتی بر اساس مطالعات انجام شده قبلی در بخش های ورودی و در امتداد دره بشار و مهریان به سبب دانه بندی درشت لایه آبرفتی زیاد و تا حدود ۴۰ در هزار نیز می رسد، در بخش مرکزی دشت میزان این پارامتر حدود ۱۰ در هزار است و در ناحیه خروجی و شمال غربی دشت این مقدار کاهش بیشتری یافته و به ۵ در هزار و حتی کمتر از این مقدار می رسد (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱). بر این اساس در مطالعات قبلی ضریب قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی در مجاورت رودخانه بشار حدود ۲۰۰ متر مربع در روز و ضریب ذخیره آن بین ۴ تا ۶ درصد برآورد شده است. عمق متوسط سطح آب زیرزمینی در دشت بین ۲۵ متر و ۵ متری است. حداکثر ارتفاع سطح آبخوان در فروردین ماه هرسال و حداقل آب زیرزمینی در مهرماه اتفاق می افتد (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱).

۲. مواد و روش ها:

مدل دراستیک یک مدل کمی است که از سوی سازمان حفاظت خاک آمریکا (USEPA) توسط آلر و همکاران در سال ۱۹۸۷ برای برآورد پتانسیل آلودگی سیستم آب زیرزمینی در یک مقیاس ناحیه ای طراحی شده است. بر اساس این مدل پارامترهای مختلف هیدروژئولوژی که هر یک در انتقال آلودگی تأثیرگذارند با یک ضریب وزنی و یک ضریب ارزش با یکدیگر جمع شده در نهایت نقشه آسیب پذیری را ارائه می دهد (Aller et al., 1987). این مدل به طور گسترده در اکثر کشورهای جهان مورد استفاده قرار گرفته است. ورودی های مورد استفاده برای این

از نظر کیفیت شیمیایی، منابع آب زیرزمینی دشت عموماً دارای تیپ کربناته بوده و قابلیت استفاده جهت مصارف مختلف کشاورزی و صنعتی دارد (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱). از لحاظ آشامیدنی، محدودیت های شیمیایی وجود ندارد و تنها تأثیر آلاینده های ناشی از فاضلاب های شهری و صنعتی یا مصرف کودها و سموم دفع آفات در مزارع، کیفیت آبهای زیرزمینی را جهت مصرف شرب تحت تأثیر قرار داده و در مواردی باعث آلودگی شدید و از دست دادن قابلیت شرب گردیده است (مهندسین مشاور محاسبان آب صحرا، ۱۳۹۰). سفره آب زیرزمینی دشت یاسوج از نوع سفره های آزاد است و حداکثر تا عمق ۱۲۰ متری ادامه دارد. در دره مهریان حفاری چاه آب آشامیدنی تا عمق ۱۸۰ متری نیز صورت گرفته که احتمالاً بخش زیادی از آن در سنگ کف آبرفت (کنگلومرای بختیاری) حفاری شده و حتی به نظر می رسد در انتها به سازند آهکی نیز رسیده و بخشی از آب دهی چاه ممکن است از آبخوان کارستی در عمق تأمین شده باشد (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱). جنس و دانه بندی آبرفت در بخش مرکزی و غربی دشت به سبب دوری از منشأ، به تدریج به رسوبات ریزدانه رسی و سیلتی می شود (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱). در این بخشها ضخامت و دانه بندی آبرفت کاهش می یابد. حداکثر ضخامت رسوبات آبرفتی در شمال شرقی دشت تا حدود ۶۰ متر شناسایی شده است که بخش اعظم آن آبرفت های ناشی از رسوب گذاری در بستر قدیمی رودخانه بشار است. به طور متوسط ضخامت آبرفت دشت ۴۰ متر و سنگ کف اغلب نقاط از جنس کنگلومرای بختیاری و یا سنگ آهک آسماری است (مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱).. جهت جریان آب زیرزمینی با توجه به موقعیت توپوگرافی دشت و به

به هر پارامتر یک نرخ و یک وزن برحسب اهمیت پارامتر اختصاص داده می‌شود (جدول ۱). از این رو شاخص دراستیک بر اساس وزن دهی به مجموع هفت پارامتر به صورت زیر محاسبه می‌شود (Aller, 1987).

$$Di = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw \quad \text{رابطه (۱)}$$

بندی آسیب پذیری آبخوان دشت یاسوج تهیه گردید که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

۳-۱- تهیه لایه های اطلاعاتی:

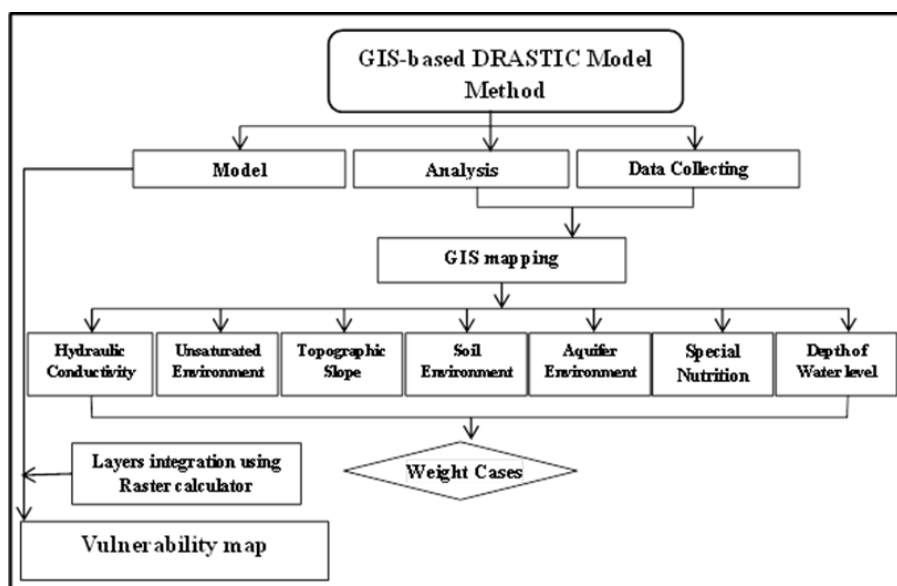
الف- عمق آب زیرزمینی (D): این پارامتر تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده باید طی کند تا به سطح (D) عمق ایستایی برسد. با استفاده از آمار و اطلاعات ۱۱ چاه مشاهده‌ای در طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲، میانگین عمق آب زیرزمینی در طی ۴ سال تهیه و سپس با بهره‌گیری از قابلیت توزیع مکانی در نرم‌افزار GIS و به روش درونیابی Kriging نقشه رستری هم عمق آب زیرزمینی در اندازه سلول ۲۰ متری تهیه گردید. سپس با توجه به رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی جدول (۱) با استفاده از قابلیت Reclassify نقشه رتبه‌بندی عمق تهیه شد (شکل ۲-۲-A). همانطور که مشاهده می‌شود در قسمت غربی سطح آب زیرزمینی عمق کمتری دارد و در مدل دراستیک بیشترین رتبه را به خود اختصاص داده است.

