

توسعه مدل دراستیک اصلاح شده برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان‌های ساحلی

نیلوفر خوشدوز ماسوله^۱، حسین بابازاده^{۲*}، سیدحسن طباطبایی^۳ و مهدی نادری^۴

- ۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ گروه مهندسی آب؛ تهران؛ ایران
- ۲) استادیار؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ گروه مهندسی آب؛ تهران؛ ایران
* نویسنده مسئول مکاتبات: h_babazadeh@srbiau.ac.ir
- ۳) استادیار؛ گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شهرکرد؛ شهرکرد؛ ایران
- ۴) استادیار؛ گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه شهرکرد؛ شهرکرد؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۲۷

چکیده

در آبخوان‌های ساحلی، خطر نفوذ آب شور دریا به منابع آب زیرزمینی وجود دارد و از این نظر بررسی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی می‌تواند در تعیین نقاط آسیب‌پذیر و حساس آبخوان بسیار موثر باشد. هدف از این پژوهش، بررسی آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی جزیره کیش با استفاده از مدل دراستیک و نیز اصلاح آن برای شرایط این سفره ساحلی است. دو پارامتر اختلاف تراز آب دریا با سطح ایستایی آب و فاصله نقطه تا دریا به پارامترهای مدل اضافه و مدل دراستیک اصلاح شده توسعه یافت. برای ارزیابی نتایج مدل، نقشه‌های آسیب‌پذیری تولید شده با نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول مقایسه شد. این نقشه‌ها با استفاده از داده‌های ثبت و نمونه‌برداری شده کیفیت آب چاه‌های جزیره در محیط (GIS) تهیه گردید. مقایسه نتایج مدل دراستیک و دراستیک اصلاح شده با نقشه‌های هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول جزیره نشان داد که میانگین اختلاف‌ها برای مدل دراستیک به ترتیب با ۱۷/۴۱ و ۱۰/۲۴ و مدل دراستیک اصلاح شده به ترتیب با ۰/۶۹ و ۰/۵۵ می‌باشد که حاکی از مطابقت بیشتر با داده‌های مشاهده‌ای دارد. نتایج مدل دراستیک اصلاح شده نشان داد که ۳۴/۱ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۴۸/۱ درصد دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و ۱۷/۸ درصد نیز دارای پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان ساحلی؛ آسیب‌پذیری آبخوان؛ مدل دراستیک اصلاح شده

مقدمه

آلودگی آن بسیار پرهزینه و فرآیندی طولانی مدت می‌باشد. بعلاوه تأثیرات آلودگی آب زیرزمینی تنها مختص چاه‌های تأمین آب و آبخوان نبوده و حرکت آب زیرزمینی به سمت دریاچه‌ها و رودخانه‌ها باعث آلودگی منابع آب سطحی نیز می‌شود، که عواقب زیست محیطی خطرناکی را

امروزه بخش قابل توجهی از مصارف آب کشور بخصوص در بخش شرب، توسط منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، که بطور عمده از آبخوان‌های آزاد تأمین می‌شوند. در صورت آلوده شدن آب زیرزمینی، رفع

به دنبال دارد(عطائی آشتیانی، ۱۳۸۹ و غفوری و همکاران ۱۳۹۰). در بسیاری از کشورهای جهان، جمعیت زیادی در مناطق ساحلی زندگی می‌کنند. جزایر کوچک تبدیل به مراکز مهم تجاری، اقتصادی و گردشگری شده و جمعیت بسیاری را در خود جای داده‌اند. از این رو تامین آب مناسب در آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. به علاوه، جزایر کوچک شرایط اقلیمی و آب و هوایی ویژه‌ای دارند که آنها را از جزایر بزرگ مجزا می‌سازد. در این جزایر به علت کوچک بودن حوضه‌ی آبریز و نامنظم بودن الگوهای بارش، منابع آب سطحی قابل اطمینانی برای بهره‌برداری وجود ندارد و تنها منبع آب مناسب، آب زیرزمینی ذخیره شده در آبخوان جزیره است. از سوی دیگر مساله آلودگی آب‌های زیرزمینی در سفره‌های ساحلی به مراتب پیچیده‌تر و بحرانی‌تر از سایر سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد. برداشت غیر اصولی از این آبخوان‌ها موجب پیشروی آب شور دریاها و شور شدن کل آب زیرزمینی جزیره خواهد شد. پیشروی آب شور جدی‌ترین مساله‌ای است که کیفیت آب زیرزمینی را در جزایر کوچک به خطر می‌اندازد، به ویژه اگر استخراج آب مناسب به دلیل افزایش جمعیت و پیشرفت‌های صنعتی و کشاورزی افزایش یابد(عطائی آشتیانی، ۱۳۸۹). واضح است که جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی از رفع آلودگی آن بسیار آسان‌تر است. این واقعیت، به پیدایش چندین روش حفاظتی و سیاست‌های مدیریتی در مراحل مختلف رشد و توسعه علم منجر شده است. بررسی آسیب پذیری آبخوان در مقابل آلودگی یکی از این روش‌ها برای حفاظت از سفره‌های آب زیرزمینی است. هدف از بررسی آسیب‌پذیری کمک به پشتیبانی و ارائه راهنمایی‌های کاربردی و سیاست‌های مدیریتی برای حفظ منابعی است که امکان حفاظت از آن وجود دارد (Evans et al., 1990). یکی از مدل‌هایی که بیشترین کاربرد را در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به دامنه وسیعی از آلاینده‌های بالقوه داشته است،

