

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان سبزوار (شمال شرق ایران) با استفاده از مدل دراستیک

سلیمه اسحاقی ایل بیگی^۱، زهرا گنجی نوروژی^{۲*}، وجیهه درستکار^۳، محمدهادی موحد نژاد^۴، مجید اطاری^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹

چکیده

در کشورهایی که شرایط آب هوایی آن خشک و نیمه خشک است، حفظ منابع آب حائز اهمیت می باشد. برای این منظور اقدام به ارائه مدل های مختلف جهت تعیین میزان آسیب پذیری مناطق گردید. در ایران نیز با توجه به شرایط آب هوایی و کمبود منابع آب، لذا سال ها محققین مختلف از روش های مختلف من جمله روش دراستیک به منظور تعیین پهنه آسیب پذیری پرداخته اند. در این تحقیق به تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان سبزوار با استفاده از مدل دراستیک پرداخته شده است. آبخوان سبزوار واقع در شمال شرق ایران با مساحت ۵۴۵۵/۴ کیلومتر مربع دارای آب و هوای خشک و کویری با تابستان های گرم و خشک و زمستان های سرد می باشد. مدل دراستیک از طریق همپوشانی ۷ لایه (عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، تأثیر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان) به دست می آید و نقشه دقیق از آسیب پذیری آبخوان نشان می دهد. برای ترسیم نقشه مدل دراستیک از نرم افزار ArcGis 10.5 استفاده شده است. مقدار عددی مدل دراستیک در منطقه مورد مطالعه بین ۸۱ تا ۱۵۹ (از آسیب پذیری کم تا آسیب پذیری زیاد) به دست آمده است. نقشه دراستیک نشان داد، مساحت خیلی کمی از غرب منطقه مورد مطالعه دارای آسیب پذیری کم و مناطق مرکزی دشت دارای آسیب پذیری بالا می باشد. بقیه قسمت های دیگر منطقه دارای آسیب پذیری متوسط می باشد. عمق کم آب زیرزمینی در مناطق مرکزی دشت و همچنین شیب کم در ناحیه فوق بیشترین تأثیر را در آسیب پذیری منطقه دارد. با توجه به حجم فعالیت های کشاورزی در مناطق مرکزی دشت، بایستی تمهیداتی در جهت جلوگیری از آلودگی احتمالی آبخوان صورت گیرد. با توجه به اینکه غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در دسترس نبود، لذا از هدایت الکتریکی به منظور صحت سنجی پهنه بندی مدل دراستیک استفاده گردید. همپوشانی هدایت الکتریکی با نقشه دراستیک نشان داد، که در مرکز دشت که آسیب پذیر می باشد، هدایت الکتریکی بالا می باشد. این امر نیز می تواند دقت و صحت سنجی مدل دراستیک را تأیید کند.

واژه های کلیدی: آبخوان سبزوار، آلودگی آب، ایران، مدل دراستیک، هدایت الکتریکی

مقدمه

محققین را در امر بررسی کیفیت آب و جلوگیری از اتلاف آب یاری رسانده است. آب های زیرزمینی به دلیل ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب های سطحی به عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه می باشند (US EPA, 1985). هزینه بردار بودن پایش آبخوان ها باعث شده در مهر و موم های اخیر، ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی به موضوعی ویژه و مهم تبدیل شده است (Bai et al., 2011). تهیه نقشه نقاط مستعد آلودگی می تواند به عنوان کمک کننده ای برای دستگاه های تصمیم گیرنده در جهت حفاظت منابع آب زیرزمینی به عنوان منابع با ارزش و استراتژیک هر کشور باشد و امکان تعیین مناطق قابل حفاظت از هر آبخوان را به وجود آورد (Tilahun and Merkel, 2010). آسیب پذیری آب زیرزمینی به معنی امکان نفوذ و انتشار آلاینده ها از سطح زمین به درون سیستم آب زیرزمینی می باشد (Harter and Walker, 2001). مدل های مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان ها ارائه شده است که می توان به مدل دراستیک

کمبود آب در اغلب کشورها با کمبود بارندگی به دلیل گرم شدن کره زمین و همچنین استفاده از چاه آب به اختلاف جدی تر تبدیل شده است (Kato et al., 2016). مدیریت آب یکی از مسائل مهمی است

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۲- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۳- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۴- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۵- کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(* نویسنده مسئول: Email: z_ganji@shahroodut.ac.ir

DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.1.20.7

۵۰/۵۵ درصد دارای آسیب‌پذیری متوسط و تنها مساحت کوچکی از دشت (۰/۸۱ درصد) دارای آسیب‌پذیری کم می‌باشد. بر اساس روش حساسیت حذف نقشه و تک مؤلفه‌ای و استفاده از تکنیک مونت‌کارلو فاصله عمق تا سطح ایستابی به‌عنوان مؤثرترین مؤلفه و ناحیه اشباع به‌عنوان دومین مؤلفه مؤثر در دشت مرکزی گیلان شناسایی شد. رضانی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک و گادزدر محیط GIS در دشت رفسنجان پرداخته‌اند. مطالعات آن‌ها نشان داد، شاخص دراستیک برای کل منطقه بین ۳۳/۶۱ تا ۷۵/۱۸۳ است و دشت رفسنجان را به پنج کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی می‌کند که به ترتیب ۵۴/۰، ۹۳/۳۲، ۴۰/۵۵، ۵۴/۱۰ و ۵۹/۰ درصد از مساحت دشت را به خود اختصاص داده‌اند. مدل گادز نیز منطقه مورد مطالعه را به سه کلاس آسیب‌پذیری کم (۲۷/۳۲٪)، متوسط (۴/۶۷٪) و زیاد (۶۹/۰٪) طبقه‌بندی کرد. مهدوی و زارع (۱۳۹۵) به مطالعه و تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس مدل‌های دراستیک و منطق فازی دشت همدان پرداخته‌اند. مطالعات آن‌ها نشان داد، بیشترین پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت همدان - بهار به نیترات مربوط به حاشیه‌های جنوبی، غربی و شمال شرقی دشت و محدوده‌های با پتانسیل آلودگی خیلی کم و کم مربوط به مرکز، شمال و شرق دشت بود. بررسی آن‌ها نشان داد، مؤثرترین پارامتر بر پتانسیل آسیب‌پذیری، عمق تا سطح ایستابی بود. پاتیک و هیراستوکا در تحقیقی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش دراستیک نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان Kathmandu واقع در نیال را تهیه کردند. درنهایت جهت صحت سنجی مدل آسیب‌پذیری به‌دست‌آمده از نیترات اندازه‌گیری شده از ۹۰ منبع آب زیرزمینی واقع در منطقه مورد مطالعه استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش دراستیک فازی نتایج بهتری را ارائه می‌دهد (Pathak et al., 2001). گویا و داسارگوس در مقاله‌ای به بررسی روش‌های ارزیابی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های اندیس و همپوشانی پرداختند و درنهایت روش‌های DRASTIC و SINTACS را به دلیل لحاظ پارامترهای بیشتر و تطابق بیشتر با مشاهدات صحرایی، بر سایر روش‌های موجود ترجیح دادند (Goya and Dassargues, 2005). با توجه به این‌که در حوضه آبریز سبزوار تراکم جمعیتی بالا می‌باشد و وجود مزارع و تشکیلات صنعتی در منطقه فراوان است که این امر منجر به افزایش مصرف بی‌رویه آب زیرزمینی در حوضه فوق گردیده است. که این امر منجر به افزایش املاح و پایین آمدن کیفیت آب در آبخوان فوق شده است. لذا ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان سبزوار حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان سبزوار با استفاده از مدل دراستیک پرداخته شده است.