مدل به طور کلی موجود یا تهیه آن آسان است. این مدل بر اساس هفت پارامتر هیدروژئولوژیک شامل: ۱- عمق آب زیرزمینی (D) ۲- تغذیه خالص (R) ۳- محیط آبخوان (A) ۴- محیط خاک (S) ۵- توپوگرافی (T) ۶- تأثیر ناحیه غیراشباع (I) ۷- ضریب هدایت هیدرولیکی (C) استوار شده است. در روش دراستیک

در رابطه (۱)، Di شاخص آسیب‌پذیری دراستیک و حروف بزرگ نشان دهنده پارامترهای هفت‌گانه و r نرخ ارزش (رتبه) و w وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. مدل دراستیک توان آلودگی یک ناحیه را با جمع کردن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول ارزیابی می‌کند. بسته به اهمیت، هر کدام از پارامترهای دراستیک بر اساس جدول رتبه بندی و وزن دهی شدند و نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان تهیه گردید. نقشه نهایی یک نقشه رستری است که سلول های دارای ارزش عددی بزرگتر برای شاخص Di ، نشان دهنده ی مناطق آسیب پذیر آبخوان در مقابل آلودگی هستند.

۳. نتایج و بحث:

با توجه به مراحل تهیه مدل دراستیک (شکل ۲) و بر اساس تجزیه تحلیل و اطلاعات جمع آوری شده از منطقه مورد مطالعه ضمن تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نیاز و تلفیق آنها در محیط GIS 10 نقشه پهنه



شکل ۲. مراحل تهیه مدل دراستیک و نقشه آسیب پذیری آبخوان (Aller et al., 1987)

(Piscopo, 2001) استفاده شد. در این روش (رابطه ۲) با استفاده از درصد شیب، میزان بارندگی و میزان نفوذپذیری خاک منطقه، پتانسیل تغذیه آن به دست می آید. در این رابطه R میزان تغذیه خالص آبخوان، $Slope$ درصد شیب توپوگرافی، Ra بارندگی و In نفوذپذیری خاک است.

$$R = Slope(\%) + Ra(mm) + In(mm)$$

از تهیه نقشه‌های مذکور برای به دست آوردن لایه تغذیه، نقشه‌های شیب و خاک به همراه نقشه رتبه بندی بارندگی منطقه که از درون یابی داده های بارش چندسال اخیر تهیه شده است همپوشانی شدند و نقشه تغذیه خالص به دست آمد (شکل ۲-ب). نهایتاً برای به دست آوردن رتبه واقعی تغذیه با استفاده از معیارهای جدول (۱) رتبه بندی آن صورت گرفت.

ب- تغذیه خالص آبخوان (R):

به طور کلی تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره (برای یک دوره یک ساله) به درون زمین وارد می شود. معمولاً هر قدر میزان تغذیه بالاتر باشد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی در آن منطقه بیشتر است. برای تهیه لایه تغذیه خالص از روش

رابطه (۲)

برای محاسبه درصد شیب ابتدا مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه با استفاده از نقشه توپوگرافی 1:100,000 تهیه شد. سپس نقشه شیب منطقه از DEM به دست آمده استخراج گردیده و با استفاده از معیارهای جدول (۲) تهیه و رده بندی گردید. نقشه نفوذپذیری خاک نیز با استفاده از اطلاعات موجود بر اساس معیارهای جدول (۲) تهیه و رده بندی شد. پس

جدول ۱-رتبه دهی و وزن دهی به پارامترهای مدل دراستیک نرمال (Aller,1987)

Hydraulic conductivity (m/day)		Unsaturated environment		Topographic slope(%)		Soil environment		Aquifer environment		Pure nutrition (mm/year)		Depth (to water level) (m)	
Range	Grade	Range	Grade	Range	Grade	Range	Grade	Range	Grade	Range	Grade	Range	Grade
<1.4	1	Enclosure layer	1	0-2	10	Thin soil layer	1	Massive shale	1	0-50	3	0-1.5	10
1.4-12.3	2	Silt or clay	3	2-6	9	Gravel	2	Igneous or metamorphic rocks	2	50-100	6	1.5-4.6	6
12.3-28.7	4	Shale	3	6-12	5	Sand	3	Weathered igneous or metamorphic rocks	2	100-175	8	4.6-9.1	7
28.7-41	6	Limestone	3	12-18	3	Fertility		moraine	3	175-250	9	9.1-15.2	5
41-82	8	Sandstone	6	>18	1	dense Clay		Sandstone, limestone	6	> 250	10	15.2-22.8	3
>82	10	Limestone, sandstone	6			sandy loam		Massive sandstone	6			22.8-30.4	2
		Sand and gravel with a large amount of silt and clay	6			Loam		Sand and gravel	8			> 30	
		Sand and gravel	8			Silyt loam		fractured Basalts	9				
		fractured Basalts	9			Clay loam		Karstic limestone	10				
		Karstic limestone	10			Non-compacted Fertilizer							
Differentia: 3		Differentia: 5		Differentia: 1		Differentia: 2		Differentia: 3		Differentia: 4		Differentia: 5	

جدول ۲: نمرات تغذیه برای دشت یاسوج بر اساس (Piscopo, 2001)

D: Nutrition rate		C: Soil permeability		B: Rainfall		A: Slope	
grade	range	Factor	range	Factor	Precipitation (mm)	Factor	Slope(%)
10	11-13	5	high	4	>850	4	<2
8	9-11	4	moderate to high	3	700-850	3	2-10
5	7-9	3	moderate	2	500-700	2	10-33
3	5-7	2	low	1	<500	1	>33
1	3-5	1	very low				

بستگی دارد. برای تهیه نقشه محیط خاک از نقشه های تهیه شده در مراکز تحقیقاتی استان و با استفاده از طبقه بندی فائو و اطلاعات خاکشناسی موجود در سایر مطالعات، لاگ های حفاری و مطالعات ژئوالکتریک دشت، نقشه محیط خاک بصورت رستری و اندازه سلول ۲۰ متری تهیه گردید (شکل ۲-۲). جنس خاک دربخش شرقی و ارتفاعات منطقه از آبرفت درشت دانه تشکیل شده است و به سمت مرکز و غرب دشت و مسیر رودخانه بشار و مهربان که دارای شیب کمتری هستند ریزدان نه تر می شود.

ه- شیب توپوگرافی (T):

توپوگرافی به صورت شیب و تغییرات شیب سطح زمین مورد توجه قرار می گیرد. توپوگرافی حرکت آلوده کننده و نگهداری آن را بر سطح زمین کنترل می کند. به منظور تهیه لایه توپوگرافی از نقشه های DGN منطقه استفاده شد. بدین منظور در ابتدا یک مدل رقومی ارتفاعی از منطقه تهیه شده و سپس نقشه درصد شیب از این مدل رقومی استخراج شد. با توجه به رتبه بندی جدول (۱) نقشه درصد شیب در اندازه سلول ۲۰ متری به دست آمد (شکل ۲-۲). قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه دارای شیب ۲-۱۲ درصد است که آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی را افزایش می دهد.

