

پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان شهرکرد به کمک مدل دراستیک (DRASTIC) و صحت‌سنجی آن با استفاده از تغییرات فصلی غلظت آلاینده‌های نیترات و فسفات

الهام فتحی هفشجانی^{۱*}، حبیب‌الله بیگی هرچگانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۱۰

چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری روشی برای شناسایی نواحی مستعد به آلودگی در آبخوان‌ها است. مدل دراستیک براساس هفت مولفه-ی: عمق تا سطح ایستایی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، محیط غیر اشباع (I)، و هدایت هیدرولیکی (C) طراحی شده است. هدف از این پژوهش، بررسی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان شهرکرد به کمک مدل دراستیک در محیط GIS و ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل دراستیک و بررسی اثر تغییرات فصلی غلظت نیترات و فسفات بر صحت پیش‌بینی مدل دراستیک می‌باشد. به منظور تعیین تأثیرپذیری لایه‌ها، به هریک از پارامترهای مورد استفاده نمره‌هایی داده شد و سپس نقشه‌های نهایی با هم جمع گردیدند. بر اساس نقشه نهایی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ۱۱/۵ درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی کم، ۷۹/۶ درصد دارای آسیب‌پذیری کم و ۸/۹ درصد دارای آسیب‌پذیری متوسط می‌باشند. مقایسه نقشه آسیب‌پذیری و نقشه‌های هم‌غلظت نیترات و فسفات در طی سه فصل بهار، تابستان و پاییز آب زیرزمینی نشان داد که نتایج صحت‌سنجی مدل دراستیک تا اندازه‌ای می‌تواند وابسته به زمان نمونه‌برداری آلاینده (نیترات یا فسفات) باشد. به طوری که همبستگی نیترات یا فسفات با نقشه‌ی دراستیک تفاوت معنی‌داری در طول سال نشان می‌دهند. در آب زیرزمینی شهرکرد بیشترین همبستگی در بهار و کمترین در انتهای تابستان رخ می‌دهد. بنابراین در صحت‌سنجی مدل دراستیک باید به زمان نمونه‌برداری توجه کرد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، آبخوان، دراستیک، نیترات، فسفات

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی

*- نویسنده مسئول: Fathie52@yahoo.com

مقدمه

آلوده شدن منابع آب زیرزمینی تهدیدی جدی در این مناطق بوده، و کاربری اراضی بایستی متناسب با توان و خطر آلوده شدن آبخوان‌ها تعریف گردد. در بعضی از موارد، فرایندهای طبیعی بطور جدی سبب آلودگی می‌شوند، اما بیشتر نگرانی‌های بشر در مورد آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی بر اثر فعالیت انسانی است.

امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون سیستم آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌نامند. آسیب‌پذیری ذاتی به مفهوم حساسیت آبخوان به عوامل طبیعی است در حالی که آسیب‌پذیری ویژه، آسیب‌پذیری ذاتی را همراه با احتمال قرار گرفتن آب‌های زیرزمینی در معرض نفوذ آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد. از جمله روش‌های تعیین آسیب‌پذیری مدل (DRASTICS) است. از این روش در ایران هم استفاده شده است. مثلاً: اکبرپور و همکاران، (۱۳۸۷) آسیب‌پذیری آبخوان دشت سرایان (واقع در شمال غرب استان خراسان جنوبی) در مقابل آلودگی را با کاربرد GIS و مدل دراستیک بدست آوردند. و آغاسی و همکاران، (۱۳۸۸) ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد استان تهران به کمک روش دراستیک در محیط GIS را انجام دادند. این مدل‌ها باید صحت‌سنجی شوند. صحت‌سنجی مدل درستی یا نادرستی تلفیق پارامترهای به کار رفته را تعیین می‌کند. در صحت‌سنجی اگر مدل بتواند نتایج اندازه‌گیری را به درستی شبیه‌سازی کند ترکیب پارامترهای به کار رفته درست می‌باشد. اگر مدل در دوره‌های زمانی دیگر نتواند حوادث و شرایط حاکم بر آبخوان را شبیه‌سازی کند فاقد اعتبار بوده و ترکیب پارامترهای به کار رفته درست نمی‌باشد. برای صحت‌سنجی مدل‌ها از پارامترهای شیمیایی مختلفی از جمله غلظت نیترات، فسفات و فلزات سنگین استفاده می‌شود. چیت سازان و صمدی، (۱۳۸۱). یون نیترات به دلیل حلالیت بالا در آب و شکل آنیونی آن، به سادگی می‌تواند توسط آب‌های فرورو به آبخوان‌ها منتقل شود. یون فسفات به خاطر جذب اختصاصی به ذرات خاک کمتر در معرض آبشویی قرار می‌گیرد ولی در مناطقی که بهره‌برداری از زمین شدید است، به دلیل استفاده از

کودهای دامی که حاوی فسفات محلول هستند، احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی به فسفات وجود دارد. همیلتون، (۱۹۹۵)

شهید (۲۰۰۰) ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بنگال غربی در هند به آلودگی‌های صنعتی-شهری و آفت‌کش‌ها با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS انجام دادند. نتایج نشان داد که ۵۰٪ منطقه دارای آسیب‌پذیری بالایی بوده و سایر مناطق در محدوده آسیب‌پذیری متوسط و پایین نسبت به آلوده‌کننده‌های صنعتی و شهری می‌باشند و از نظر آسیب‌پذیری به آفت‌کش‌ها بیش از ۸۵٪ از منطقه مورد مطالعه آسیب‌پذیری بالا و سایر مناطق آسیب‌پذیری پایینی را نشان دادند.

بابیکر و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از مدل دراستیک به تخمین آسیب‌پذیری آبخوان کاکامیگارا در بخش مرکزی ژاپن پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بخش غربی آبخوان کاکامیگارا در کلاس آسیب‌پذیری زیاد، بخش شرقی منطقه در کلاس آسیب‌پذیری متوسط و شمال شرقی منطقه در کلاس آسیب‌پذیری کم قرار می‌گیرد.

چیت سازان و اختری (۱۳۸۵) پتانسیل‌یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت زوبرچری را با استفاده از مدل دراستیک (DRASTIC) انجام دادند. جهت دست‌یابی به میزان تطابق بین نقشه آسیب‌پذیری و نقشه نیترات، ضریب همبستگی بین این دو لایه با استفاده از نرم افزار ArcGIS بدست آمد. همبستگی نسبتاً بالا ($r=0/57$) صحت نتایج مدل دراستیک را تایید می‌کرد.

پورشهیدی و همکاران، (۱۳۸۷) تعیین آسیب‌پذیری آبخوان دشت قزوین را با استفاده از روش دراستیک و صحت‌سنجی را با مولفه‌ی نیترات انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مدل دراستیک همبستگی بیشتری با میزان آلودگی در سطح آبخوان دارد و دلیل آن را به کارگیری مولفه‌های بیشتر در تعیین آسیب‌پذیری ذکر کردند. رحیمی و همکاران، (۱۳۸۶) به پهنه‌بندی استعداد آلودگی آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS پرداختند. جهت صحت

فسفات، و ارزیابی اثر زمان نمونه‌برداری نیترا و فسفات بر صحت پیش‌بینی مدل دراستیک در آبخوان شهرکرد می‌باشد لازم به ذکر است برای این منظور ابتدا مدل آسیب‌پذیری ویژه تهیه گردید.