مدل دراستیک^۱ می‌باشد (Aller et al., 1987). یکی از قابلیت‌های مدل دراستیک انعطاف‌پذیری زیاد آن در انطباق با شرایط ویژه هر منطقه می‌باشد (Afonso et al., 2008). در مورد ارزیابی آبخوان‌های ساحلی نیز به دلیل شرایط ویژه آنها لازم است چنین اصلاحاتی در مدل دراستیک اعمال شود. Boughriba و همکاران (۲۰۱۰) برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان آنگد در کشور مراکش از مدل دراستیک در محیط نرم افزار (GIS) استفاده کردند. آنها نقشه اصلاح شده دراستیک را که از مجموع شاخص دراستیک و نقشه‌های کوچک شبکه پایش بدست آمده را تهیه کردند که شامل دو طبقه‌بندی متوسط و زیاد می‌شود. سپس این نقشه را با نقشه‌ی کاربری اراضی ادغام کردند تا نقشه ریسک پتانسیل آلودگی آب‌زیرزمینی ایجاد شود. نامبردگان بیان کردند که نقشه جدید تهیه شده شامل سه طبقه بندی متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. Akhavan و همکاران (۲۰۱۰) مطالعاتی جهت اصلاح مدل دراستیک برای شبیه‌سازی آلودگی نیترات در دشت بهار استان همدان انجام دادند. آنها با بهره‌گیری از مدل دراستیک اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری در دو حالت ذاتی و خاص نمودند. در حالت اول با استفاده از شرایط موجود و در حالت دوم با در نظر گرفتن اعمال مدیریتی نقشه‌ها تهیه شدند. نامبردگان بیان کردند که با توجه به کامل نبودن این مدل برای شبیه‌سازی یک آلودگی خاص، با توجه به مقادیر نیترات اندازه‌گیری شده هر چاه، وزنهای مدل را اصلاح کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مدل دراستیک اصلاح شده نسبت به نقشه‌های تهیه شده در دو حالت قبلی نتایج بهتری داشته است. همچنین نامبردگان پیشنهاد دادند که برای بررسی آسیب‌پذیری در مناطق مختلف، می‌بایست وزنهای مدل دراستیک را اصلاح کرد. Bocanegra و همکاران (۲۰۰۰) جهت بررسی آبخوان ساحلی ماردل پلاتا واقع در پرتغال به اصلاح دو مدل دراستیک و (GOD)

¹ DRASTIC

پدیده کوه و حتی تپه مرتفع است. در واقع کیش جزیره‌ای نسبتاً مسطح است که مرکز آن دارای بیشترین ارتفاع بوده و با شیب ملایمی به سواحل جزیره ختم می‌شود. در این جزیره هیچ گونه جریان آب سطحی دائمی وجود ندارد و در عین حال یکی از معدود جزایر در خلیج فارس است که منابع آب زیرزمینی مناسب قابل استحصال دارد. متوسط بارندگی سالانه جزیره ۱۹۰ میلی‌متر و از نظر زمین‌شناسی نیز جزیره کیش از سنگ آهک‌های ریفي، مرجانی و سنگ آهک‌های لوماشلیک و معمولی دریایی که هم ارز سازند کنگلومرای بختیاری در فارس و خوزستان است تشکیل و به طور دگرشیب روی سازند آغاچاری مستقر گردیده است. طبقات زیرزمینی جزیره شامل تناوبی از سنگ آهک-های ریفي بیوسترمی به نام سنگ آهک خارک (هم ارز بختیاری) با تناوبی از مارن‌های چسبنده و متراکم می‌باشند (عطایی آشتیانی، ۱۳۸۸).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی جزیره بر روی نقشه



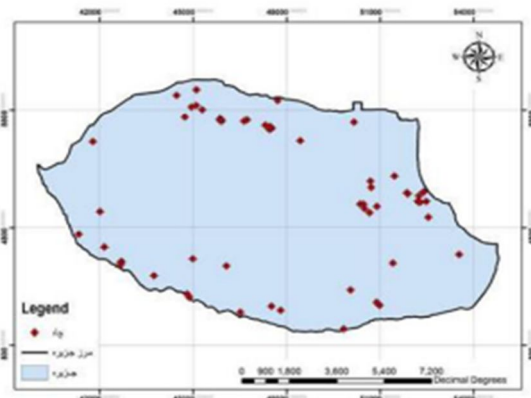
شکل ۲. نمای کلی جزیره کیش

پرداختند به گونه‌ای که تطابق بیشتری با شرایط موجود در آبخوان ساحلی داشته و بتوان تأثیرات تداخل آب شور با منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار داد. Nobre و همکاران (۲۰۰۷) برای بررسی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه‌های ریسک آلودگی سفره ساحلی واقع در شمال شرقی برزیل از مدل دراستیک که در آن اصلاحاتی انجام داده بودند به همراه منطق فازی و (GIS) استفاده نمودند. نامبردگان از منطق فازی برای ارزیابی شاخص پتانسیل منبع آلودگی که شامل آلودگی‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای می‌شود، استفاده کردند. همچنین برای بررسی محدوده‌ای که چاه از آن تغذیه می‌شود، از مدل (MODFLOW) بهره بردند و با ترکیب این عناصر راه‌کاری برای ارزیابی و شناسایی مناطق مستعد آلودگی آب زیرزمینی فراهم کردند. ایشان برای ارزیابی نتایج خود یک شاخص کیفیت آب زیرزمینی بر اساس آلودگی‌های نترات و کلراید محاسبه کردند که با نتایج آنها همبستگی مثبتی داشت.

هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری و ارائه گزینه‌های مدیریتی مناسب برای حفاظت آبخوان جزیره کیش می‌باشد. به دلیل موقعیت ویژه جزیره و خصوصیات آبخوان ساحلی آن روش دراستیک می‌بایست برای انطباق بیشتر با این خصوصیات بهبود یابد. از این نظر، جهت حصول نتایج دقیق‌تر ضرورت دارد تا با ارائه یک روش‌شناسی مناسب، مدل دراستیک را برای شرایط بومی منطقه سازگارتر گردد.

مواد و روش‌ها

جزیره کیش، یکی از معدود جزایر خلیج فارس است که منابع آب زیرزمینی مناسب و قابل استحصال دارد. این جزیره با وسعت ۹۰/۴۵۷ کیلومتر مربع در نیمه‌ی جنوبی منطقه‌ی معتدل شمالی بین عرض ۲۶ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۳ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این جزیره بیضی شکل بوده (شکل ۲) و سطح آن فاقد توپوگرافی ویژه مانند



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی چاه‌های مشاهداتی

آسیب‌پذیری کلی سیستم D_i از رابطه (۱) برآورد می‌شود (Aller et al., 1987). که در آن D_i شاخص دراستیک یک واحد نقشه آب زیرزمینی، W_j فاکتور وزنی پارامتر Z و R_j مقدار عددی پارامتر Z می‌باشد.

$$D_i = \sum_{j=1}^7 (W_j \times R_j) \quad (1)$$

در محدوده جزیره کیش تعداد ۶۳ حلقه چاه وجود دارد که در مجموع پس از بررسی اطلاعات موجود و وضعیت این چاه‌ها، ۵۴ حلقه چاه برای بررسی وضعیت آسیب‌پذیری سفره انتخاب شد. در (شکل ۳) موقعیت چاه‌های داده برداری شده مشاهده می‌شود. همانطور که در این شکل مشخص است قسمت مرکزی جزیره که محل استقرار فرودگاه می‌باشد فاقد چاه است. اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق در (جدول ۱) طبقه‌بندی شده است. برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز از نرم افزارهای (Excel) و (GIS) استفاده شد. برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان ساحلی جزیره کیش از مدل دراستیک استفاده شد. این مدل که توسط سازمان محیط زیست آمریکا توسعه یافته است (Aller et al., 1987)، دارای هفت پارامتر عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، خصوصیات خاک، خصوصیات سفره، توپوگرافی، اثر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان می‌باشد. (Al-ademat et al., 2003)

