



پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

ارزیابی و پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت فارسان- جونقان نسبت به آلودگی با استفاده شفاف DRASTIC در محیط GIS

محسن افروزی*

دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

afrooz533@yahoo.com

حسین محمدزاده

استادیار و عضو هیئت علمی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

mohammadzadeh@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

شناسایی و تهیه نقشه پهنه بندی مناطق آسیب پذیر آبخوان، یعنی مناطقی که امکان نفوذ و پخش آلاینده ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی وجود دارد، یک ابزار مدیریتی مناسب برای جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی می باشد. روش های مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیر آبخوان وجود دارد که به طور کلی به سه گروه اصلی یعنی روش های آماری، روش های ریاضی و روش های شاخص همپوشانی تقسیم بندی می شوند. در این مقاله، جهت تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت فارسان- جونقان از توابع مرکزی استان چهارمحال و بختیاری، روش دراستیک (DRASTIC)، یکی از کاربردی ترین روش های همپوشانی، بکار گرفته شده است. نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت، حاصل از تلفیق نقشه های رستری هفت گانه پارامترهای مدل دراستیک (عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، اثر منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی) در محیط GIS، نشان می دهد که شاخص دراستیک بین ۱۰۰ تا ۱۷۸ متغیر بوده و بترتیب در حدود ۱۰، ۲۸، ۳۵ و ۱۸ درصد از سطح منطقه دارای آسیب پذیری کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد می باشد.

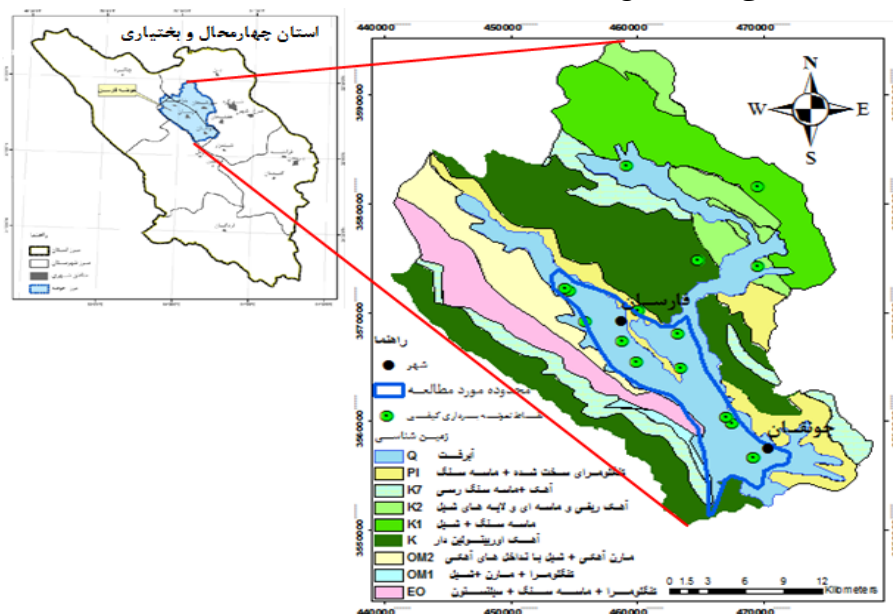
واژه های کلیدی: آسیب پذیری سفره، شاخص دراستیک، دشت بروجن- فرادنبه، GIS

مقدمه

در سالهای اخیر افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش نیازهای آبی و همچنین کاهش کیفیت و آلودگی آبهای زیرزمینی بدلیل توسعه صنعت و کشاورزی موجب توجه به کیفیت منابع آب زیرزمینی گردیده است. یکی از راه های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب پذیر آبخوان و مدیریت بهره برداری از منابع آب و کاربری اراضی است. روش های مختلفی برای تعیین پتانسیل آسیب پذیری سفره وجود دارد که از جمله آن می توان به روش های همپوشانی (SINTAC، DRASTIC، GOD)، روش های ریاضی و روش های آماری اشاره کرد (ولایکو، ۲۰۰۸). روش های همپوشانی بر پایه تلفیق لایه های حاصل از پارامترهای مختلف بنا نهاده شده اند و اساس کار یکسانی دارند بر ارزیابی توصیفی و کمی

