

# پتانسیل یابی آلودگی آبهای زیرزمینی در دشتهای زویرچری و خهران با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی

منوچهر چیت‌سازان<sup>۱</sup> یوسف اختری<sup>۲</sup>

(دریافت ۸۴/۱۲/۲۸ پذیرش ۸۵/۶/۳۱)

## چکیده

دشتهای زویرچری و خهران در شمال شرق شهرستان اهواز در استان خوزستان واقع می‌باشند. تأمین آب در این دشتهای موضوعی بحرانی است و کیفیت آب زیرزمینی نیز تحت تأثیر افزایش استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی قرار دارد. به همین دلیل، ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی یکی از فاکتورهای مهم در تصمیم‌گیریهای مدیریتی در باره این دشتهای می‌باشد. با توجه به این موضوع، در این مقاله تهیه نقشه آسیب‌پذیری دشتهای زویرچری و خهران مورد بحث قرار می‌گیرد. نقشه آسیب‌پذیری برای نشان دادن نواحی با بیشترین پتانسیل آلودگی آبهای زیرزمینی با توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی و فعالیتهای انسانی طراحی شده است. هفت پارامتر مهم هیدروژئولوژیکی (عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی) در مدل دراستیک ترکیب گردیده و از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ساختن نقشه آسیب‌پذیری با همپوشانی داده‌های هیدروژئولوژیکی موجود استفاده شده است. نتایج مدل نشان می‌دهد که بخش غرب و جنوب غربی آبخوان دارای آسیب‌پذیری متوسط است و نواحی کوچکی در شمال غرب و شرق منطقه مورد مطالعه در محدوده بدون خطر آلودگی قرار می‌گیرند. سایر بخشهای آبخوان نیز آسیب‌پذیری پایینی را نشان می‌دهند. نتایج آنالیز نیترات نمونه‌های آب زیرزمینی نشان می‌دهد که میزان نیترات در بخش غرب و جنوب غربی آبخوان بیش از میزان نیترات موجود در سایر بخشهای آبخوان است که به این ترتیب نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری نیز تأیید می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آسیب‌پذیری آبخوان، مدل دراستیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دشتهای زویرچری و خهران.

## Evaluating the Potential of Groundwater Pollution in Kherran and Zoweircherry Plains through GIS-based DRASTIC Model

Manouchehr Chitsazan<sup>1</sup>

Yusof Akhtari<sup>2</sup>

(Received Mar. 19, 2006

Accepted Sep. 22, 2006)

### Abstract

Zoweircherry and Kherran plains are located in the northeast of Ahwaz in Khuzestan province. The water supply of these plains is a crucial issue and the quality of groundwater is also under the threat as a result of an increase in the use of agrochemicals. For this reason, assessing the vulnerability is an important factor in any policy-making decision for these plains. Focusing on this issue, this paper attempts to produce a groundwater vulnerability map for Zoweircherry and Kherran plains. The map is designed to show areas of highest potential for groundwater pollution on the basis of hydro-geological conditions and human impacts. Seven major hydro-geological factors (depth to water table, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of vadose zone and hydraulic conductivity) were incorporated into DRASTIC model and Geographical Information System (GIS) was used to create a groundwater vulnerability map by overlaying the available hydro-geological data. The results of model exhibit that the west and southwest of the aquifer are dominated by medium vulnerability while small areas on northwest and east of the study area have no risk of pollution. Other parts of aquifer have low vulnerability. The nitrate analysis of groundwater samples shows that the existing nitrate on the west and southwest parts of aquifer is more than the existing nitrate on its other parts which, therefore, confirms the results of the vulnerability assessment.

**Keywords:** Aquifer Vulnerability, Drastic Model, Geographical Information System (GIS), Zoweircherry and Kherran Plains.

1-Faculty Member Department of Geology, Shahid Chamran University of Ahwaz, chitsazan\_m@scu.ac.ir  
2-M.Sc Student of Hydro-geology, Department of Geology, Shahid Chamran University of Ahwaz

۱- عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، chitsazan\_m@scu.ac.ir  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

آسیب پذیری آبهای زیرزمینی با استفاده از مدل ترکیبی دراستیک و نوع کاربری زمینهای کشاورزی در یک آبخوان ساحلی در فلسطین اشغالی، علاوه بر پارامترهای مدل دراستیک از پارامتر نوع کاربری زمینهای کشاورزی نیز استفاده نمودند [۵]. هدف آنها این بود که تأثیر کاربری زمین را در دوره‌های طولانی بر روی آبخوان به عنوان یک پارامتر اضافی در مدل دراستیک و در نهایت در سطح پتانسیل آسیب پذیری آبهای زیرزمینی بررسی کنند. نتایج به دست آمده، یک تطابق واضح را بین اندیس دراستیک، اندیس دراستیک ترکیبی و سطح بالای نترات نشان می‌داد. چنین نتایجی نواحی با خطر آلودگی بالا را مشخص نموده و ضرورت کاربرد چنین مدل‌هایی را به صورت جهانی افزایش می‌دهند.

شمس‌الدین شهید<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۰ در مقاله‌ای تحت عنوان "مطالعه آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی به آلودگی با استفاده از مدل دراستیک و GIS<sup>۴</sup> در بنگال<sup>۵</sup> غربی در هند" به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی به آلودگیهای صنعتی-شهری و آفت‌کشها، از مدل دراستیک استفاده نمود [۶]. نتایج نشان داد که پنجاه درصد منطقه مورد مطالعه دارای آسیب‌پذیری بالایی نسبت به آلوده‌کننده‌های صنعتی و شهری بوده و بیش از ۸۱ درصد منطقه آسیب‌پذیری بالایی را نسبت به آفت‌کشها نشان می‌داد.

الادامت<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۳ در مقاله‌ای تحت عنوان آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در آبخوان بازالتی ناحیه ارزق<sup>۷</sup> در اردن با استفاده از GIS، سنجش از دور و مدل دراستیک، به بررسی نواحی با بیشترین پتانسیل آلودگی آبهای زیرزمینی بر مبنای شرایط هیدروژئولوژیکی و تأثیرات انسانی پرداختند [۷]. آنها از GIS برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از تکنیک همپوشانی و برای داده‌های هیدروژئولوژیکی موجود استفاده کردند. آنها نقشه کاربری زمین را به عنوان یک پارامتر اضافی در مدل دراستیک برای بررسی خطر آلودگی آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده کرده و مدل دراستیک نهایی را با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی آبخوان تست نمودند. در نهایت حدود ۸۴ درصد از منطقه مورد مطالعه به عنوان ناحیه با خطر آلودگی متوسط و بقیه منطقه به عنوان ناحیه با خطر آلودگی کم طبقه‌بندی شدند.

بابیکر<sup>۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۴ برای تعیین نقاط مستعد در برابر آلودگی ناشی از منابع انسانی در آبخوان کاکامیگاهارا<sup>۹</sup> در

آبهای زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آبهای سطحی به عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه می‌باشند [۱]. وجود منابع مهم آلاینده‌های انتشاری و نقطه‌ای ناشی از فعالیتهای انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. بنابراین جلوگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرزمینی ضروری است [۲]. تغییرات مکانی و محدودیت داده‌ها موانعی را در پایش آبهای زیرزمینی ایجاد می‌کند و مطالعات را در این زمینه پرهزینه و اغلب غیرممکن می‌سازد. ارزیابی آسیب‌پذیری روشی قدرتمند و کم هزینه در شناسایی نواحی مستعد به آلودگی است.