مواد و روش‌ها

آبخوان مورد نظر در دشت شهرکرد واقع شده است. دشت شهرکرد با امتداد شمال غرب - جنوب شرق در بین $32^{\circ}07'$ تا $35^{\circ}32'$ عرض شمالی و $38^{\circ}50'$ تا $51^{\circ}10'$ طول شرقی قرار دارد. بزرگترین آبادی این دشت، شهرکرد با ارتفاع حدود ۲۰۶۰ متر از سطح دریا در بخش شمال دشت قرار دارد. سطح حوزه‌ی آبریز این دشت بالغ بر $1135/6$ کیلومتر مربع است. لاله زاری و همکاران، (۱۳۸۸)

زمین‌شناسی آبخوان

از نظر زمین‌ساختی این منطقه بخشی از پهنه زمین‌ساختی سنندج - سیرجان بوده و عمدتاً در نقشه چهارگوش زمین‌شناسی شهرکرد به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، زاهدی، (۱۳۷۴) و نقشه زمین‌شناسی ریز و لنجان به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ واقع شده است. از نظر ژئومورفولوژیکی دشت شهرکرد یکی از دشتهای فشاری میانکوهی (میانکوهستانی) بوده که با روند تقریبی شمال غرب - جنوب شرق به موازات روند اصلی رشته‌کوه‌های شمال شرقی و جنوب غربی که دشت را احاطه کرده‌اند، گسترش یافته است. این روند کلی رشته‌کوه‌های زاگرس می‌باشد. دشت شهرکرد توسط رسوبات آبرفتی جوان و قدیمی دوره کواترنری پوشانده شده است. از نظر سنگ‌شناسی بیشترین گسترش متعلق به واحدهای سنگی متعلق به سن کرتاسه می‌باشد. رشته‌کوه‌های شمالی و شمال شرقی بر طبق نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد، زاهدی، (۱۳۷۴) شامل سنگ‌های آهکی اربیتولین‌دار، آهک خاکستری نازک لایه رسی و آهک نازک لایه مارنی می‌باشد. علاوه بر واحدهای کرتاسه به میزان کمتری واحدهای سنگی ائوسن نیز مشاهده می‌شوند، که شامل کنگلومرا، آهک نومولیتی و آهک کنگلومرایبی بوده و به ویژه در شمال شرق دشت رخمون دارند. واحدهای سنگی که در غرب و جنوب غرب دشت گسترش دارند، شامل آهک مرجانی، آهک

سنجی نقشه فوق از یون نیترا استفاده شد. با انطباق نقاط غلظت نیترا بر روی نقشه شاخص دراستیک، مشخص گردید که هیچ یک از نقاطی که دارای نیترا بالا هستند در محدوده با استعداد آلودگی کم قرار نگرفته است که این می‌تواند دقت و صحت مدل را مورد تأیید قرار دهد.

یارمحمدی، (۱۳۸۵) به ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان‌های دشت‌های عقیلی با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS پرداخت. ضریب هم‌بستگی بین نقشه‌های هم‌غلظت نیترا و نقشه نهایی مدل دراستیک ۰/۵۴ بود. نتایج صحت سنجی حکایت از عملکرد خوب روش دراستیک در تعیین نقاط آسیب‌پذیر در این دشت دارد. میرزایی، (۱۳۸۸) ارزیابی آسیب‌پذیری و نقشه پتانسیل آلودگی آبخوان دشت شهرکرد را با استفاده از مدل دراستیک انجام داد. در صحت‌سنجی مدل دراستیک ضریب هم‌بستگی بین لایه هم‌غلظت نیترا و فسفات با لایه آسیب‌پذیری دراستیک به ترتیب در حدود ۰/۴۳ و ۰/۲۳ بدست آمد. غلظت نیترا و فسفات ۹۶ حلقه چاه در فصل تابستان مشخص کرد مدل دراستیک مناطق آسیب‌پذیر را به خوبی مشخص می‌کند.

در پژوهش‌های گفته شده جهت بررسی صحت سنجی مدل دراستیک از یون نیترا استفاده شده است، در برخی مقالات جهت بررسی صحت سنجی از سایر یون‌ها هم استفاده شده است. به عنوان مثال در تحقیق اصغری مقدم و همکاران (۱۳۸۸) از یون فلوراید جهت صحت‌سنجی مدل دراستیک استفاده شده است. اصغری مقدم و همکاران، (۱۳۸۸) با استفاده از مدل دراستیک به ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت‌های بازرگان و پلدشت واقع در شمال غرب ایران و شمال استان آذربایجان غربی پرداختند. با انطباق غلظت فلوراید بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای فلوراید بالا هستند، در محدوده با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند که این می‌تواند دقت و صحت مدل را مورد تأیید قرار دهد. تاکنون اثر تغییرات فصلی غلظت‌های فسفات بر صحت مدل دراستیک بررسی نشده باشد. هدف از این پژوهش، بررسی صحت مدل دراستیک برای آبخوان شهرکرد با استفاده از نیترا و

معرفی مدل دراستیک (DRASTIC)

مدل DRASTIC توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۱ ارائه شده است. واژه DRASTIC از ابتدای نام هفت مولفه‌ی به کار رفته در این مدل تشکیل شده است که عبارتند از: عمق تا سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، محیط غیراشباع (I)، و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C). مدل دراستیک به ویژه برای استفاده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مناسب است، ناولار و انگل، (۱۹۹۸). به هر مولفه‌ی مدل، یک وزن نسبی بین ۱ تا ۵ اختصاص داده شده است (جدول ۱). همچنین هر کدام از مولفه‌ها به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند که اثر بخشی آنها بر روی پتانسیل آلودگی متفاوت است. به هر یک از این بازه‌ها رتبه‌ای بین ۱ تا ۱۰ تعلق می‌گیرد (جدول ۱). نتیجه مدل DRASTIC یک شاخص عددی است که از رتبه‌ها و وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل طبق معادله‌ی (۱) مشتق می‌شود:

$$DI = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (1)$$

که در آن DI: نمایه‌ی دراستیک و اندیس‌های W و R به ترتیب وزن و رتبه هر مولفه می‌باشند.

بعد از محاسبه شاخص عددی DRASTIC، نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. هر چه این شاخص بزرگتر باشد، نشان‌دهنده این است که آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بیشتر است، ناصری و همکاران، (۱۳۸۵).

مولفه‌های مدل دراستیک

عمق تا سطح ایستابی: آلاینده جهت رسیدن به آب زیرزمینی فاصله‌ای را طی می‌کند که این فاصله اصطلاحاً عمق تا سطح ایستابی گفته می‌شود، مهندسین مشاور مهتاب قدس، (۱۳۷۹). برای تهیه لایه عمق از داده‌های چاه‌های مشاهداتی، مطالعات ژئوفیزیک و چاه‌های اکتشافی دشت شهرکرد استفاده شد. در جدول (۱) نحوه‌ی بازه‌بندی و نرخ‌گذاری مولفه عمق تا سطح ایستابی (D) برای آبخوان شهرکرد داده شده است.

ماسه‌ای، ماسه سنگ، شیل، آهک رسی، آهک خاکستری نازک لایه و آهک مارنی می‌باشد. همچنین در جنوب دشت و در خروجی آن واحدهای سنگی پلیوسن شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و گریستون (ماسه سنگ سیلیسی) گسترش دارند. شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهند که در زیر رسوبات آبرفتی که دشت را پوشانده‌اند، واحدهای سنگی کرتاسه گسترش دارند.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری نیترا و فسفات

از ۱۰۰ حلقه چاه در منطقه، چهار بار در تیر، شهریور و آبان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰ نمونه‌برداری شده است. موقعیت جغرافیایی چاه‌ها با GPS ثبت گردید. نمونه‌های آب در بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری پلی‌اتیلنی که قبلاً اسیدشوئی و با آب مقطر شسته شده بودند، جمع‌آوری شد. برای جلوگیری از فعالیت‌های بیولوژیکی به هر بطری چند قطره تولوئن اضافه شد. بطری‌ها در زیر یخ داخل یخدان نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای جداسازی غلظت فسفات ذره‌ای و حل شده، نمونه‌ها از صافی $0.45 \mu m$ عبور داده شدند. غلظت یون نیترا و فسفات سریعاً با دستگاه اسپکتروفتومتر UV مدل DR/2010 اندازه‌گیری شد. APHA, (1998)

تهیه نقشه‌های هم‌غلظت نیترا و فسفات

جهت تهیه نقشه‌های هم‌غلظت نیترا و فسفات در طی چهار نوبت نمونه‌برداری ابتدا، در محیط نرم افزاری variovin 2.21، پن‌ناتیر، (۱۹۹۸) مدل‌های تئوری واریوگرام به مشاهدات نیترا و فسفات برازش داده شد. مدل گوسی و کروی به عنوان بهترین مدل برای آلاینده‌های نیترا و فسفات در طی چهار نوبت نمونه‌برداری انتخاب گردید، همچنین مشخصه‌های واریوگرام مشتمل بردامنه تأثیر، سقف و اثر قطعه‌ای توسط این نرم افزار به دست آمد. مقادیر کم خطا حاکی از دقت قابل قبول مدل‌های واریوگرام در تخمین و تناسب روش کریجینگ معمولی برای تخمین و پهنه‌بندی نیترا و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد است. سپس با به دست آوردن این اطلاعات در نرم افزار Arc GIS 9.3 نقشه‌های هم‌غلظت نیترا و فسفات طی چهار نوبت تهیه شد. جزئیات محاسبات در این مقاله داده نشده و فقط نقشه‌ها آورده شده است.