ج- محیط آبخوان (A): سفره آب زیرزمینی لایه یا سازندی است که توانایی ذخیره سازی و انتقال آب را داشته باشد. برای تهیه نقشه رتبه بندی لایه محیط سفره آبدار از اطلاعات لاگ های حفاری ۲ چاه و همچنین شبکه بندی محدوده مطالعاتی و استفاده از ۲۷۰ نقطه موجود در پروفیل ها و نقشه های ژئوالکتریک دشت و مشخص نمودن مواد زمین شناسی موجود در هر شبکه نقشه محیط آبخوان شبکه بندی شده بدست آمد. همچنین با تبدیل نقشه شبکه بندی شده به نقشه رستری و رتبه بندی شده، لایه محیط اشباع آبخوان بصورت رستری و اندازه سلول ۲۰ متری تهیه گردید (شکل ۲-۲-۲). به طور کلی آبخوان یاسوج متشکل از رسوبات آبرفتی، کنگلومرا، آهک، مارن و رس بادرصدهای متغیر در بخش های مختلف است. بیشترین میزان آهک در بخش جنوبی آبخوان مشاهده شد که دارای بیشترین نفوذ پذیری است و بالاترین رتبه را در این مدل به خود اختصاص داده است.

د- محیط خاک (S):

این بخش شامل قسمت بالایی منطقه غیر اشباع است که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد. پتانسیل آلودگی خاک به خصوصیات ماند بافت، نفوذ پذیری، درصد مواد آلی و ضخامت خاک

مطالعه تهیه شد (شکل ۲-۲-G). بر این اساس قسمت اعظم دشت دارای هدایت هیدرولیکی بیشتر از ۴۱ متر بر روز با رتبه ۸ و ۱۰ تعیین شد.

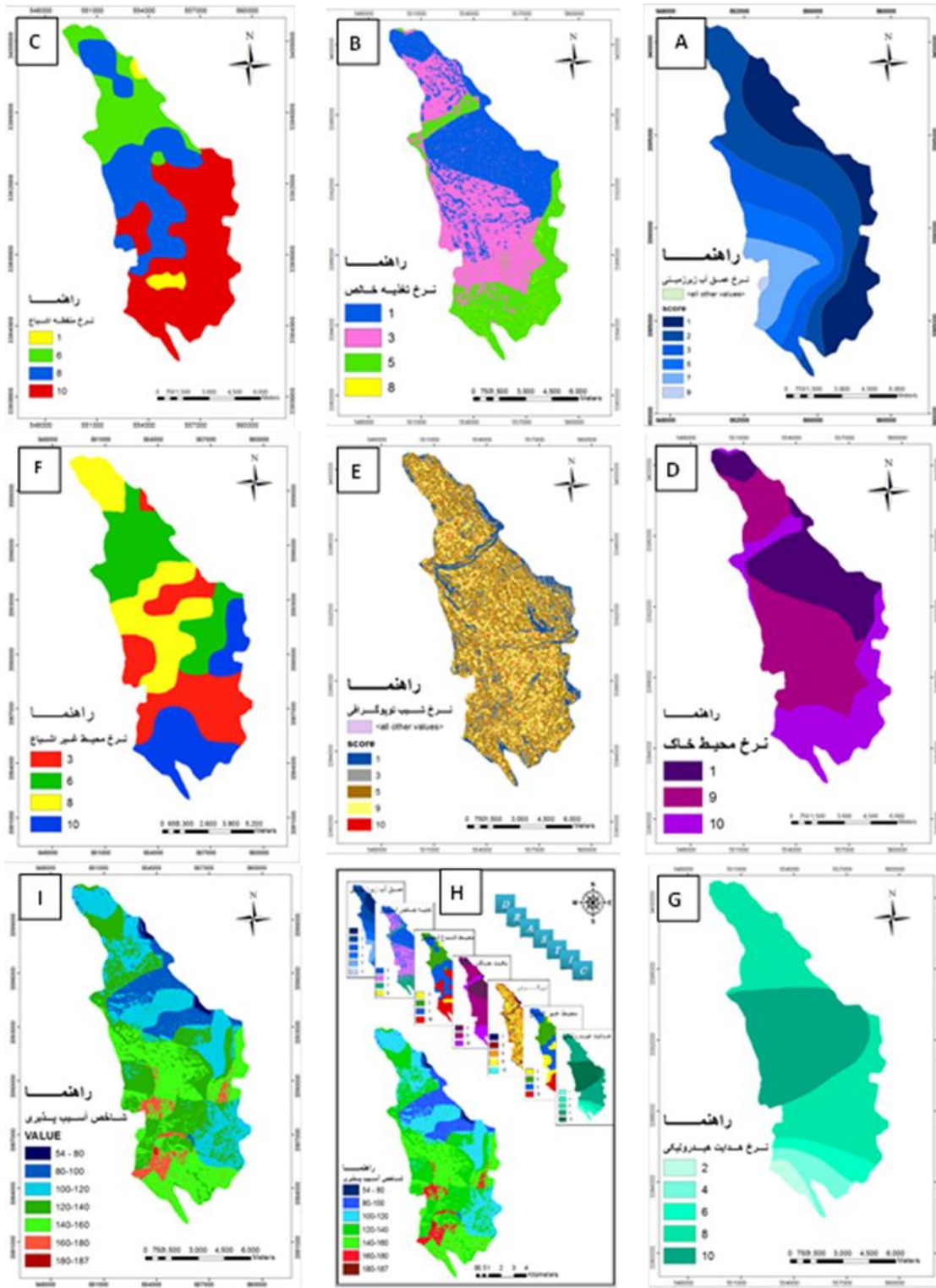
نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت یاسوج:
در محدوده مطالعاتی دشت یاسوج، وزن دهی پارامترها بر اساس روش استاندارد ارائه شده توسط آلر و همکاران (1987) صورت گرفت. با استفاده از نقشه های رتبه بندی پارامترهای هفت گانه دراستیک (شکل ۲، A، تا I) و وزن اصلی هر یک از پارامترهای هفت گانه دراستیک (جدول ۱)، نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری ذاتی آبخوان دشت یاسوج طبق رابطه (۱) تهیه گردید. شاخص آسیب پذیری دشت یاسوج از ۵۴ تا ۱۸۷ تغییر می کند (شکل ۲-۲ H و I-۲). با توجه به جدول (۳) به ترتیب ۱٪، ۱۱٪، ۲۷٪، ۲۹٪، ۲۷٪، ۵٪ و ۰٪ از آبخوان به ترتیب دارای آسیب پذیری بدون خطر آلودگی، خیلی کم، کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد، زیاد و خیلی زیاد است. همانطور که ملاحظه می شود مناطق با آسیب پذیری کم تا متوسط بیشترین مساحت آسیب پذیری (۲۹٪) را به خود اختصاص داده است و کمترین مساحت آسیب پذیری مربوط به مناطق با آسیب پذیری خیلی زیاد (۰٪) است (شکل ۳). به نظر می رسد در مناطق جنوبی و جنوب غربی که دارای سازندهای آهکی می باشد و سنگ بستر عمق کمتری دارد و سطحی ایستابی نیز عمق کمتری دارد و بافت خاک درشت دانه تر است، پتانسیل آلودگی بالاتری وجود دارد و در مناطق شمال و شمال شرقی که دارای خاک های با بافت رسی و ریزدانه تر و دارای شیب توپوگرافی تندتری است پتانسیل آلودگی کمتری وجود دارد.