آسیب‌پذیری تکیه دارند. این روش‌ها در به کارگیری نوع و تعداد پارامترها با هم تفاوت داشته ولی در نهایت منجر به ثبت یک شاخص عددی یا امتیاز برای هر ویژگی می‌گردد. از کاربردی‌ترین روش‌های شاخص-همپوشانی، روش دراستیک می‌باشد که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA) جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی ارائه شد.

در این مقاله نقشه پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت فارس- جونقان در موقعیت جغرافیایی $22^{\circ} 50'$ تا $47^{\circ} 50'$ طول شرقی و $32^{\circ} 04'$ تا $29^{\circ} 32'$ عرض شمالی با ارتفاع متوسط ۲۰۰۰ در محدوده‌ای به مساحت ۱۲۰ کیلومتر مربع در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی در محدوده مطالعاتی قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای واحدهای مربوط به کرتاسه می‌باشد. بیشترین واحد سنگی مربوط به سازند کربناته کرتاسه و آسماری با ۲۲ و ۱۵ درصد مساحت کل حوضه رخنمون دارد. از نظر ساختاری منطقه مورد مطالعه در حد فاصل زونهای سنندج-سیرجان در غرب و شمال‌غرب و زون زاگرس مرتفع در شرق گسل اصلی زاگرس واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز جونقان - فارس

از نظر هیدروژئولوژی مساحت آبخوان دشت فارس-جونقان در حدود ۱۶۲ کیلومتر مربع می‌باشد. آبخوان دشت از اطراف توسط تشکیلات آهکی و کنگلومرانی احاطه شده است. سنگ کف در نواحی اطراف دشت شامل طبقات کنگلومرای بختیاری و در نواحی دیگر طبقات رسی دوران چهارم می‌باشد. بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوالکتریک موجود و مطابق نقشه هم ضخامت آبرفت، میزان ضخامت آبرفت در این دشت بین ۵ تا حدود ۷۰ متر در تغییر می‌باشد. جهت جریان در آبخوان دشت فارس-جونقان از شمال غرب به طرف جنوب شرق دشت می‌باشد.

مواد و روشها

عبارت DRASTIC مخفف پارامترهایی است که در سیستم هیدروژئولوژیکی کنترل کننده آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند. این پارامترها شامل: عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، مواد تشکیل دهنده آبخوان (A)، نوع خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) می‌باشد. در این روش شاخص آسیب‌پذیری از مجموع حاصلضرب وزن و رتبه هفت پارامتر فوق‌الذکر مطابق رابطه ۱ بدست می‌آید.

رتبه مربوط به هر پارامتر بین ۱ تا ۱۰ و وزن هر پارامتر با توجه به اهمیت آن بین ۱ تا ۵ متغیر می باشد(که در بخش بعد به تفصیل توضیح داده خواهد شد).

$$D_i = \sum_{j=1}^7 (W_j \times R_j) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:

D_i : مقدار نهایی شاخص دراستیک در پیکسل i ام ، W_j : وزن پارامتر j ، R_j : رتبه پارامتر j می باشد. با تهیه نقشه های رستری پارامترهای دراستیک در محیط GIS و بکارگیری قابلیت Calculator Raster نرم افزار GIS می توان لایه های مختلف را تلفیق و نقشه پهنه بندی آسیب پذیری را تهیه نمود.