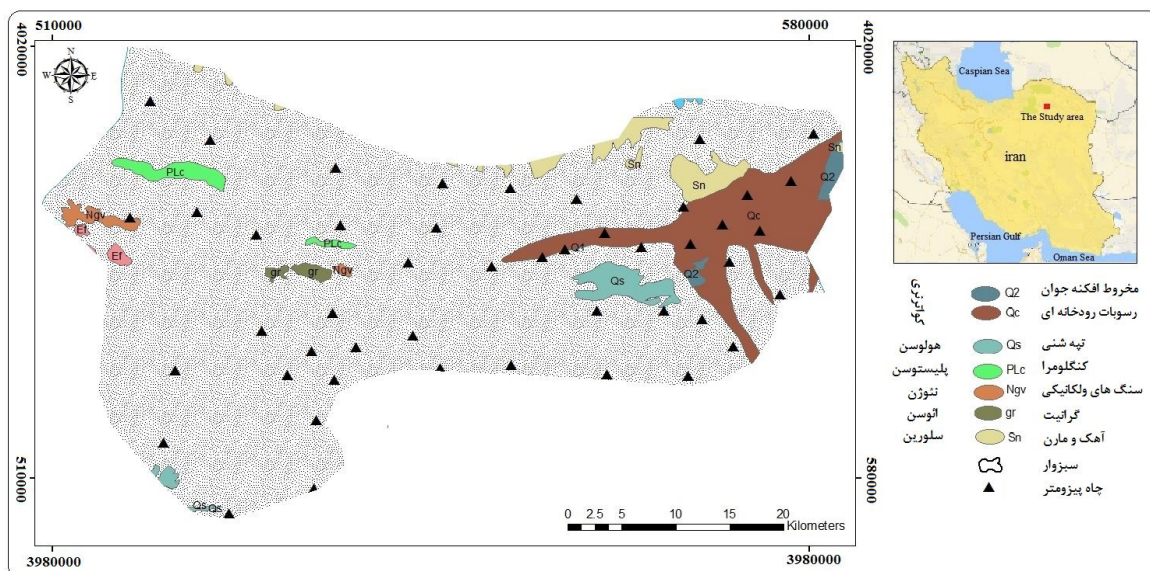
اشاره کرد. مدل فوق توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا برای ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب معرفی شد. این مدل یکی از پرکاربردترین روش‌ها بوده و ارزیابی دقیق‌تری از آسیب‌پذیری آبخوان‌ها ارائه می‌کند. مدل دراستیک یک، رابطه مکانی بین شیوه مدیریت اراضی و آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد (Connell and Daele, 2003). مدل فوق یکی از متداول‌ترین شاخص‌های همپوشانی است (Hasiniaina et al., 2010; Shirazi, 2010; Voudouris et al., 2013; et al., 2013). مطالعات مختلفی در جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از مدل دراستیک صورت گرفته است که در ادامه به چند مورد از آن اشاره می‌شود. حسن‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) به مطالعه آسیب‌پذیری دشت حاجی‌آباد بر اساس مدل‌های DRASTIC و SINTACS پرداخته‌اند. مطالعات آن‌ها نشان داد، اندیس آسیب‌پذیری مدل دراستیک برای منطقه مورد مطالعه، مقداری بین (۹۴-۱۲۸) و برای (SINTACS 115-156) به‌دست‌آمده است. طبق برآورد نقشه‌های آسیب‌پذیری تهیه‌شده برای هر دو مدل، بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری مربوط به قسمتی از بخش مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مقدار شاخص همبستگی بین EC و مدل‌های آسیب‌پذیری DRASTIC و SINTACS به ترتیب ۳۹ و ۳۵ برآورد شده است. قنبری (۱۳۹۹) به بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت خنج-فیشور لارستان با استفاده از مدل دراستیک پرداخته است. مطالعات نشان داد، آب‌های زیرزمینی دشت خنج-فیشور به‌شدت در معرض خطر آلودگی قرار دارد. به نحوی که نزدیک به ۶۲ درصد از مساحت منطقه در شرایط آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد است. این نواحی عموماً در پایین‌دست و مرکز دشت قرار دارد. رحمانی و آذری (۱۳۹۸) به مطالعه کاربست مدل دراستیک در بررسی روند توسعه صنعتی دشت ساری با تأثیر بر آلودگی زیست‌محیطی پرداخته است. مطالعات آن‌ها نشان داد، آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری در سه گروه آسیب‌پذیری بالا (۱۰/۴۹ درصد)، بسیار بالا (۵۶/۶۶ درصد) و بسیار بالا (۳۲/۸۵ درصد) قرار می‌گیرد. تحلیل حساسیت به دو روش تک پارامتری و حذف پارامتر مشخص می‌نماید که عامل عمق آب زیرزمینی بیشترین حساسیت را در شاخص آسیب‌پذیری دراستیک ایجاد می‌کند. آبخوان دشت ساری به دلیل عمق کم آب زیرزمینی به‌شدت تحت تأثیر آلاینده‌های حاصل از کشاورزی و فعالیت شهرک‌های صنعتی قرار می‌گیرد، لذا منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه نهایی خطرپذیری، پتانسیل آسیب‌پذیری شدید آبخوان و میزان آلودگی موجود در آن، جهت ایجاد شهرک‌های جدید صنعتی از موقعیت مناسبی برخوردار نیست. مدبری و همکاران (۱۳۹۷) به مطالعه تحلیل آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی و آنالیز حساسیت مدل دراستیک با استفاده از روش‌های حذف نقشه و تک مؤلفه‌ای با استفاده از تکنیک مونت‌کارلو پرداخته‌اند. مطالعات آن‌ها نشان داد، که ۴۸/۶۴ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری بالا و

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

تکتونیکی به هم‌ریخته و آمیزه‌های رنگین (افیولیت ملانژ) را به وجود آورده‌اند. مجموعه افیولیتی سبزوار یکی از کمربندهای افیولیتی عمده در شمال شرقی ایران است و میزبان تعدادی از معادن کرومیت فعال می‌باشد (Moghadam et al., 2015; Shojaat et al., 2003). کرومیت‌ها در حال حاضر به‌عنوان لایه‌های ناپیوسته، مدادی، لنزی شکل، رگه‌ای، گرانول و نودول در سنگ‌های افیولیتی قرار دارد (Moghadam et al., 2015; zandi et al., 2007). افیولیت‌های ناحیه سبزوار را از نظر ژئوشیمی بیشتر مشخصات سری ماگمای کالک آلکان دارند (AlaviTehrrani, 1976). در دوره اتوسن یکسری گدازه‌های آندزینی - بازالتی در ارتفاعات شمالی و توده‌های گرانیتی در ارتفاعات جنوبی و همچنین رسوبات فلیشی و سنگ‌های تخریبی و تبخیری به‌طور وسیعی در نواحی جنوب شرقی حوضه توسعه یافته‌اند. در زمان نئوژن نیز مارن‌ها و مارن‌های گچ دار و کنگلومرا با درون لایه‌های مارنی در جنوب شرقی حوضه به وجود آمده است. (شکل ۱).