و- محیط غیر اشباع آبخوان (I):

یکی از مهم ترین لایه های موجود در مدل دراستیک منطقه غیر اشباع است زیرا که آلودگی برای رسیدن به سطح آب زیرزمینی می بایست از این محیط عبور کند این لایه مربوط به جنس خاک است که از پایان لایه خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه دارد. محیط غیر اشباع از نظر جنس بشدت تحت تأثیر منطقه اشباع است. عواملی که در تعیین اثر منطقه غیر اشباع در حوضه مورد توجه قرار می گیرند عبارتند از: تراوایی خاک و عمق آب زیرزمینی. برای تهیه نقشه رتبه بندی لایه محیط غیر اشباع همانند لایه محیط آبخوان، ابتدا نقشه شبکه بندی شده در اندازه ۱۰۰۰ متری تهیه شد و سپس با مشخص نمودن زمین شناسی منطقه، با استفاده از اطلاعات ژئوالکتریک منطقه و پلی گونی کردن مناطق مشابه و رتبه بندی طبق روش آلر (Aller et al., 1987) نقشه رستری در اندازه سلول ۲۰ متری تهیه شد (شکل ۲-F).

ز- هدایت هیدرولیکی (C):

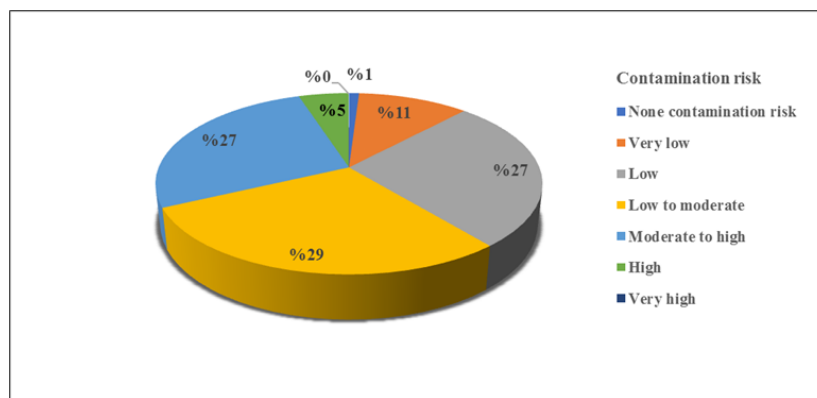
توانایی مواد تشکیل دهنده آبخوان در انتقال آب، هدایت هیدرولیکی نامیده می شود که به درصد فضاهای خالی مرتبط به هم در لایه آب دار (تخلخل مؤثر) بستگی دارد. هرچه هدایت هیدرولیکی بیش تر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده ها در آبخوان بیش تر خواهد بود. برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی از داده های پمپاژ پله ای چاه های موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با استفاده از روش ژاکوب مقادیر ضریب آبگذری کلیه چاه ها محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن عمق بخش اشباع آبخوان، مقادیر هدایت هیدرولیکی کلیه چاه ها محاسبه گردید. با توجه به رتبه های هدایت هیدرولیکی جدول (۱)، لایه هدایت هیدرولیکی برای منطقه مورد



شکل ۲- نقشه های لایه های اطلاعاتی دشت یاسوج، عمق آب زیرزمینی (A)، تغذیه خالص (B)، منطقه اشباع آبخوان (C)، محیط خاک (D)، شیب توپوگرافی (E)، محیط غیر اشباع آبخوان (F)، هدایت هیدرولیکی (G)، تلفیق لایه ها (H)، شاخص آسیب پذیری (I).

جدول ۳. اندیس مدل دراستیک و مساحت محدوده های آسیب پذیری دشت یاسوج بر اساس (Aller et al., 1987)

Area Percentage	Area (Km ²)	Vulnerable Area (M ²)	DRASTIC index
1%	738.66819	738668.19	Non contamination risk
11%	9902.50398	۹۹۰۲۵۰۳,۹۸	very low
27%	25061.1919	۲۵۰۶۱۱۹۱,۹۲	low
29%	27125.1358	27125135.83	Low to moderate
27%	25231.478	۲۵۲۳۱۴۷۸,۰۴	Moderate to high
5%	4353.26723	۴۳۵۳۲۶۷,۲۳	high
0%	74.67568	74675.68	Very high
100%	92486.9209	92486920.87	The whole range



شکل ۳. درصد پوشش کلاس های آسیب پذیری شاخص دراستیک در دشت یاسوج

۳-۲- آنالیز حساسیت مدل:

پارامتر و تک پارامتری انجام گرفت. در این مرحله پارامترهای ورودی مدل تغییر داده شده و عکس العمل سیستم نسبت به این تغییرات مورد ارزیابی قرار گرفت (Merchant, 1994). جهت ارزیابی میزان تأثیرگذاری پارامترها، پارامترهای رتبه بندی شده به لحاظ همبستگی و تغییر پذیری ارزیابی می شوند. طبق نظر روزن (۱۹۹۴) عدم همبستگی یا استقلال پارامترهای دراستیک احتمال قضاوت نادرست را کاهش می دهد (Rosen, 1994). در حقیقت برخی از پارامترها، ذاتاً به هم مرتبط هستند. میزان همبستگی پارامترهای مختلف دو به دو باهم مقایسه و در جدول (۴) ارائه شده است.

ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از تعداد پارامترهای متعدد، تأثیر خطاها و یا عوامل نامعلوم و عدم قطعیت های موجود در یک پارامتر منفرد، بر روی خروجی نهایی را محدود می سازد. به منظور از بین بردن تردیدها درمورد اینکه آیا می توان آسیب پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی را با تعداد کمتری از پارامترها و با دقت بیشتر و هزینه کمتری ارزیابی کرد، آیا وزن ها و رتبه ها ی نسبت داده شده به پارامترهای مدل دارای دقت کافی هستند یا خیر، بر روی میزان تأثیر گذاری هر کدام از پارامترها برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت یاسوج آنالیز حساسیت مدل به دو روش حذف

جدول ۴: ماتریس همبستگی پارامترهای دراستیک در دشت یاسوج بر اساس (Rosen, 1994)

Layer	D	R	A	S	T	I	C
D	1						
R	0.06719	1					
A	0.11251	0.28771	1				
S	0.31352	0.75316	0.18394	1			
T	0.0981	0.22312	0.05257	0.1085	1		
I	-0.13029	0.14333	-0.00449	0.03577	-0.01972	1	
C	-0.06899	-0.59088	-0.19584	-0.4086	-0.00127	-0.33905	1

تحلیل همبستگی پارامترهای مدل دراستیک:

همبستگی مثبت بین پارامترهای محیط خاک، تغذیه خالص آبخوان، عمق آب زیرزمینی، محیط اشباع آبخوان و توپوگرافی با توجه به ویژگی های زمین شناختی و زمین ساختی و ... منطقه قابل توجیه است. شاید بتوان علت این همبستگی را مرتبط با تأثیر گذاری مستقیم این پارامترها بر یکدیگر دانست. همچنین همبستگی منفی محیط غیر اشباع آبخوان با عمق آب زیرزمینی، محیط اشباع آبخوان و توپوگرافی منطقه نشان دهنده افزایش این پارامتر در مقابل کاهش سه پارامتر دیگر است و بر عکس. هدایت هیدرولیکی با سایر پارامترها دارای همبستگی منفی است. در بخش های وسیعی از دشت که مخروط افکنه ها گسترش دارند و بافت خاک از نوع درشت دانه و شیب توپوگرافی نیز زیاد است رسوبات تشکیل دهنده آبخوان نیز در بخش اشباع و غیر اشباع درشت دانه تر است. همچنین محیط خاک در این بخش ها تکامل نیافته و دارای بافتی سبکی است که عمدتاً از رسوبات دانه درشت شن و ماسه تشکیل شده است، همین عامل باعث همبستگی مثبت این پارامترها شده است.

صحت سنجی مدل با استفاده از آلاینده نیترات:

جهت تعیین آسیب پذیری ویژه آبخوان، به یک پارامتر آلودگی متناسب با کاربری منطقه، نیاز است. با توجه به نقشه کاربری اراضی دشت یاسوج (شکل ۴)، کاربری غالب منطقه کشاورزی است و افزایش چشمگیری در استفاده از کودهای حیوانی و یا کودهای شیمیایی نیتراتی مشاهده می شود. یون نیترات سیال بوده و توسط محیط جذب نمی شود. بنابراین می توان انتظار داشت که غلظت نیترات در آب های زیرزمینی بالا باشد، بنابراین می توان از نیترات به عنوان آلاینده کیفی جهت تعیین حریم کیفی آبخوان استفاده نمود. هدف از این مرحله بدست آوردن اطمینان بیشتر از مدل تهیه شده است. جهت بررسی دقت مدل، صحت سنجی آن از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت، به این صورت که مطابق رابطه (۳) برای هریک از نقاط دارای نیترات معلوم، عدد دراستیک آن نقطه با توجه به شاخص محلی دراستیک مشخص و با تقسیم غلظت نیترات بر شاخص دراستیک بدست آمده نسبت ثابت (Q) بدست می آید. هرچه این نسبت برای نقاط مختلف به هم نزدیکتر، دقت مدل بیشتر است.

$$Q = \text{NO}_3 / \text{Di}$$

رابطه (۳)

یاسوج تهیه شد (شکل ۴). بیشترین غلظت نترات و بخش آسیب پذیری نسبتاً بالا در نزدیکی تصفیه خانه فاضلاب شهر یاسوج قرار دارد (شکل ۵). همچنین در بخش غربی که دارای آسیب پذیری زیاد می باشد کارخانه قند و بیمارستان امام سجاد قرار دارد که نشان می دهد پتانسیل آلودگی این مناطق بالا بوده و باید کاربری های متناسب با این پتانسیل در این مناطق ایجاد شود. همچنین پساب فاضلاب این کاربری ها مورد بررسی قرار گیرند و برای مدیریت آبخوان تحقیقات دقیق تری صورت گیرد.

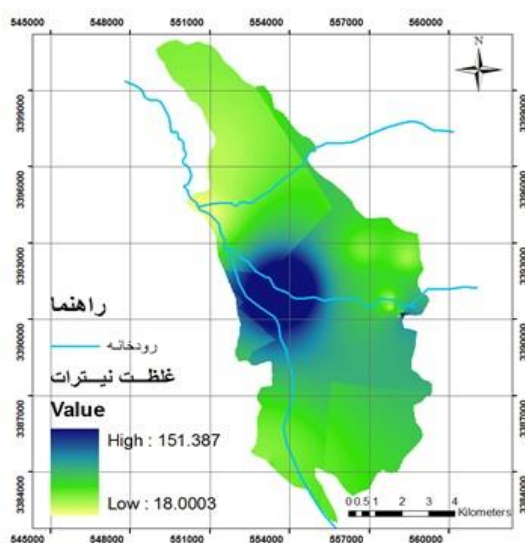
برای دشت یاسوج این نسبت تقریباً برای نقاط مختلف به هم نزدیک است و با توجه به داده های جدول (۵) می توان گفت که این مدل از دقت بالایی برخوردار است. ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت نترات و شاخص آسیب پذیری منطقه نیز با استفاده از نرم افزار SPSS برابر ۰.۴۹٪ محاسبه شد و نشان می دهد که همبستگی نسبتاً بالایی بین این دو پارامتر وجود دارد (جدول ۶). نقشه کاربری اراضی با استفاده از نقشه تهیه شده در سازمان جنگلها و مراتع کشور و همچنین با استفاده از نرم افزار Google earth و نقشه جامع شهر

جدول ۵. مقادیر غلظت نترات (mg/l) و شاخص دراستیک در دشت یاسوج بر اساس (Merchant 1994)

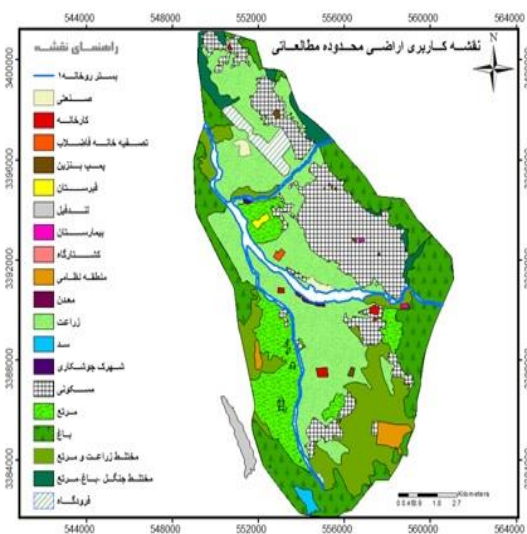
Sampling well	[NO ₃]	Di	Q
Tange Kenareh. 1	28.5	170	0.16
Tange Kenareh. 2	27	174	0.15
Tange Kenareh. 3	27.۲۷	164	0.16
Tange Kenareh. 4	34	166	0.2
Shahre Bazi. 1	29	166	0.16
Shahre Bazi. 2	30	167	0.17
Shahre Bazi. 3	26.5	174	0.15
Shahre Bazi. 4	26	125	0.2
Passenger terminal	24.5	137	0.17
Sajjad. 1	24	175	0.17
Sajjad. 2	28	167	0.17
Sajjad. 3	22.8	167	0.13
Sajjad. 4	24.2	167	0.14
Mehrban. 1	20	104	0.19
Well No.2	30	۱۳۷	0.2
Well No.9	18	۱۳۴	0.13
Well No.10	24	۱۳۳	0.19

