

## ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از مدل DRASTIC

سمیه میرزایی<sup>۱</sup>، مهدی نادری خوراسگانی<sup>۲\*</sup>، حبیب‌الله بیگی<sup>۳</sup> و جهانگرد محمدی<sup>۴</sup>

### چکیده

با افزایش جمعیت و کاهش مقدار آب‌های شیرین اهمیت مدیریت منابع آب افزایش می‌یابد. فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری نیز تهدید کننده‌های اصلی کیفیت آب‌های زیرزمینی هستند. آب زیرزمینی تأمین‌کننده آب آشامیدنی و کشاورزی دشت شهرکرد است. بنابراین حفظ کیفیت این منبع بسیار مهم است. هدف از این مطالعه، ارزیابی آسیب‌پذیری دشت شهرکرد با استفاده از مدل DRASTIC می‌باشد. این مدل از هفت پارامتر مؤثر بر انتقال آلاینده‌ها شامل عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، تأثیر محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان تشکیل شده است. نقشه‌های موضوعی پارامترهای مورد نیاز پس از تشکیل بانک اطلاعات به کمک داده‌های مکانی، کمی و کیفی مربوط در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه و تلفیق شدند. غلظت نترات آب ۹۶ حلقه چاه در دشت، به روش اسپکتروفتومتری تعیین و با میان‌یابی غلظت‌ها، پهنه‌بندی غلظت نترات آب زیرزمینی تعیین شد. نتایج نشان می‌دهند که ۱۱/۵ درصد، ۷۹/۶ درصد و ۸/۹ درصد از منطقه مورد مطالعه به ترتیب در وضعیت‌های آسیب‌پذیری خیلی کم، کم و متوسط قرار دارند. نواحی شمال، جنوب شرقی و غرب دشت شهرکرد از پتانسیل آلودگی بالاتری نسبت به قسمت‌های میانی دشت برخوردارند. مقایسه بین نقشه آسیب‌پذیری و نقشه غلظت نترات آب زیرزمینی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی مدل DRASTIC با غلظت نترات آب زیرزمینی ۰/۴۳ است.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه اطلاعات جغرافیایی، شاخص DRASTIC، غلظت نترات آب زیرزمینی.

**ارجاع:** میرزایی س. نادری خوراسگانی م. بیگی ح. و محمدی ج. ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از مدل DRASTIC. مجله پژوهش آب ایران. ۱۱(۱):۱۴۳-۱۵۱.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه شهرکرد.  
۲- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.  
۳- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.  
۴- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

\* نویسنده مسؤل: [khnaderi@yahoo.com](mailto:khnaderi@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۲۲

## مقدمه

در کشور ما عمده مصارف آبی از آب زیرزمینی تأمین می‌شود و این منبع به عنوان یکی از منابع اصلی شرب و کشاورزی، به خصوص در مناطقی که آب سطحی مناسبی ندارند، همواره مورد توجه بوده است. مهمترین آلاینده‌های آب زیرزمینی عموماً ناشی از فعالیت‌های انسان هستند (فریز و چری، ۱۹۷۹). در بسیاری از موارد، آلودگی آب‌های زیرزمینی پس از آلودگی چاه‌های آب شرب مشخص می‌شود. رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرایندی طولانی است و اغلب زمانی آلودگی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیرممکن است. یکی از روش‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان است (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵). آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی میزان سهولت رسیدن آلاینده واقع در سطح زمین به آبخوان را مشخص می‌کند. در صورتی که عوامل طبیعی در مقابل مهاجرت آلاینده‌ها به آبخوان مقاومت کمی اعمال کنند در آن صورت آسیب‌پذیری زیاد است و برعکس. ارزیابی آسیب‌پذیری فرآیندی است که طی آن اطلاعات مشخص کننده آسیب‌پذیری با یکدیگر تلفیق و نواحی با آسیب‌پذیری بالا از نواحی با آسیب‌پذیری کم از هم متمایز می‌شوند (سیویتا و دلا، ۱۹۹۴). مدل DRASTIC یکی از مدل‌هایی است که بیشترین کاربری را در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دارد (لی، ۱۹۹۴؛ ال-آدامت و همکاران، ۲۰۰۳) و توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۱</sup> ارایه شده است. واژه DRASTIC از هفت پارامتر به کار رفته در مدل، تشکیل شده است که عبارتند از: عمق تا سطح ایستایی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان. استفاده از GIS ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به وسیله مدل DRASTIC را بسیار تسهیل می‌کند (ناوالار و انگل، ۱۹۹۸).