آبخوان سبزوار با طول جغرافیایی از ۵۷ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی از ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی در شمال شرق ایران جای دارد. مساحت کل این آبخوان ۵۴۵۵/۴ کیلومترمربع است. شهر سبزوار به‌عنوان دومین شهر بزرگ استان خراسان رضوی در این آبخوان جای دارد. از دیدگاه زمین‌شناسی آبخوان سبزوار در دو زون مختلف قرار دارد. ارتفاعات شمال منطقه در زون بینالود و ارتفاعات جنوب در زون ایران مرکزی واقع شده است. واحدهای سنگی آذرین اولترامافیک تا مافیک و نیمه اسیدی کرتاسه فوقانی در ارتفاعات شمال سبزوار و واحدهای سنگی آندزیت، توف، دیاباز و گرانیت ارتفاعات جنوب منطقه را تشکیل داده‌اند، سنگ‌های آذرین فوق همراه با رسوبات آهکی و رادیولاریتی پلاژیک در زمان‌های بعدی تحت تأثیر نیروهای



شکل ۱ - نقشه زمین‌شناسی دشت سبزوار، برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزوار و موقعیت چاه‌های پیژومتر

پارامترهای مؤثر در مدل دراستیک

نقشه‌های پهنه‌بندی آن تعیین می‌گردد. سپس بر اساس وزن‌های داده‌شده لایه‌های فوق رتبه‌بندی و سپس با استفاده از IDW نقشه‌های رتبه‌بندی آن تهیه می‌گردد. روش IDW بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنابر عکس فاصله وزن دهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. روش فوق تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌تر به نقطه برآورد، شباهت بیشتری به آن دارند تا نسبت به نقاط دورتر. یکی از اصلی‌ترین پارامترهای مدل دراستیک عمق سطح ایستابی (D) است. درواقع ضخامتی است که آب باید طی کند تا به سطح آبخوان برسد (Stigter et al., 2006). معمولاً با افزایش

برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری دراستیک، از هفت پارامتر مؤثر بر آلودگی آب‌های زیرزمینی که شامل عمق آب زیرزمینی (Depth to water table)، تغذیه خالص (Net Recharge)، محیط آبخوان (Aquifer media)، بافت خاک (Soil media)، توپوگرافی (Topography)، تأثیر منطقه غیراشباع (Impact of vadose zone) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (Hydraulic Conductivity) (media) استفاده می‌گردد. ابتدا لایه‌های فوق از طریق نرم‌افزار Arc Gis به روش IDW (Inverse distance weighting) درون‌یابی گردیده و

عمق آب، پتانسیل آلودگی سفره آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (Voudouris et al., 2010). اطلاعات مربوط به عمق سطح ایستابی از چاه‌های پیژومتری تهیه و سپس این اطلاعات با روش IDW درون‌یابی گردیده و نقشه پهنه‌بندی آن ترسیم می‌گردد (جدول ۱).

جدول ۱- بازه‌ها و رتبه عمق تا سطح ایستابی (Aller et al., 1987)

بازه (m)	۱/۵-۰	۴/۶-۱/۵	۹/۱-۴/۶	۱۵/۲-۹/۱	۲۲/۸-۱۵/۲	۳۰/۴-۲۲/۸	۳۰/۴<
رتبه	۱۰	۹	۷	۵	۳	۲	۱

بارندگی، شیب و نفوذپذیری تهیه می‌گردد. سپس با استفاده از جدول ۲ هر لایه رتبه‌بندی و نقشه رتبه‌بندی آن ترسیم می‌گردد. در نهایت با استفاده از رابطه ۱ و تلفیق نقشه‌های رتبه‌بندی شده، لایه تغذیه خاص به دست می‌آید. سپس با استفاده از جدول ۳ لایه تغذیه خالص رتبه‌بندی و نقشه آن تهیه می‌گردد.

$$(۱) \quad \text{تغذیه خالص} = \text{درصد شیب} + \text{میزان بارندگی} + \text{نفوذپذیری خاک}$$

تغذیه خالص (R) برابر با مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی می‌رسد و موجب انتقال عمودی آلودگی تا سطح ایستابی می‌گردد، پس به صورت افقی در آبخوان منتشر می‌گردد. هر چه میزان تغذیه بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی بیشتر خواهد بود. جهت تهیه لایه تغذیه از روش پیسکوپو استفاده می‌شود (Piscopo, 2001). در این روش پتانسیل تغذیه یک منطقه، بر اساس میزان بارندگی، شیب و میزان نفوذپذیری به دست می‌آید. در این روش ابتدا نقشه رستری برای هر کدام از لایه‌های

جدول ۲- جدول رتبه برای لایه شیب، بارندگی و نفوذپذیری خاک (Piscopo, 2001)

الف) شیب slope		ب) بارندگی Rain		ج) نفوذپذیری خاک Soil Permeability	
شیب %	رتبه	بارش (mm)	رتبه	محدوده	رتبه
>۲	۴	>۸۵۰	۴	زیاد	۵
۱-۲	۳	۸۵۰-۷۰۰	۳	متوسط	۳
۱-۳۳	۲	۷۰۰-۵۰۰	۲	کم	۲
>۳۳	۱	>۵۰۰	۱	خیلی کم	۱

جدول ۳- بازه‌ها و رتبه تغذیه خالص (Aller et al., 1987)

بازه	۱۳-۱۱	۱۱-۹	۹-۷	۷-۵	۵-۳
رتبه	۱۰	۸	۵	۳	۱

در منطقه مورد مطالعه از طریق لوگ حفاری‌های اکتشافی، اطلاعات پیژومتری و کاوش‌های زمین‌شناسی منطقه به دست آمد و برحسب نسبت جنس مواد تشکیل‌دهنده آبخوان در هر کدام از چاه‌ها بر اساس جدول ۴ به هر یک نرخی بین ۱ تا ۱۰ اختصاص داده می‌شود.

محیط آبخوان (A) به مواد زمین‌شناسی تحکیم یافته یا تحکیم نیافته‌ای اطلاق می‌شود که بدنه یک آبخوان را تشکیل می‌دهد. محیط آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده آن، طول و چگونگی روند حرکت آلاینده در سیستم جریان آب زیرزمینی آبخوان را مشخص می‌کند (Al-Rawabdeh et al., 2013). اطلاعات مربوط به محیط آبخوان

جدول ۴- بازه و رتبه محیط آبخوان (Aller et al., 1987)

شیل توده‌ای	دگرگونی / آذرین	دگرگونی / آذرین	رسوبات یخچالی	سنگ آهک و ماسه سنگ توده‌ای و لایه لایه	ماسه و گراول	بازالت	سنگ آهک کارستی	بازه
۲	۳	۴	۵	۶	۸	۹	۱۰	رتبه

می‌شود. خاک با ضخامت حدود ۰/۵ تا ۲ متر به لحاظ میکروبیولوژی

به منظور ترسیم لایه بافت خاک (S) از نقشه خاک استفاده

بسیار فعال به شمار می‌رود. هر چه اندازه ذرات دانه‌درشت باشد، انتقال آلاینده سریع‌تر انجام می‌شود. بر این اساس ذرات دانه‌درشت بالاترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد و برعکس. در جدول ۵ میزان رتبه در هر یک از بازه‌ها تعیین گردیده است.

جدول ۵- بازه‌ها و رتبه محیط خاک (Aller et al., 1987)

رتبه	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
بازه	رس غیر متراکم	کود	لوم رس دار	لوم سیلنتی	لوم	لوم ماسه‌ای	رس متراکم	کود گیاهی	ماسه	خاک نازک یا نبود خاک و گراول

نقشه‌های توپوگرافی استفاده می‌گردد. برای این منظور نقشه‌های توپوگرافی در نرم‌افزار Arc GIS به مدل رقومی ارتفاع تبدیل و سپس نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع محاسبه و استخراج می‌گردد. سپس بر اساس جدول ۶ به هر شیب رتبه داده می‌شود. شیب کم بیشترین رتبه و شیب زیاد کمترین رتبه را کسب می‌کند.