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده تحقیق

منبع	نوع داده
اندازه گیری میدانی و داده های ثبت شده-محاسبه شده	هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول
اندازه گیری میدانی و داده های ثبت شده	داده‌های سطح ایستابی و عمق چاه
گزارش‌های موجود و مصاحبه با کارشناسان	هدایت هیدرولیکی سفره
سازمان منطقه آزاد کیش و تهیه در GIS	نقشه کاربری اراضی، خاکشناسی، زمین شناسی، توپوگرافی

فاصله از خط ساحلی آب دریا (L). فاصله آب دریا از سفره می‌تواند پارامتر مناسبی در ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی باشد. همچنین اختلاف تراز آب دریا و تراز سطح ایستابی سفره نشانگر میزان پتانسیل نفوذ آب شور به سفره آب زیرزمینی می‌باشد. در حقیقت هر قدر سطح ایستابی سفره پایین‌تر باشد، پتانسیل نفوذ آب دریا نیز بیشتر خواهد شد. در جدول (۲) طبقه‌بندی آسیب‌پذیری بر اساس مدل دراستیک اصلاح شده ارائه شده است (Javadi et al., 2011).

با توجه به اهمیت اختلاط آب شور دریا با سفره آب زیرزمینی مناطق ساحلی در مدل دراستیک اصلاحاتی انجام شد، به گونه‌ای که مناسب با شرایط ساحلی باشد. از آنجایی که میزان پیشروی آب شور در سفره آب شیرین تاثیر مستقیمی بر میزان آلودگی آن دارد، بنابراین دو پارامتر مهمی که بر روی پیشروی آب سفره اثر دارند به عنوان متغیرهای کلیدی مدل دراستیک اصلاح شده انتخاب شدند. این پارامترها عبارت بودند از اختلاف تراز سطح آب دریا و سطح ایستابی آب زیرزمینی (G) و

جدول ۲. فاکتورهای وزنی مدل دراستیک اصلاح شده

فاکتور وزنی	پارامتر
۵	D عمق تا سطح آب زیرزمینی
۴	R تغذیه خالص
۳	A محیط آبخوان
۲	S نوع خاک
۱	T توپوگرافی
۵	I اثر ناحیه غیر اشباع
۳	C هدایت هیدرولیکی
۴	L فاصله از خط ساحلی
۵	G اختلاف عمق سطح آب دریا و سطح آب زیرزمینی

معیاری برای سنجش میزان عدم تطابق مدل‌ها با نتایج مشاهداتی در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر هرچقدر میانگین اختلاف‌ها بیشتر باشد نشان دهنده این است که مدل مطابقت کمتری با نتایج مشاهداتی شوری داشته است. شایان ذکر است که مقایسه لایه مدل‌ها با لایه‌های پهنه‌بندی شوری بدون بی‌بعد کردن و استاندارد سازی آنها فاقد مفهوم می‌باشد (Albinet and Margat, 1970).

نتایج و بحث

۱- تهیه نقشه‌های پایه

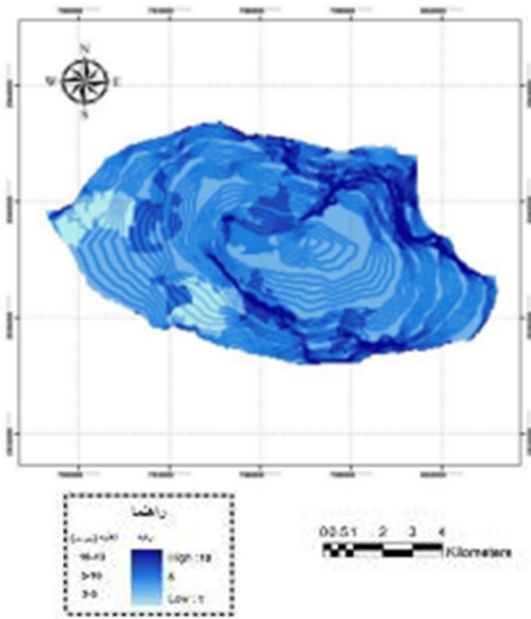
با توجه به الگویی مطابق با شکل ۴ عمق سفره آب زیرزمینی قسمت غرب و جنوب غربی معادل ۴ تا ۱۰ متر دارد که از اهمیت بالایی برخوردار است. نواحی غرب، جنوب غربی و قسمت‌هایی از نواحی شرق و شمال جزیره در رتبه‌بندی دراستیک اعداد ۵ و ۷ را به خود اختصاص می‌دهند و در دیگر مناطق جزیره با توجه به عمق بیش از ۱۴ متری سطح آب زیرزمینی، این مناطق رتبه ۳ را به خود اختصاص می‌دهند.

بر اساس شکل ۵ در قسمتی از غرب و جنوب جزیره کیش، تغذیه خالص به کمترین حد خود می‌رسد که دلیل

به منظور ارزیابی میزان صحت نقشه‌های آسیب‌پذیری منتج از مدل‌های دراستیک و مدل دراستیک اصلاح شده نیاز است تا این نقشه‌ها با نقشه‌های آلودگی آبخوان سفره مطابقت داده شوند. برای این منظور با توجه به اهداف پژوهش، نقشه‌های آلودگی سفره برای پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول در آب (TDS) با استفاده از (GIS) و به روش کریجینگ تهیه شد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۱). برای بررسی میزان مطابقت نتایج مدل‌ها با نقشه‌های شوری ابتدا لایه‌های بی‌بعد مدل‌های دراستیک و دراستیک اصلاح شده و همچنین نقشه‌های شوری با استفاده از رابطه (۲) و در محیط GIS تهیه شد که در این رابطه x_i مقدار عددی هر سلول و x_{min} و x_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار سلول‌ها و x_{mean} میانگین مقدار سلول‌ها است.