مفهوم آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی برای اولین بار در فرانسه و در اواخر دهه ۱۹۶۰ به کار رفته است. امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون سیستم آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌نامند. آسیب‌پذیری به عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات فعالیت انسانی و یا طبیعی می‌باشد. آسیب‌پذیری ذاتی، به مفهوم حساسیت آبخوان به عوامل طبیعی است؛ در حالی که آسیب‌پذیری ویژه، آسیب‌پذیری ذاتی را همراه با احتمال قرارگرفتن آبهای زیرزمینی در معرض نفوذ آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد [۳].

روشهای زیادی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان ارائه شده است که شامل روشهای فرآیندی، روشهای آماری و روشهای اندیس و همپوشانی می‌باشد [۴].

دراستیک<sup>۱</sup> یک مدل اندیس و همپوشانی است که برای تولید نمرات آسیب‌پذیری برای نقاط مختلف با ترکیب چندین لایه موضوعی طراحی شده است. از این مدل در ابتدا برای همپوشانی دستی لایه‌های نیمه کمی استفاده می‌گردید. امروزه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی این کار آسان‌تر شده و دقت انجام این محاسبات نیز تا حد زیادی افزایش یافته است. به دلیل رونق زیاد کشاورزی و استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی و مواد آفت‌کش در منطقه مورد مطالعه، احتمال آلودگی آبخوان وجود داشت. بنابراین جهت شناسایی نواحی مستعد در برابر آلودگی، بررسی آسیب‌پذیری آبخوان در منطقه مورد مطالعه انجام شد. مطالعات زیادی با استفاده از مدل دراستیک انجام شده است. برای مثال سکوندا<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۱۹۹۸ در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی

<sup>3</sup> Shamsuddin Shahid

<sup>4</sup> Geographical Information System (GIS)

<sup>5</sup> Bengal

<sup>6</sup> Al-Adamat

<sup>7</sup> Arzag

<sup>8</sup> Babiker

<sup>9</sup> Kakamigahara

<sup>1</sup> DRASTIC

<sup>2</sup> Secunda

ژاپن مرکزی، از مدل دراستیک در محیط GIS استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که بخش غربی آبخوان کاکامیگهارا در رده‌بندی آسیب‌پذیری بالا و بخش شرقی در رده‌بندی آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرند [۸]. نقشه آسیب‌پذیری نهایی آبخوان کاکامیگهارا نشان می‌دهد که خطر بالای آلودگی در بخش شرقی آبخوان در نتیجه پتانسیل آلودگی بالای کشاورزی و زراعت به وجود آمده است. آنها همچنین به این موضوع پی بردند که پارامتر تغذیه خالص بیشترین تأثیر را بر روی آسیب‌پذیری آبخوان داشته و به دنبال آن محیط خاک، توپوگرافی، منطقه غیراشباع آبهای زیرزمینی<sup>۱</sup> و هدایت هیدرولیکی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

استایتر<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۵ به ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در دو ناحیه در کشور پرتغال که تحت تأثیر فعالیتهای کشاورزی بودند، پرداختند [۹]. آنها نقشه‌برداری آسیب‌پذیری را با استفاده از روش آسیب‌پذیری ذاتی و اندیس حساسیت ویژه<sup>۳</sup> که تعدیلی از اندیس دراستیک می‌باشد، انجام دادند. با مقایسه نتایج به دست آمده از ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در هر دو ناحیه، به این نتیجه رسیدند که سطوح آلودگی نترات و شوری در مناطق مورد مطالعه به طور عمده توسط دو فاکتور کنترل می‌شود: ۱- حجم نیتروژن ورودی از سطح زمین، که وابسته به نوع کاربری زمین می‌باشد و ۲- تأثیر فرآیند چرخش آب زیرزمینی.

همان طوری که در فوق اشاره شد، دراستیک یک مدل اندیس و همپوشانی است که برای تولید نمرات آسیب‌پذیری برای نقاط مختلف با ترکیب چندین لایه موضوعی طراحی شده است. ولی این مدل با استفاده از سایر روشهای تحلیلی مانند روشهای فازی و شبکه عصبی مصنوعی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است که به پاره‌ای از آنها اشاره می‌شود.

کامرون و پلوسو<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۱ در مقاله‌ای با عنوان کاربرد منطق فازی در ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوانها، استفاده از روشهای منطق فازی را به عنوان روشی مناسب در ارزیابی آلودگی آبخوانها معرفی کردند [۱۰].

دیکسون<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۴ در مقاله‌ای با عنوان کاربرد تکنیک‌های فازی-عصبی در پیش‌بینی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی، روشهای فازی و شبکه عصبی را توأم در ارزیابی پتانسیل آلودگی آبهای زیرزمینی مورد استفاده قرار داد [۱۱]. وی

برای تهیه مدل فازی-عصبی از نرم‌افزار NEFCLASS-J استفاده کرد و توانست ۱۶ مدل فازی-عصبی را توسعه دهد.

دیکسون در سال ۲۰۰۵ در مقاله‌ای با عنوان نقشه‌برداری آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی با استفاده توأم از GIS و روش فازی، به ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در محدوده وودراف کانتی<sup>۶</sup> در ناحیه دلتای رود می‌سی‌سی‌پی<sup>۷</sup> در ایالت آرکانزاس<sup>۸</sup> پرداخت [۱۲]. وی به این نتیجه رسید که نقشه آسیب‌پذیری آماده شده به روش فازی در صورت استفاده از پارامتر ساختمان خاک، تطابق خوبی با مشاهدات میدانی دارد.

نیکنام در سال ۱۳۸۳ در تحقیقی با عنوان تهیه نقشه آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و کاربرد آن در دشت تهران، به ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در دشت تهران با استفاده از مدل دراستیک و منطق فازی پرداخت [۱۳]. او پس از اجرای مدل دراستیک و همچنین تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری با استفاده از منطق فازی و مقایسه این روشها با هم به این نتیجه رسید که منطق فازی، مناطق آسیب‌پذیر بیشتری را نسبت به روش اندیس و همپوشانی دراستیک شناسایی کرده است.

مدل دراستیک دارای نقاط ضعفی نیز می‌باشد. مهم‌ترین نقطه ضعف مدل دراستیک این است که در این روش یک مقدار آسیب‌پذیری مطلق ارائه نمی‌شود، بلکه در این روش فقط نواحی دارای آسیب‌پذیری زیاد و نواحی دارای آسیب‌پذیری کم از یکدیگر متمایز می‌شوند.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

دشتهای زویرچری و خرآن در حاشیه شرقی شهرستان ملاثانی در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شرق اهواز در استان خوزستان در بین طولهای جغرافیایی ۴۷° ۴۸' تا ۱۵° ۴۹' شرقی و عرضهای ۲۰° ۳۱' تا ۴۸° ۳۱' شمالی واقع شده است. از نظر آب و هوایی، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم خشک و بیابانی می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه آن براساس آمار ۲۶ سال گذشته برابر ۲۵۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. براساس مطالعات انجام شده میانگین سالانه تبخیر ۱۹۳۷ میلی‌متر است [۱۴].