عوارض سطح زمین حرکت آلوده‌کننده و نگهداری آن را بر سطح زمین کنترل می‌کند. هرچه شیب بیشتر باشد مواد محلول به‌صورت رواناب جاری و نفوذ کم می‌شود (Nobre et al., 2007). شیب کم باعث حرکت آهسته آلوده‌کننده‌ها در سطح زمین می‌شود و این امر منجر به نفوذ بیشتر آلوده‌کننده می‌گردد. برای تهیه نقشه شیب از

جدول ۶- بازه‌ها و رتبه شیب توپوگرافی (Aller et al., 1987)

بازه	۰-۲	۲-۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	۱۸<
رتبه	۱۰	۹	۵	۳	۱

پارامتر ضخامت و جنس لایه‌های بالای عمق برخورد به سطح ایستابی در لوگ سنگ‌شناسی مورد استفاده قرار گرفته است. با رتبه‌بندی نقطه‌ای چاه‌ها و درون‌یابی آن لایه رستری منطقه غیراشباع تهیه می‌گردد. سپس بر اساس جدول ۷ نقشه رتبه‌بندی منطقه غیراشباع تهیه می‌شود.

منطقه غیراشباع (I) به حدفاصل زون خاک تا سطح برخورد به سطح ایستابی اطلاق می‌گردد. محیط منطقه غیراشباع طول مسیر و چگونگی روند حرکت آلوده‌کننده را کنترل کرده و بر روی میرایی موادی که در برخورد با آلوده‌کننده هستند مؤثر می‌باشد. در واقع این منطقه سرعت عبور آب، جذب و میزان رقیق شدن مواد آلاینده را کنترل می‌کند (Chitsazan and Akhtari, 2009). جهت تولید این

جدول ۷- بازه‌ها و رتبه محیط غیراشباع (Aller et al., 1987)

رتبه	سنگ‌آهک، شیل، سیلت یا رس	ماسه و گراول همراه سیلت، سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ و شیل	سنگ دگرگونی یا آذرین	ماسه و گراول	بازالت	سنگ‌آهک کارستی
رتبه	۱	۳	۶	۴	۸	۹

هدایت هیدرولیکی منطقه ترسیم می‌گردد.

$$K = T/b \quad (2)$$

پس از تهیه نقشه‌های رتبه‌بندی شده فوق، هر کدام از نقشه‌ها را بر اساس رابطه ۳ بر وزن آن که در جدول ۹ نشان داده شده، ضرب می‌گردد و در نهایت با یکدیگر جمع شده و نقشه آسیب‌پذیری دراستیک تهیه می‌گردد. در رابطه فوق اندیس W نشان‌دهنده وزن هر پارامتر و اندیس r نشان‌دهنده رتبه هر پارامتر می‌باشد. بر اساس جدول ۱۰ نوع آسیب‌پذیری در منطقه تعیین می‌گردد.

هدایت هیدرولیکی (C) عبارت است از قابلیت مواد تشکیل‌دهنده آبخوان برای انتقال آب، که به‌نوبه خود بر شدت جریان آب زیرزمینی که تحت یک شیب هیدرولیکی مشخص در جریان است، کنترل دارند. هدایت هیدرولیکی عامل کنترل‌کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده در سفره آب زیرزمینی می‌باشد. بر طبق رابطه ۲ از تقسیم قابلیت انتقال آبخوان در هر چاه بر ضخامت آبخوان مقدار هدایت هیدرولیکی در هر چاه به‌صورت نقطه‌ای تعیین می‌گردد. که در این رابطه K هدایت هیدرولیکی، T قابلیت انتقال آبخوان و b ضخامت آبخوان می‌باشد. سپس با درون‌یابی IDW و بر اساس جدول ۸ مقدار

جدول ۸- بازه‌ها و رتبه هدایت هیدرولیکی (متر بر روز) (Aller et al., 1987)

بازه	۰/۰۴-۴/۱	۴/۱-۱۲/۳	۱۲/۳-۲۸/۷	۲۸/۷-۴۱	۴۱-۸۲	۸۲>
رتبه	۱	۲	۴	۶	۸	۱۰

$$DIorg = DwDr + RwRr + AwAr + SwSr + TwTr + IwIr + CwCr \quad (3)$$

جدول ۹- وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل دراستیک (Al-Rawabdeh et al., 2013)

پارامتر	عمق تا سطح ایستابی	تغذیه خالص	محیط آبخوان	محیط خاک	توپوگرافی	محیط غیراشباع	هدایت هیدرولیکی
رتبه	۵	۴	۳	۲	۱	۵	۳

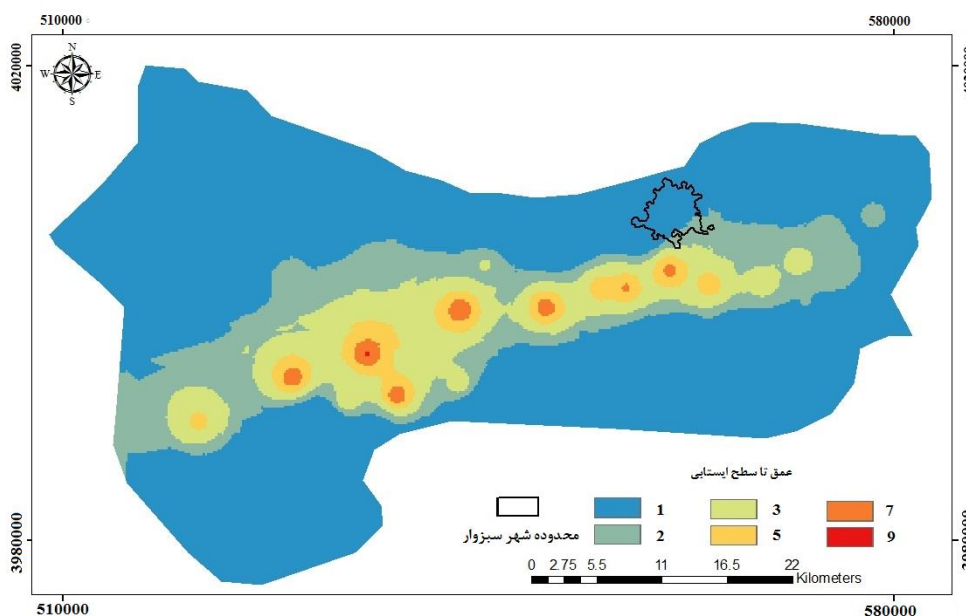
جدول ۱۰- مقادیر شاخص دراستیک و کلاسه بندی (Aller et al., 1987)

Drastic	۱ تا ۴۶	۴۷ تا ۹۲	۹۳ تا ۱۳۶	۱۳۷ تا ۱۸۴
میزان آسیب پذیری	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد

نتایج و بحث

متغیر می‌باشد. با توجه به اینکه هرچقدر عمق تا سطح ایستابی کم باشد احتمال انتقال آلاینده به آب زیرزمینی افزایش یافته و آسیب پذیرتر هستند، لذا بیشترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهند و اگر عمق تا سطح ایستابی زیاد باشد کمتری آسیب پذیری را داشته و کمترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهند (Aller et al., 1987). ترسیم نقشه رتبه بندی شده مناطق مرکزی دشت آسیب پذیرتر از بقیه نقاط حوضه آبریز می‌باشد. حاشیه‌های دشت میزان آسیب پذیری کمتری دارد (شکل ۲).