وزن دهی پارامترها دراستیک

به هر یک از پارامتر هفت گانه دراستیک به نسبت اهمیت آن در آسیب پذیری، وزنی بین ۱ تا ۵ داده می شود(جدول ۱). به مهم ترین پارامتر وزن ۵ و به کم اهمیت ترین آن ها وزن ۱ داده می شود(آلر و همکاران ۱۹۹۷). ارزیابی آسیب پذیری هر منطقه بایستی براساس اهمیت هر یک از پارامترها در آن منطقه صورت بگیرد. به طور مثال توپوگرافی در یک منطقه کوهستانی نسبت به یک دشت مسطح از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین بایستی توجه داشت که بعضی از پارامترها در ایجاد دیگر پارامترهای هفت گانه دراستیک موثر می باشند. به عنوان مثال توپوگرافی (T) بر پارامتر عمق آب زیرزمینی (D) در یک منطقه موثر است و هر چند که اثر توپوگرافی قبلاً به طور مجزا در برآورد شاخص دراستیک اعمال شده است.

جدول ۱- وزن های نسبت داده شده به پارامترهای هفت گانه دراستیک (آلر و همکاران ، ۱۹۹۷)

وزن نسبی	ویژگی و نوع اثر	پارامتر
۵	تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده بایستی طی کند تا به سطح ایستایی برسد. هر چقدر سطح آب عمیق تر باشد زمان حرکت و ماندگاری آلوده کننده و در نتیجه ظرفیت میرایی آن افزایش یابد	عمق آب زیرزمینی (D)
۴	تغذیه خالص مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستایی می رسد و موجب انتقال آلودگی به صورت عمودی و رسیدن به سطح ایستایی و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند	تغذیه (R)
۳	طول و چگونگی مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می کند. نقش موثری در سرعت انتقال آلودگی داشته و طول مسیر، زمان لازم برای انجام فرایندهای میرایی (تظئیر جذب، واکنشهای شیمیایی و پراکنش) آلودگی را تعیین می کند	محیط اشباع (A)
۲	تأثیر بسیار مهمی در رسیدن تغذیه موثر به سطح ایستایی و بر چگونگی حرکت آلوده کننده دارد	محیط خاک (S)
۱	نقش مهمی در حرکت آلوده کننده و نگهداری آن بر سطح زمین دارد. علاوه بر آن توپوگرافی بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلوده کننده ها نیز مؤثر است	توپوگرافی (T)
۵	منطقه غیر اشباع منطقه بالایی سطح ایستایی تا سطح زمین است که از آب غیر اشباع می باشد. ضخامت و خصوصیات هیدرولیکی مواد زمین شناسی منطقه غیر اشباع که نرخ تغذیه و مدت زمان تغذیه به آبخوان را کنترل می کنند از عوامل کلیدی تعیین آسیب پذیری آبخوان هستند	محیط غیر اشباع (I)
۳	با مقدار فضاهای خالی مرتبط به هم در آبخوان کنترل و حاصل تخلخل بین دانه های، درز و شکاف ها و صفحات لایه بندی است	هدایت هیدرولیکی (C)

رتبه بندی پارامترهای دراستیک

به هر یک از پارامترهای کیفی دراستیک مانند محیط خاک (S) ، محیط غیر اشباع (I) و محیط اشباع (A) بر اساس نوع خاک و مواد زمین شناسی تشکیل دهنده و به هر یک از پارامترهای عددی دراستیک (عمق ، تغذیه (D) ، تغذیه (R) ، توپوگرافی (T) ، هدایت هیدرولیکی (C)) بر اساس محدوده ها یا کلاسه های عددی متفاوت ارزشی بین ۱ تا ۱۰ داده می شود(جدول های ۲ تا ۸). محدوده های عددی موثر در حوزه مورد نظر، براساس اثر آن ها بر پتانسیل آلودگی تعیین می شوند.