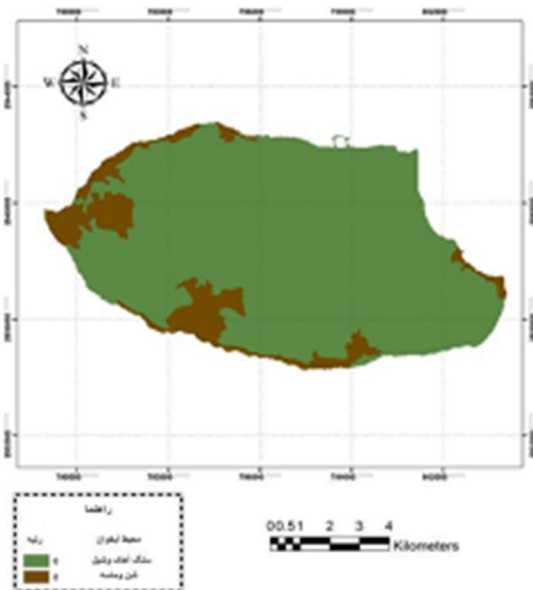
$$x_i = \frac{x_{min} - x_{max}}{x_{mean}} \quad (2)$$

از این لایه‌ها برای مقایسه عددی مطابقت مدل‌ها با نتایج شوری مشاهداتی استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا لایه بی‌بعد مدل‌ها از لایه بی‌بعد شوری کم و سپس میانگین هر کدام محاسبه شد. این میانگین به عنوان



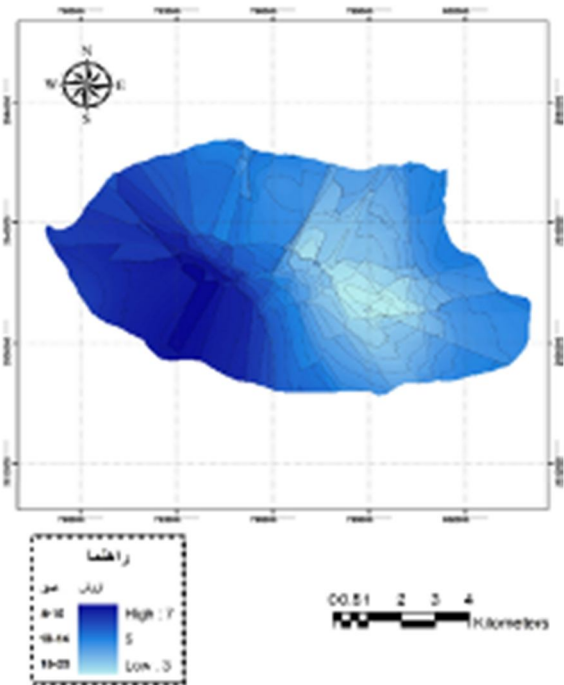
شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی تغذیه آب زیرزمینی

بیشتر محیط فیزیکی آبخوان ساحلی کیش متشکل از شن و ماسه با رتبه‌بندی ۸ می‌باشد. مواد تشکیل دهنده قسمت‌های کوچک جنوب، شمال غربی و شرق آبخوان سنگ آهک و شیل می‌باشد که در رتبه‌بندی روش دراستیک رتبه ۶ به این مناطق اختصاص داده شده است (شکل ۶).

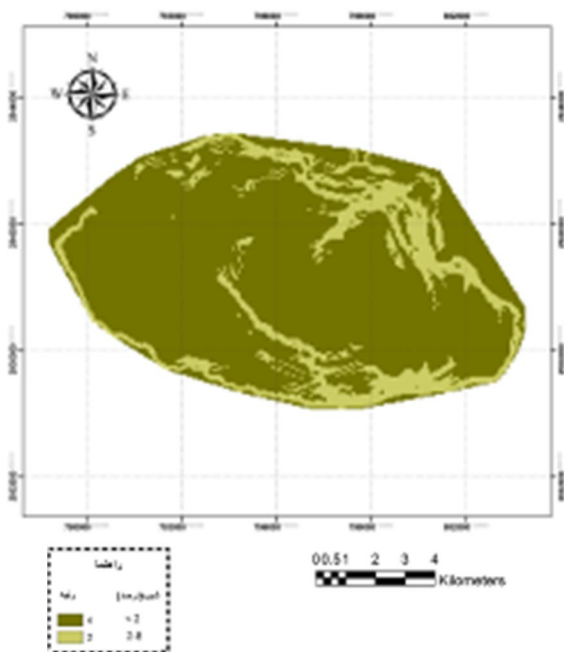


شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی محیط آبخوان

آن را می‌توان به جنس خاک نسبت داد. در این منطقه جنس خاک بطور عمده رس می‌باشد که نفوذپذیری کمی دارد. تغذیه در نوارهایی از شمال شرقی و همچنین بخشی از جنوب جزیره بیشترین میزان خود را دارد و دلیل آن نفوذپذیری متوسط تا زیاد این مناطق می‌باشد. عمده مساحت جزیره دارای نفوذپذیری متوسط است و با توجه به ثابت بودن توزیع مکانی بارندگی، مقدار تغذیه نیز متوسط می‌باشد.