با توجه به مراحل تهیه مدل دراستیک و با به کارگیری و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده از منطقه مورد مطالعه ضمن تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و تلفیق آن‌ها در محیط Arc Gis نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان سبزوار تهیه گردید. لایه عمق سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه که از طریق چاه‌های پیژومتری اندازه گیری گردید تهیه شده است. عمق تا سطح ایستابی در منطقه از ۴ متر که نزدیک رودخانه کال شور در مرکز دشت مورد مطالعه است تا ۱۸۴ متر در نواحی شمال غربی و جنوبی منطقه



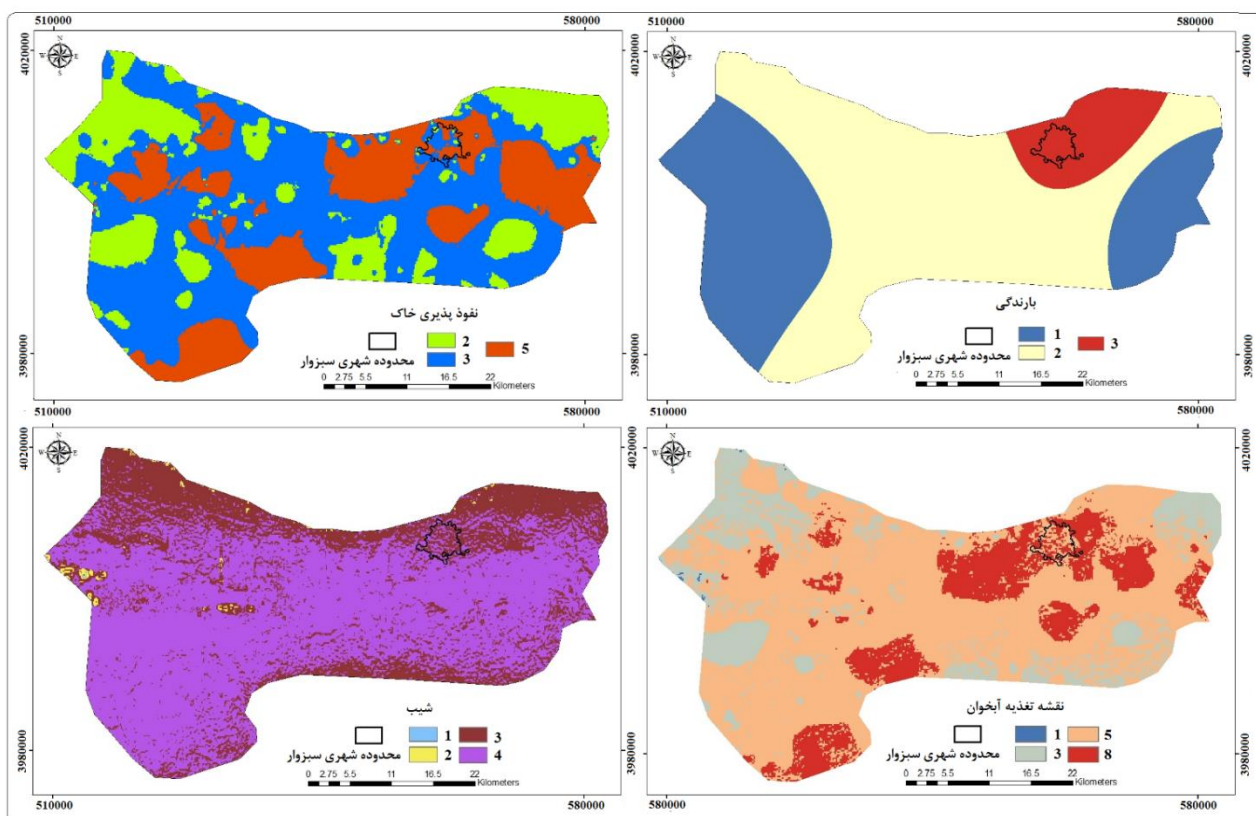
شکل ۲- نقشه عمق سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه (تغییر رنگ‌ها در نقشه‌ها بیانگر تغییرات در میزان آسیب پذیری بر اساس رتبه‌های دریافت شده است)

می‌یابد. ترسیم نقشه رستری بارندگی نشان داد که نواحی شرقی و غربی دشت در حدود ۱۵۰ میلی‌متر در سال بارندگی دارد و ناحیه

شیب در نواحی مرکزی دشت با شیب ۰ تا ۲ درجه همراه است و به سمت نواحی شمالی و حدودی از نواحی جنوبی شیب افزایش

مراکز می دهند. در منطقه مورد مطالعه مکان هایی با رتبه بندی بالا به رنگ نارنجی و آبی نشان داده شده اند. میزان تغذیه آبخوان در منطقه مورد مطالعه از ۳ تا ۱۱ میلی متر در سال متغیر می باشد. بیشترین مقدار تغذیه در نواحی مرکزی دشت است. با توجه به اینکه بالاترین میزان تغذیه باعث افزایش آسیب پذیری می شود و رتبه بالاتری را به خود اختصاص می دهند (Aller et al., 1987)، لذا نواحی شمالی و مرکزی دشت رتبه بالاتری داشته و آسیب پذیر می باشند (شکل ۳).

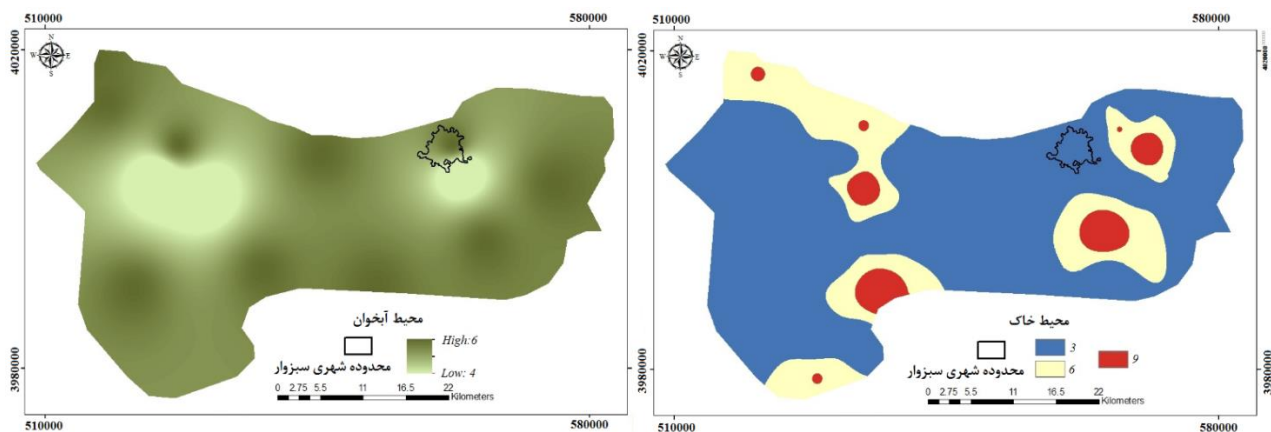
مرکزی دشت با میانگین بارندگی ۲۰۰ میلی متر در سال می باشد. نقشه نفوذ پذیری نشان داد، نفوذ پذیری در منطقه مورد مطالعه در حد متوسط می باشد و تنها در بعضی از نقاط دشت من جمله نواحی شرقی و شمالی غربی و جنوبی غربی از نفوذ پذیری بالایی برخوردار است. با توجه به اینکه افزایش بارندگی و شیب کم می تواند در انتقال آلاینده ها نقش مؤثرتری داشته و آسیب پذیری را افزایش دهند، بیشترین رتبه را به خود اختصاص می دهند (Piscopo, 2001)، لذا مناطق مرکزی حوضه آبریز بیشترین رتبه را در نقشه بارندگی و شیب به خود اختصاص می دهند (شکل ۳). با توجه به میزان نفوذ پذیری،