جدول ۲- رتبه بندی عمق سطح آب زیرزمینی
(آلر و همکاران ، ۱۹۹۷)

رتبه بندی	محدوده(متر)
۱۰	۰-۱/۵
۹	۱/۵-۴/۶
۷	۴/۶-۹/۱
۵	۹/۱-۱۵/۲
۳	۱۵/۲-۲۲/۸
۲	۲۲/۸-۳۰/۴
۱	>۳۰/۴

جدول ۵- رتبه بندی درصد شیب توپوگرافی
(آلر و همکاران ، ۱۹۹۷)

رتبه بندی	محدوده(%)
۱۰	۰-۲
۹	۲-۶
۵	۶-۱۲
۳	۱۲-۱۸
۱	>۱۸

جدول ۳- رتبه بندی محیط اشباع آبخوان
(آلر و همکاران ، ۱۹۹۷)

رتبه بندی	نوع سازند زمین شناسی
۱	شیل توده ای
۳	آذرین/دگرگونی
۳	آذرین/دگرگونی هوازده
۳	یخرفت
۶	ماسه سنگ لایه لایه، سنگ آهک، توالی شیل ها
۶	ماسه سنگ توده ای
۶	سنگ آهک توده ای
۸	شن و ماسه
۹	بازالت دارای شکستگی
۱۰	سنگ آهک کارستی

جدول ۶- رتبه دندنی محیط غیر اشباع
(آلر و همکاران ، ۱۹۹۷)

رتبه بندی	نوع مواد زمین شناسی
۱	لایه محبوس کننده
۳	سیلت/رس
۳	شیل
۳	سنگ آهک
۶	ماسه سنگ
۶	ماسه سنگ، سنگ آهک، شیل های لایه لایه
۶	شن و ماسه با مقدار زیادی سیلت و رس
۸	شن و ماسه
۹	بازالت دارای شکستگی
۱۰	سنگ آهک کارستی

جدول ۴- رتبه بندی محیط خاک
(آلر و همکاران ، ۱۹۹۷)

رتبه بندی	نوع خاک
۱۰	نازک یا نبود لایه خاک
۱۰	شن
۹	ماسه
۸	کود گیاهی (peat)
۷	رس فشرده/متراکم
۶	لوم ماسه ای
۵	لوم
۴	لوم سیلتی
۳	لوم رس دار
۲	کود (muck)
۱	رس غیر متراکم

جدول ۷- رتبه بندی هدایت هیدرولیکی
(آلر و همکاران ، ۱۹۹۷)

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

جدول ۸- رتبه بندی تغذیه خالص (پیسکوپو ، ۲۰۰۱)

شیب توپوگرافی (T)		بارندگی (P)		نفوذ پذیری خاک (Im)		تغذیه (R)	
رتبه	محدوده (%)	رتبه	محدوده (mm)	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۴	<۲	۴	>۸۵۰	۵	پالا	۱۰	۱۱-۱۳
۳	۲-۱۰	۳	۷۰-۸۵۰	۴	نسبتا پالا	۸	۹-۱۱
۲	۱۰-۲۳	۲	۵۰-۷۰۰	۳	متوسط	۵	۷-۹
۱	>۲۳	۱	<۵۰۰	۲	کم	۳	۵-۷
				۱	خیلی کم	۱	۳-۵

بحث و بررسی

با توجه به مراحل تهیه مدل دراستیک و با به کارگیری و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده از منطقه مورد مطالعه ضمن تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نیاز و تلفیق آنها در محیط GIS ، نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت فارس-ان- چونقان تهیه گردیده است، که در زیر به مراحل آن اشاره می گردد.

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

لایه عمق (D)

با استفاده از آمار و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت فارسان - خونقان، ابتدا نقشه هم عمق آب زیرزمینی تهیه و سپس با کمک رتبه‌بندی عمق (جدول ۲) نقشه رتبه بندی عمق (شکل ۲-الف) تهیه گردید.

