

شناسایی مناطق آسیب پذیر به آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS (مطالعه موردی: دشت بجنورد - خراسان شمالی)

فائزه داودی^۱، حسین محمدزاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

Faezhdavodi@yahoo.com

تلفن تماس: ۰۹۱۵۱۰۷۰۰۲۴

۲- استادیار و عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی (متآب)، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد،

ایران

Mohammadzadeh@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

در اکثر مناطق ایران آب زیرزمینی مهمترین تامین کننده آب کشاورزی، شرب و صنعت است. از اینرو، جهت دستیابی به یک روش مناسب و موثر برای حفاظت منابع آب زیرزمینی از آلودگی هایی که در آینده آنرا تهدید می کند، سیستم های ارزیابی آسیب پذیری سفره های آب زیرزمینی توسعه یافته اند. در این تحقیق، به منظور تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان دشت بجنورد واقع در استان خراسان شمالی، مدل DRATIC بکار گرفته شده است که هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی موثر بر آلودگی آب زیرزمینی، شامل عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، تاثیر محیط غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) را مورد بررسی قرار می دهد و با ترکیب این پارامترها در محیط GIS مناطق مستعد آلودگی آبخوان را مشخص می نماید. نقشه پهنه بندی آسیب پذیری دشت بجنورد نشان می دهد که شاخص دراستیک بین ۴۱ تا ۱۶۳ در تغییر است. بر اساس نتایج حاصل ۱، ۹، ۳۷ و ۳۶ درصد از آبخوان مورد مطالعه به ترتیب دارای آسیب پذیری بالا، متوسط، کم و خیلی کم بوده و آسیب پذیری ۱۷ درصد از منطقه قابل اغماض است. در این تحقیق، جهت ارزیابی میزان تاثیرگذاری پارامترها در مدل، تحلیل حساسیت مدل به دو روش حذف پارامتر و تک پارامتری مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: آسیب پذیری آب زیرزمینی، تحلیل حساسیت، دشت بجنورد، مدل دراستیک.

مقدمه

امروزه رشد جمعیت، افزایش تعداد چاه های بهره برداری، استفاده بی رویه از آب های زیرزمینی به منظور مصارف گوناگون (شرب، صنعت و کشاورزی)، نفوذ زه آب های کشاورزی، پساب های صنعتی و فاضلاب های شهری به داخل آبخوان ها و هم چنین استقرار کاربری های نامناسب در اطراف منابع آبی، تغییرات قابل ملاحظه ای در کیفیت آب های زیرزمینی به وجود آورده است. بنابراین لزوم تعیین حریم کیفی آبخوان براساس معیارهای علمی و کاربردی جهت اعمال مدیریت صحیح بر حفاظت از کیفیت و بهره برداری از منابع

آب زیرزمینی بیش از گذشته احساس می گردد. نحوه تعیین حریم کیفی به دو بخش عمده تعیین حریم کیفی نقطه ای (در سطح چاه، چشمه و قنات) و حریم کیفی ناحیه ای (در سطح آبخوان) قابل تفکیک است. در اکثر مناطق دنیا به منظور تعیین حریم کیفی آبخوان، از آسیب پذیری آبخوان استفاده می گردد. برای این منظور ابتدا نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان تهیه شده و سپس با استفاده از نقشه های کاربری اراضی و منابع آلاینده، حریم کیفی آبخوان مشخص می گردد.

مفهوم آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی، امکان نفوذ و انتشار آلوده کننده ها به درون سیستم آب زیرزمینی، برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه مورد استفاده قرار گرفت (واربا و زاپرس^۱، ۱۹۹۴). آسیب پذیری از لحاظ مفهومی به دو دسته آسیب پذیری ذاتی و آسیب پذیری ویژه تفکیک می شود. آسیب پذیری ذاتی به خصوصیات آبخوان (هدایت هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی و خلل و فرج) و تنش های وارده به سیستم (تغذیه، واکنش با آب سطحی، زمان حرکت از میان منطقه اشباع و دبی پمپاژ) بستگی دارد. آسیب پذیری ویژه نشان دهنده آسیب پذیری آب های زیرزمینی به آلاینده ای خاص یا گروهی از آلاینده های ناشی از فعالیت های انسانی می باشد. یعنی آسیب پذیری از واکنش آلاینده ها با اجزای مختلف آسیب پذیری ذاتی، بوجود می آید (استیگر^۲، ۲۰۰۶). یکی از کاربردیترین و رایجترین روش های پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان مدل دراستیک می باشد که توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (US-EPA) برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی در تمام ایالات متحده طراحی شده است. این مدل برپایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است. محیط هیدروژئولوژیکی به صورت توصیف ترکیبی از تمام فاکتورهای زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی تعریف می شود که حرکت آب های زیرزمینی را کنترل می کند (آلر و همکاران^۳، ۱۹۸۷). واژه دراستیک از هفت پارامتر به کار رفته در این مدل تشکیل شده است که عبارتند از: عمق آب زیرزمینی (Depth to water)، تغذیه خالص (Net Recharge)، محیط آبخوان (Aquifer media)، محیط خاک (Soil media)، توپوگرافی (Topography)، تاثیر محیط غیراشباع (Impact of vadose zone) و هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity). این مدل یک شاخص عددی فراهم می کند که از رتبه ها و وزن های اختصاص داده شده به هفت پارامتر مدل مشتق می شود.