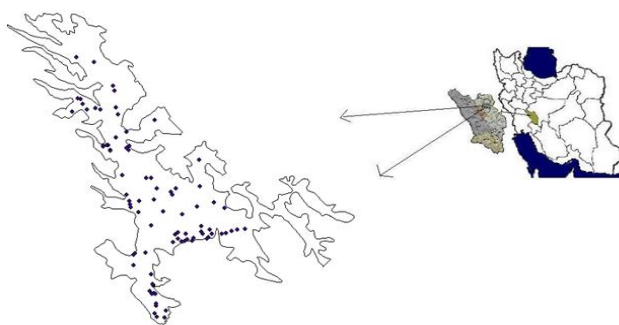
¹ - U.S.Environmental Protection Agency

تغذیه خالص از روش پیسکوپو استفاده شد. در این روش تغذیه خالص براساس میزان بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک محاسبه می شود، پیسکوپو، (۲۰۰۱).

تغذیه خالص: مقدار آبی که با نفوذ سطحی به خاک موجب انتقال آلودگی به آبخوان می شود، تغذیه خالص نام دارد. هرچه مقدار تغذیه بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی زیادتر می گردد. برای تهیه نقشه

جدول ۱ - رتبه‌دهی و وزن‌دهی در روش DRASTIC برای برخی مولفه‌ها فقط رتبه‌های موجود و یا رتبه‌ی مربوط به آبخوان شهرکرد داده شده است، آلر و همکاران، (۱۹۸۷).

رتبه بندی		رتبه بندی	
وزن: ۴	تغذیه خالص (میلی متر در سال)	وزن: ۵	عمق تا سطح ایستابی (متر)
۱	۱۱-۱۳	۱۰	۰-۲
۳	۹-۱۱	۹	۲-۳
۶	۷-۹	۷	۳-۹
۸	۵-۷	۵	۹-۱۵
۹	۱-۳	۳	۱۵-۲۳
		۲	۳۰-۳۳
محیط خاک		محیط آبخوان	
وزن: ۲	محیط خاک	وزن: ۳	محیط آبخوان
۴	لوم سیلتی	۸	ماسه و گراول
۳	لوم سیلتی رسی	۶	ماسه با مقداری رس یا سیلت
۲	لوم-رسی	۴	رس و سیلت با گراول و ماسه
۱	رسی-سیلت	۲	رس و سیلت
محیط غیر اشباع		توپوگرافی (شیب %)	
وزن: ۵	محیط غیر اشباع	وزن: ۱	توپوگرافی (شیب %)
۸	ماسه و گراول	۱۰	<۲
۶	ماسه با مقداری رس یا سیلت	۹	۲-۶
۴	رس و سیلت با گراول و ماسه	۵	۶-۱۲
۲	رس و سیلت	۳	۱۲-۱۸
۱	ماسه و گراول	۱	۱۸<
		هدایت هیدرولیکی (متربروز)	
		وزن: ۳	هدایت هیدرولیکی (متربروز)
		۱	۰-۴
		۲	۴-۱۲
		۴	۱۲-۲۸
		۶	۲۸-۴۰



شکل ۱- نقشه موقعیت دشت شهرکرد (سمت راست) موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده با علامت (●) نشان داده شده است (سمت چپ)

صحت‌سنجی مدل DRASTIC

در مرحله‌ی بعد به منظور صحت‌سنجی و تطابق نتایج حاصل از آنالیز یون نیترات و فسفات چاه‌های منطقه در طی دوره مورد مطالعه با مدل دراستیک، میزان همبستگی بین لایه‌ی آسیب‌پذیری و نقشه‌های هم‌غلظت نیترات و فسفات در طی سه فصل بهار، تابستان و پاییز محاسبه شد، و میزان ضرایب همبستگی به دست آمده در طی سه فصل با هم مقایسه شدند. سپس نقاط نمونه‌برداری در طی چهار نوبت نمونه‌برداری بر روی لایه دراستیک انداخته شد و چاه‌هایی که در کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم تا متوسط قرار می‌گرفتند را جدا کرده و خلاصه آماری آن‌ها محاسبه گردید.

نتایج و بحث

(۱) **عمق تاسطح ایستابی (D):** نقشه نرخ‌بندی عمق تا سطح ایستابی در دشت شهرکرد براساس مدل دراستیک در شکل (۳) نشان داده شده است. فاصله عمق تا سطح ایستابی در دشت شهرکرد بین ۶۰ متر در بخش‌های جنوب‌شرقی تا کمتر از ۲ متر در نواحی خروجی دشت متغیر است. با حرکت از مرکز و شمال غربی دشت به سمت جنوب، عمق آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. عمق کم سطح ایستابی در قسمت‌های جنوب دشت باعث کوتاه شدن مسیر جریان می‌شود. در نتیجه احتمال رسیدن آلاینده‌ها به درون آبخوان افزایش می‌یابد. بالاترین رتبه (۱۰) به این بخش‌ها اختصاص داده شد. برعکس بیشترین عمق ایستابی در قسمت شمال غربی و جنوب‌شرقی دشت قرار دارد. عمق بیشتر در این قسمت‌ها، باعث حساسیت کمتر آبخوان نسبت به آلاینده می‌شود. به همین جهت به این قسمت‌ها نمراتی بین ۱ تا ۲ اختصاص داده شد.

(۲) **تغذیه‌ی خالص (R):** نقشه‌ی تغذیه‌ی خالص در دشت شهرکرد که براساس روش پیسکوویو، (۲۰۰۱) رسم شده (شکل ۳). در مجموع میزان تغذیه از حواشی دشت به سمت مرکز و جنوب دشت افزایش می‌یابد. حداکثر رتبه‌ای که طبق جدول مدل دراستیک برای عامل تغذیه به دست آمد برابر ۸ (در قسمت جنوب‌شرقی دشت) و حداقل آن برابر ۱ (در ارتفاعات و حاشیه دشت) بود. به قسمت اعظم دشت رتبه‌ی ۳ تعلق گرفت.

محیط آبخوان: این مولفه به جنس رسوبات یا سازند در قسمت اشباع آبخوان اشاره می‌کند. محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده‌ی آن، طول و چگونگی روند سیر در سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. اطلاعات مربوط به بخش اشباع از چاه‌های اکتشافی و مطالعات ژئوفیزیک و چاه‌های مشاهداتی دشت شهرکرد به دست آمد، مهندسین مشاور تهران پادیر، (۱۳۷۹).

محیط خاک: محیط خاک تاثیر مهمی در چگونگی نفوذ آب، تغذیه و حرکت آلاینده دارد. مواد ریز بافت مانند سیلت و رس، نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد و شن نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد. برای تهیه لایه محیط خاک از نقشه خاک منطقه با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ که توسط مرکز تحقیقات آب و خاک، گزارش نیمه تفصیلی خاکشناسی دشت شهرکرد، (۱۳۶۲) تهیه شده بود، استفاده شد.

توپوگرافی: شیب زیاد یک نقطه باعث کاهش فرصت نفوذ آب به خاک در آن نقطه می‌شود. شیب کم یا مسطح بودن باعث نفوذ هر چه بیشتر آب به خاک می‌شود. در حالت اول پتانسیل آلودگی کم و در حالت دوم پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. برای تهیه لایه توپوگرافی از نقشه‌های DGN منطقه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ استفاده شد.

اثر محیط غیراشباع (ناحیه‌ی وادوز): ناحیه‌ی وادوز حد فاصل سطح ایستابی تا زیر سطح خاک است. این ناحیه غیر اشباع بوده و یا به طور ناپیوسته اشباع می‌باشد. جنس رسوبات این ناحیه تعیین کننده سرعت عبور آب و جذب آلاینده است. اطلاعات مربوط به بخش غیر اشباع در دشت شهرکرد از لوگ چاه‌های اکتشافی و مطالعات ژئوفیزیک و چاه‌های مشاهداتی، مهندسین مشاور تهران پادیر، (۱۳۷۹)، منطقه به دست آمد.

هدایت هیدرولیکی: سرعت حرکت و انتشار آلاینده در آبخوان توسط هدایت هیدرولیکی کنترل می‌شود. هرچه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد، سرعت انتشار آلاینده بیشتر خواهد بود، آدامت و فوستر، (۲۰۰۳). برای تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی از نتایج آزمون پمپاژ دشت شهرکرد استفاده شد.