در شکل ۱ نقشه هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. در مرز شمال غربی منطقه مورد مطالعه رودخانه گرگر جریان دارد. تاقدیس کوپال نیز با روند شمال غرب-جنوب شرق در مرکز محدوده مورد مطالعه با مورفولوژی تپه ماهوری باعث

<sup>6</sup> Woodruff County

<sup>7</sup> Mississippi

<sup>8</sup> Arkansas

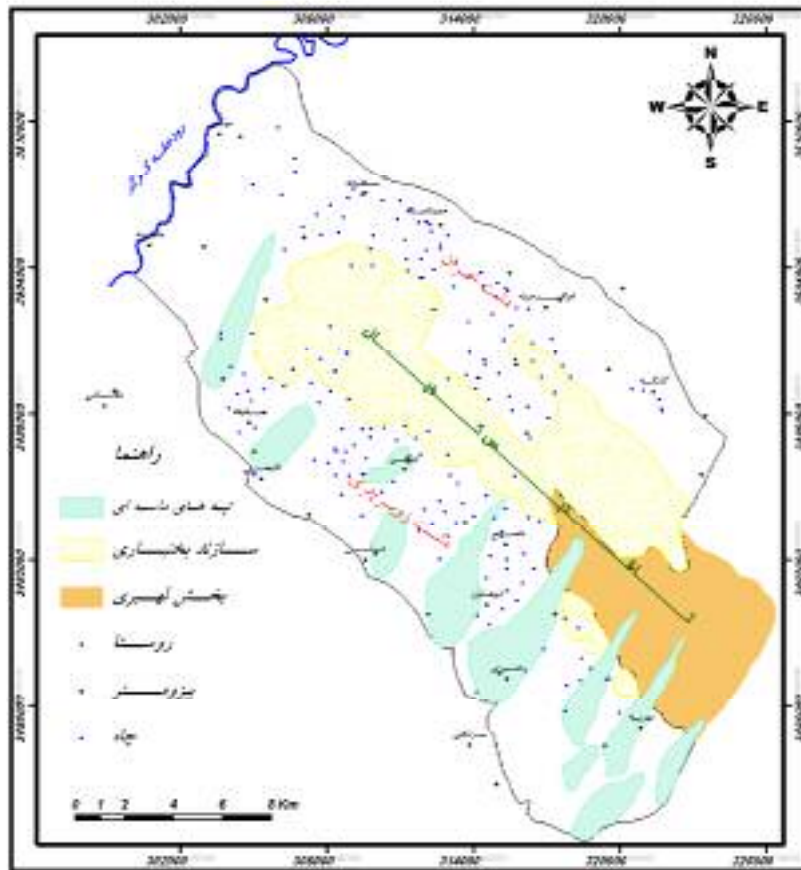
<sup>1</sup> Vadose Zone

<sup>2</sup> Stigter

<sup>3</sup> Specific Susceptibility Index

<sup>4</sup> Cameron and Peloso

<sup>5</sup> Dixon



شکل ۱- نقشه هیدروژئولوژیکی دشتهای زیرچری و خران

طراحی شد [۱۵]. این مدل برپایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است. وضعیت هیدروژئولوژیکی در حقیقت توصیف کننده ترکیبی از تمام عوامل زمین شناسی و هیدرولوژیکی است که حرکت آبهای زیرزمینی را در ورود، درون و خروج از سیستم در یک ناحیه تحت تأثیر قرار داده و کنترل می کند [۱۵]. واژه دراستیک نیز از هفت پارامتر به کار رفته در این مدل تشکیل شده است که عبارت اند از: ۱- عمق تا سطح ایستابی (D) ۲، ۳- تغذیه خالص (R) ۴، ۳- محیط آبخوان (A) ۵، ۴- محیط خاک (S) ۶، ۵- توپوگرافی (T) ۷، ۶- محیط غیراشباع (I) ۸ و ۷- هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) ۹ (جدول ۱). برای تعیین اهمیت نسبی هرکدام از پارامترهای مذکور، هر پارامتر نسبت به سایر پارامترها ارزیابی می شود به طوری که به هر کدام از این پارامترها یک وزن

تفکیک منطقه به دشتهای زیرچری و خران شده است. در اثر تخریب و فرسایش سازند بختیاری که در قسمت شمالی تاقدیس کوپال رخمون<sup>۱</sup> دارد، آبخوان مناسبی در حاشیه این سازند تشکیل شده است. تعداد ۱۴۰ چاه عمیق موجود در این منطقه، آب مورد نیاز برای کشاورزی را تأمین می کنند. مطالعات هیدروژئولوژیکی انجام شده نشان می دهد که آبخوان دشتهای زیرچری و خران در بیشتر منطقه به صورت آزاد و در برخی نقاط به صورت محبوس می باشد. مهم ترین ورودی به آبخوان، نفوذ از طریق بارندگی و مهم ترین خروجی، برداشت آب توسط چاههای کشاورزی می باشد. مهم ترین فعالیت انسانی موجود در منطقه، کشاورزی است و صنعت خاصی در منطقه حضور ندارد. عمده محصولات کشاورزی گندم و هندوانه می باشد.

### ۳- روش تحقیق و معرفی مدل دراستیک

مدل دراستیک توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده<sup>۲</sup> برای ارزیابی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی در کل ایالات متحده

<sup>3</sup> Depth to Water Table  
<sup>4</sup> Net Recharge  
<sup>5</sup> Aquifer Media  
<sup>6</sup> Soil Media  
<sup>7</sup> Topography  
<sup>8</sup> Impact of Vadose Zone Media  
<sup>9</sup> Hydraulic Conductivity

<sup>1</sup> Outcrop  
<sup>2</sup> US Environmental Protection Agency

## جدول ۱- پارامترهای مدل دراستیک [۸]

وزن نسبی	توصیف	پارامتر
۵	عمق از سطح زمین تا سطح ایستابی را بیان می‌کند؛ سطوح ایستابی عمیق‌تر، شانس آلودگی کمتری دارند.	عمق تا آب زیرزمینی
۴	مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی می‌رسد؛ آب تغذیه‌ای، عاملی برای انتقال آلاینده‌ها می‌باشد.	تغذیه خالص
۳	به خصوصیات مواد منطقه اشیاع اشاره دارد که فرآیندهای رقیق شدن آلاینده‌ها را کنترل می‌کنند.	محیط آبخوان
۲	به بخش هوازده بالایی منطقه غیراشیاع اشاره دارد و میزان آب نفوذی را کنترل می‌کند.	محیط خاک
۱	به شیب سطح زمین اشاره دارد؛ هرچه شیب کمتر باشد، زمان تماس آبهای سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر است و بنابراین امکان نفوذ آلاینده‌ها بیشتر خواهد بود.	توپوگرافی
۵	به عنوان مواد منطقه غیراشیاع تعریف می‌شود و عبور و رقیق شدن مواد آلاینده را به منطقه اشیاع کنترل می‌کند.	منطقه غیراشیاع
۳	توانایی آبخوان را در انتقال آب نشان می‌دهد؛ هرچه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده‌ها در آبخوان بیشتر خواهد بود.	هدایت هیدرولیکی

### ۴- سیستم اطلاعات جغرافیایی

پیشرفت تکنولوژی و توسعه کشورها و افزایش اطلاعات در زمینه‌های مختلف، باعث شده است که بشر به فکر ایجاد سیستم‌هایی باشد تا بتواند دسترسی به اطلاعات زیاد و متنوع و تجزیه و تحلیل آنها را آسان‌تر و سریع‌تر نماید و مدیران را جهت تصمیم‌گیری بهینه کمک کند.