ویاس و همکاران (۲۰۰۵) روش‌های GOD، COP و DRASTIC را برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان به کار بردند و مدل COP را برای ارزیابی آبخوان‌های کارستی مناسب‌تر تشخیص دادند. شهید (۲۰۰۰) مدل DRASTIC را برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان مناطق بنگال غربی نسبت به آفت‌کش‌ها به کار برد و گزارش کرد که ۸۱ درصد منطقه آسیب‌پذیری بالایی نسبت به آفت‌کش‌ها دارد.

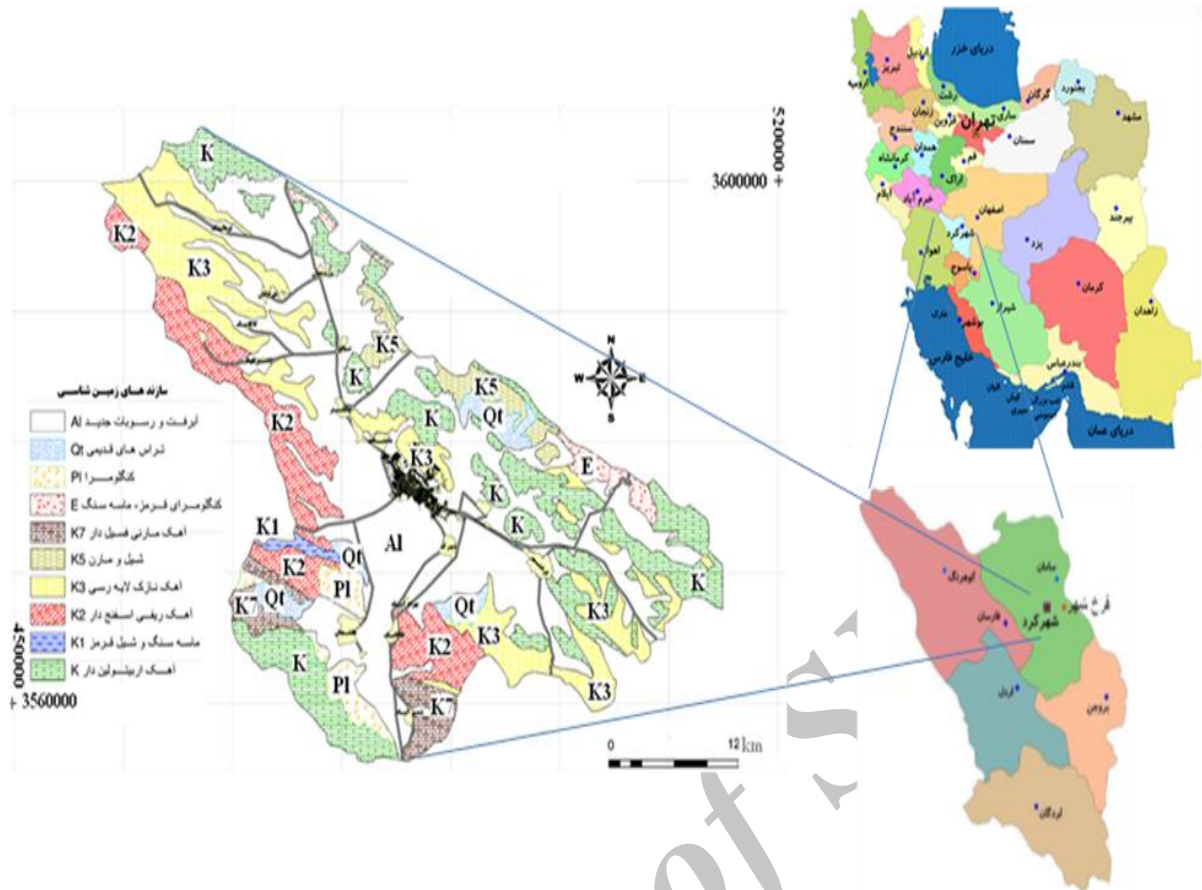
استیگر و همکاران (۲۰۰۶) آسیب‌پذیری آبخوان در ناحیه‌ای از یرتقال را به کمک مدل دراستیک بررسی کردند و گزارش نمودند که میزان مصرف نترات بر آلودگی آبخوان مؤثر است.