تغذیه خالص (R)

برای تهیه نقشه تغذیه خالص دشت، ابتدا مقدار متوسط بارندگی سالیانه (Ra) و سپس با توجه به مقدار نفوذپذیری خاک (In) (طبق جدول ۳-۴ کتاب هیدرولوژی آب زیرزمینی (تاد) ترجمه رازقی ۱۳۵۳) و شیب توپوگرافی مناطق مختلف دشت، میزان تغذیه خالص تقسیم‌بندی شد. نقشه تغذیه خالص بصورت رستری و اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه شد و با توجه به رتبه‌ای که در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری برای پارامتر تغذیه در نظر گرفته شده (جدول ۸) و طبق رابطه (۲)، نقشه رتبه‌بندی تغذیه بدست آمده است (شکل ۲-ب).

$$R = \text{Slope}(\%) + Ra(\text{mm}) + In(\text{mm})$$

رابطه (۲)

لایه محیط آبخوان (A)

با استفاده از لوگ‌های حفاری چاه‌های موجود در محدوده مطالعاتی و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک، نقشه نوع و جنس محیط آبخوان تهیه و با توجه به رتبه محیط آبخوان (جدول ۳) نقشه رستری رتبه‌بندی محیط آبخوان در اندازه سلول ۱۰۰ متری در محیط GIS تهیه شد. (شکل ۲-ج)

لایه محیط خاک (S)

با استفاده از لوگ حفاری چاه‌های نقشه نوع و جنس خاک تا عمق ۲ متری تهیه و سپس با توجه به رتبه بندی این پارامتر (جدول ۴) نقشه رستری محیط خاک در اندازه سلول ۱۰۰ متری در محیط GIS تهیه گردیده است (شکل ۲-د)

لایه شیب (T)

برای تهیه نقشه شیب از نقشه رقومی توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به همراه نقاط ارتفاعی کمکی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای استفاده شده است. ابتدا نقشه رستری توپوگرافی و سپس به کمک آن نقشه رستری درصد شیب تهیه و در نهایت با استفاده از رتبه بندی این پارامتر (جدول ۵) نقشه رتبه بندی شیب با اندازه سلول ۱۰۰ متری در محیط GIS تهیه گردید (شکل ۲-ه)