یکی از بهترین این سیستم‌ها، تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است که از سال ۱۹۶۰ در آمریکا و کانادا توسعه یافت. با توسعه و پیشرفت این سیستم، مشکلات قبلی مانند کار با حجم زیاد داده‌ها، کار با نقشه‌های کاغذی و فرسوده شدن آنها، آنالیز و تحلیل اطلاعات زیاد و گوناگون و ... حل شد و به عنوان یک ابزار مدیریتی قوی، مدیران را جهت تصمیم‌گیری بهینه در زمینه‌های مختلف مدیریتی یاری کرد. از طرف دیگر برای تصمیم‌گیری نیاز به داشتن اطلاعاتی درباره محیط می‌باشد، GIS این مشکل را نیز از طریق ایجاد مدل‌سازی دنیای واقعی برطرف نمود. علاوه بر این، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابزاری قدرتمند برای کار با داده‌های مکانی می‌باشد. در یک GIS حجم بسیار زیادی از داده‌ها را می‌توان با سرعت زیاد و هزینه نسبتاً کم نگهداری و بازیابی نمود. نهایتاً، آنالیز همزمان داده‌های مختلف مکانی و توصیفی، مهم‌ترین قابلیت GIS می‌باشد که نمی‌توان آن را با سایر روشها انجام داد [۱۶].

با توجه به قابلیت‌های بسیار زیاد GIS در زمینه انجام مطالعات منابع آب و همچنین تجزیه و تحلیل سریع و آسان جهت تهیه نقشه‌های مربوط به پارامترهای مدل دراستیک، تجزیه و تحلیل این نقشه‌ها و نهایتاً ترکیب آنها، از این ابزار قدرتمند استفاده گردید.

نسبی بین ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد (مهم‌ترین پارامتر دارای وزن ۵ و کم اهمیت‌ترین پارامتر دارای وزن ۱ است). هر کدام از پارامترهای دراستیک به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند که نسبت تأثیر آنها بر روی آسیب‌پذیری متفاوت است. به بازه‌های هر کدام از پارامترهای دراستیک نیز یک رتبه بین ۱-۱۰ اختصاص می‌یابد. به پارامترهای عمق، تغذیه، خاک، توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی یک مقدار ثابت در هر بازه اختصاص یافته است. به پارامترهای محیط آبخوان و محیط غیراشیاع یک رتبه نمونه<sup>۱</sup> و یک رتبه متغیر<sup>۲</sup> اختصاص داده شده است. رتبه متغیر به کاربر اجازه می‌دهد یا رتبه نمونه را انتخاب کند و یا براساس اطلاعات بیشتر یک مقدار تعدیل شده را انتخاب نماید.

نتیجه مدل دراستیک یک اندیس عددی است که از رتبه‌ها و وزنهای اختصاص یافته به پارامترهای مدل مشتق می‌شود. معادله مربوط برای تعیین اندیس دراستیک به صورت زیر است:

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

که در آن:

$D, W, R$ ، رتبه مربوط به هر کدام از پارامترهای مدل می‌باشد.

بعد از محاسبه اندیس دراستیک، نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. هرچه این اندیس بزرگتر باشد، نشان دهنده این است که آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی بیشتر است.

<sup>1</sup> Typical Rating

<sup>2</sup> Variable Rating

## ۵- بحث و بررسی

### ۵-۱- تهیه لایه‌های مدل دراستیک

در این تحقیق از مدل دراستیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشتهای زویرچری و خرآن در محیط GIS استفاده شد. آنالیز داده‌ها و اجرای مدل نیز در نرم افزارهای ArcView GIS 3.3 و ArcGIS 9.0 انجام گردید.

### ۵-۱-۱- عمق تا سطح ایستابی

برای تهیه لایه عمق، از داده‌های سطح آب پیزومترهای منطقه استفاده شد. به این ترتیب که عمق سطح ایستابی، با کم کردن ارتفاع

سطح آب از ارتفاع پیزومترها و میانگین‌گیری برای یک دوره پنج ساله (مهرماه ۱۳۷۸ تا مهرماه ۱۳۸۳) به دست آمد (جدول ۲). به طور کلی در منطقه مورد مطالعه به سمت یالهای تاقدیس کوپال، عمق برخورد به سطح ایستابی کاهش می‌یابد. لایه عمق تا سطح ایستابی با توجه به رتبه‌های عمق مربوط به مدل دراستیک طبقه‌بندی و رتبه‌هایی به ارزش ۱ (کمترین تأثیر بر روی آسیب‌پذیری) تا ۱۰ (بیشترین تأثیر بر روی آسیب‌پذیری) به نواحی مختلف آن اختصاص داده شد (شکل ۲- الف و جدول ۳).

جدول ۲- میانگین پنج ساله عمق آب در پیزومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه

رتبه‌بندی	میانگین عمق	Y	X	پیزومتر
۹	۲/۳	۳۵۰۹۳۷۱	۳۰۴۴۵۵	Kr1
۳	۲۰/۲	۳۵۰۵۲۳۱	۳۰۷۰۶۴	Kr2
۵	۹/۷	۳۵۰۷۰۴۰	۳۰۹۵۹۵	Kr3
۵	۱۲/۱	۳۵۰۵۷۲۹	۳۱۲۶۷۲	Kr4
۳	۱۷/۲	۳۵۰۴۸۳۰	۳۰۲۹۷۵	Kr5
۳	۱۵/۴	۳۵۰۳۷۶۰	۳۱۵۴۹۴	Kr6
۵	۱۴/۲	۳۵۰۲۶۶۰	۳۱۷۵۳۴	Kr7
۳	۱۵/۷	۳۵۰۳۱۳۴	۳۲۰۱۱۵	Kr8
۱	۳۶/۶	۳۴۹۹۴۵۰	۳۱۴۲۰۰	Kr9
۱	۳۲/۷	۳۴۹۹۹۹۰	۳۱۵۷۵۷	Kr10
۵	۱۲/۷	۳۴۹۴۷۸۳	۳۲۵۸۷۵	Kr16
۲	۲۳/۵	۳۴۹۰۲۸۶	۳۲۷۶۰۰	Kr17
۳	۱۷/۳	۳۴۹۳۱۷۱	۳۳۱۰۹۶	Kr18
۵	۱۱/۶	۳۵۰۷۶۷۱	۳۱۴۹۹۹	Kr19
۷	۴/۶	۳۵۰۹۶۳۲	۳۱۱۴۱۶	Kr20
۹	۲/۳	۳۵۱۱۶۵۰	۳۰۸۲۲۰	Kr21
۷	۸/۳	۳۵۱۳۸۰۶	۳۱۶۴۳۰	Kr23
۵	۱۰/۶	۳۵۱۱۴۳۹	۳۱۸۴۸۷	Kr24
۱	۴۱/۵	۳۵۰۲۶۸۰	۳۰۵۵۰۰	Z1
۵	۹/۲	۳۴۹۹۳۴۰	۳۰۳۱۷۰	Z2
۷	۵/۵	۳۴۹۶۴۳۹	۳۰۵۰۲۹	Z3
۳	۲۰/۶	۳۴۹۶۰۵۵	۳۱۱۳۲۳	Z4
۷	۳/۹	۳۴۹۳۸۵۰	۳۰۷۲۷۰	Z5
۷	۸/۵	۳۴۹۲۲۳۱	۳۱۰۰۰۲	Z6
۳	۱۵/۹	۳۴۹۳۵۲۱	۳۱۳۶۷۹	Z7
۷	۸/۵	۳۴۸۹۷۵۱	۳۱۲۱۳۳	Z8
۷	۸/۱	۳۴۸۷۳۲۴	۳۱۵۰۷۹	Z10
۷	۴/۸	۳۴۸۴۱۶۹	۳۱۲۴۳۵	Z11
۱۰	۱/۹	۳۴۸۲۷۷۰	۳۱۴۹۵۳	Z12
۳	۱۵/۳	۳۴۸۴۳۳۲	۳۱۹۳۷۴	Z13
۷	۴/۰	۳۴۹۸۹۳۳	۲۹۹۳۱۳	Z14