کاربرد مدل DRASTIC در ایران به تنهایی و یا همراه با سایر مدل‌ها برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان بسیار معمول است. رزاق‌منش و محمدی (۱۳۸۳) در دشت چمچمال آسیب‌پذیری آبخوان را به کمک این مدل بررسی و ۵ درصد منطقه را با آسیب‌پذیری بسیار شدید معرفی کردند. رنجبر (۱۳۸۳) آسیب‌پذیری دشت شیراز را به کمک مدل DRASTIC در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی و حداکثر آسیب‌پذیری را ۱۷۵ برای پارامتر از نقاط دشت گزارش کرد. یارمحمدی (۱۳۸۵) پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت علیقلی را به کمک مدل‌های SINTACS و DRASTIC در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی تعیین کرد. این محقق با محاسبه ضرایب همبستگی نقشه غلظت نترات آب زیرزمینی با نقشه‌های آسیب‌پذیری DRASTIC و SINTACS که به ترتیب برابر ۰/۵۴ و ۰/۷۷ بود برتری مدل سینتاکس را نسبت به دراستیک گزارش کرد. با توجه به اهمیت آبخوان دشت شهرکرد به عنوان تأمین کننده آب شرب و کشاورزی بخش بزرگی از شهرستان شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری این تحقیق با هدف شناسایی نواحی آسیب‌پذیر آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از مدل DRASTIC و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت شهرکرد واقع در شهرستان شهرکرد و استان چهارمحال و بختیاری است (شکل ۱). این دشت در امتداد شمال غربی-جنوب شرقی در فاصله ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی قرار دارد. اقلیم منطقه نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه ۳۳۷ میلی‌متر است. مطالعات هیدرولوژیک نشان می‌دهد که آبخوان دشت شهرکرد به صورت آزاد است (میرزایی، ۱۳۸۳).



شکل ۱- موقعیت و زمین‌شناسی دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری

### روش اجرای مدل

پارامترهای مورد استفاده مدل DRASTIC عبارتند از عمق تا سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، ناحیه وادوز یا محیط غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C). به هر کدام از پارامترهای مدل DRASTIC با توجه به اهمیت آن نسبت به سایر پارامترها وزنی بین ۱ تا ۵ اختصاص یافته است که مهمترین پارامتر وزن ۵ و کم اهمیت‌ترین پارامتر وزن ۱ را به خود اختصاص داده است. همچنین مقادیر هر پارامتر به بازه‌های متعددی تقسیم شده و هر بازه رتبه مشخصی را بین ۱ تا ۱۰ به خود اختصاص داده است (جدول ۱). مجموع رتبه‌ها و وزن‌های بازه‌ها حساسیت هر نقطه از آبخوان را مشخص می‌کند.

### تهیه نقشه پارامترها

عمق سطح ایستابی: برای تهیه نقشه عمق سطح ایستابی از داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای دشت شهرکرد استفاده شد و بر اساس بازه‌های جدول ۱ رتبه هر بازه مشخص شد. تغذیه خالص: به طور کلی هر چه میزان تغذیه بیشتر باشد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی زیاده‌تر می‌شود. نقشه تغذیه

خالص از روش پیسکوپو استفاده شد در این روش پارامتر تغذیه خالص بر اساس میزان بارندگی، شیب و نفوذپذیری و معادله ۱ حاصل می‌شود (پیسکوپو، ۲۰۰۱):

$$\text{نقشه رتبه‌بندی مقدار تغذیه خالص} =$$

$$(1) \quad \text{نقشه رتبه‌بندی درصد شیب} + \text{نقشه رتبه‌بندی میزان بارندگی} + \text{نقشه رتبه‌بندی نفوذپذیری خاک}$$

محیط آبخوان: اطلاعات مربوط به این بخش از داده‌های چاه‌های اکتشافی، مطالعات ژئوفیزیک و چاه‌های مشاهده‌ای دشت شهرکرد استخراج شدند (مهندسیین مشاور تهران پادیر، ۱۹۷۹).

محیط خاک: برای تهیه لایه محیط خاک از نقشه خاک منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (گزارش نیمه تفصیلی خاکشناسی دشت شهرکرد، ۱۳۶۲) استفاده شد.

هدایت هیدرولیکی آبخوان: هر چه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد دوام آلودگی افزایش می‌یابد (ال-آدامت، ۲۰۰۳). برای تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی آبخوان از نتایج آزمون پمپاژ دشت شهرکرد استفاده شد (مهندسیین مشاور مهاب قدس، ۱۳۷۹ و میرزایی، ۱۳۸۳).

در این معادله حروف D, R, A, S, T, I و C به ترتیب به مفهوم پارامترهای عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، توپوگرافی، ناحیه وادوز یا محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان و R و W به ترتیب معرف رتبه و وزن هر پارامتر هستند.