جدول ۶. ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت نیترات و شاخص آسیب پذیری دشت یاسوج بر اساس (Merchant 1994)

		Di	NO3
Di	Pearson Correlation	1	0.490*
	Sig. (2-tailed)		.046
	N	17	17
NO3	Pearson Correlation	0.490*	1
	Sig. (2-tailed)	.046	
	N	17	17



شکل ۵. نقشه هم غلظت نیترات دشت یاسوج



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی دشت یاسوج

آسیب پذیری مورد بررسی قرار می گیرد. میزان حساسیت در این روش از رابطه زیر بدست می آید.

$$S = \left(\frac{Di}{N} - \frac{Di' \cdot n}{n \cdot Di} \right) \times 100$$

است. نتایج حاصل از آنالیز حاکی از آن است که بیشترین تغییر در شاخص پتانسیل آسیب پذیری آبخوان با حذف پارامتر محیط غیر اشباع آبخوان اتفاق می افتد به طوری که میانگین تغییرات ۱۹۸ است. این مسئله به دلیل وزن زیاد و خصوصیات منطقه غیر اشباع دشت است. بر اساس آمار جدول (۷) پس از پارامتر محیط غیر اشباع حساسیت مدل آسیب پذیری به حذف پارامتر

۳-۳- تحلیل حساسیت حذف پارامتر: در این روش، حساسیت نقشه آسیب پذیری نسبت به حذف یک یا چند پارامتر و اهمیت هریک از پارامترها در ارزیابی رابطه (۴)

که در آن، S میزان حساسیت، Di و Di' به ترتیب، شاخص های آسیب پذیری بدون حذف و با حذف پارامتر، و n تعداد لایه های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه Di و Di' هستند. با حذف تک تک پارامترها، مدل آسیب پذیری دراستیک میزان حساسیت مدل آسیب پذیری دشت یاسوج نسبت به هر پارامتر بدست آمد. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول (۷) ارائه شده

جدول (۷) در رتبه های بعدی حساسیت قرار می گیرند و در نهایت آسیب پذیری آبخوان با میانگین تغییرات ۰٫۷۸، کمترین حساسیت را به حذف پارامتر محیط خاک نشان می دهد.

توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی با میانگین تغییرات ۱٫۶ و ۲٫۲ رتبه دوم و سوم حساسیت قرار دارد. همچنین حساسیت مدل آسیب پذیری به حذف پارامترهای تغذیه خالص، عمق آب زیرزمینی و محیط اشباع آبخوان به ترتیب با میانگین تغییرات ارائه شده در

جدول ۷. نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف تک نقشه برای شاخص دراستیک بر اساس (Rosen, 1994)

Deleted Parameter	Variability index (S %)			
	Average	Maximum	Minimum	Standard deviation (SD)
D				
R	1.07	5.27	0.003	1.30
A	1.08	3.91	0.0002	1.14
S	1.00	5.95	0.0005	1.41
T	0.78	2.67	0.01	0.80
I	1.60	2.32	0.0003	1.41
C	1.98	8.36	0.027	2.15
Average	1.22	5.15	0.004	1.36

این تحلیل حساسیت، وزن مؤثر یا واقعی هر پارامتر با وزن تئوریک اختصاص داده شده به آن در مدل دراستیک مقایسه می شود. وزن مؤثر یا واقعی هر سلول با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می گردد.

$$W_i = r_i + w_i / D_i * 100$$

خاک، محیط غیر اشباع آبخوان و توپوگرافی به ترتیب با میانگین وزن مؤثر ۶٫۶۲، ۵٫۱۹، ۰٫۳ و ۴٫۷۳ در رتبه های بعدی حساسیت قرار دارند. در این روش کمترین وزن مؤثر را تغذیه خالص آبخوان و بعد از آن عمق آب زیرزمینی دارد. یکی از معایب این روش این است که رتبه بندی و ارزش گذاری پارامترها تا حدودی کارشناسی است، بنابراین همین مسئله خود باعث بروز عدم قطعیت در نتایج می شود.

۳-۴- تحلیل حساسیت تک پارامتری:

تحلیل حساسیت تک پارامتری اثر هر کدام از پارامترهای دراستیک را بر روی شاخص نهایی آسیب پذیری ارزیابی می کند (Napolitano and Fabbri, 1996). در

رابطه (۵)

که در آن W_i عبارت است از وزن مؤثر یا واقعی هر کدام از پارامترها و r_i و w_i به ترتیب رتبه و وزن هر کدام از پارامترها و D_i شاخص آسیب پذیری آبخوان است. نتایج آماری حاصل از آنالیز حساسیت به روش تک پارامتری در جدول (۸) ارائه شده است. نتایج این تحلیل حساسیت نیز بیشترین حساسیت مدل را نسبت به پارامتر هدایت هیدرولیکی با میانگین وزن مؤثر ۶٫۶۹ نشان می دهد، پس از آن محیط اشباع آبخوان، محیط

جدول ۸. نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری شاخص دراستیک برای دشت یاسوج بر اساس (Napolitano and Fabbri, 1996).

Parameter	Theoretical Scale(%)	Theoretical Scale(%)	Effective Scale(%)			
			Average	Maximum	Minimum	Standard deviation (SD)
D	5	21.74	0.86	1.63	0.12	0.44
R	4	17.40	2.08	9.74	0.001	2.43
A	3	13.04	6.61	27.5	0.003	7.26
S	2	8.70	5.19	25.5	0.002	6.82
T	1	4.34	4.7	25.7	0.001	5.23
I	5	21.74	5.03	17.2	0.01	4.73
C	3	13.04	6.69	58.3	0.21	8.83

پذیری است. با توجه به مجاورت این مناطق به چاه های آب شرب شهر، تصفیه خانه فاضلاب، آرامستان، بیمارستان، شهرک صنعتی بلوکو، فعالیت های کشاورزی و توسعه مناطق شهری در این ناحیه، در صورت ورود آلودگی به این بخش از آبخوان به دلیل وجود سازندهای آهکی در این مناطق و آسیب پذیری زیاد، احتمال پخش آن در کل آبخوان وجود خواهد داشت. مناطق دارای نترات با شاخص آسیب پذیری بالاتر در اراضی با کاربری های نامناسب قرار دارند. انطباق غلظت نترات بر روی نقشه نهایی دراستیک نشان داد که کلیه نقاطی که دارای نترات بالا هستند در محدوده با پتانسیل آلودگی تقریباً بالا قرار گرفته و این دلیل بر دقت و صحت مدل دراستیک تهیه شده برای دشت یاسوج است. بنابراین مدل تهیه شده می تواند در ارزیابی های زیست محیطی و تحلیل آلودگی های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و مبنای تصمیم گیری های مدیریتی قرار گیرد.