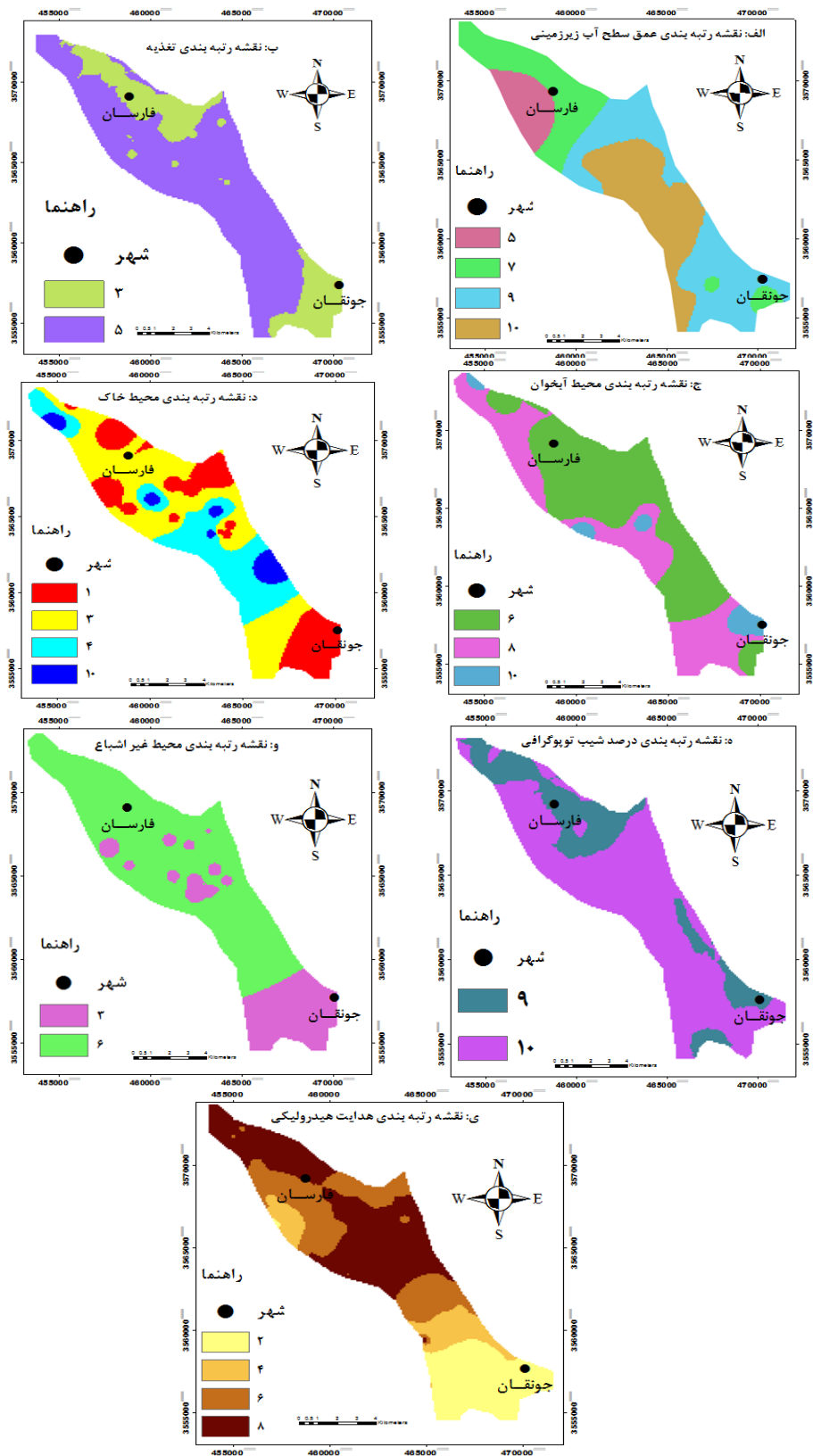
لایه منطقه غیر اشباع (I)

با استفاده از لوگ‌های حفاری چاه‌ها و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک دشت، نوع و جنس مواد تشکیل دهنده منطقه غیر اشباع مشخص و نقشه رستری منطقه غیر اشباع تهیه گردید و سپس به کمک این نقشه و با توجه به جدول (۶) نقشه رستری رتبه بندی مربوط به منطقه غیر اشباع با اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه گردید (شکل ۲-و).

لایه هدایت هیدرولیکی (C)

مقدار هدایت هیدرولیکی (C) رامی توان از تقسیم مقدار، بر ضخامت اشباع آبخوان (b) بدست آورد. از این رو ابتدا نقشه رستری ضریب قابلیت انتقال (با استفاده از داده های T نقاط مختلف دشت) نقشه رستری ضخامت اشباع (از تفریق نقشه رستری هم ضخامت آبرفت به نقشه هم عمق سطح آب) را بدست آورده و سپس از تقسیم نقشه ضریب قابلیت انتقال بر

نقشه ضخامت آبخوان، نقشه رستری هدایت هیدرولیکی دشت بدست آمده است. در نهایت با توجه به رتبه بندی محدودهای هدایت هیدرولیکی (جدول ۷) نقشه رستری رتبه بندی هدایت هیدرولیکی بدست آمده است (شکل ۲-۱)