حاصل مدل DRASTIC یک اندیس عددی است که ناشی از وزن و رتبه پارامترهای مورد استفاده می‌باشد. معادله ۲ روش تعیین اندیس مدل را نشان می‌دهد:

$$\text{DRASTIC Index} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (2)$$

جدول ۱- وزن‌ها و رتبه‌های مربوط به پارامترهای مدل DRASTIC (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)

رتبه	پارامتر و بازه‌ها	رتبه	پارامتر و بازه‌ها
	تغذیه خالص (میلی‌متر در سال) (وزن: ۴)		عمق تا سطح ایستابی (متر) (وزن: ۵)
۱۰	۱۱-۱۳	۱۰	۰-۲
۸	۹-۱۱	۹	۲-۳
۵	۷-۹	۷	۳-۹
۳	۵-۷	۵	۹-۱۵
۱	۳-۵	۳	۱۵-۲۳
		۲	۲۳-۳۰
		۱	۳۰ <
	محیط خاک (وزن: ۲)		محیط آبخوان (وزن: ۳)
۳	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	رس-سیلت	۲	رس و سیلت
	محیط غیر اشباع (وزن: ۵)		توپوگرافی (شیب (% (وزن: ۱)
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 یا سیلت	۳	۱۲-۱۸
		۱	۱۸ <
			هدایت هیدرولیکی (متر بر روز) (وزن: ۳)
		۱	۰-۴
		۲	۴-۱۲
		۴	۱۲-۲۸
		۶	۲۸-۴۰

کمترین زمان پس از نمونه برداری تعیین شد و در صورت عدم امکان اندازه‌گیری سریع نمونه آب در نزدیکی دمای انجماد نگهداری و در اولین فرصت اندازه‌گیری نیتراژ انجام شد (APHA, ۱۹۹۲). پهنه‌بندی غلظت نیتراژ به روش میان‌یابی کریجینگ<sup>۱</sup> با استفاده از خصوصیات تغییرنا<sup>۲</sup> انجام شد که در این مطالعه نتایج آن مورد

#### صحت‌سنجی مدل DRASTIC

صحت‌سنجی نقشه آسیب‌پذیری آبخوان به کمک نقشه غلظت نیتراژ آب زیرزمینی انجام شد. بدین منظور از ۱۵ تیر تا ۱۵ شهریورماه ۱۳۸۶ از آب چاه‌های مورد بهره‌برداری در دشت شهرکرد به تعداد ۹۶ حلقه نمونه‌برداری شد. غلظت نیتراژ نمونه‌ها به روش اسپکتروفتومتری در

1- Kriging  
2- Variogram

استفاده قرار گرفت.

## نتایج و بحث

غلظت نیترات آب زیرزمینی: شکل ۴ نقشه تغییرات مکانی غلظت نیترات را نشان می‌دهد. غلظت متوسط نیترات در آب چاه‌ها ۱۸ و کمینه و بیشینه غلظت به ترتیب برابر ۵/۹ و ۴۰/۹ میلی‌گرم بر لیتر است. این شکل نشان می‌دهد که غلظت نیترات از آستانه غلظت ارایه شده توسط اداره حفاظت محیط زیست آمریکا (۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) پایین‌تر است (USEPA, ۱۹۹۵). در این شکل غلظت‌های بالای نیترات در نواحی جنوب و جنوب شرق و شمال غرب قرار دارند. با توجه به کاربری اراضی احتمالاً منبع آلودگی وجود دامداری‌های صنعتی در جنوب و شمال غرب همراه با کشت علوفه است و در جنوب‌شرق وجود منطقه صنعتی همراه با کشاورزی منابع احتمالی آلودگی هستند.

غلظت‌های پایین نیترات در مناطق شمالی و مرکز دشت قرار دارند. توجه به نقشه‌های خاک و شیب اراضی (شکل ۲ الف) شیب زیاد و بافت سنگین خاک احتمالاً در کاهش غلظت نیترات در این نواحی مؤثر بوده‌اند و بافت سنگین خاک و محیط غیراشباع ممکن است امکان کاهش غلظت نیترات در مرکز دشت را فراهم کرده باشند.

عمق سطح ایستابی (D): شکل ۲ د، نقشه رتبه‌بندی عمق سطح ایستابی در دشت شهرکرد را نشان می‌دهد. این عمق در دشت شهرکرد بین ۶۰ متر در جنوب شرقی تا کمتر از ۲ متر در نواحی خروجی دشت متغیر است. عمق آب زیرزمینی از مرکز و شمال دشت به سمت جنوب غربی کاهش می‌یابد. عمق کم سطح ایستابی در بخش جنوب غربی دشت باعث کاهش عمق تا سطح ایستابی می‌شود و در نتیجه احتمال رسیدن بسیاری از آلاینده‌ها به درون آبخوان افزایش می‌یابد. بر اساس مدل DRASTIC بالاترین رتبه ۱۰ به بخش جنوب غربی اختصاص داده شد. در بخش‌های جنوب و جنوب شرقی بیشترین عمق سطح ایستابی وجود دارد و آسیب‌پذیری آبخوان به آلودگی کمتر است، به همین دلیل رتبه‌های بین ۱ و ۲ به این مناطق تعلق گرفت.