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی

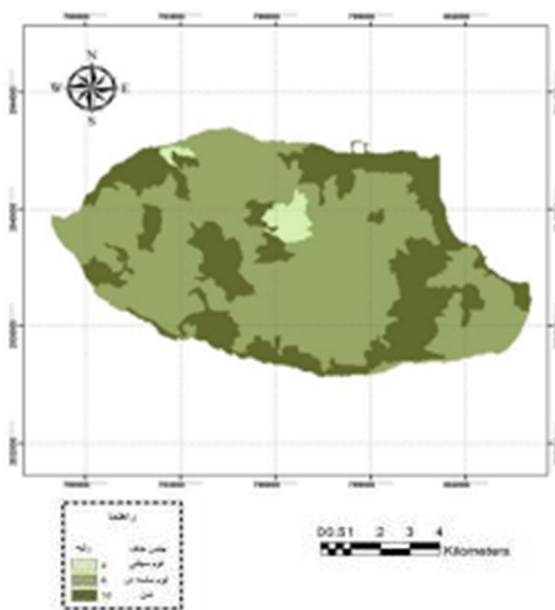


شکل ۸. نقشه توپوگرافی منطقه

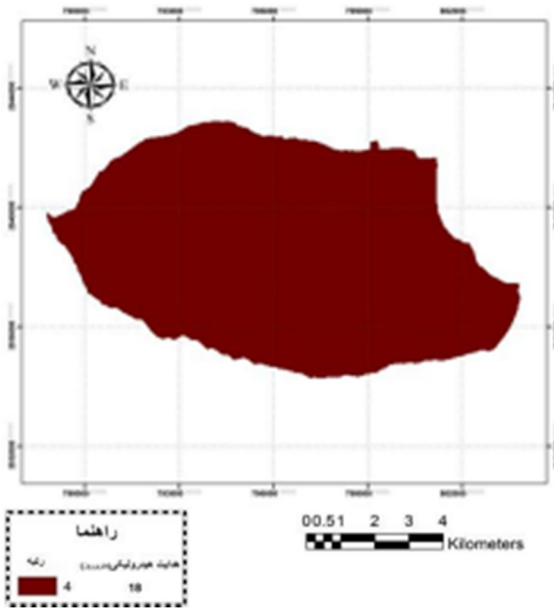
مطابق با شکل ۹، حدود ۴۸/۷ درصد از اراضی متشکل از رسوبات شن و ماسه دارای رتبه ۸ بوده که در غرب، شرق و قسمتی از مرکز دشت واقع شده‌اند و در عمده مناطق مرکزی جزیره مواد تشکیل دهنده محیط غیر اشباع آبخوان سنگ آهک بوده و این رتبه کاهش می‌یابد و به ۶ می‌رسد، این مناطق حدود ۴۵/۱ درصد از اراضی منطقه را تشکیل می‌دهند. تنها حدود ۶/۲ درصد قسمت‌های کوچکی از مرکز و جنوب جزیره از رس تشکیل شده و رتبه‌ی ۳ را به خود اختصاص می‌دهند.

مطابق با نقشه تهیه شده برای پارامتر محیط خاک (شکل ۷)، محیط خاک در جزیره کیش بین اعداد ۴ تا ۱۰ متغیر است. بیشتر مناطق جزیره شامل شن و ماسه است و در رتبه‌بندی روش دراستیک دارای ارزش ۶ و ۱۰ می‌باشد و قسمت کوچکی از محدوده مرکز جزیره و شمال غربی آن از لایه خاک‌های رس-سیلت تشکیل شده و دارای ارزش ۴ است.

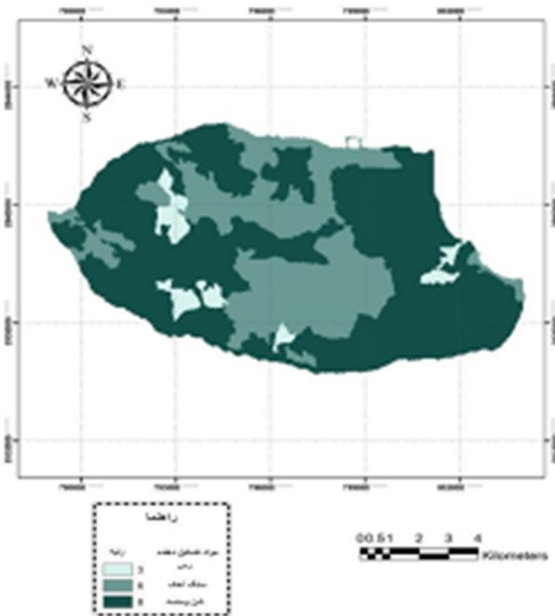
بر اساس نقشه توپوگرافی موجود شیب سطح زمین جزیره در بیشتر نواحی کمتر از ۲ درصد می‌باشد. شکل ۸ رتبه‌بندی توپوگرافی به روش دراستیک را نشان می‌دهد. بیشترین شیب مربوط به مناطق اطراف جزیره و قسمت کوچکی از مرکز می‌باشد این شیب بین ۲ تا ۸ درصد بوده و در رتبه‌بندی دراستیک رتبه ۲ را به خود اختصاص می‌دهند.



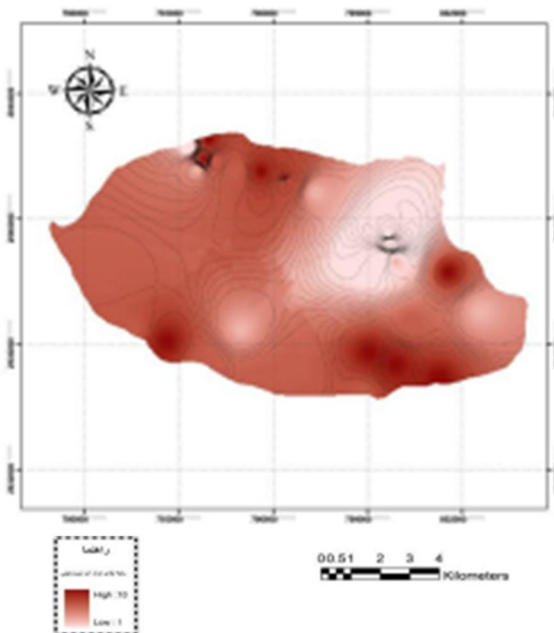
شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی محیط خاک



شکل ۱۰. نقشه پهنه بندی هدایت الکتریکی منطقه



شکل ۹. نقشه پهنه بندی محیط غیر اشباع



شکل ۱۱. نقشه پهنه بندی اختلاف تراز آب زیر زمینی

نسبت به آب دریا

شکل ۱۲ نقشه رتبه بندی فاصله آب زیرزمینی تا دریا را نشان می‌دهد. در این نقشه مشخص است که مناطقی که نزدیکتر به دریا هستند به خصوص خط ساحلی پتانسیل بیشتری برای نفوذپذیری آب شور دریا دارند و در نتیجه رتبه بندی بیشتری از نظر آسیب پذیری دارند.

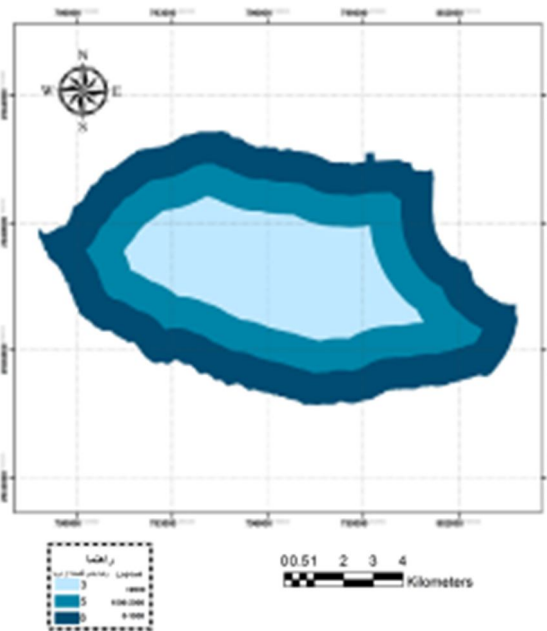
گزارش‌های موجود و بررسی دقیق تر هدایت هیدرولیکی جزیره بین ۱۶ تا ۲۰ متر در روز تخمین زده شد. از طرفی، توجه به این نکته ضروری است که رتبه بندی هدایت هیدرولیکی به عنوان یکی از پارامترهای دراستیک نشان می‌دهد که بازه ۱۵ تا ۳۵ متر در روز دارای یک شاخص ارزشی است. به عبارت دیگر تمامی اعداد بین ۱۵ تا ۳۵ متر در روز (از جمله ۱۸ متر در روز فرض شده برای آبخوان کیش) همگی ارزش یکسانی داشته و نسبت به هم تفاوتی در نتیجه مدل دراستیک ایجاد نمی‌نمایند. بنابراین برای کل جزیره رتبه ۴ برای عامل هدایت هیدرولیکی انتخاب گردید (شکل ۱۰).