جدول ۳- رتبه‌های مربوط به پارامترهای مدل دراستیک در منطقه مورد مطالعه

رتبه	پارامتر	رتبه	پارامتر
۱۰	توپوگرافی (شیب، درصد)	۱۰	عمق تا سطح ایستابی (متر)
۹	۰-۲	۹	۰-۲
۵	۲-۶	۷	۲-۳
۳	۶-۱۲	۵	۳-۹
۱	۱۲-۱۸	۳	۹-۱۵
۸	>۱۸	۲	۱۵-۲۳
۷	محیط غیراشباع	۱	۲۳-۳۳
۶	ماسه		>۳۰
۵	ماسه سیلتی	۸	تغذیه خالص (میلی‌متر در سال)
۴	ماسه رسی	۵	۱۷۵-۲۵۰
۳	رس با ماسه زیاد	۳	۱۰۰-۱۷۵
۱	رس با ماسه کم	۱	۵۰-۱۰۰
۶	رس و سیلت		۰-۵۰
۴	آبخوان محصور یا رس فشرده	۸	محیط آبخوان
۲	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	۶	ماسه و گراول
۱	۲۸-۴۰	۴	ماسه همراه مقداری رس یا سیلت
	۱۲-۲۸	۲	رس و سیلت همراه مقداری ماسه یا گراول
	۴-۱۲		رس و سیلت
	<۴	۹	محیط خاک
		۶	تپه‌های ماسه‌ای
		۳	ماسه لومی تا لوم ماسه‌ای
			لوم سیلتی - رسی تا لوم رسی

جدول ۴- رتبه‌های تغذیه برای منطقه مورد مطالعه [۱۷]

میزان تغذیه		نفوذپذیری خاک		بارندگی		شیب	
رتبه	محدوده	فاکتور	محدوده	فاکتور	بارش (میلی‌متر)	فاکتور	شیب (درصد)
۱۰	۱۱-۱۳	۵	زیاد	۴	>۸۵۰	۴	<۲
۸	۹-۱۱	۴	متوسط تا زیاد	۳	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰
۵	۷-۹	۳	متوسط	۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳
۳	۵-۷	۲	کم	۱	<۵۰۰	۱	>۳۳
۱	۳-۵	۱	خیلی کم				

#### ۵-۱-۲- تغذیه خالص

برای تهیه لایه تغذیه از روش پیسکوپو<sup>۱</sup> استفاده شد [۱۷]. پیسکوپو پارامتر تغذیه خالص را براساس میزان بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک منطقه، جایگزین روش ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده کرد. برای محاسبه میزان تغذیه، یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM)<sup>۲</sup> از منطقه تهیه شد. سپس شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل تهیه شده استخراج شده و با استفاده از معیارهای جدول ۴ رده‌بندی شد. نقشه خاک منطقه نیز با توجه به معیارهای جدول ۴ تهیه و رده‌بندی گردید. پس از

تهیه تمام نقشه‌های مذکور برای به دست آوردن لایه تغذیه، نقشه‌های شیب و خاک به همراه رتبه بارندگی منطقه که در منطقه مورد مطالعه برابر با ۱ است همپوشانی شدند. معادله پیسکوپو برای محاسبه پتانسیل تغذیه یک منطقه به صورت زیر است:

(۲) مقدار تغذیه = درصد شیب + میزان بارندگی + نفوذپذیری خاک  
برای به دست آوردن رتبه واقعی تغذیه از معیارهای جدول ۴ استفاده شد. شکل ۲-ب نقشه تغذیه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین نفوذپذیری مربوط به تپه‌های ماسه‌ای (۲۵۰-۱۷۵ میلی‌متر در سال)، محدوده مرکزی دشت دارای نفوذپذیری

<sup>1</sup> Pisco

<sup>2</sup> Digital Elevation Model

متوسط (۱۷۵-۱۰۰ میلی متر در سال) و حواشی آن دارای نفوذپذیری پایین (۱۰۰-۵۰ میلی متر در سال) می باشد.

#### ۵-۱-۳- محیط آبخوان

برای تهیه لایه محیط آبخوان از راهنمای ستون عمودی<sup>۱</sup> لیتولوژیکی ۱۴۰ چاه عمیق موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. به طور کلی آبخوان دشتهای زویرچری و خران در حاشیه سازند بختیاری، ماسه‌ای است و با دور شدن از این سازند بر مقدار رسوبات دانه ریز، افزوده می شود. با توجه به رتبه‌های محیط آبخوان (جدول ۳) لایه محیط آبخوان برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد که در شکل ۲-ج نشان داده شده است. با توجه به این تقسیم‌بندی اغلب نواحی منطقه مورد مطالعه دارای رتبه ۶ (ماسه همراه مقداری رس و سیلت) می باشد.

#### ۵-۱-۴- محیط خاک

برای تهیه لایه محیط خاک از نقشه خاک منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ که توسط اداره منابع طبیعی تهیه شده بود، استفاده شد. با توجه به رتبه‌های محیط خاک مدل دراستیک (جدول ۳) لایه محیط خاک برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۲-د). تپه‌های ماسه‌ای دارای نفوذپذیری زیاد، بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه با بافت ماسه لومی تا لوم ماسه‌ای دارای نفوذپذیری متوسط و محدوده اطراف دشت با بافت لوم سیلتی -رسی تا لوم رسی دارای نفوذپذیری پایین می باشند.

#### ۵-۱-۵- توپوگرافی

برای تهیه لایه توپوگرافی از نقشه‌های توپوگرافی رقومی (DGN) منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد. به طوری که در ابتدا یک مدل رقومی ارتفاعی از منطقه تهیه شده و سپس نقشه شیب از این مدل رقومی استخراج گشت. با توجه به رتبه‌های شیب مدل دراستیک (جدول ۳) لایه توپوگرافی برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد که در شکل ۲-ه نشان داده شده است. قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه دارای شیب کمتر از ۲ درصد می باشد. فقط قسمتی از منطقه در بخش جنوب شرقی (تاقدیس کوپال و تپه‌های ماسه‌ای) و بعضی نقاط به صورت پراکنده (تپه‌های ماسه‌ای) دارای شیب بین ۲-۶ درصد هستند. به طور کلی شیب در منطقه مورد مطالعه کم بوده و آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی را افزایش می دهد.

#### ۵-۱-۶- محیط غیراشباع

برای تهیه لایه محیط غیراشباع همانند لایه محیط آبخوان از راهنمای ستون عمودی چاهها و همچنین پیزومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۲-و). رسوبات بخش غیراشباع در محدوده شمالی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه (دشت خران) اغلب غیریکنواخت بوده و دارای میان لایه‌های فراوانی از رسوبات رسی و ماسه‌ای است، وجود میان لایه‌های رسی تأثیر زیادی در کاهش میزان آسیب‌پذیری دارد. در حالی که قسمت اعظم محدوده جنوب و جنوب غربی (دشت زویرچری) از رسوبات یکنواخت ماسه‌ای تشکیل شده است.