تغذیه خالص (R): نقشه تغذیه خالص دشت شهرکرد در شکل ۲ ه، دیده می‌شود. در مجموع میزان تغذیه از اطراف دشت به سمت مرکز و جنوب دشت افزایش می‌یابد.

حداکثر رتبه این پارامتر مقدار ۸ است که به قسمت جنوب شرقی دشت و حداقل آن برابر ۱ به ارتفاعات اطراف دشت تعلق گرفت. قسمت اعظم دشت رتبه ۲ دارد. محیط آبخوان (A): به دلیل تنوع لیتولوژیکی زیاد سازندهای منطقه و سنگ‌کف رسوبات آبخوان تنوع زیادی دارند. شکل ۲ ب، نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان را نشان می‌دهد. با توجه به لاگ چاه‌ها در بخش‌های مرکزی دشت گراول، گراول همراه با ماسه و رس، در جنوی ماسه همراه با رس و قلوه سنگ، در شمال غرب گراول همراه با مقادیر متناهی رس (۵۰ درصد) و ماسه مشاهده می‌شود.

محیط خاک (S): افق‌های خاک وجود سه نوع دانه‌بندی را نشان می‌دهد بدین صورت که از محیط دشت به سمت مرکز میزان نفوذپذیری کاهش و در نتیجه قابلیت انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. وجود مواد ریزدانه مانند سیلت و رس در این بخش‌ها می‌تواند نفوذپذیری نسبی را کاهش داده و مهاجرت آلاینده‌ها را محدود کند و در نتیجه باعث کاهش نرخ آسیب‌پذیری آبخوان شود. شکل ۲ ز، نقشه محیط خاک و رتبه‌های مربوط به مناطق مختلف را نشان می‌دهد.

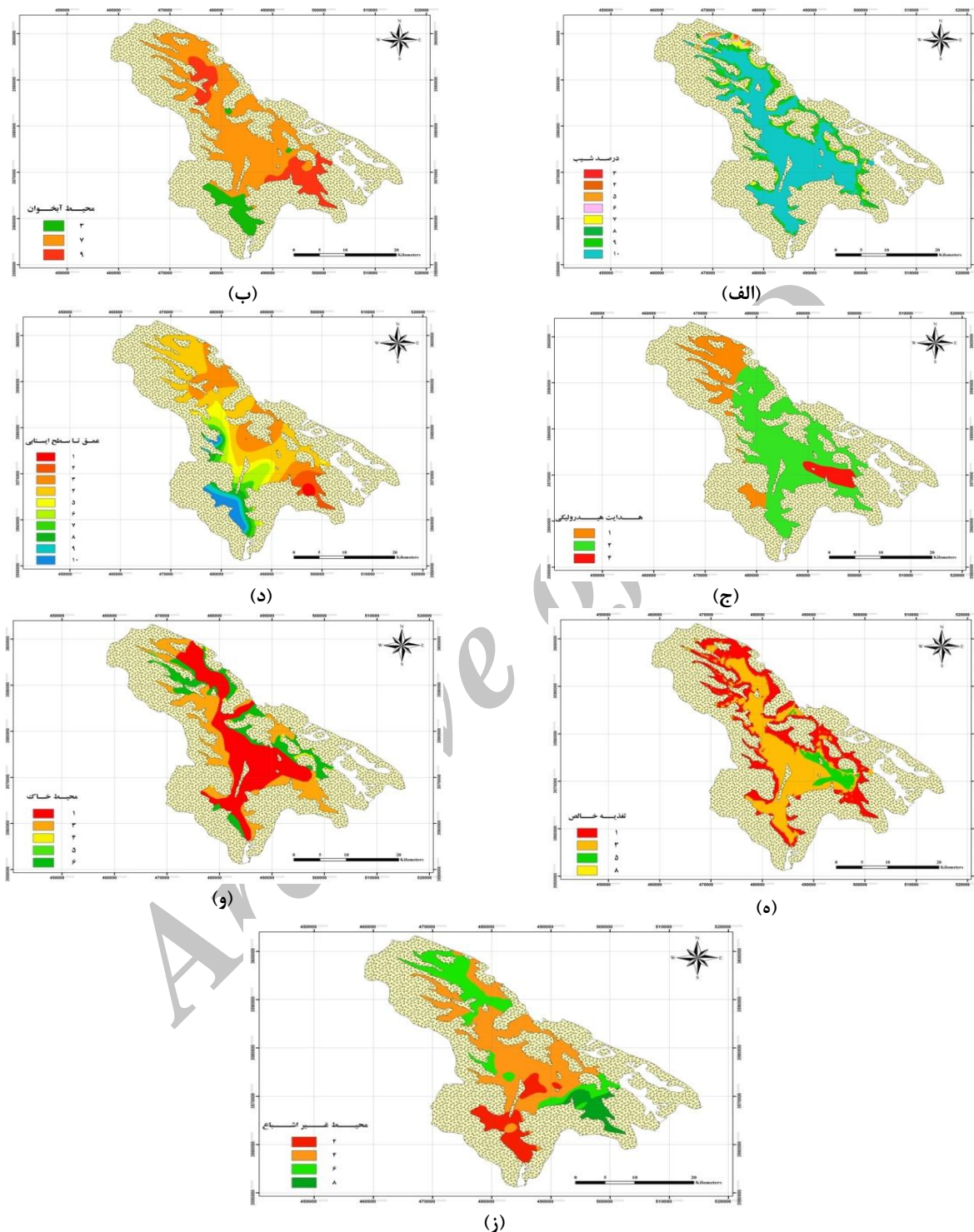
توپوگرافی (T): قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه شیب کمتر از ۲ درصد دارد و با توجه به اینکه شیب کم فرصت بیشتری را برای نفوذ آب‌های آلوده فراهم می‌کند، بالاترین رتبه به این قسمت تعلق گرفته است.