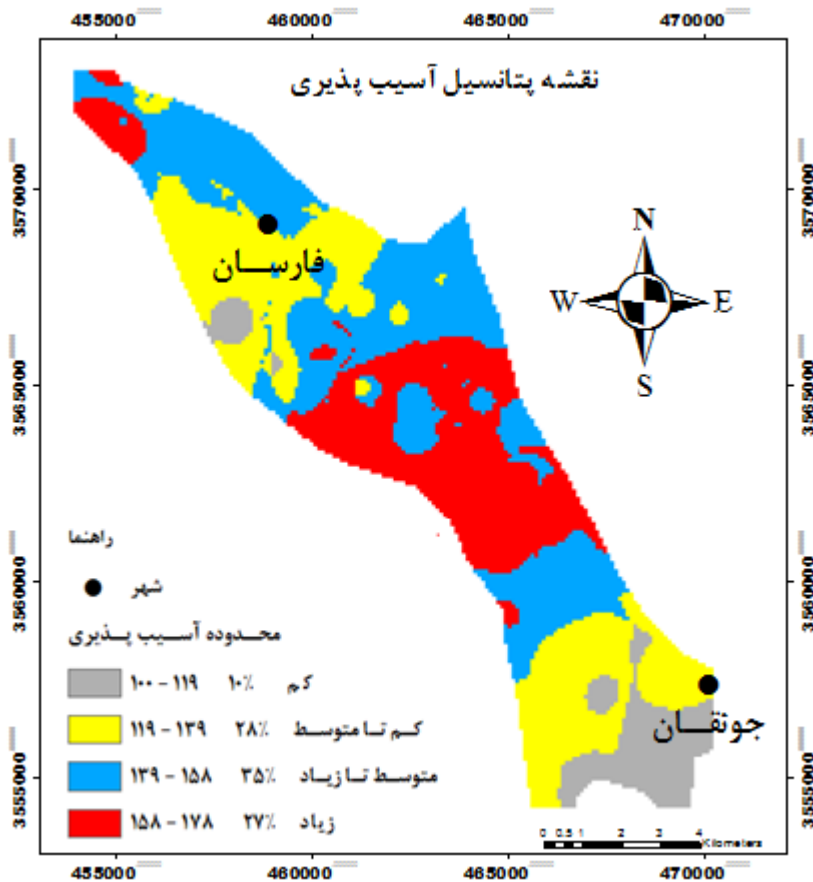
شکل ۲- نقشه های رستری رتبه بندی پارامترهای دراستیک

شاخص آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه

با استفاده از نقشه های رتبه بندی پارامترها (شکل ۲) و وزن هر یک از پارامترهای هفت گانه دراستیک (جدول ۱)، نقشه پهنه بندی آسیب پذیری محدوده مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۳). همانگونه که شکل ۶ نشان می دهد، شاخص دراستیک در دشت فارسان- جوتقان با توجه بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ متغیر است. با توجه به جدول طبقه بندی کیفی میزان آسیب پذیری (جدول ۹) حدود ۱۰ درصد دشت دارای آسیب پذیری کم (نواحی جنوبی و شرقی دشت) و ۲۸ درصد دشت دارای آسیب پذیری کم تا متوسط (نواحی مرکزی) می باشد. باید توجه داشت که نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان، پتانسیل آبخوان به آلودگی، نه میزان آلودگی آبخوان، را نشان می دهد. بدین معنی که ممکن است در یک منطقه پتانسیل آسیب پذیری کم و متوسط باشد ولی بدلیل حضور گسترده منابع آلاینده، آبهای زیرزمینی آلوده شده باشد. بر عکس ممکن است در منطقه ای پتانسیل آسیب پذیری بالا باشد ولی به دلیل عدم حضور منابع آلاینده هیچ گونه خطری آلودگی آبهای زیرزمینی را تهدید نکند.