شکل ۳- نقشه شیب، میزان بارندگی، میزان نفوذ پذیری و نقشه تغذیه آبخوان در حوضه آبریز سبزوار (تغییر رنگها در نقشه ها بیانگر تغییرات در میزان آسیب پذیری بر اساس رتبه های دریافت شده است)

آسیب پذیر می باشند (شکل ۴). در مورد خاک سطحی که بیانگر لایه محیط خاک می باشد نیز همانند محیط آبخوان می باشد. اگر ذرات خاک دانه درشت تر باشد، لذا انتقال آلاینده ها به محیط زیرین (لایه محیط آبخوان) افزایش پیدا می کند و بیانگر بالا بودن آسیب پذیری می باشد، لذا بیشترین رتبه را به خود اختصاص می دهد (Aller et al., 1987). ترسیم و رتبه بندی لایه خاک در حوضه آبریز منطقه نشان داد، مناطق قرمز رنگ در نقشه آسیب پذیرتر می باشند. به طور کلی بیشتر منطقه از لحاظ بافت خاک آسیب پذیری کمتری دارد (شکل ۴).

همان طور که بیان شد اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در منطقه مورد مطالعه از طریق لوگ حفاری های اکتشافی، اطلاعات پیزومتری و کاوش های زمین شناسی منطقه به دست می آید. با توجه به اینکه هر چه رسوبات منطقه از لحاظ اندازه دانه ریزتر باشند انتقال آلاینده ها به آب زیرزمینی کاهش پیدا می کند لذا کمترین آسیب پذیری را داشته و رتبه کمتری را به خود اختصاص می دهند و اگر دانه درشت تر باشند آسیب پذیری بیشتری دارند (Aller et al., 1987). بر این اساس بیشتر منطقه مورد مطالعه چون از مواد درشت دانه تشکیل شده رتبه بالاتری را به خود اختصاص داده و

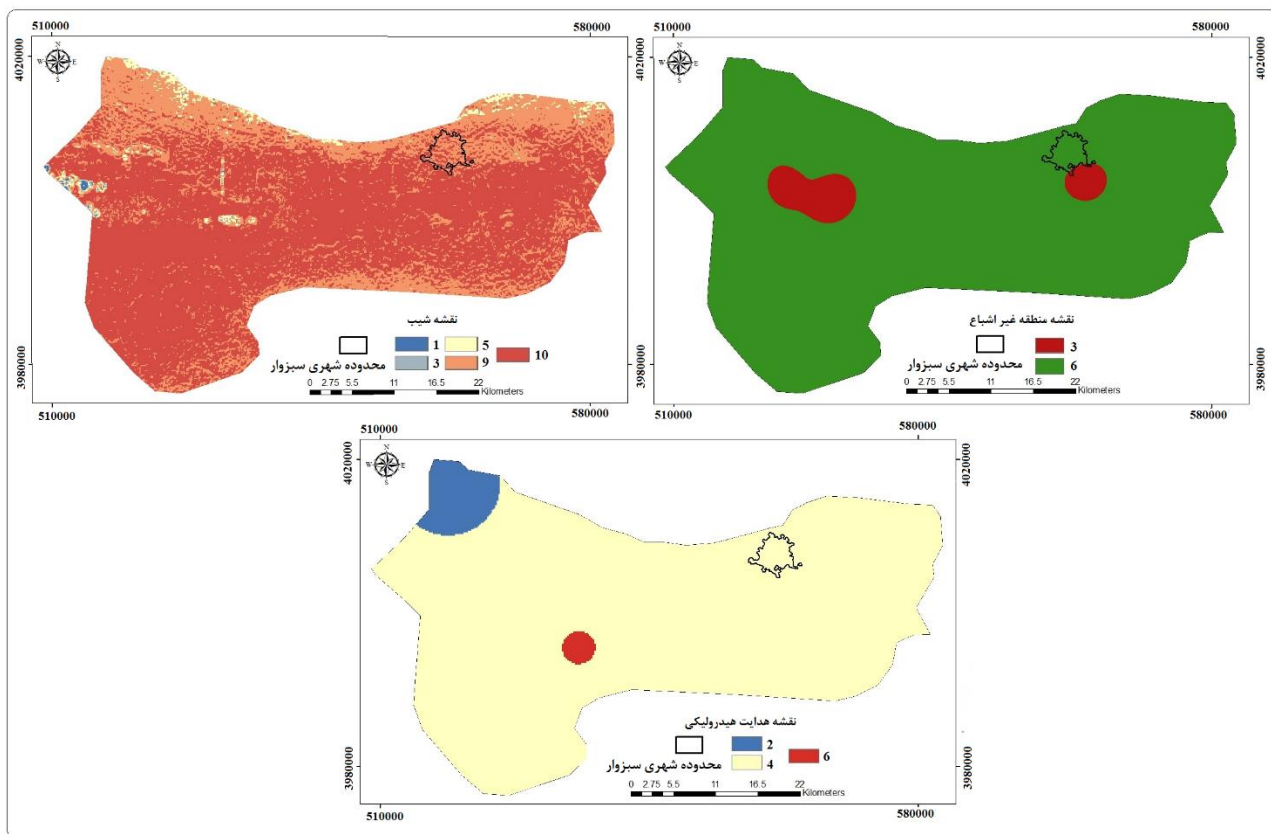


شکل ۴- نقشه محیط آبخوان و نقشه محیط خاک در منطقه مورد مطالعه (تغییر رنگها در نقشهها بیانگر تغییرات در میزان آسیب پذیری بر اساس رتبه‌های دریافت شده است)