ناحیه غیراشباع (I): نقشه رتبه‌بندی ناحیه غیراشباع دشت در شکل ۲ ز، نشان داده شده است. رسوبات درشت‌تر در قسمت‌های جنوب شرقی و شمال دشت قرار دارند و رتبه‌های ۶ تا ۸ به این نواحی تعلق دارد. در بخش‌های جنوب غربی جنس رسوبات ناحیه غیراشباع ریزتر و رتبه این نواحی ۲ است، میزان زیاد رس در این بخش فرآیندهای جذب آلاینده‌ها را افزایش داده و خطر آسیب‌پذیری آبخوان را کاهش داده است. ناحیه غیر اشباع بخش‌های عمده دشت رسوبات متوسط دارد و رتبه ۴ به این بخش‌ها تعلق گرفته است.

هدایت هیدرولیکی (C): شکل ۲ ج، نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی آبخوان در قسمت‌های شمال و شمال شرق دشت کمتر از جنوب و مرکز دشت است. هدایت هیدرولیکی دشت شهرکرد بین ۱ تا ۱۲ متر در روز تغییر می‌کند. روند تغییرات هدایت هیدرولیکی از شمال به سمت جنوب شرقی دشت افزایش می‌یابد (لاله‌زاری و

بالا باعث انتقال سریع آلاینده‌ها از مکان آلودگی می‌شود (ال-آدامت، ۲۰۰۳) ولی پخش و گسترش آلودگی با سرعت بیشتری انجام می‌شود.

همکاران، ۱۳۸۷). در بخش شمالی دشت هدایت هیدرولیکی کم و بیشترین مقادیر هدایت هیدرولیکی مربوط به بخش جنوبی دشت است. هدایت هیدرولیکی



شکل ۲- نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مختلف مدل دراستیک در دشت شهرکرد (الف درصد شیب، ب محیط آبخوان، ج هدایت هیدرولیکی، د عمق تا سطح ایستابی، ه تغذیه خالص، و محیط خاک و ز) محیط غیراشباع

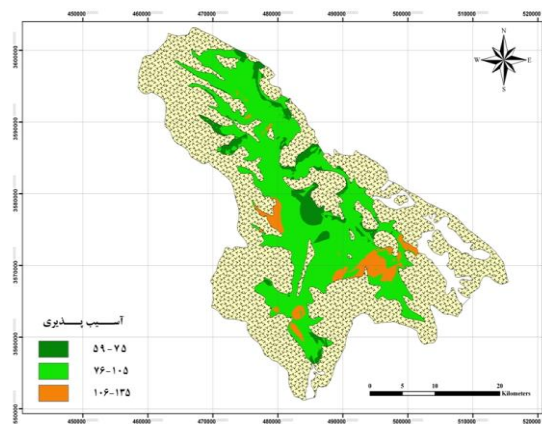
نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد که بخش عمده دشت در کلاس آسیب‌پذیری کم قرار گرفته است (شکل ۳). کلاس

رنجبر (۱۳۸۳) نیز با تهیه نقشه آسیب‌پذیری دشت شیراز بالاترین میزان شاخص را در این دشت ۱۷۵ گزارش کرد.



آسیب‌پذیری بسیار کم عمدتاً در بخش‌های شمال و شرق دشت قرار دارد شیب زیاد تأثیر زیادی در بروز این کلاس داشته است.

آسیب‌پذیری بسیار کم عمدتاً در بخش‌های شمال و شرق دشت قرار دارد شیب زیاد تأثیر زیادی در بروز این کلاس داشته است.