هستند. در قسمت‌های جنوب‌غربی جنس رسوبات بخش غیراشباع ریزتر و رتبه اختصاص یافته به این قسمت‌ها ۲ است. میزان رس بالا در این بخش موجب تشدید فرآیند جذب شده و در نتیجه کاهش خطر آسیب‌پذیری می‌شود. در قسمت عمده‌ی دشت به خصوص بخش‌های مرکزی جنس رسوبات بخش غیراشباع متوسط و رتبه‌ی اختصاص یافته به آنها ۴ است.

(۷) هدایت هیدرولیکی (C): هدایت هیدرولیکی

در دشت شهرکرد بین یک تا دوازده متر در روز تغییر می‌کند با توجه نقشه نرخ‌گذاری شده هدایت هیدرولیکی (شکل ۳) قسمت‌های شمال و شمال غربی دشت از هدایت هیدرولیکی کمتری نسبت به جنوب و مرکز دشت برخوردارند. روند تغییرات هدایت هیدرولیکی طوری است که از شمال غربی به سمت جنوب‌شرقی در منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. هدایت هیدرولیکی بزرگ‌تر در این بخش‌ها باعث انتقال و انتشار سریع‌تر آلاینده‌ها به نقاط اطراف شده و در نتیجه حجم بیشتری از آب زیرزمینی آلوده شود.

آسیب‌پذیری آبخوان دشت شهرکرد بر اساس مدل DRASTIC

شاخص عددی DRASTIC در دشت شهرکرد بین ۵۹ تا ۱۳۵ قرار می‌گیرد. نقشه نهایی آسیب‌پذیری (شکل ۳) نشان می‌دهد که آبخوان شهرکرد به سه پهنه از لحاظ آسیب‌پذیری تقسیم می‌شود: درصد و مساحت این سه پهنه در جدول ۲ داده شده است.

(۳) محیط آبخوان (A): به‌دلیل تنوع

لیتولوژیکی سازندهای منطقه و سنگ‌کف و به طبع آن تفاوت در رسوبات ایجاد شده از این سازندها، رسوبات آبخوان نیز دارای تنوع زیادی هستند. نقشه نرخ‌بندی محیط آبخوان مورد استفاده در مدل دراستیک دشت شهرکرد در شکل (۳) نشان داده شده است.

(۴) محیط خاک (S): نقشه نرخ‌بندی محیط

خاک دشت شهرکرد براساس مدل دراستیک در شکل (۳) نشان داده شده است. لایه خاک وجود ۳ نوع دانه‌بندی را نشان می‌دهد. می‌توان گفت که از حواشی دشت به سمت محور مرکزی آن به درصد رس و سیلت افزوده شده و در نتیجه میزان نفوذپذیری خاک کاهش و در نتیجه پتانسیل انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد.

(۵) توپوگرافی (T): نقشه نرخ‌بندی توپوگرافی

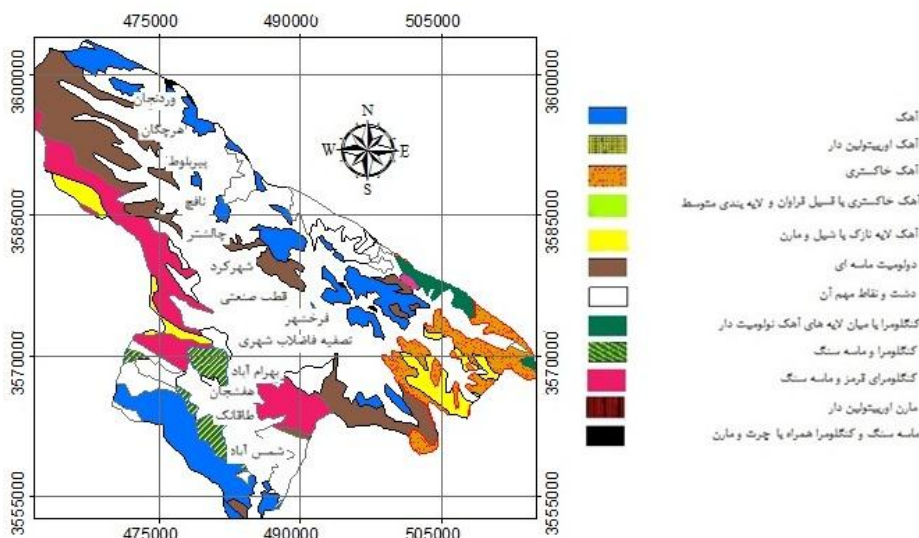
دشت شهرکرد براساس مدل دراستیک در شکل (۳) نشان داده شده است. قسمت اعظم دشت شهرکرد دارای شیب کمتر از ۲ درصد می‌باشد. شیب با پتانسیل آلودگی رابطه معکوس دارد. شیب‌های کم فرصت بیشتری را برای نفوذ آب آلوده فراهم می‌کنند. بالاترین نرخ (نمره ۱۰) به این شیب‌ها اختصاص داده شد.

(۶) اثر ناحیه‌ی وادوز/بخش غیراشباع (I): نقشه

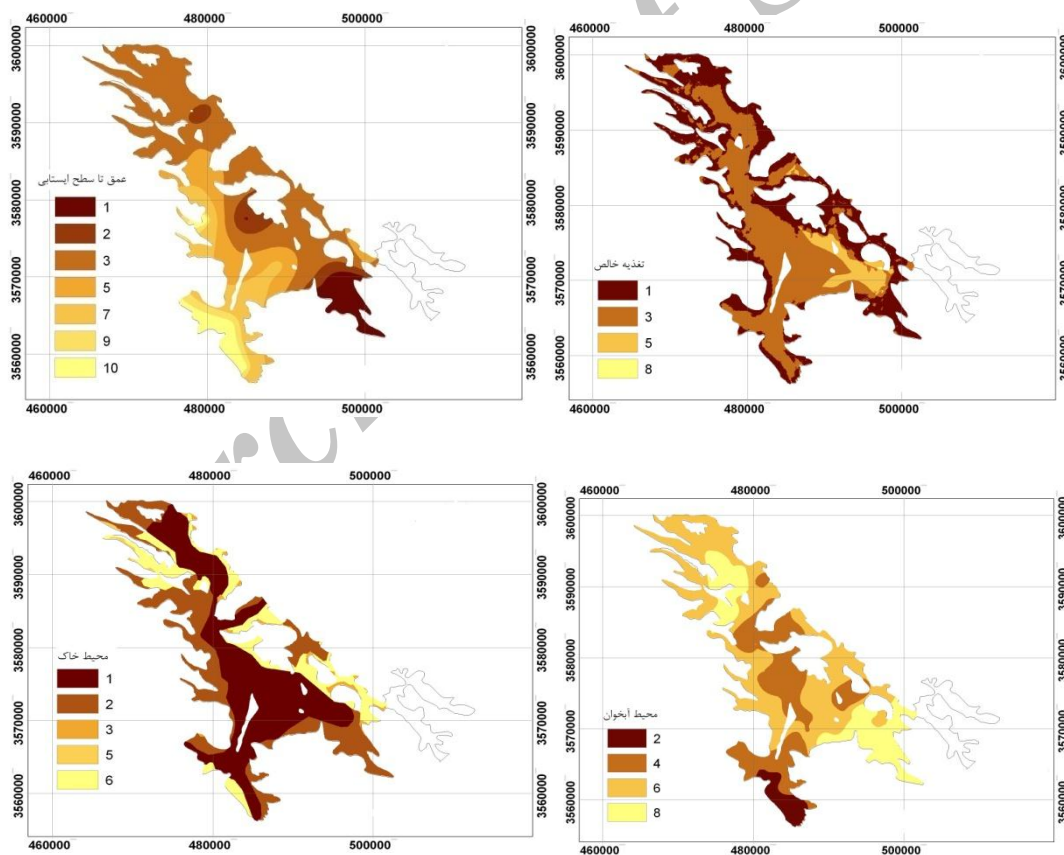
نرخ‌گذاری ناحیه‌ی وادوز مورد استفاده در مدل دراستیک دشت شهرکرد در شکل (۳) نشان داده شده است. قسمت‌های جنوب‌شرقی و شمالی دشت جنس رسوبات درشت‌تر و رتبه‌های اختصاص یافته بین ۶ تا ۸ متغیر