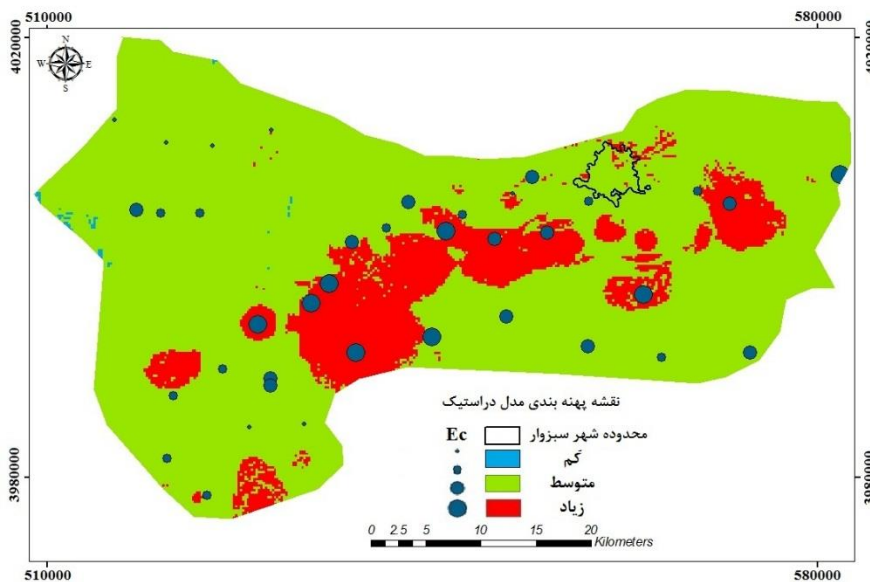
منطقه از نوع آسیب پذیری کم تا آسیب پذیری زیاد تعیین گردید. بر اساس نقشه تهیه شده، بخش مرکزی حوضه آبریز که و سمت شرق و جنوب غرب، دارای آسیب پذیری زیاد بوده و باقی منطقه از نوع آسیب پذیری متوسط می باشد. بیشتر منطقه مورد مطالعه از نوع آسیب پذیری متوسط می باشد. مقایسه نقشه دراستیک با ۷ نقشه ترسیم شده نشان داد که نقشه عمق تا سطح ایستابی و شیب و نقشه تغذیه آبخوان نقش مؤثرتری در آسیب پذیری در ناحیه فوق دارد. در نقشه های ترسیم شده در ناحیه مرکزی عمق تا سطح ایستابی و شیب کم بوده و نفوذ پذیری بالا می باشد. به منظور بررسی درستی نتایج حاصل از مدل دراستیک بایستی صحت سنجی بر روی آن اعمال شود تا میزان انحراف مدل از واقعیت مشخص شود. هر چه این انحراف کمتر باشد لذا مدل صحیح است. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه فعالیت های کشاورزی از نوع فعالیت عمده در منطقه بوده و کشاورزان منطقه از انواع کودهای آلی به منظور افزایش باروری محصولات استفاده می کنند، لذا می توان با بررسی میزان هدایت الکتریکی و از تلفیق آن با نقشه پهنه بندی مدل دراستیک به صحت سنجی مدل فوق پرداخت. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود در نواحی مرکزی دشت، که میزان آسیب پذیری در آن بالا می باشد، هدایت الکتریکی نیز بسیار بالا است. این موضوع صحت مدل ترسیم شده دراستیک را نمایان می کند. با توجه به حجم بالای فعالیت های کشاورزی در مناطق مرکزی دشت، بایستی تمهیداتی در جهت جلوگیری از آلودگی احتمالی آبخوان صورت گیرد.

با توجه به اینکه شیب کم باعث حرکت آهسته رواناب و نفوذ بیشتر آلاینده ها می شود که این امر باعث افزایش آسیب پذیری خواهد شد، لذا رتبه بیشتری به خود اختصاص می دهد (Aller et al., 1987). از آنجاکه مناطق مرکزی دشت شیب کم داشته و بالاترین رتبه را گرفته است، لذا نسبت به مناطق دیگر آسیب پذیرتر می باشد (شکل ۵). جهت ترسیم نقشه منطقه غیراشباع همان طور که بیان شد از لوگ سنگ شناسی چاه ها استفاده و رتبه بندی می شود. نتایج حاصله نشان داد، مناطق ریزدانه، کمترین رتبه را به خود اختصاص می دهند. با توجه به اینکه بیشتر منطقه دارای رتبه بالا است، لذا آسیب پذیری بر اساس لایه منطقه غیراشباع در آن منطقه بالا می باشد (Aller et al., 1987). ارزیابی مقدار هدایت هیدرولیکی نشان داد که مقدار هدایت هیدرولیکی در منطقه از ۹ تا ۲۹ متر بر روز قرار گرفته است. تنها در شمال غربی منطقه میزان هدایت هیدرولیکی پایین می باشد. در بیشتر مناطق هدایت هیدرولیکی بالا است. از آنجاکه هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، میزان میرایی و از بین رفتن آلودگی کاهش می یابد، لذا بیشترین رتبه را به خود اختصاص می دهد. نقشه رتبه بندی هدایت هیدرولیکی نشان داد، تنها در یک ناحیه (منطقه قرمز رنگ) میزان هدایت هیدرولیکی بالا است و آسیب پذیرتر می باشد. تقریباً بیشتر منطقه میزان هدایت هیدرولیکی یکسان می باشد (شکل ۵).

با تلفیق لایه ها و اعمال وزن ها (Al-Rawabdeh et al., 2013) بر اساس رابطه ۳ نقشه پهنه بندی دراستیک تهیه شد. با توجه به نقشه فوق میزان آسیب پذیری حوضه آبریز سبزوار از ۸۱ تا ۱۵۹ به دست آمد. بر این اساس و با توجه به جدول ۱۰ میزان آسیب پذیری در



شکل ۵- نقشه شیب، منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه (تغییر رنگها در نقشهها بیانگر تغییرات در میزان آسیب پذیری بر اساس رتبههای دریافت شده است)



شکل ۶- نقشه طبقه بندی شده مدل دراستیک و میزان هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

مرکزی آبخوان نسبت به آلایندهها آسیب پذیرتر است. بررسی نقشهها نشان از این دارد که نقشههای عمق تا سطح ایستابی، تغذیه آبخوان و

مطالعه حاضر بر روی آبخوان سبزوار نشان از این دارد که مناطق

آبخوان بر اساس مدل‌های دراستیک و منطق فازی مطالعه موردی: دشت همدان. ۲۶(۱): ۱-۱۷.

AlaviTehrrani, N. 1976. Geology and petrography in ophiolite rang NW of Sabzevar Khorasan/iran with special regard to metamorphism and genetic relations in an ophiolitesuit, Disscraion der Mathematisch-Naturwissensehaftlichen Fakultar der universitat Saarlande. Geol. Survey of Iran, Rep. No.: 43.

Al-Rawabdeh, A. M., Al-Ansari, N. A., Al-Taani, A. A. and Knutsson, S. 2013. A GIS-Based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Amman- erqa groundwater basin, Jordan. Engineering Journal. 55: 490-504.

Aller, L., Bennet, T., Leher, J. H., Petty, R. J. and Hackett, G. 1987. DRASTIC A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting, EPA – 600/ 2, 87 – 035. Ada, Oklahoma: U. S. Environmental protection Agency.

ArcGIS Spatial Analyst Tutorial, 2008. ESRI, United States of America.

Bai, L., Wang, Y. and Meng F. 2011. Application of DRASTIC and Extension theory in the groundwater vulnerability evaluation. Water and Environment Journal. 263: 381-391.

Chitsazan, M. and Akhtari, Y. 2009. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kherran plain, Khuzestan, Iran. Water Resource Management. 23: 1137-1155.

Connell, L. D. and Daele, G. V. D. 2003. A quantitative approach to aquifer vulnerability mapping, Journal of hydrology. 276(1): 71-88.

Goya, R. and Dassargues, A. 2005. Current trend and future challenge in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods, Journal of environmental geology. 396: 549-559.

Harter, T. and Walker, L.G. 2001. Assessing vulnerability of groundwater. US Natural Resources Conservation Service. (Vol. 3). California.

Hasiniaina F., Jianwei Z. and Luo, G. 2010. Regional assessment of groundwater vulnerability in Tamtsag basin, Mongolia using DRASTIC model. Journal of American Science. 166: 65-78.

Kato H., Nakagami K. and Cooper, M. 2016. Participatory approaches to environmental management: future design for water resources management. In: Nakagami K, Kubota J, Setiawan B eds Sustainable water management, Springer, Singapore.