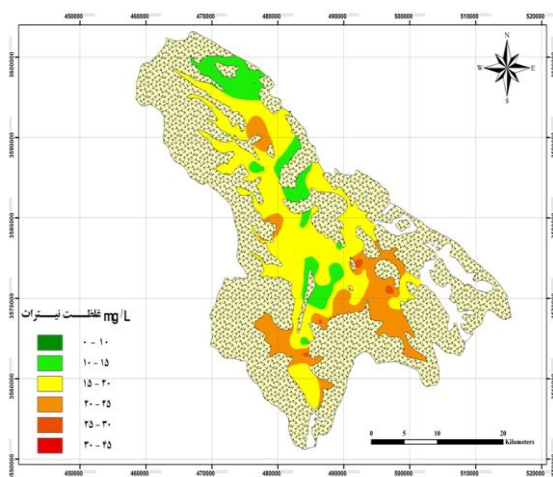
شکل ۳- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت شهرکرد بر اساس مدل DRASTIC

۰/۳۳ افزایش یافت. استیگر و همکاران (۲۰۰۶) نیز بر اساس پژوهش‌های خود در پرتقال گزارش کردند که نواحی آبخوان با آسیب‌پذیری بالا آلودگی نسبتاً بالایی را به نیترات نشان می‌دهد. میزان ضریب همبستگی نقشه آلودگی و آسیب‌پذیری می‌تواند به عنوان معیاری از کیفیت مدل آسیب‌پذیری به کار می‌رود. در این معادله یارمحمدی (۱۳۸۵) بالاتر بودن ضریب همبستگی نقشه آسیب‌پذیری به دست آمده از مدل سینتاکس را با نقشه غلظت نیترات آب زیرزمینی نشانه برتری این مدل نسبت به مدل دراستیک گزارش کرده است. شهید (۲۰۰۰) در بنگال غربی نقشه آسیب‌پذیری حاصل از مدل دراستیک را برای اعتبارسنجی با نقشه غلظت آفت‌کش‌ها مقایسه کرد.

ریزدانه بودن محیط اشباع، غیراشباع و محیط خاک و پایین بودن هدایت هیدرولیکی آبخوان و تغذیه خالص از دلایل عمده آسیب‌پذیری کم بخش اعظمی از دشت شهرکرد است. آبخوان در قسمت غرب و جنوب شرقی دشت در کلاس آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد. درشت‌دانه بودن رسوبات در ناحیه اشباع و غیراشباع آبخوان و رتبه بالای تغذیه آبخوان در این نواحی احتمالاً باعث بالا رفتن کلاس آسیب‌پذیری این نواحی شده است.

#### صحت‌سنجی نقشه آسیب‌پذیری

مقایسه نقشه‌های تغییرات نیترات آب زیرزمینی و آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهد که بیشترین غلظت نیترات در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی دشت در حوالی شهرستان فرخ‌شهر، شهر کیان و بخش‌هایی از طاقانک و شمس‌آباد وجود دارد جایی که در نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تحت عنوان کلاس آسیب‌پذیری متوسط طبقه‌بندی شده است. احتمالاً نفوذ عمقی کودهای شیمیایی، فضولات دامداری‌ها و فاضلاب‌های شهری در این بخش‌ها باعث افزایش غلظت نیترات آب زیرزمینی شده است که تطابق نقشه آسیب‌پذیری آبخوان و غلظت نیترات را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین نقشه آسیب‌پذیری و نقشه غلظت نیترات آب زیرزمینی ۰/۴۳ است که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. همبستگی نسبتاً بالا و معنی‌دار این دو نقشه نشان دهنده کیفیت قابل قبول نقشه آسیب‌پذیری و کارایی مدل دراستیک است. ضمن اینکه احتمال خطر آلودگی آبخوان در مناطق



شکل ۴- نقشه غلظت نیترات آب زیرزمینی دشت شهرکرد

#### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که حدود ۸۰ درصد منطقه مطالعاتی در وضعیت آسیب‌پذیری کم قرار دارد و نواحی شمال، جنوب شرقی و غرب دشت شهرکرد از پتانسیل آلودگی بالاتری نسبت به دیگر قسمت‌های برخوردارند. همبستگی نقشه‌های غلظت نیترات آب زیرزمینی و آسیب‌پذیری حاصل از مدل دراستیک برابر ۰/۴۳ و در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. این میزان همبستگی کارایی مدل دراستیک را در پیش‌بینی نواحی آسیب‌پذیر دشت نشان می‌دهد. عدم قطعیت حاصل از این مقایسه می‌تواند ناشی از عدم