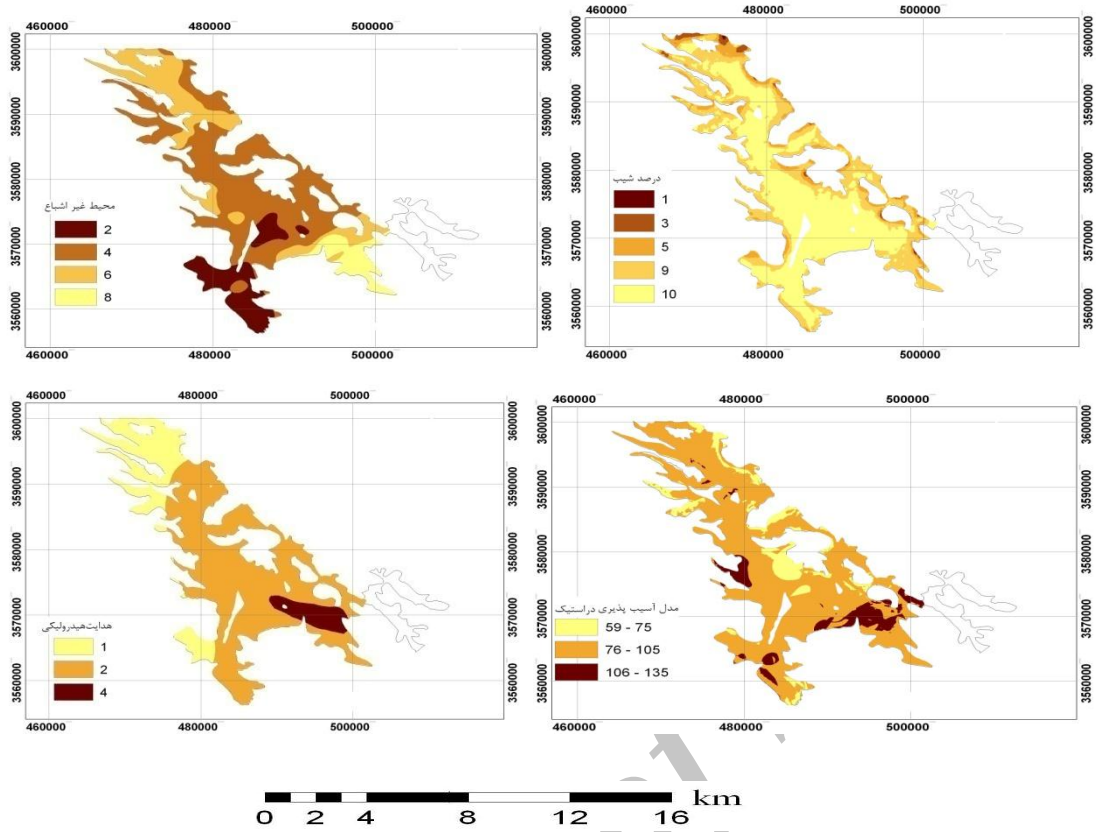
جدول ۲- درصد و مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری آبخوان شهرکرد بر اساس مدل دراستیک، میرزایی (۱۳۸۸)

پهنه	محدوده شاخص DRASTIC	مساحت (km ²)	درصد مساحت
آسیب‌پذیری خیلی کم	۵۹-۷۵	۴۹/۹۴	۱۱/۵
آسیب‌پذیری کم	۷۶-۱۰۵	۳۴۶/۴	۷۹/۶
آسیب‌پذیری متوسط	۱۰۶-۱۳۵	۳۸/۷۱	۸/۹
جمع		۴۳۵/۰۵	۱۰۰

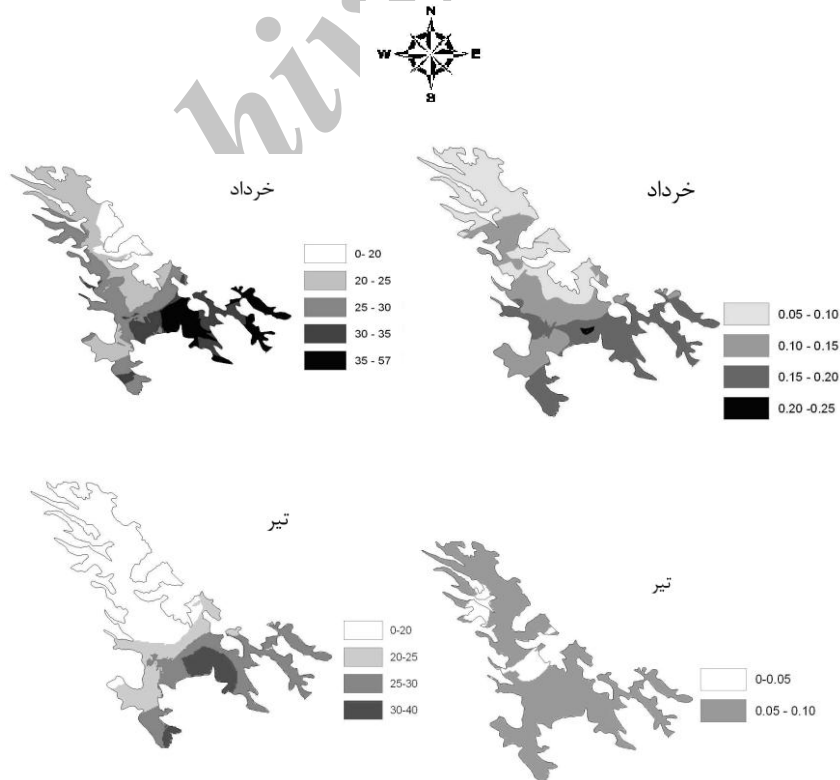


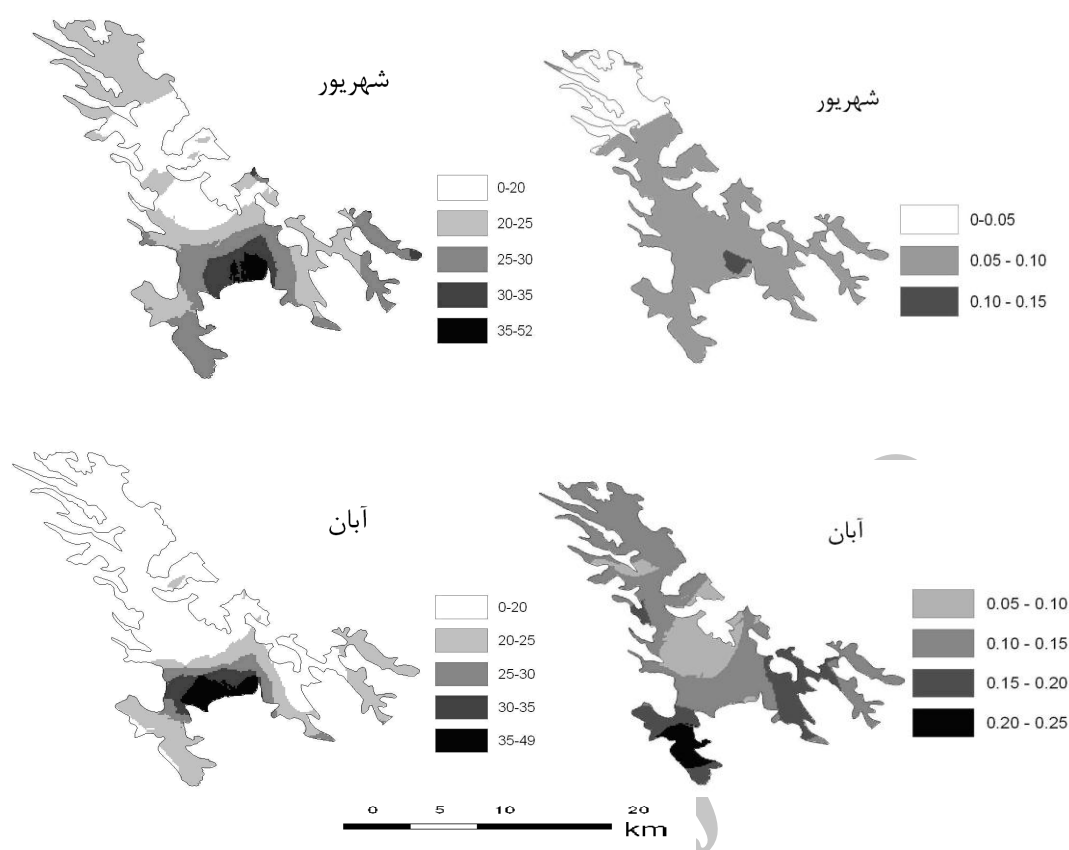
شکل ۲- نقشه‌ی زمین‌شناسی دشت شهرکرد و نقاط مهم دشت





شکل ۳- نقشه‌های مولفه‌های مدل دراستیک و نقشه آسیب پذیری دراستیک درآبخوان دشت شهرکرد. میرزایی، (۱۳۸۸)





شکل ۴ - نقشه‌های هم‌غلظت نیترات (سمت راست) و فسفات (سمت چپ).