#### ۵-۱-۷- هدایت هیدرولیکی

برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی، از داده‌های پمپاژ پله‌ای چاههای عمیق موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با استفاده از روش میس<sup>۲</sup> (۱۹۹۶) مقادیر ضریب آبگذری کلیه چاهها محاسبه شد، سپس با در نظر گرفتن عمیق بخش اشباع آبخوان مقادیر هدایت هیدرولیکی کلیه چاهها محاسبه گردید [۱۸]. با توجه به هدایت هیدرولیکی چاههای عمیق منطقه و براساس رتبه‌های هدایت هیدرولیکی مدل دراستیک (جدول ۳)، لایه هدایت هیدرولیکی برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۲-ز). براین اساس قسمت اعظم منطقه دارای هدایت هیدرولیکی ۴-۱۲ متر بر روز است که با رتبه ۲ مشخص می شود.

#### ۶- ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان

برای به دست آوردن اندیس نهایی دراستیک از رابطه ۱ استفاده شد. برای درک بهتر اندیس آسیب‌پذیری باید روشی را انتخاب کرد تا آسیب‌پذیری آبخوان به خوبی نمایش داده شود و مقایسه بین نواحی متفاوت به طور همزمان امکان پذیر گردد. برای نمایش بهتر نقشه‌های آسیب‌پذیری از روش آلر<sup>۳</sup> و همکارانش استفاده شد [۱۵]. در این روش از یک مقیاس رنگی استفاده می شود، به طوری که ابتدا اندیس‌های آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن مرزهای قراردادی به بازه‌هایی تقسیم می شوند. سپس به این بازه‌ها رنگهایی از بنفش تا قرمز اختصاص داده می شود. رنگ آبی آسیب‌پذیری کم، رنگ سبز آسیب‌پذیری متوسط و رنگ قرمز آسیب‌پذیری بالا را نشان می دهد. از آنجایی که حداقل ممکن برای اندیس دراستیک با استفاده از این پارامترها برابر ۲۳ و حداکثر آن برابر ۲۳۰ می باشد، این بازه به چهار رده تقسیم می شود [۷].

<sup>2</sup> Mace

<sup>3</sup> Aller

<sup>1</sup> Geological Log

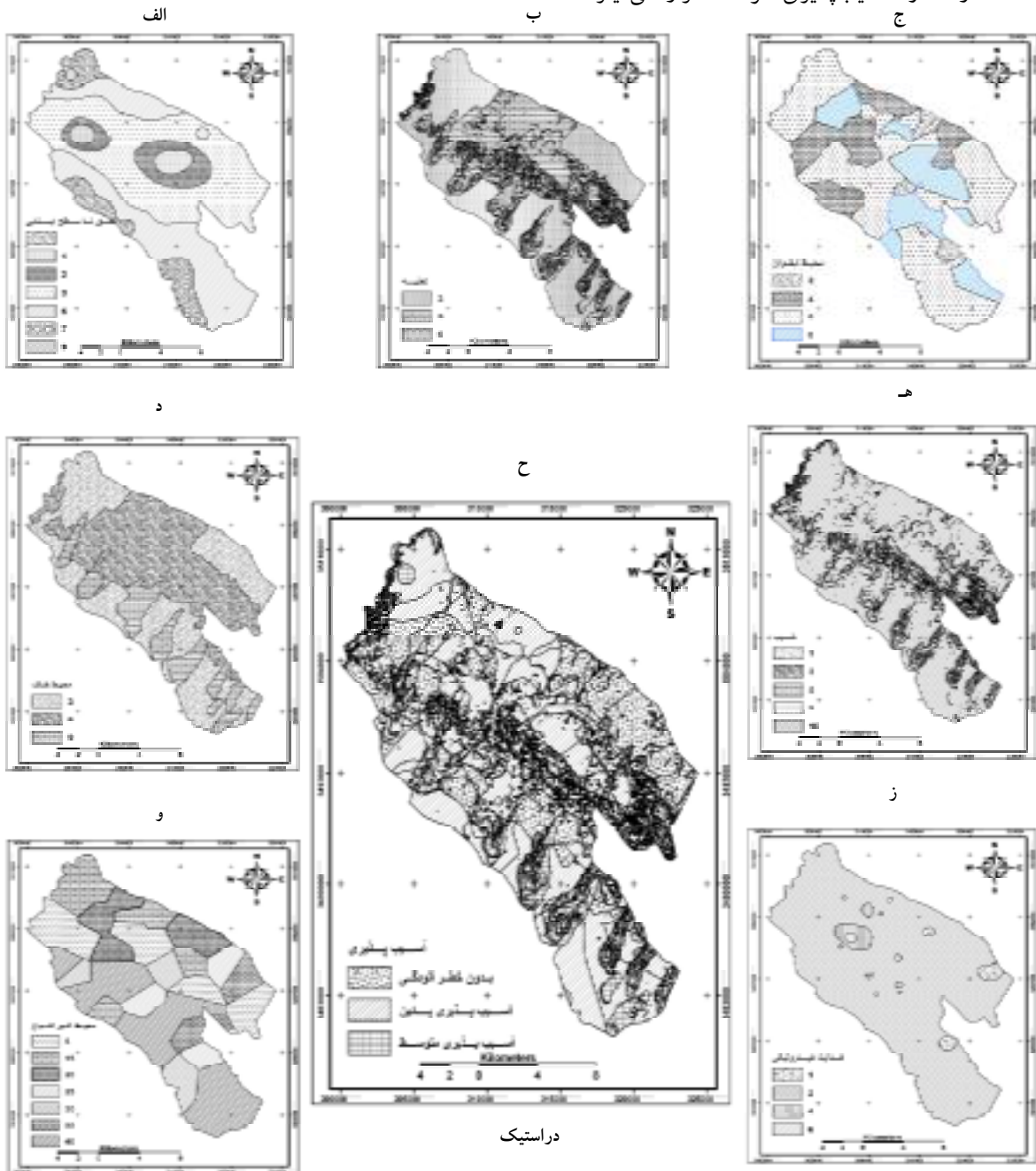


(جدول ۵ و شکل ۲-ح). با توجه به جدول ۵ حدود ۲/۵ درصد منطقه مورد مطالعه بدون خطر آلودگی، حدود ۷۶/۶ درصد آسیب پذیری پایین و حدود ۲۰/۹ درصد دارای آسیب پذیری متوسط می باشد.

شکل ۲ نشان می دهد که بیشترین آسیب پذیری آبهای زیرزمینی مربوط به محدوده غرب و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه است که دارای آسیب پذیری متوسط می باشند. به جز بخشهای کوچکی در شمال غرب و شرق منطقه - که در محدوده

- الف - ۷۱ < (بدون خطر آلودگی)
- ب - ۷۱-۱۲۱ (آسیب پذیری پایین)
- ج - ۱۲۱-۱۷۱ (آسیب پذیری متوسط)
- د - ۱۷۱ > (آسیب پذیری بالا)

نتایج اندیس دراستیک در این مطالعه بین ۵۶ تا ۱۶۲ قرار می گیرد. این بازه براساس رده بندی بالا به این صورت بیان می شود: (۱) ۵۶-۷۱ که در محدوده بدون خطر آلودگی قرار می گیرد، (۲) ۷۲-۱۲۱ که در محدوده آسیب پذیری پایین قرار می گیرد و (۳) ۱۲۲-۱۶۲ که در محدوده آسیب پذیری متوسط قرار می گیرد



شکل ۲- لایه های مدل دراستیک و نقشه آسیب پذیری آبخوان دشتهای زیرپرسی و خران

جدول ۵- اندیس دراستیک برای منطقه مورد مطالعه

وضعیت آبخوان	انديس دراستيك	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت كل
بدون خطر آلودگی	۵۶-۷۱	۸/۹۴	۲/۵
آسیب پذیری پایین	۷۲-۱۲۱	۲۷۶/۶۷	۷۶/۶
آسیب پذیری متوسط	۱۲۲-۱۶۲	۷۵/۷۳	۲۰/۹
جمع كل		۳۶۱/۳۴	۱۰۰