۴. نتیجه گیری: در این تحقیق پتانسیل آلودگی دشت یاسوج با استفاده از پارامترهای هفت گانه مدل دراستیک به دست آمد که شامل مناطق بدون خطر آلودگی تا آسیب پذیری خیلی زیاد می شود. مناطق با آسیب پذیری خیلی کم بیشترین مساحت و مناطق با آسیب پذیری خیلی زیاد کمترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده اند. با توجه به پارامترهای هیدروژئولوژیکی مؤثر بر آسیب پذیری آبخوان به دلیل بالا بودن میزان تغذیه و هدایت هیدرولیکی و همچنین جنس منطقه اشباع و غیر اشباع در بخش جنوبی و مرکزی دشت که عمدتاً آهک و آبرفت بوده و دارای نفوذپذیری خوبی نیز می باشند، و همچنین به دلیل جنس محیط غیر اشباع و اشباع در بخش شمال شرقی که خاک دارای بافت رس و کنگلومرا می باشد مکان های دارای آسیب پذیری زیاد در این بخش قرار گرفت. بخش جنوبی و مرکزی دشت دارای بالاترین آسیب پذیری و بخش شمال شرقی دشت دارای کمترین آسیب

منابع

- احمدی ج.، آخوندی ل.، عباسی ه.، خاشعی سوکی ع.، علیمددی م.، ۱۳۹۲، تعیین آسیب پذیری آبخوان با استفاده از مدل دراستیک و اعمال حساسیت تک پارامتری و حذفی (مطالعه موردی: دشت سلفچگان- نی زار)، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره سوم، صفحات ۱ تا ۲۵.
- آدینه پور، ع.، چیت سازان، م.، و میرزایی، ی.، ۱۳۸۹، ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت خویس با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS. نخستین کنفرانس پژوهش های کاربردی منابع آب ایران.
- افروزی، م.، و محمدزاده، ح.، ۱۳۹۰، ارزیابی و پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت فارسان- جوشقان نسبت به آلودگی با استفاده از شاخص دراستیک در محیط GIS، پنجمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- امیراحمدی ا.، ابراهیمی م.، زنگنه اسدی م.ع.، اکبری ا.، ۱۳۹۲، بررسی آسیب پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ششم، صفحات ۳۷-۵۶.
- سازمان مسکن و شهرسازی استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۹۱، طرح ساختاری و ساماندهی حوزه شهری یاسوج، گزارش منتشر نشده سازمان مسکن و شهرسازی استان کهگیلویه و بویراحمد.
- سلیمی م.، ابراهیمی ا.، سلیمی ا.، ۱۳۹۳، ارزیابی آسیب پذیری آبخوان واقع در مکان جدید دفن پسماند شهری اصفهان بر اساس مدل دراستیک، مجله تحقیقات نظام سلامت، سال دهم، شماره دوم، صفحات ۳۹۵ تا ۴۰۵.
- صادقی روش م.ح و زهتابیان ع.، ۱۳۹۲، ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت خزر آباد با روش دراستیک، فصلنامه علمی محیط زیست، شماره ۵۵، صفحات ۲۱-۳۱.
- عزیزی، ف.، و محمدزاده، م.، ۱۳۹۱، پهنه بندی آسیب پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از شبیه دراستیک و شاخص کیفی GWQI، مجله مهندسی منابع آب، دوره ۵، شماره ۱۳، صفحات ۱ تا ۱۵.
- گرگانی ش.، بافکار، فاطمی س.ا.، ۱۳۹۵، ارزیابی پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی با شاخص دراستیک (مطالعه موردی: دشت ماهیدشت کرمانشاه)، مجله سلامت و محیط زیست، دوره نهم، شماره چهارم، صفحات ۵۲۷ تا ۵۳۶.
- مهندسین مشاور آبان رود، ۱۳۹۱، مطالعات شناسایی و پایش منابع آب دشت یاسوج، گزارش منتشر نشده شرکت آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویراحمد، شماره پروژه ۴۰۱۴۴.
- مهندسین مشاور محاسبان آب صحرا، ۱۳۹۰، مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک در دشت یاسوج، گزارش منتشر نشده شرکت آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویراحمد.
- نخعی، م.، امیری، و.، و رحیمی شهر بابکی، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۳، شماره ۸، صفحات ۱ تا ۱۰.
- نوحه گر ا.و ریاحی ف.، ۱۳۹۳، تعیین مناسب ترین شاخص آسیب پذیری آب زیرزمینی با مقایسه دراستیک فازی و معمولی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سرخون، مجله محیط شناسی، دوره ۴۰، شماره ۳، صفحات ۷۱۱ تا ۷۲۲).
- Added, A., Hamza, M. H., Rodri'guez, R., Abdeljaoued, S., & Ben Mammou, A., 2007, A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia). *Journal of Environmental Management*, 84: 12-19.
- Al-Adamat, R. A. N., Foster, I. D. L., & Baban, S. M. J., 2003, Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, ARemote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*, 23(4): 303-324.
- Ali Khan, M. M., Umar, R., Lateh H., ,2010, Assesment of aquifer vulnerability in parts of Indo Gangetic plain, India. *InternationalJournal of the Physical Sciences*, 5(11): 1711-1720.