مقایسه نقشه‌های نیترات و فسفات با نقشه‌ی دراستیک

با توجه به نقشه‌ی نهایی دراستیک (شکل ۳) بخش‌های آسیب‌پذیر در قسمت‌های جنوب، جنوب شرق، و بخش‌هایی از جنوب غربی واقع شده‌اند. نقشه‌های آلودگی نیترات و فسفات در طی چهار نوبت (شکل ۴)، نیز با نقشه‌ی نهایی دراستیک مطابقت داشته و در بخش‌های جنوبی بیشترین آلودگی را نشان می‌دهند. ضرایب همبستگی نقشه‌های هم‌غلظت نیترات و فسفات حل شده با نقشه‌ی نهایی دراستیک در جدول ۳ دیده می‌شود. طبق جدول ۳ بیشترین ضریب همبستگی مربوط به فصل بهار است. به طور کلی از ابتدای سال تقویمی تا انتهای سال از همبستگی نقشه‌های نیترات و فسفات با لایه دراستیک کاسته می‌شود. شاید از ابتدای بهار تا پاییز غلظت آلاینده‌ی فسفات در سفره‌ی آب زیرزمینی در بخش‌های دیگر دشت از جمله بخش شمالی

بر اساس مدل دراستیک، بخش عمده آبخوان شهرکرد (حدود ۸۰٪) در محدوده‌ی آسیب‌پذیری کم قرار گرفته است. بخش‌هایی در شمال دشت و قسمت‌های شرق دشت شهرکرد نیز دارای آسیب‌پذیری خیلی کم هستند. ریزدانه بودن محیط‌های اشباع، غیراشباع و محیط خاک، همچنین پایین بودن هدایت هیدرولیکی، و کمی تغذیه‌ی خالص احتمالاً از دلایل آسیب‌پذیری کم در این قسمت‌های آبخوان است. آبخوان شهرکرد بخش‌هایی با آسیب‌پذیری زیاد ندارد. بالاترین کلاس آسیب‌پذیری براساس مدل دراستیک مربوط به جنوب آبخوان دشت شهرکرد است که دارای آسیب‌پذیری متوسط می‌باشند (شکل ۳). دلیل آسیب‌پذیری بیشتر این بخش‌ها احتمالاً عمق کم سطح ایستابی، درشت دانه بودن رسوبات ناحیه‌ی اشباع و غیراشباع آبخوان و نیز نرخ تغذیه‌ی نسبتاً زیاد در این محدوده می‌باشد.

را ۰/۵۴ به دست آورد. چیت سازان و اختری، (۱۳۸۵) ضریب همبستگی بین نقشه آسیب‌پذیری و نقشه نیترات، را همبستگی نسبتا بالا ($r=0/57$) به دست آوردند. به نظر می‌رسد ضرایب همبستگی مدل دراستیک با نقشه‌های هم غلظت نیترات و فسفات نسبتا کم باشد. شاید حرکت نسبتا سریع آب زیرزمینی از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر دشت و انتشار سریع آلاینده‌های نیترات و فسفات سبب نوسانات ضرایب همبستگی و کاهش نسبی این ضرایب در طول سال باشد.

که مدل دراستیک این قسمت را کمتر آلوده نشان داده است، افزایش یابد که بنوبه خود باعث کاهش ضریب همبستگی در این دوره از سال شده است. مطابقت لایه دراستیک با نقشه‌های آلودگی نیترات و فسفات در بهار (به ترتیب $r=0/44$ و $r=0/48$) بیشتر از دو فصل دیگر است. میرزایی (۱۳۸۸) ضرایب همبستگی نقشه‌های هم غلظت نیترات و فسفات اندازه‌گیری شده در تابستان ۱۳۸۶ را با لایه دراستیک به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۲۳ به دست آورد. یارمحمدی، (۱۳۸۵) ضریب همبستگی بین نقشه‌های هم غلظت نیترات و نقشه نهایی مدل دراستیک

جدول ۳- ضرایب همبستگی نقشه‌های هم غلظت نیترات و فسفات با نقشه نهایی دراستیک در آبخوان دشت شهرکرد

زمان نمونه‌برداری	خرداد	تیر	شهریور	آبان	میانگین
ضریب همبستگی نیترات	A ۰/۴۴	B ۰/۴۰	C ۰/۳۳	D ۰/۳۸	۰/۳۸
ضریب همبستگی فسفات	a ۰/۴۸	b ۰/۴۰	c ۰/۳۲	d ۰/۳۱	۰/۳۷

* در هر ردیف حروف متفاوت نشان دهنده‌ی تفاوت معنی دار است ($p<0/05$).

* ضرایب همبستگی فسفات در شهریور و آبان در سطح ۱۰٪ تفاوت معنی دار دارند ($p<0/08$).

در قسمت شمالی دشت کاسته می‌شود و دوباره غلظت به زیر ۲۰ میلی گرم بر لیتر کاهش می‌یابد.

به نظر می‌رسد که آلودگی به نیترات در آب زیرزمینی شهرکرد در بهار به حداکثر می‌رسد و از ابتدای تابستان به حداقل کاهش پیدا می‌کند و در پاییز حدود ۲/۳ آبخوان (به ویژه بخش‌های شمالی) دارای غلظت نیترات کمتری (بین ۰ تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر) است. با این حال قسمت جنوبی دشت به غیر از اوایل تابستان هم نسبتا آلوده است و آلودگی نیتراتی از حد استاندارد (۴۵ میلی گرم بر لیتر) فراتر می‌رود.

در طول تابستان عمده دشت دارای حداکثر ۰/۱۰ میلی گرم بر لیتر فسفات است و بخشی از دشت غلظتی کمتر از ۰/۰۵ تا صفر دارد. عمده دشت دارای غلظتی بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۰ میلی گرم بر لیتر فسفات است. در اواخر تابستان در یک نقطه نزدیک تصفیه‌خانه روستای بهرام آباد غلظت شروع به افزایش و از ۰/۱۰ فراتر می‌رود.

در پاییز و بهار پهنه‌ی آلوده به فسفات گسترش یافته و تمام قسمت جنوبی دشت و بخش شمالی را نیز فرا گرفته است. حداقل غلظت ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر است و حداکثر به ۰/۲۵ میلی گرم بر لیتر رسیده است. در

در بهار فقط بخش کوچکی از دشت دارای غلظت زیر ۲۰ میلی گرم بر لیتر است و بقیه دشت به ویژه در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی غلظت از ۲۵ میلی گرم بر لیتر فراتر می‌رود. در بهار نیمه غربی دشت نیز دارای غلظتی بین ۲۵ تا ۳۰ میلی گرم بر لیتر است، با این که در بقیه فصول سال غلظت نیترات در این نیمه کمتر است.

در ابتدای تابستان، نیمه شمالی دشت غلظتی بین ۰ تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر دارد و نیمه جنوبی (شامل جنوب شرقی) که در پایین دست شهرکرد، هفشجان، منطقه‌ی صنعتی و تصفیه خانه فاضلاب واقع است، غلظتی بین ۲۰ تا ۴۰ میلی گرم بر لیتر دارد. آلوده‌ترین بخش در ابتدای تابستان، در زیر و حدود قطب صنعتی شهرکرد و فرخ شهر است.

در انتهای تابستان غلظت نیترات در شمالی‌ترین بخش دشت از ۲۰ میلی گرم بر لیتر فراتر می‌رود و در جنوب دشت هم بر حداکثر غلظت افزوده می‌شود به طوری که در برخی نقاط غلظت نیترات به ۵۰ میلی گرم بر لیتر هم می‌رسد. در پاییز از شدت آلودگی به نیترات

در طی چهار نوبت نمونه‌برداری میانگین مشاهدات نیترات از کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم به سمت کلاس آسیب‌پذیری متوسط افزایش یافته است (جدول ۴). میانه و میانگین نیترات به خوبی کلاس‌های پهنه‌بندی را جدا می‌کند و در کلاس آسیب‌پذیری متوسط میانگین و میانه بزرگتر از دو کلاس دیگر است، همچنین مقادیر دهک اول، دهک آخر، حداقل و حداکثر مشاهدات نیترات نیز از کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم به سمت کلاس آسیب‌پذیری متوسط افزایش نشان می‌دهد. پس می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تغییرات نیترات با نتایج مدل دراستیک نسبتاً هماهنگ عمل کرده است.