جدول ۶- میزان نیترات موجود در چاههای نمونه‌گیری شده

شماره چاه	نیترات (mg/L)	شماره چاه	نیترات (mg/L)	شماره چاه	نیترات (mg/L)	شماره چاه	نیترات (mg/L)
P285	۲۵	P116	۳۸	P242	۳۴	P285	۲۵
P229	۳۴	P279	۵۱	P183	۲۵	P229	۳۴
P336	۳۲	P227	۴۳	P249	۴۱	P336	۳۲
P261	۴۱	P239	۵۴	P154	۳۰	P261	۴۱
P233	۴۲	P255	۳۹	P271	۴۳	P233	۴۲
P185	۳۳	P153	۶۴	P264	۳۴	P185	۳۳
S11	۴۱					S11	۴۱

در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، میزان نیترات موجود در آبهای زیرزمینی در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه (دشت زویرچری) بیشتر از بخش شمالی آن (دشت خران) است که نتایج به دست آمده از مدل دراستیک را تأیید می‌کند. جهت دست‌یابی به میزان تطابق بین نقشه آسیب‌پذیری و نقشه نیترات، ضریب همبستگی بین این دو لایه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد که برابر با ۰/۵۷ می‌باشد، که همبستگی نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد و می‌توان صحت نتایج به دست آمده از مدل دراستیک را تا حدود زیادی تأیید نمود.

برای شناسایی مؤثرترین پارامتر بر روی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، ضریب همبستگی بین پارامترهای مدل دراستیک با لایه نیترات محاسبه گردید. نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب همبستگی بین پارامترها و لایه نیترات در جدول ۷ آمده است. نتایج موجود در این جدول نشان می‌دهد که پارامتر محیط غیراشباع از بیشترین همبستگی با لایه نیترات برخوردار است و بنابراین نسبت به سایر پارامترهای مدل دراستیک تأثیر بیشتری بر روی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی دارد.

از آنجا که رسوبات موجود در منطقه غیراشباع در دشت زویرچری غالباً ماسه‌ای است، مواد آلاینده موجود در سطح زمین و مخصوصاً یون نیترات به سرعت و به راحتی از فیلتر ماسه‌ای عبور کرده و به آب زیرزمینی می‌رسند. ولی در دشت خران به دلیل وجود

بدون خطر قرار می‌گیرد - سایر قسمت‌ها دارای آسیب‌پذیری پایین می‌باشند.

## ۷- صحت سنجی مدل دراستیک

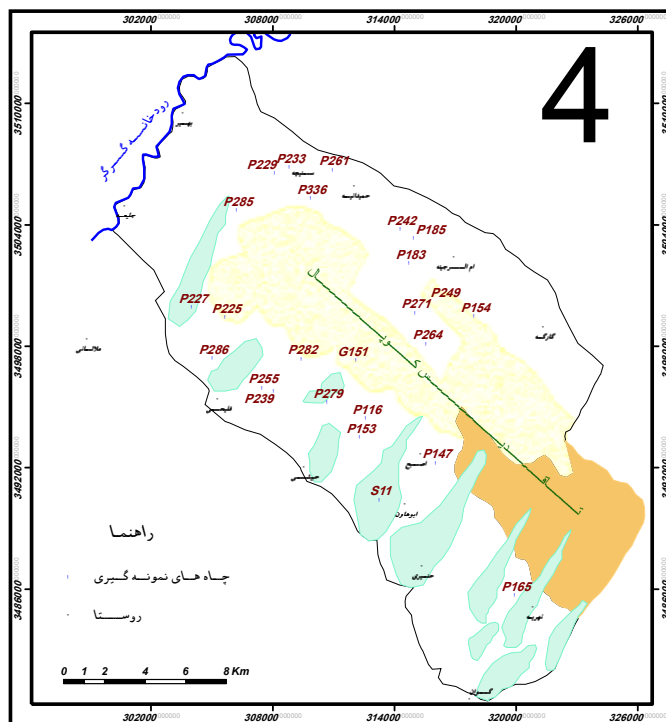
جهت صحت سنجی نتایج مدل دراستیک، از چاههای کشاورزی موجود در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری صورت گرفت. عمق نمونه‌های برداشت شده، سطح ایستابی در نظر گرفته شد و تاریخ برداشت نمونه‌ها نیز اسفند ۱۳۸۴ بود. برای اینکه نمونه‌ها به طور یکنواخت و با پراکندگی مناسب گرفته شوند، پس از تهیه نقشه آسیب‌پذیری، نقشه موقعیت چاههای کشاورزی بر روی آن همپوشانی شد. سپس چاههای نمونه‌گیری طوری انتخاب شد که از تمام رده‌های آسیب‌پذیری متفاوت، نمونه گرفته شود و نتایج صحت سنجی مدل قابل اعتماد باشد. موقعیت چاههای نمونه‌گیری شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

به دلیل اینکه کودهای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه غالباً کودهای حیوانی و یا کودهای شیمیایی نیترا ته می‌باشند، یون نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) موجود در آبهای زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Metrom 761 که جزو دستگاههای پیشرفته و دقیق تجزیه آب است، انجام شد.

در جدول ۶ میزان نیترات هر کدام از چاههای نمونه‌گیری شده ذکر شده است. شکل ۴ نقشه هم-میزان نیترات آبهای زیرزمینی را

جدول ۷- ضریب همبستگی لایه نیترات با لایه‌های مدل دراستیک

لایه	عمق	تغذیه	آبخوان	خاک	توپوگرافی	غیراشباع	نفوذپذیری
نیترات	۰/۵۰۰۹۲	۰/۰۸۷۸۸	۰/۰۵۰۹۱	۰/۰۶۱۰۲	-۰/۰۲۶۷۴	۰/۵۴۵۳۶	-۰/۱۹۴۹۰



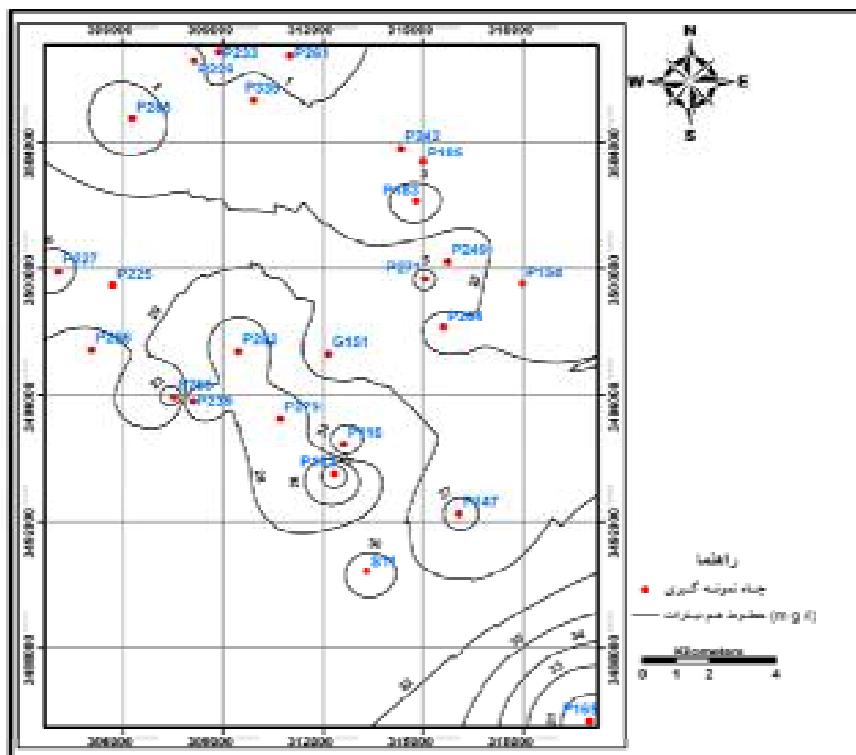
شکل ۳- موقعیت چاههای نمونه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

نیز کمتر است. مقایسه لایه نیترات و عمق تا سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه این وضعیت را به خوبی نشان می‌دهد.