اختلاف تراز آب زیرزمینی نسبت به دریا از جمله عواملی است که در مدل اصلاح شده دراستیک در نظر گرفته شده و میزان پتانسیل نفوذ آب شور دریا به درون سفره را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه خلیج فارس و دریای عمان به آب‌های آزاد متصل هستند تراز ارتفاعی آنها برابر با سطح آب‌های آزاد یعنی صفر متر در نظر گرفته شده است. (شکل ۱۱) نقشه رتبه بندی پارامتر اختلاف تراز آب زیرزمینی نسبت به آب دریا را نشان می‌دهد.

قسمت‌های جنوبی، غربی و شمال غربی جزیره دارای پتانسیل آلودگی بالایی هستند و با پیشروی به سمت مرکز جزیره پتانسیل آلودگی کم می‌شود. در قسمتی از شرق جزیره پتانسیل آلودگی دوباره افزایش می‌یابد. این تغییرات ممکن است بطور عمده به دلیل تداخل آب شور دریا با منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه باشد. بر اساس نتایج بدست آمده، اکثر مناطق دشت از نظر پتانسیل آلودگی در طبقه زیاد تا خیلی زیاد قرار دارند. اگر چه پارامترهای محیط خاک و عمق تا سطح آب زیرزمینی تأثیر زیادی بر شاخص دراستیک دارند، لیکن پارامتر اختلاف تراز آب زیرزمینی و آب دریا و همچنین فاصله از دریا بیش از این دو پارامتر بر شاخص دراستیک تأثیر می‌گذارد. در مرکز دشت مناطقی با پتانسیل آلودگی متوسط وجود دارد که دلیل آن ترکیب دو فاکتور، زیاد بودن فاصله تا سطح ایستابی و زیاد بودن فاصله از دریا می‌باشد.

جدول (۳) خلاصه نتایج مدل دراستیک و دراستیک اصلاح شده را نشان می‌دهد. در این جدول درصد مساحتی از جزیره که در طبقه‌بندی‌های آسیب‌پذیری مختلف قرار گرفته‌اند برای هر دو مدل ذکر شده است. مقادیر آسیب‌پذیری خیلی زیاد در مدل اصلاح شده دراستیک بیشتر از مدل دراستیک است. این مقدار برای آسیب‌پذیری زیاد با تقریب برابر است. به عبارتی می‌توان گفت که مدل دراستیک اصلاح شده نسبت به مدل دراستیک مناطق بیشتری از جزیره را آسیب‌پذیرتر معرفی می‌کند. بخش‌های غربی جزیره در مدل دراستیک اصلاح شده نسبت به مدل دراستیک آسیب‌پذیرتر تشخیص داده شده‌اند.

مناطق مرکزی فاصله بیشتری داشته و با رنگ روشن‌تر نمایش داده شده است.

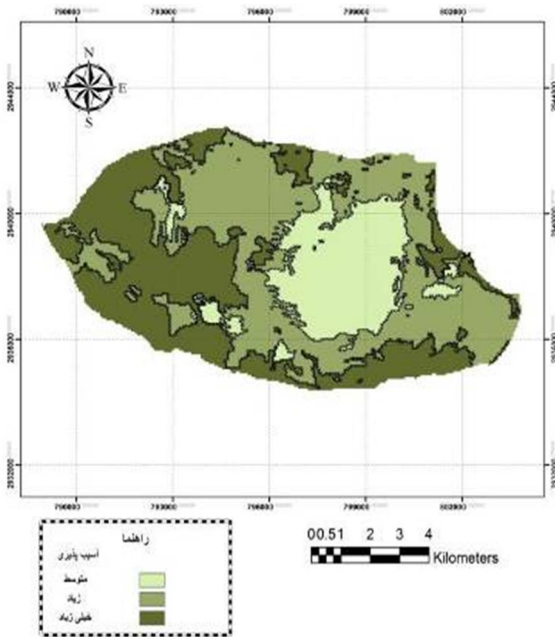


شکل ۱۲. نقشه پهنه بندی فاصله آب زیرزمینی تا دریا

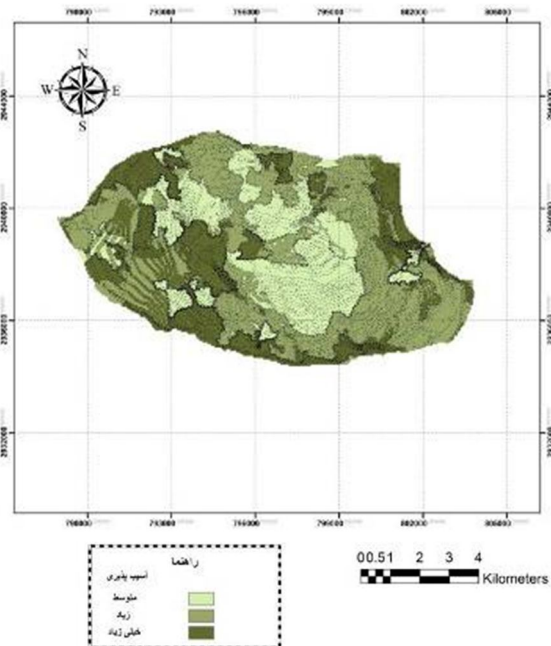
۲- مدل دراستیک و دراستیک اصلاح شده

ابتدا نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی جزیره کیش با استفاده از هفت پارامتر مدل دراستیک در محیط GIS تهیه شد. بر اساس آن، شاخص دراستیک در این جزیره بین ۹۲ تا ۱۸۶ متغیر است. آب‌های زیرزمینی اطراف جزیره به ویژه بخش‌های حاشیه جنوبی، غربی و شمال شرقی آن، بیشترین پتانسیل آلودگی را دارند و در دسته آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. قسمت‌های مرکزی جزیره کمترین پتانسیل آلودگی را دارند که در طبقه متوسط دسته‌بندی می‌شود. سایر بخش‌های جزیره در طبقه‌بندی پتانسیل آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳).