مشروط بر این که فرض شود مدل دراستیک فقط آسیب‌پذیری را به صورت نسبی بر آورد می‌کند نه به صورت مطلق (خدائی و همکاران ۱۳۸۵).

ضریب تغییرات از کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم به متوسط کاهش می‌یابد. ضریب تغییرات کمتر یکنواختی بیشتر مشاهدات را نشان می‌دهد، رضایی و همکاران، (۱۳۸۹). مشاهدات نیترات در کلاس آسیب‌پذیری متوسط در طی چهار نوبت نمونه‌برداری دارای یکنواختی بیشتری نسبت به دو کلاس دیگر آسیب‌پذیری هستند.

در طی چهار نوبت نمونه‌برداری متوسط میانگین و میانه فسفات اندازه‌گیری شده در کلاس آسیب‌پذیری متوسط بزرگتر از دو پهنه‌ی دیگر است که با نتایج مدل دراستیک نسبتاً هماهنگ است (جدول ۵). در ۳/۴ اوقات کلاس آسیب‌پذیری متوسط از آسیب‌پذیری کم و خیلی کم جدا شده است و در تمام اوقات آسیب‌پذیری متوسط از کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم خوب جدا شده است. در کلاس آسیب‌پذیری متوسط در طی چهار نوبت ضریب تغییرات از دو کلاس دیگر کوچکتر است، پس پراکنش مشاهدات فسفات در این کلاس کمتر است. درصد چاه‌ها در کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم، کمترین است، چون مساحت تحت پوشش این پهنه نیز کمترین است.

به نظر می‌رسد که تطبیق غلظت نیترات با نقشه‌ی نهایی دراستیک مقداری بهتر از تطبیق غلظت فسفات با آن باشد. گاهی دیده می‌شود که میانگین یا

بخش‌های جنوبی دشت (در غربی‌ترین و شرقی‌ترین بخش‌ها) غلظت بین ۰/۲ تا ۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر است. شرقی‌ترین بخش در منطقه‌ی صنعتی و غربی‌ترین بخش در پایین دست شهر هفشجان (به علت تراکم دامداری‌ها در این قسمت) واقع شده است.

در بهار نشانه‌هایی از کاهش و فروکش گستره‌های آلوده به فسفات به چشم می‌خورد، به طوری که در قسمت شمالی دشت دوباره غلظت فسفات به زیر ۰/۱۰ میلی‌گرم بر لیتر رفته است. در قسمت جنوبی هم فقط گستره ناچیزی دارای غلظتی بین ۰/۲۰ تا ۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر است.

به نظر می‌رسد که در پاییز و احتمالاً زمستان (در زمستان به خاطر بسته بودن چاه‌ها نمونه‌گیری امکان پذیر نبود)، آب زیرزمینی شهر کرد حداکثر مساحت آلوده به فسفات را دارد و به تدریج در بهار از آلودگی آن کاسته و در تابستان به حداقل می‌رسد. حداکثر غلظت فسفات به دست آمده در طی فصول مختلف سال از حد مجاز اداره محیط زیست آمریکا (۵ میلی‌گرم بر لیتر) کمتر است ولی حداکثر غلظت فسفات در بهار و پاییز از استاندارد اداره بهداشت ملی کانادا (۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) بیشتر شد.

با توجه به آن چه که در مورد تغییرات پهنه‌بندی نیترات و فسفات گفته شد مشخص می‌شود که در طول سال بخش شمالی دشت غلظت نسبتاً کمتر و بخش جنوبی دشت غلظت نسبتاً بیشتری از نیترات و فسفات را دارا می‌باشد. از این رو یک هم‌بستگی مثبت با نقشه‌ی آسیب‌پذیری دراستیک حاصل می‌شود. ولی از آن جایی که غلظت نیترات و فسفات در طول فصول در بخش‌های شمالی، جنوبی و غربی دشت دچار نوسان می‌شود، ضریب هم‌بستگی آنها با نقشه‌ی دراستیک هم نیز دچار نوسان می‌شود.

در جداول ۴ و ۵ درصد چاه‌های واقع در هر کلاس آسیب‌پذیری نقشه شهر کرد به همراه خلاصه آماری نیترات و فسفات در هر کلاس آسیب‌پذیری داده شده است.

مقایسه نیترات و فسفات برای صحت‌سنجی مدل دراستیک

در بر داشته باشد. در حالی که فسفات و نیترات حل شده در آب زیرزمینی ظاهراً با سرعت یکسانی منتشر می‌شوند.

میان‌ه غلظت فسفات در کلاس آسیب پذیری بیشتر با میانگین نظیر در کلاس آسیب پذیری کمتر یکسان یا حتی کوچکتر است. در حالی که انتظار می‌رود کلاس آسیب پذیری بیشتر غلظت میانگین بیشتری از آلاینده را

جدول ۴. خلاصه آماری غلظت آلاینده‌ی نیترات در سه کلاس آسیب پذیری مدل دراستیک در چهار زمان نمونه‌برداری

تیر	درصد چاه	میان‌ه	میانگین	دهک اول	دهک آخر	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
آسیب پذیری خیلی کم	۹	۱۹/۰	a ۱۴/۸	۱۰/۱	۳۶/۲	۱۰/۱	۳۶/۲	۱۰/۷	۷۲
آسیب پذیری کم	۷۵	۲۳/۲	b ۲۵/۲	۱۰/۶	۳۵/۶	۸/۲	۳۹/۶	۸/۲	۳۲
آسیب پذیری متوسط	۱۵	۲۸/۶	c ۳۰/۹	۱۴/۰	۳۶/۲	۹/۱	۳۷/۱	۸/۵	۲۷
شهریور									
آسیب پذیری خیلی کم	۶	۱۷/۵	a ۱۴/۴	۹/۲	۳۵/۱	۹/۲	۳۵/۱	۹/۷	۶۷
آسیب پذیری کم	۶۲	۲۳/۸	b ۲۲/۱	۱۲/۵	۳۳/۹	۶/۲	۴۴/۱	۸/۲	۳۷
آسیب پذیری متوسط	۳۲	۳۳/۳	c ۳۴/۰	۲۳/۰	۴۳/۰	۱۱/۱	۵۱/۱	۹/۳	۲۷
آبان									
آسیب پذیری خیلی کم	۵	۱۱/۰	a ۱۱/۲	۶/۲	۱۵/۵	۶/۲	۱۵/۵	۴/۵	۴۰
آسیب پذیری کم	۶۸	۲۰/۷	b ۱۹/۱	۱۰/۲	۳۷/۳	۶/۱	۴۲/۰	۹/۱	۴۷
آسیب پذیری متوسط	۲۷	۳۳/۸	c ۳۶/۰	۲۰/۹	۴۷/۲	۱۱/۰	۴۸/۵	۱۱/۰	۳۱
خرداد									
آسیب پذیری خیلی کم	۵	۱۷/۳	a ۱۴/۸	۱۲/۲	۲۴/۹	۱۲/۲	۲۴/۹	۵/۱	۳۴
آسیب پذیری کم	۶۳	۲۶/۸	b ۲۵/۶	۱۴/۴	۳۸/۲	۸/۵	۴۶/۵	۸/۸	۳۴
آسیب پذیری متوسط	۳۲	۳۵/۳	c ۳۷/۴	۱۷/۰	۴۸/۸	۱۲/۲	۵۷/۵	۱۲/۱	۳۲

* در ستون سوم از سمت راست، حروف متفاوت انگلیسی نشان دهنده‌ی تفاوت معنی دار است ($\alpha = 0.05$).

* در ستون اول از سمت راست درصد تقریبی چاه‌های واقع در هر کلاس آسیب پذیری را بیان می‌کند.