### ۸- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مدل دراستیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشتهای زویرچری و خران استفاده شد. هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی برای نشان دادن وضعیت آسیب‌پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه استفاده شدند. این پارامترها عبارت‌اند از: ۱- عمق تا سطح ایستابی، ۲- تغذیه خالص، ۳- محیط آبخوان، ۴- محیط خاک، ۵- توپوگرافی، ۶- محیط غیراشباع و ۷- هدایت هیدرولیکی آبخوان. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی مربوط به محدوده غرب و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه است که دارای آسیب‌پذیری متوسط می‌باشند. به جز بخشهای کوچکی در شمال غرب و شرق

مواد ریزدانه مثل سیلت و رس در منطقه غیراشباع، مواد آلاینده نمی‌توانند به راحتی از این فیلترهای رسی و سیلتی عبور کنند و معمولاً قبل از رسیدن به سطح ایستابی تا حدودی از آب نفوذی جدا می‌شوند. همین عامل، باعث همبستگی بالا بین پارامتر محیط غیراشباع و لایه نیترات در منطقه مورد مطالعه شده است. پارامتر عمق تا سطح ایستابی نیز همبستگی خوبی را با لایه نیترات نشان می‌دهد که دلیل آن را می‌توان به صورت زیر تفسیر کرد. در نواحی که عمق تا سطح ایستابی کم می‌باشد، مواد آلاینده فرصت کمتری دارند که توسط فرآیندهای فیزیکی (فیلتر شدن)، شیمیایی (واکنش با مواد موجود در منطقه غیراشباع) و بیولوژیکی (حذف زیستی) موجود در منطقه غیراشباع از آب نفوذی جدا شوند و بنابراین سریع‌تر به آب زیرزمینی می‌رسند. ولی در مناطق با سطح ایستابی عمیق فرآیندهای مذکور فرصت بیشتری را در حذف مواد آلاینده از آب نفوذی دارند و بنابراین در این نواحی شانس آلودگی آبخوان



شکل ۴- لایه هم نیترات منطقه مورد مطالعه

همبستگی را پارامتر محیط غیراشباع و بعد از آن پارامتر عمق تا سطح ایستابی با یون نیترات دارند. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیرگذارترین پارامترها بر روی آلودگی آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، به ترتیب پارامترهای محیط غیراشباع و عمق تا سطح ایستابی می‌باشند.

سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل قابلیت بالا در مدیریت حجم زیادی از داده‌های مکانی، محیط مناسبی را برای تحلیل پارامترهای دراستیک و تهیه نقشه آسیب‌پذیری فراهم کرد. هفت پارامتر دراستیک با استفاده از توابع موجود در محیط GIS ساخته و طبقه‌بندی شدند. اندیس آسیب‌پذیری که از ترکیب خطی پارامترهای دراستیک به دست می‌آید، به راحتی در محیط GIS محاسبه شد.

منطقه - که در محدوده بدون خطر آلودگی قرار می‌گیرد - سایر قسمت‌ها دارای آسیب‌پذیری پایین می‌باشند. به طور کلی در بخشهایی از منطقه مورد مطالعه که سفره آبدار تحت فشار و عمق برخورد به سطح ایستابی زیاد می‌باشد، خطر آلودگی وجود ندارد و یا بسیار کم است. با مقایسه نقشه نهایی آسیب‌پذیری با نقشه خاک منطقه مورد مطالعه می‌توان به این موضوع پی برد که بیشترین آسیب‌پذیری مربوط به تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج آنالیز نمونه‌های آب نشان می‌دهد که به طور کلی میزان نیترات موجود در آبهای زیرزمینی دشت زویرچری بیش از میزان نیترات موجود در دشت خران است که نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری را نیز تأیید می‌کند. نتایج تحلیل همبستگی بین پارامترهای دراستیک و یون نیترات نیز نشان می‌دهد که بیشترین

## ۹- مراجع

- 1- US EPA. (1985). *DRASTIC: A standard system for evaluating groundwater potential using hydrogeological settings*, Ada, Oklahoma, WA/EPA Series.
- 2- Melloul, A., and Collin, M. (1994). "Water quality factor identification by the principal component's statistical method." *J. Water Sci. Technol.*, 34, 41-50.

- 3- Vrba, J., and Zoporozec, A. (1994). *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*, International Contribution for Hydrogeology, vol. 16, Hannover7 Heise.
- 4- Tesoriero, A.J., Inkpen, E.L., and Voss, F.D. (1998). "Assessing ground-water vulnerability using logistic regression." *Proc., Source Water Assessment and Protection 98 Conference*, Dallas, TX, 157–165.
- 5- Secunda, S., Collin, M.L., and Melloul, A.J. (1998). "Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region." *J. Environ. Manage.*, 54,39 – 57.
- 6- Shamsuddin, S. (2000). "A study of groundwater pollution vulnerability using DRASTIC-GIS, West Bengal, India." *J. Environmental Hydrology*, 8, 1–9.
- 7- Al-Adamat, R.A.N., Foster, I.D.L., and Baban, S.M.J. (2003). "Groundwater vulnerability and riskmapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC." *J. Applied Geography*, 23, 303–324.
- 8- Babiker, I.S., Mohamed, A.A.A., Hiyama, T., and Kato, K. (2005). "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.
- 9- 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 Stalination and nitrate contamination level in two agriculture regions in the south of Portugal." *J. Hydrogeology*, 14(1-2), 79 –99.
- 10- Cameron, E., and Peloso, G.F. (2001). "An application of fuzzy logic to the assessment of aquifers pollution potential." *J. Environmental Geology*, 40, 1305-1315.
- 11- Dixon, B. (2004). "Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: A GIS-based sensitivity analysis." *J. Hydrology*, 309, 17-38.
- 12- Dixon, B. (2005). "Groundwater vulnerability mapping: A GIS and fuzzy rule based integrated tool." *J. Applied Geography*, 25, 327-347.
- ۱۳- نیکنام، ر. (۱۳۸۳). "تهیه نقشه آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و کاربرد آن در دشت تهران." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۱۴- رحیمی، م.ح. (۱۳۸۳). "بررسی هیدروژئولوژیکی دشتهای زیرچری و خران (ملاثانی - اهواز)." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 15- Aller, L., Bennet, T., Leher, J.H., Petty, R.J., and Hackett, G. (1987). *DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro-geological settings*, EPA 600/2-87-035, 622.
- ۱۶- آرونوف، ا. (۱۳۷۵). *سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، ترجمه سازمان نقشه‌برداری کشور.*
- 17- 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)>, (November, 2005).
- 18- Mace, R.E.(1997). "Determination of transmissivity from specific capacity tests in a karst aquifer." *J. Ground Water*, 35 (5), 733-742.