نقشه آسیب‌پذیری پس از اجرای مدل دراستیک اصلاح شده در محیط نرم افزار GIS با استفاده از نه لایه تهیه شده محاسبه شد. نتایج بدست آمده در شکل ۱۴ نشان داده شده است. شاخص دراستیک اصلاح شده در جزیره کیش بین ۱۳۰ تا ۲۴۳ متغیر است. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان ساحلی جزیره کیش نشان می‌دهد که



شکل ۱۴. نقشه آسیب پذیری جزیره کیش با استفاده از مدل دراستیک اصلاح شده (۹ پارامتر)



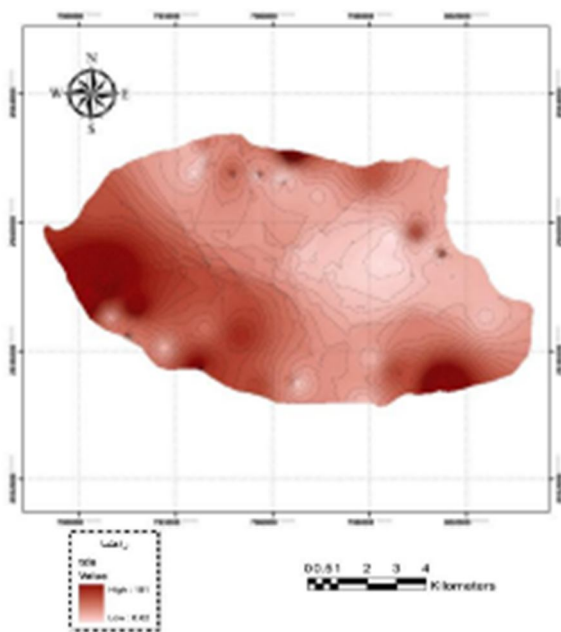
شکل ۱۳. نقشه آسیب پذیری جزیره کیش با استفاده از مدل دراستیک

جدول ۳. آسیب پذیری آب زیرزمینی جزیره با مدل دراستیک (*DRASTIC*) و دراستیک اصلاح شده (*M DRASTIC*)

طبقه آسیب پذیری		خیلی زیاد	زیاد	متوسط
مساحت	DRASTIC	۲۶/۲	۵۰/۲	۲۳/۶
(درصد)	M DRASTIC	۳۴/۱	۴۸/۱	۱۷/۸
مناطق	DRASTIC	حاشیه‌های جنوبی، شمال غربی و شمال شرقی	شمال، شرق و بخش‌های از غرب جزیره	قسمت‌های مرکزی
	M DRASTIC	جنوبی، غربی و شمال غربی و جنوب غربی	شمال، جنوب شرق و بخشی از مرکز جزیره	قسمت‌های مرکزی
مساحت	DRASTIC	۲۳/۷	۴۵/۴	۲۱/۳۵
(KM ²)	M DRASTIC	۳۰/۸	۴۳/۵	۱۶/۱

کیش استفاده شد (Pacheco and Sanches, 2013) برای این منظور نقشه هم (EC) و هم (TDS) منطقه در محیط نرم افزاری Arc GIS 9.3 و با استفاده از داده‌های ثبت شده در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲ که توسط سازمان منطقه آزاد کیش و همچنین طی بازدیدهای میدانی و نمونه برداری چاه‌ها جمع‌آوری شده بود تهیه شد (شکل ۱۳ و

۳- صحت سنجی مدل‌ها از آنجایی که مدل دراستیک و دراستیک اصلاح شده، مدل‌های تجربی هستند، باید صحت‌سنجی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای صورت پذیرد. به همین دلیل از پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS) برای ارزیابی نقشه آسیب‌پذیری آبخوان

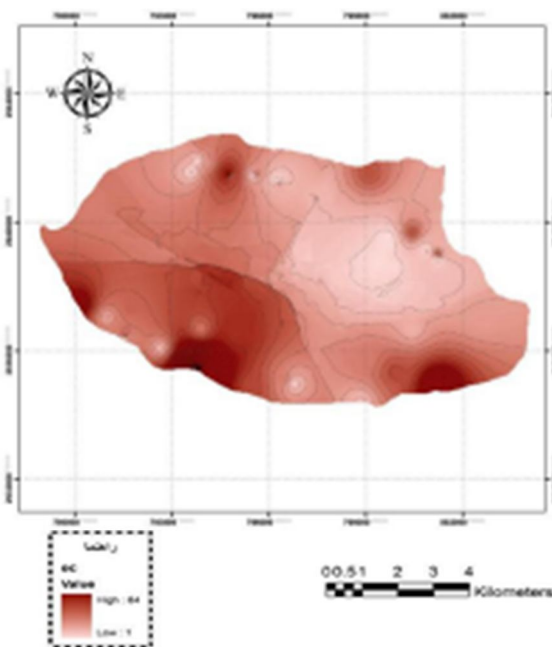


شکل ۱۵. نقشه پهنه بندی پارامتر کل جامدات محلول (میانگین اعداد سالهای ۱۳۸۹-۱۳۹۲)

جمع بندی

در این تحقیق از بین نگرش‌های مختلف بررسی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی، نگرش شاخص همپوشانی انتخاب شد. همچنین از بین شاخص‌های مختلف در این نگرش، شاخص دراستیک برای بررسی و تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی جزیره کیش در محیط نرم‌افزاری (GIS) استفاده شد. نتایج ارزیابی Bocanegra و همکاران (۲۰۰۰) در آبخوان ساحلی ماردل پلاتا واقع در پرتغال پس از اصلاح مدل دراستیک نشان داد که منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل آلودگی در دو دسته زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی جزیره کیش با استفاده از مدل دراستیک نشان داد که شاخص پتانسیل آسیب‌پذیری در این جزیره ۱۳۰ تا ۲۴۳ متغیر است. بر اساس طبقه‌بندی Aller و همکاران (۱۹۸۷) این نقشه نیز به سه دسته متوسط، زیاد و خیلی زیاد از نظر پتانسیل آسیب‌پذیری طبقه‌بندی شد. بدین ترتیب که ۳۴/۱ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۴۸/۱٪