جدول ۵. خلاصه آماری غلظت آلاینده‌ی فسفات در سه کلاس آسیب پذیری مدل دراستیک در چهار زمان نمونه‌برداری

تیر	درصد چاه	میان‌ه	میانگین	دهک اول	دهک آخر	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
آسیب پذیری خیلی کم	۹	۰/۰۶	a ۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۱۶	۲۳
آسیب پذیری کم	۷۵	۰/۰۷	a ۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۱۴	۲۰
آسیب پذیری متوسط	۱۵	۰/۰۸	b ۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۱۲	۱۳
شهریور									
آسیب پذیری خیلی کم	۶	۰/۰۸	a ۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۱۷	۲۱
آسیب پذیری کم	۶۲	۰/۰۷	a ۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۱۸	۲۶
آسیب پذیری متوسط	۳۲	۰/۰۹	b ۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۰۹	۱۰
آبان									
آسیب پذیری خیلی کم	۵	۰/۱۰	a ۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۰۶	۷۵
آسیب پذیری کم	۶۸	۰/۱۳	b ۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۰۴	۳۳
آسیب پذیری متوسط	۲۷	۰/۱۲	c ۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۰۳	۲۷
خرداد									
آسیب پذیری خیلی کم	۵	۰/۱۴	a ۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۰۴	۳۱
آسیب پذیری کم	۶۳	۰/۱۳	a ۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۰۴	۳۱
آسیب پذیری متوسط	۳۲	۰/۱۷	b ۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۰۲	۱۱

* در ستون سوم از سمت راست، حروف متفاوت انگلیسی نشان دهنده‌ی تفاوت معنی دار است ($\alpha = 0.05$).

* در ستون اول از سمت راست درصد تقریبی چاه‌های واقع در هر کلاس آسیب پذیری را بیان می‌کند.

نتیجه‌گیری

آلودگی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب،

مهندسی عمران، تبریز،

۴. پورشهیدی، س.، ک. محمدی و م. خیاط خلقی.

۱۳۸۷. تعیین آسیب‌پذیری آبخوان دشت قزوین با

استفاده از روش DRASTIC و SI و صحت-

سنجی آن با مولفه‌ی نیترات. سومین کنفرانس

مدیریت منابع آب ایران، ۲۳ تا ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷،

تبریز، ۴۳۴-۴۳۵ ص.

۵. چیتسازانم. واختری. ۱۳۸۵. پتانسیل‌یابی آلودگی

آب‌های زیرزمینی در دشت زویرچری با استفاده از

مدل DRASTIC و سیستم اطلاعات جغرافیایی.

مجله آب و فاضلاب، ۵۹: ۳۹-۵۱.

۶. چیتسازان، م و د. صمدی. ۱۳۸۱. واسنجی مدل

آب‌های زیرزمینی دشت قروه با تاکید بر مقابله با

عدم قطعیت. مجله علوم کشاورزی، ۸: ۴۵-۵۹.

۷. خدایی، ک.، ع. ا. شهنساری و ب. اعتباری. ۱۳۸۵.

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین به روش

های DRASTIC و GODS. مجله زمین

شناسی ایران. ۴: ۷۳-۸۷.

۸. رحیمی، م.، غ. اکبری و م. نخعی. ۱۳۸۶. پهنه بندی

استعداد آلودگی آبخوان خاتون آباد با استفاده از

مدل دراستیک در محیط GIS. اولین همایش

زمین‌شناسی زیست محیطی و پزشکی، تهران،

دانشگاه شهید بهشتی، ۱۹ تا ۲۰ اردیبهشت، ۶ ص.

۹. رضایی، م.، ن. دواتگر، خ. تاجداربو ب. ابولپور.

۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های

کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از

زمین‌آمار. آب و خاک، ۲۴(۵): ۹۳۲-۹۴۱.

۱۰. زاهدی، م. ۱۳۷۴. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش

شهرکرد، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی

کشور.

۱۱. لاله‌زاری، ر.، س. ح. طباطبایی و ن. یارعلی. ۱۳۸۸.

بررسی تغییرات ماهانه نیترات در آب زیرزمینی

دشت شهرکرد و پهنه‌بندی با استفاده از سیستم

اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش آب ایران، ۳(۴):

۹-۱۷.

• مزیت مدل دراستیک این است که از بیشترین

مولفه‌های موثر در آسیب‌پذیری ذاتی استفاده می-

کند. در این روش به علت تعداد زیاد مولفه‌ها، اثر

عدم قطعیت برخی از مولفه‌ها تا حدودی خنثی

می‌گردد.

• در آبخوان دشت شهرکرد تطابق نسبی بین نقشه-

های هم‌غلظت نیترات و فسفات با نقشه‌ی نهایی

آسیب‌پذیری وجود دارد.

• همبستگی نیترات و فسفات با نقشه‌ی دراستیک

تفاوت معنی‌داری در طول سال نشان می‌دهد.

• در آب زیرزمینی شهرکرد بیشترین هم‌بستگی

نیترات و فسفات با لایه دراستیک در بهار (به

ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۴۸) و کمترین در انتهای

تابستان (به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۳۱) رخ می‌دهد.

• به نظر می‌رسد که نتایج صحت سنجی مدل

دراستیک تا اندازه‌ای وابسته به زمان نمونه برداری

آلاینده (نیترات یا فسفات) باشد.

• با توجه به نتایج صحت سنجی نقشه‌های هم‌غلظت

نیترات و فسفات با لایه دراستیک به نظر می‌رسد

نیترات برای صحت‌سنجی مدل دراستیک مناسب‌تر

از فسفات باشد.

منابع

۱. آغاسی ع، ف. آزاد شهرکی، ف. آزاد شهرکی و م.

حسن. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی

دشت هشترگرد به کمک روش دراستیک، هشتمین

کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۲۱ تا ۲۳

اردیبهشت. دانشگاه شیراز، ۹ صفحه.

۲. اصغری مقدم، ا.، ا. فیجانی و ع. ندیری. ۱۳۸۸.

ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت های

بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل دراستیک بر

اساس GIS. فصلنامه محیط‌شناسی، ۵۲، صفحه

۵۵-۶۴.

۳. اکبرپور، ا.، ت. سلیمان پور مقدم، و م. یعقوب‌زاده.

۱۳۸۷. کاربرد GIS در تهیه نقشه پهنه‌بندی

آسیب‌پذیری آبخوان دشت سرایان در مقابل

- Remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography* 23:303–324. 20.
19. Babiker, I.S., Mohamed, A.A.A., Hiyama, T., and Kato, K. (2004). "A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara heights, Gifu prefecture, central Japan." *J. Science of the Total Environment*, 345, 127–140.
20. HEmliton, P.A., and D.R. Helsel. 1995. Effect of agriculture on groundwater quality in five regions of the United States. *Groundwater Journal*, 33:217-226.
21. Navulur, K. C. S., and B. A. Engel. 1998. Groundwater vulnerability assessment to non-point source nitrate pollution on a regional scale using GIS. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 41:1671–1678.
22. PAnnatier, Y. 1998. Variowin: software for data analysis in 2D. Version 2.21. Springer Verlag. 93 pages.
23. Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia. http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/Castlereagh_map_notes.pdf. Accessed on March 15, 2009.
24. Shahid, Sh. (2000). "A study of groundwater pollution vulnerability using DRASTIC-GIS, West Bengal, India." *J. Environmental Hydrology*, 8, 1–9.
۱۲. میرزایی، س. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب پذیری و تهیه نقشه‌های خطر آلودگی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از GIS و مدل‌های DRASTIC و SINTACS. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ۱۷۰ ص.
۱۳. مهندسین مشاور تهران پادیر. ۱۳۷۹. مطالعات ژئوفیزیکی آبهای زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از روش سونداژ الکتریکی. ص ۷۷.
۱۴. مهندسین مشاور مهتاب قدس. ۱۳۷۹. گزارش مطالعات آب های زیرزمینی دشت شهرکرد. ص ۲۸۵.
۱۵. ناصری، ح. ف. علیجانی و ع. محرابی نژاد. ۱۳۸۵. پهنه بندی پتانسیل آلودگی آبخوان آبرفتی ایذه با استفاده از DRASTIC و ارزیابی اثر منطقه غیر اشباع. اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست تهران. ۳۰ بهمن تا ۱ اسفند، دانشکده‌ی محیط زیست تهران، ص ۱۰.
۱۶. یار محمدی، ا.، م. کرمی، س. برومند نسب و ع. ناصری. ۱۳۸۷. تعیین مهم‌ترین مولفه‌ی تاثیرگذار بر شاخص آسیب پذیری آبخوان دشت زیدون خوزستان با استفاده از تحلیل حساسیت مدل دراستیک. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۲۳ تا ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷، تبریز. ۱۶۱–۱۶۲ ص.
17. APHA. 1998. Standard methods for examination of water and waste water 20th edition. American Public Health Association, Washington, DC.
18. 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,