Moghadam, H. S., Khedr, M. Z., Arai, S., Stern, R. J.,

شیب زمین بیشترین تأثیر را نسبت به ۴ نقشه دیگر دارد. مناطق مرکزی دشت که عمق کمتری تا سطح ایستابی دارند، منجر به انتقال سریع آلاینده‌ها به منابع آب زیرزمینی شده، لذا آسیب‌پذیرتر می‌باشد. تغذیه آبخوان بیشترین آسیب‌پذیری را در نواحی مرکزی دشت دارد. همچنین مناطق مرکزی دشت که شیب کمتری دارد که منجر به تمرکز بیشتر آلاینده‌ها در ناحیه فوق می‌شود، آسیب‌پذیری بیشتری دارد. ترسیم نقشه محیط آبخوان، نقشه محیط خاک، نقشه منطقه غیراشباع نشان از این دارد که میزان آسیب‌پذیری در کل دشت یکسان بوده و تغییرات آسیب‌پذیری کم می‌باشد. هدایت هیدرولیکی در بیشتر منطقه یکسان بوده و هدایت هیدرولیکی بالایی دارد. نقشه آسیب‌پذیری دراستیک در منطقه مورد مطالعه نشان داد، میزان آسیب‌پذیری در منطقه از کم تا زیاد بوده به نحوه‌ای که مناطق مرکزی دشت آسیب‌پذیری بالایی دارد. با توجه به حجم فعالیت‌های کشاورزی در مناطق مرکزی دشت، بایستی تمهیداتی در جهت جلوگیری از آلودگی احتمالی آبخوان صورت گیرد. همپوشانی هدایت الکتریکی با نقشه دراستیک نشان داد هدایت الکتریکی در مناطقی با آسیب‌پذیری زیاد، بالا می‌باشد. که بیانگر املاح بالا در نمونه‌های آب در ناحیه فوق می‌باشد. این امر نیز می‌تواند دقت و صحت سنجی مدل دراستیک را تأیید کند.

منابع

حسن‌زاده م، مؤمنی رق آبادی م. و رباطی ا، ۱۴۰۰. آسیب‌پذیری دشت حاجی‌آباد بر اساس مدل‌های DRASTIC و SINTACS، مجله هیدروژئومورفولوژی. ۲۶(۸): ۱۸۳-۲۰۰۲.

رحمانی م. و آذری ط، ۱۳۹۸. کاربرد مدل دراستیک در بررسی روند توسعه صنعتی دشت ساری با تأثیر بر آلودگی زیست‌محیطی، پژوهش و فناوری محیط زیست. ۶: ۸۳ - ۹۲

رضائی سربندی م، قضاوی ر، دخانی س. و مرتضوی س. م، ۱۳۹۶. بررسی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک و گادردر محیط GIS (مطالعه موردی: دشت رفسنجان)، هیدروژئومورفولوژی. ۱۰: ۶۵ - ۸۰

قنبری ع. ر، ۱۳۹۹. بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت خنج-فیشور لارستان با استفاده از مد دراستیک، جغرافیای طبیعی، ۴۷: ۹۵ - ۱۱۵

مدبری ه، رهبر هاشمی م. و عاشورنیا م، ۱۳۹۷. تحلیل آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی و آنالیز حساسیت مدل دراستیک با استفاده از روش‌های حذف نقشه و تک مؤلفه‌ای با استفاده از تکنیک مونت‌کارلو، پژوهش و فناوری محیط زیست. ۴: ۲۱ - ۳۰

مهدوی ع. و زارع ایبانه ح. ۱۳۹۵. تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری

- A. 2003. Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: 1053-1067.
- Stigter, T. Y., Ribeiro, L. and Carvalho Dill, A. M. M. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater assessment method in comparison with in to agricultural regions in the south of Portugal. *Journal of Hydrology*. 14: 79-99.
- Tilahun. K. and Merkel. B.J. 2010. Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution in Dire Dawa, Ethiopia using DRASTIC, *Environmental Earth Sciences*. 59: 1485-1496.
- Voudouris K., Kazakis N., Polemio M. and Kareklas K. 2010. Assessment of intrinsic vulnerability using the DRASTIC Model and GIS in the Kiti aquifer, Cyprus. *European Water*. 30: 13-24.
- US EPA.1985. DRASTIC: A standard system for evaluating groundwater potential using hydrogeological settings. Ada, Oklahoma, WA/EPA Series, 163pp.
- Zandi, Z., Mehrabi, B. and Masoodi, M. 2007. Geochemistry and genesis of podiform chromite deposits in Forumad Sabzevar. *The 20th Symposium on Geosciences*.
- Ghorbani, G., Tamura, A. and Ottley, C. J. 2015. Arc-related harzburgite–dunite–chromitite complexes in the mantle section of the Sabzevar ophiolite, Iran: a model for formation of podiform chromitites. *Gondwana Research*. 27: 575-593.
- Nobre, R. C. M., Rotunno Filho, O. C., Mansur, W. J., Nober, M. M. M. and Cosenza, C. A. N. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS. Modeling and a fuzzy logic tool. *Journal of Contamination Hydrology*. 94: 277-292.
- Pathak, D. R. and Hiratsuka, A. 2011. An integrated GIS based fuzzy pattern recognition model to computer ground water vulnerability index for decision making, *Journal of Hydro-environment Research*. 5: 63-77.
- Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map. Center of Natural Resources, Department of land and water conservation, New South Wales, Australia, 14p.
- Shirazi S. M., Imran, H. M., Akib, S., Yusop, Z., Harun, Z. B. 2013. Groundwater vulnerability assessment in the Melaka State of Malaysia using DRASTIC and GIS techniques. *Environment Earth Science*. 70: 2293-2304.
- Shojaat, B., Hassanipak, A., Mobasher, K. and Ghazi,

Vulnerability Assessment of Sabzevar Aquifer (Northeast of Iran) Using Drastic Model

S. Eshaghi Ilbeygi¹, Z. Ganji Norouzi^{2*}, V. Dorostkar³, M. H. Movahednejad⁴, M. Atari⁵

Received: Nov.13, 2021

Accepted: Dec.20, 2021

Abstract

In countries with arid and semi-arid climates, conserving water resources is important. For this purpose, different models were presented to determine the vulnerability of areas. In Iran, due to climatic conditions and water shortage, so for years, various researchers have used various methods, including the drastic method to determine the vulnerability. In this research, a vulnerability map of Sabzevar aquifer has been prepared using a drastic model. Sabzevar aquifer located in the northeast of Iran with an area of 5455.4 square kilometers has a dry and desert climate with hot and dry summers and cold winters. The drastic model is obtained through 7-layer overlap (groundwater depth, net nutrition, aquifer environment, soil type, topography, influence of unsaturated area and hydraulic conductivity of the aquifer) and shows a detailed map of the aquifer vulnerability. ArcGis10.5 software was used to draw the drastic model map. The numerical value of the drastic model in the study area is between 81 and 159 (from low vulnerability to high vulnerability). Drastic map showed that a very small area from the west of the study area has low vulnerability and the central areas of the plain have high vulnerability. Other parts of the region are moderately vulnerable. Shallow groundwater depth in the central areas of the plain and also low slope in the above area has the greatest impact on the vulnerability of the region. Due to the volume of agricultural activities in the central areas of the plain, measures should be taken to prevent possible contamination of the aquifer. Due to the fact that the concentration of nitrate in groundwater sources was not available in the study area, so electrical conductivity was used to validate the zoning of the drastic model. The overlap of electrical conductivity with the drastic map showed that the electrical conductivity was high in the center of the vulnerable plain. This can also confirm the accuracy of the drastic model.

Keywords: Drastic Model, Electrical Conductivity, Iran, Sabzevar Aquifer, Water Pollution

1- M.Sc. Graduate Student, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology; Iran

2- Assistant Professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran

3- Assistant Professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran

4- Assistant Professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran

5- M.Sc. of Environmental Geology, Young and Elite Researchers Club, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: z_ganji@shahroodut.ac.ir)