۱۴). برای مقایسه عددی این مدل‌ها ابتدا در محیط GIS لایه مدل دراستیک بی‌بعد از لایه هدایت الکتریکی بی‌بعد کم و نقشه رستری آن رسم شد. میانگین این نقشه رستری همان معیار میزان عدم تطابق مدل می‌باشد. این میانگین اختلاف برای مدل دراستیک اصلاح شده و هدایت الکتریکی بی‌بعد نیز محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل دراستیک اصلاح شده مطابقت بیشتری با پراکنش شوری مشاهده شده در آب زیرزمینی دارد. میانگین اختلاف‌ها برای نقشه مدل دراستیک برابر ۱۷/۴۱ و برای مدل دراستیک اصلاح شد ۰/۶۹ هستند که حاکی از مطابقت بیشتر مدل اصلاح شده با نقشه‌های هدایت الکتریکی می‌باشد. به همین ترتیب میانگین اختلاف‌ها با نقشه کل جامدات محلول بی‌بعد برای مدل دراستیک و دراستیک اصلاح شده به ترتیب برابرند با ۱۰/۲۴ و ۰/۵۵ که دوباره نشان دهنده دقت بیشتر مدل دراستیک اصلاح شده در برآورد پتانسیل آسیب‌پذیری می‌باشد.



شکل ۱۴. نقشه پهنه بندی پارامتر هدایت الکتریکی (میانگین اعداد سالهای ۱۳۸۹-۱۳۹۲)

- Hamadan–Bahar plain. *Environmental Earth Science*, DOI: 10.1007/s12665-010-0790-1.
- Al-Adamat, R., A., N., Foster, I., D., L. and Baban, S.M.J. 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS. *Remote sensing and DRASTIC Applied Geography*, 23:303–324.
- Albinet, M. and Margat, J. 1970. Mapping of groundwater vulnerability to contamination. 2nd series. Orleans. France. *Bull, BRAM*. 3(4):13–22.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., H., Petty, R.J. and Hackett, G., 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. US Environmental Protection Agency Rep EPA/6002-87/035.
- Bocanegra, E.M., Massone, H.E. and Bermasconi, M.V. 2000. Methodological Approach for the Assessment of the Vulnerability of the Coastal Aquifers.
- Boughriba, M., Barkaoui, A., Zarhloule, Y., Lahmer, Z., El Houadi, B. and Verdoya, M. 2010. Groundwater vulnerability and risk mapping of the Angad transboundary aquifer using DRASTIC index method in GIS environment. *Arabian Journal of Geosciences*, 3:207–220.
- Evans, B., M. and Myers, W.L. 1990. A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. *Journal of soil and water conservation*, 242-245.
- Javadi S., Kavehkar N., Mousavizadeh M. H., and Mohammadi K., 2011, Modification of DRASTIC Model to Map Groundwater Vulnerability to Pollution Using Nitrate Measurements in Agricultural Areas, *Journal of Agriculture Science Technology* 13:239-249.
- Nobre, R.C.M., Rotunno, F.O.C., Mansur, W.J., Nobre, M.M.M. and Cosenza, C.A.N. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS. Modeling and a fuzzy logic tool. *Journal of Contaminant Hydrology*, 94:277–292.
- Pacheco F.A.L. and Sanches L.F., 2013, The multivariate statistical structure of DRASTIC model, *Journal of Hydrology*, 476:442-459.
- دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد، ۱۷/۸ درصد دارای پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد. نتایج نشان داد که قسمت‌های جنوبی، غربی و شمال غربی جزیره دارای پتانسیل آلودگی بالایی هستند و با پیشروی به سمت مرکز جزیره پتانسیل آلودگی کم می‌شود. در قسمتی از شرق جزیره پتانسیل آلودگی دوباره افزایش می‌یابد. این تغییرات ممکن است بطور عمده به دلیل تداخل آب شور دریا با منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه باشد.

فهرست منابع

- عطایی آشتیانی، ب. ۱۳۸۹. مطالعه بهره‌برداری مناسب و بهینه از منابع آب زیرزمینی جزیره کیش: تحلیل و بررسی اطلاعات جزیره کیش. دانشگاه صنعتی شریف، ۱۱۷ صفحه.
- غفوری و، ملک پور ن. و مردانی ا.، ۱۳۹۰، ارزیابی زمین آماری کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس، حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۲): ۸۱–۹۴.
- محمودی، ج، زارعیان، ف، جوادی، م. ر. و خرسندی ن. ۱۳۹۱. مقایسه کارایی چند روش زمین آماری برای تخمین برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک، حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۴): ۶۷–۷۶.
- Afonso M.J., Pires A., Helder, I. and Chamine Marques J.M. 2008. Aquifer vulnerability assessment of urban areas using a GIS-based cartography: paranhos groundwater pilot site, Porto, NW Portugal.
- Akhavan, S., Mousavi, F., Abedi-Koupai, J. and Abbaspour, K., 2010. Conditioning DRASTIC model to simulate nitrate pollution case Study:



Modifying DRASTIC model to determine groundwater vulnerability in a coastal region

Niloofer Khoshdooz-Masooleh¹, Hossein Babazadeh^{2*}, Seyyed-Hassan Tabatabaei³ and Mehdi Naderi⁴

- 1) M.Sc. Graduated, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*) Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Corresponding author email: h_babazadeh@srbiau.ac.ir
3) Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4) Assistant Professor, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 28-09-2013

Accepted: 18-12-2013

Abstract

Coastal aquifers have a high potential for contamination by seawater intrusion. Thus, the vulnerability of groundwater resources can be very effective in identifying vulnerabilities and sensitive groundwater aquifers. This study was conducted to evaluate Kish island aquifer vulnerability. The DRASTIC model was employed and modified based on the coastal aquifer conditions. Two additional parameters were included to the model which describes the balance between seawater and aquifer water level. The vulnerability maps were produced by DRASTIC and M-DRASTIC models. The comparison of these maps was performed using EC and TDS as the main indicators. The required data were collected from the existing reports as well as some extra direct water sample measurements. The overlaying of the vulnerability map was obtained by the DRASTIC method. Comparison of M-DRASTIC with EC and TDS maps showed that the mean differences for DRASTIC map with EC map is 17.41 and 10.24, respectively and for M-DRASTIC is 0.69 and 0.55, respectively. This indicates that the M-DRASTIC model is more adapted to coastal zones. The vulnerability index in DRASTIC method is generally lower than M-DRASTIC range. Based on the M-DRASTIC vulnerability analysis, it was found that 17.8, 48.1 and 34.1 percents of Kish island area is under average, high and very high risk of groundwater contamination, respectively.

Keywords: coastal aquifers; electrical conductivity (EC); modified DRASTIC model