- Aller, L., Bennet, T., Leher, J. H., Peety, R.J., and Hackett, G., 1987, DRASTIC A Standardzed System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting: EPA Ada, Oklahoma: U. S. Environmental Protection Agency. 600/2: 35-87.
- Almasri, M. N., 2008, Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine. *Journal of Environmental Management*, 88: 577–593.
- Antonakos, A. K., & Lambrakis, N. J., 2007, Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. *Journal of Hydrology*, 333: 288–304.
- Baalousha B., 2006, Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC, *Environ. Geol*, 50: 405–414.
- Babiker, I. S., Mohamed, M. A. A., Hiyama, T., Hiyama, K., A., 2005, GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan, *Science of the Total Environment*, 345: 127–140.
- Baghapour M. A., Fadaei Nobandegani A., Talebbeydokhti N., Bagherzadeh S., Nadiri A. A., Gharekhani M., Chitsazan N., 2016, Optimization of DRASTIC method by artificial neural network, nitrate vulnerability index, and composite DRASTIC models to assess groundwater vulnerability for unconfined aquifer of Shiraz Plain, Iran, *Journal of Environmental Health*
- Chassiot L., Francus P., Coninck A. D., Lajeunesse P., Danielle D., Labarre T., 2019, Spatial and temporal patterns of metallic pollution in Québec City, Canada: Sources and hazard assessment from reservoir sediment records, *Science of the Total Environment* 673: 136–147.
- Chitsazan, M., and Akhtari, Y., A., 2009, GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran. *Water Resour Manage*, 23: 137–1155.
- Dipankar S. and Fakhre A., 2014, Groundwater vulnerability assessment using DRASTIC and Pesticide DRASTIC models in intense agriculture area of the Gangetic plains, India, , *Environ Monit Assess*: 186:8741–8763, DOI 10.1007/s10661-014-4041-x.
- Dixon, B., 2005, Groundwater vulnerability mapping: A GIS and fuzzy rule based integrated tool, *Applied Geography*, 25, 327-347.
- Erhan, S., Sehnaz, S., & aYSEN, D., 2009, Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Iparta Turkey), *Hydrogeology Journal*, 17: 2023-2035.
- Hamza, M. H., Added, A., Rodriguez, R., Abdeljaoued, S., Ben Mammou, A., 2007, A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge assessment in an aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia). *J Environ Manage*, 84(1): 12-19.
- Hasan, M., Islam, A., Hasan, M.A., Alam, J., Peas, M.H., 2019, Groundwater vulnerability assessment in Savar upazila of Dhaka district, Bangladesh — A GIS-based DRASTIC modeling, *Groundwater for Sustainable Development*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100220>.
- Jamrah, A., AL-Futaisi, A., Rajmohan, N., AL-Yaroubi, S., 2007, Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of Oman using DRASTUC index method in GIS environment, *Environ. Monit Assess*, 147: 125-138.
- Jesiya N.P., Gopinath G., 2019, A Customized Fuzzy AHP - GIS based DRASTIC-L model for intrinsic groundwater vulnerability assessment of urban and peri urban phreatic aquifer clusters, *Groundwater for Sustainable Development* 8: 654–666.
- Karthik K., 2007, Vulnerability of Shallow Aquifers of the Conterminous United States to Nitrate: Assessment of Methodologies, All Graduate Theses and Dissertations <https://digitalcommons.usu.edu/etd/33>.
- Leone, A., Ripa, M. N., Uricchio, V., Dea'k, J., & Vargay, Z., 2009, Vulnerability and risk evaluation of agricultural nitrogen pollution for Hungary's main aquifer using DRASTIC and GLEAMS models. *Journal of Environmental Management*, 90: 2969–2978.
- Merchant J. W., 1994, GIS-based groundwater pollution hazard assessment: A critical review of the DRASTIC model, *Photogramm, Engng & Remote Sensing*, 60(9): 1117-1127.

- Mukherjee A., Duttagupta S., Chattopadhyay S., Soumendra N.B., Bhattacharya A., Chakraborty S., Sarkar S., Ghosh T., Bhattacharya J., Sahu S., 2019, Impact of sanitation and socioeconomynon groundwater fecal pollution and human health towards achieving sustainable development goals across India from ground observations and satellite-derived nightlight, *Scientific Reports*, 15193, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50875-w>.
- Naqa, A., Hammouri N. and Kuisi M., 2006, GIS-Based Enaluation of Groundwater vulnerability in the Russeisa Area, Jordan, *Revista Mexicana de Ciencias Geological*, 23(3): 277-287.
- Napolitano P, and Fabbri A.G., 1996 Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS, *HydroGIS 96, IAHS Pub 235: 559–566*.
- Nejati jahromi Z., Nassery H.R., Hosono T., Nakhaei M., Alijani F., OkumuraA., 2019, Groundwater nitrate contamination in an area using urban wastewaters for agricultural irrigation under arid climate condition, southeast of Tehran, Iran, *Agricultural Water Management* 221:397–414.
- Naqa, A., Hammouri N. and Kuisi M., 2006, GIS-Based Enaluation of Groundwater vulnerability in the Russeisa Area, Jordan, *Revista Mexicana de Ciencias Geological*, 23(3): 277-287.
- Napolitano P, and Fabbri A.G., 1996 Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS, *HydroGIS 96, IAHS Pub 235: 559–566*.
- Nejati jahromi Z., Nassery H.R., Hosono T., Nakhaei M., Alijani F., OkumuraA., 2019, Groundwater nitrate contamination in an area using urban wastewaters for agricultural irrigation under arid climate condition, southeast of Tehran, Iran, *Agricultural Water Management* 221:397–414.
- Piscopo G., 2001, Groundwater vulnerability map, explanatory notes Castlereagh catchment, Parramatta NSW: Australia NSW Department of Land and Water Conservation.
- Priyank J. Sharma P., Patel P.L., Jothiprakash V., 2019, Impact of rainfall variability and anthropogenic activities on streamflow changes and water stress conditions across Tapi Basin in India, *Science of the Total Environment* 687: 885–897.
- Rahman, A., 2008, A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, 28: 32–53.
- Ramaraju A.V. & Krishna Veni K., 2017, Groundwater vulnerability Assessment by DRASTIC method using GIS, *SSRG International Journal of Geo informatics and Geological Science*, 4(2): 1-8.
- Rosen, L., A., 1994, study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions, *Ground Water*, 32(2): 275-285.
- Sadat-Noori M, and Ebrahimi K., 2016, Groundwater vulnerability assessment in agricultural areas Using a modified DRASTIC model, *Environ Monit Assess* (2016) 188:19.
- Saidi, S., Bouri, S., Ben Dhia, H., & Anselme, B., 2011, Assessment of groundwater risk using intrinsic vulnerability and hazard mapping: Application to Souassi aquifer, Tunisian Sahel. *Agricultural Water Management*, 98: 1671-1682.
- Souleymane K. and Zhonghua T., A., 2017, Novel method of sensitivity analysis testing by applying the DRASTIC and fuzzy optimization methods to assess groundwater vulnerability to pollution: the case of the Senegal River basinin Mali, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17: 1375–1392.
- Voudouris, K., Kazaki N., Polemio M., Kareklas K., 2010, Assessment of intrinsic vulnerability using the DRASTIC model and GIS in the Kiti aquifer, Cyprus. *Euroption Water*, 30: 13-24.
- Wang, J., Huan, H., & Teng, Y., 2012, Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate based on a modified DRASTIC model: A case study in Jilin City of northeast China. *Science of the Total Environment*, 440: 14–23.
- Zendehbad M., Cepuder P., Loiskandl W., Stumpp C., 2019, Source identification of nitrate contamination in the urban aquifer of Mashhad, Iran, *Journal of Hydrology: Regional Studies* 25: 100618, [doi.org: 10.1016/j.ejrh.2019.100618](https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100618).