- زمانی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۲۶۷ ص.
۹. ناصری ح. علیجانی ف. و محرابی‌نژاد ع. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی آبخوان آبرفتی ایزه با استفاده از ارزیابی اثر منطقه غیراشباع. اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست تهران. ۱۰ ص.
۱۰. یارمحمدی ا. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت علیقلی خوزستان با استفاده از مدل دراستیک و سینتاکس در محیط GIS. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران. ۱۶۰ ص.
11. 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.
12. Aller L. T. Bennett H. J. R. Lehr J. Petty R. and Hackett G. 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using geohydrologic setting. US Environmental Protection Agency Report. EPA600/2-EP87/036.
13. APHA. 1992. Standard Method for examination of water and wastewater, 19<sup>th</sup> ed., American Public Health Association, Washington, DC.
14. Civita M. L. and Della C. 1994. Vulnerabilità degli Acquifer all Inquinamento. Teoria and Practica (aquifer vulnerability maps to pollution). Pitagora, Bologna. Italy. 325 pp.
15. Freeze R. A. and Cherry J. A. 1979. Groundwater. Prentice Hall Inc. 604 pp.
16. Lee S. 2003. Evaluation of waste disposal site using the DRASTIC system in Southern Korea. *Environmental Geology*. 44:654-664.
17. Navulur K C S. and Engel B A. 1998. Groundwater vulnerability assessment to non-point source nitrate pollution on a regional scale using GIS. *Transactions of the ASAE*. 41:1671-1678.
18. Panagopoulos G. P. Antonakos A. K. and Lamberakis N. J. 2006. Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical method and GIS. *Hydrology Journal*. 14:894-911.
19. 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](http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/Castlereagh_map_notes.pdf). Accessed on March 15, 2009.
20. Shahid S. Nath S. K. and Roy J. 2000. Groundwater potential modeling in soft rock

تطابق زمانی بارش‌ها، آبیاری اراضی و کوددهی اراضی کشاورزی با زمان اندازه‌گیری غلظت نیترات آب زیرزمینی باشد. به عبارت دیگر ضریب همبستگی دو نقشه نیز ممکن است تابع زمان باشد. لذا در صورتی که زمان بارش‌ها و فعالیت‌های کشاورزی نیز به طریقی در مدل ملحوظ گردد امکان کاهش عدم قطعیت بین دو نقشه وجود دارد. مضافاً اینکه امکان وجود منابع نقطه‌ای آلاینده در دشت می‌تواند بر میزان عدم قطعیت حاصل تأثیرگذار باشد. دقت در محل عبور کانال‌ها و لوله‌های انتقال فاضلاب شهری و صنعتی و ملحوظ داشتن آن‌ها نیز می‌تواند در بالا بردن ضریب همبستگی دو نقشه و افزایش کارایی مدل نقش داشته باشد.

### منابع

۱. خدایی ک. شهسواری ع. ا. و اعتباری ب. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین به روش‌های DRASTIC و GODS. *مجله زمین‌شناسی ایران*. ۷۳:۴-۸۷.
۲. رزاق‌منش م. و محمدی ک. ۱۳۸۳. تخمین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به روش دراستیک، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منبع آب و خاک. ۲۴-۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۳، دانشگاه شیراز. ۳۶-۴۶.
۳. رنجبر ع. ۱۳۸۳. ارزیابی استعداد بالقوه آب زیرزمینی دشت شیراز با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده علوم، دانشگاه سیستان. ۱۳۰ ص.
۴. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران. ۱۹۹۳. نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰.
۵. مرکز تحقیقات آب و خاک اصفهان. ۱۳۶۲. گزارش نیمه تفصیلی خاکشناسی استان چهارمحال و بختیاری. ۲۳۹ ص.
۶. لاله‌زاری ر. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر تغذیه آبخوان شهرکرد با فاضلاب بر انتشار نیترات با استفاده از مدل MT3D. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. ۱۱۷ ص.
۷. مهندسین مشاور تهران پادیر. ۱۳۷۹. مطالعات ژئوفیزیکی آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از روش سونداژ الکتریکی. ۷۸ ص.
۸. میرزایی س. ی. ۱۳۸۳. مطالعه و پیش‌بینی وضعیت آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از تحلیل سری‌های



23. Vias J. M. Andreo B. Perles M. J. and Carrasco. 2005. A comparative study of four schemes for groundwater vulnerability mapping in a diffuse flow carbonate aquifer under Mediterranean climatic conditions. *Environmental Geology Journal*. 47:586-595.
24. Vrba J. and Zoporozec A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *International Contribution for Hydrogeology*. 16:131-142.
- area using a GIS. *International Journal of Remote Sensing*. 21(9):1919-1924.
21. Stiger T. Y. Riberiro L. and Carvalho A. M. D. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinization and nitrate contamination level in two agricultural regions in the south of Portugal. *Hydrology Journal*. 14:79-99.
22. US EPA. 1995. Quality Criteria for Water, REP. EPA 440/5-86-001. USEPA, Washington.

Archive of SID