جدول ۹- طبقه بندی کیفی میزان آسیب پذیری (بالوشا، ۲۰۰۶)

پتانسیل آلودگی	بدون خطر آلودگی	خیلی کم	کم	کم تا متوسط	متوسط تا زیاد	زیاد	خیلی زیاد	کاملاً مستعد آلودگی
شاخص دراستیک	<۷۹	۸۰-۹۹	۱۰۰-۱۱۹	۱۲۰-۱۳۹	۱۳۹-۱۵۹	۱۶۰-۱۷۹	۱۶۱-۱۹۹	>۱۹۹



شکل ۳- نقشه ی نهایی آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت فارسان

نتیجه گیری

با توجه به اینکه روش دراستیک نسبت به سایر روشهای تعیین پتانسیل آسیب پذیری آبخوان به آلودگی، از کاربردی ترین روشهای رتبه دهی محسوب می گردد و از تعداد پارامترهای بیشتری در تهیه مدل استفاده می کند، لذا از این روش برای تعیین پتانسیل آسیب پذیری دشت فارسان- جوتقان استفاده شده است. نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت، که از تلفیق نقشه های رستری هفت گانه پارامترهای مدل دراستیک با لحاظ کردن وزن هر پارامتر در محیط GIS بدست آمده است، نشان می دهد که در دشت فارسان- جوتقان پارامترهای عمق سطح ایستابی (D) و هدایت هیدرولیکی (C) بیشترین تاثیر را در تعیین میزان آسیب پذیری سفره دارد. شاخص دراستیک در نقشه پهنه بندی آسیب پذیری دشت بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ متغیر بوده و بترتیب در حدود ۱۰، ۲۸، ۳۵ و ۱۸ درصد از سطح منطقه دارای آسیب پذیری کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد می باشد. پیشنهاد می گردد در مناطق با پتانسیل آسیب پذیری بالا (نواحی مرکزی دشت)، ضمن عدم استفاده از کودهای شیمیایی در فعالیتهای کشاورزی از ایجاد واحدهای صنعتی مولد آلودگی در این مناطق جلوگیری شود.

منابع

- چیت سازان م. اختری ی. ۱۳۸۵. پتانسیل یابی آلودگی آب زیرزمینی دشت های زویرچری و خران با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله آب و فاضلاب. شماره ۵۹
- احمدی ع. آبرومند م. (۱۳۸۸). بررسی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت خاش، شرق ایران، با استفاده از سامانه ی اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه زمین شناسی کاربردی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان
- اکبری ا. کلانتری ن. رحیمی م. (۱۳۸۵). بررسی و ارزیابی آب زیرزمینی دشت میان آب شوشتر با استفاده از GIS. اولین همایش بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، شهرکرد
- روح افزایان س. (۱۳۸۷). ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی دشت کرج نسبت به نیترات با استفاده از GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران
- گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت محدوده مطالعاتی بروجن خردانبه (۱۳۸۷). شرکت سهامی آب منطقه ای چهار محال و بختیاری. مدیریت مطالعات پایه گروه آبهای زیرزمینی
- Aller L. Bennet T. Lehr J.H. Petty R.J. Hackett G. (1987). DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential using Hydrogeologic Settings. EPA/600/2-87/035. pp 19-25. U.S.Environmental Protection Agency. Ada . Oklahoma
- Hamza M.H. Added A. Rodri guez R. Abdeljaoued S. Ben Mammou A. (2007) . GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment inan aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer,Northern Tunisia). Journal of Environmental Management
- Vlaicu M. Munteanu C.M. (2008) . Karst groundwaters vulnerability assessment method.
- Atiqur. R.(2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. Applied Geography
- Baalousha. H. (2006). Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC. Springer-Verlag
- Erhan S. Sehnaz, S. Aysen D. (2009). Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta Turkey). Hydrogeology Journal
- Jamrah A. Al-Futaisi A. Rajmohan N. Al-Yaroubi S. (2007). Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of Oman using DRASTIC index method in GIS environment. Environ Monit Assess . Springer Science & Business Medi
- Insaf S. Babiker M. A. Tetsuya H. Kikuo K.(2004). A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. journal of Science of the Total Environment
- Piscopo G. (2001). Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment,NSW. Department of Land and Water Conservation. Australia,