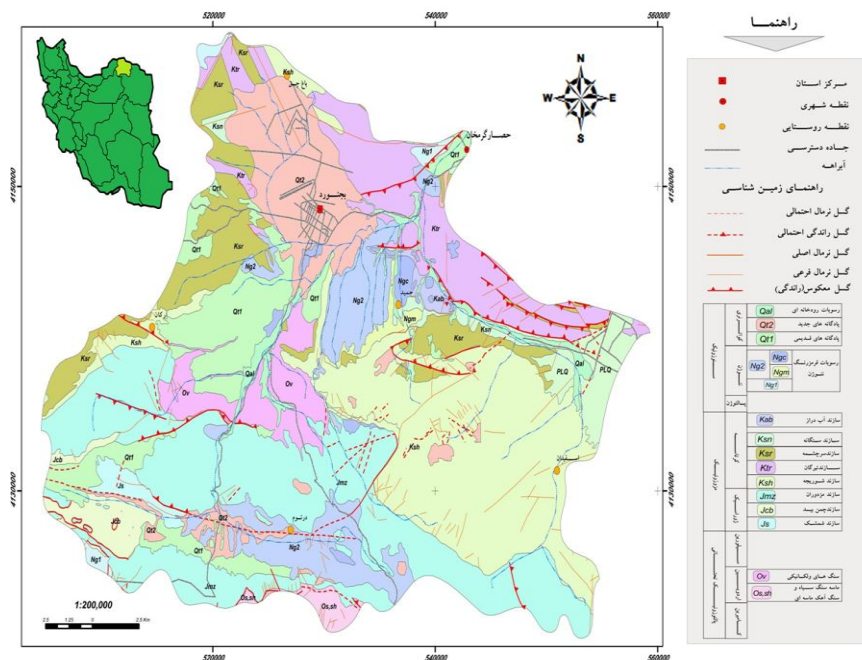
در این تحقیق، نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری ذاتی آبخوان دشت بجنورد، واقع در شمال شرق ایران و در استان خراسان شمالی تهیه شده است. این منطقه در قسمت غربی حوضه آبریز اترک بین مختصات جغرافیایی ۲۰'۵۷° تا ۴۰'۵۷° طول شرقی و ۱۳'۳۷° تا ۳۵'۳۷° عرض شمالی واقع شده است. کل وسعت محدوده مطالعاتی بجنورد ۱۲۸۰ کیلومتر مربع می باشد، که از این میزان حدود ۱۰۶ کیلومتر مربع آن را دشت و الباقی را ارتفاعات تشکیل می دهد. ارتفاع متوسط دشت بجنورد از سطح دریا ۱۰۵۰ متر می باشد. این منطقه به لحاظ ساختار زمین شناسی در محدوده گسترش واحدهای کپه داغ و بینالود قرار دارد و واحدهای سنگی از دوران اول زمین شناسی تا نهشته های عهد حاضر در منطقه رخنمون دارند. با استفاده از جاده های ارتباطی مشهد - بجنورد - گرگان و بجنورد - اسفراین می توان به تمامی بخش های محدوده مطالعاتی دسترسی پیدا کرد. به طور کلی تغییرات ضخامت آبرفت در سطح دشت بجنورد یکنواخت نبوده و سطح وسیعی از این دشت دارای ضخامت ۴۰ متر می باشد. سنگ کف منطقه را تشکیلات کنگلومرایی و مارنی نئوژن تشکیل می دهد. جهت جریان آب زیرزمینی در دشت از جنوب به سمت شمال و شمال شرق بوده و شیب هیدرولیکی به سمت

¹ Verba & Zoporozec

² Stigter

³ Aller et al.

شرق افزایش می یابد. عمق سطح آب زیرزمینی از بخش جنوبی و مرکزی دشت به سمت شمال و شمال غرب افزایش می یابد. موقعیت کلی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (مهندسیین مشاور طوس آب ، ۱۳۹۰)

مواد و روش ها

شاخص دراستیک بدون بعد و غیر قابل اندازه گیری می باشد و به خصوصیات آبخوان بستگی دارد (عزیزی و محمدزاده ، ۱۳۹۰). این شاخص از مجموع حاصلضرب وزن و رتبه هفت پارامتر: عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، تاثیر محیط غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C)، مطابق رابطه ۱ بدست می آید.

$$D_i = \sum_{i=1}^7 R_i W_i \quad (1)$$

که در آن: D_i ؛ مقدار نهایی شاخص، W_i ؛ وزن پارامتر i ام، R_i ؛ رتبه پارامتر i ام می باشد. به هر پارامتر مدل دراستیک، با توجه به اهمیت تاثیر آن در آلودگی، وزنی بین ۱ تا ۵ اختصاص داده می شود. در محدوده مورد مطالعه دشت بجنورد، پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود و بر اساس تئوری این مدل، با اعمال رتبه بندی و وزن دهی مناسب مطابق جدول ۱ لایه های مورد نیاز مدل دراستیک تهیه شد. در نهایت با استفاده از گزینه Raster Calculation در ArcGIS9.3 هفت لایه تهیه شده با هم جمع شدند تا شاخص نهایی دراستیک منطقه حاصل گردید. پس از محاسبه شاخص می توان گفت که کدام منطقه در خطر آلودگی بیشتر قرار دارد. این مدل یک شاخص برای آلودگی آبخوان بین ۲۳-۲۳۰ دارا می باشد (جدول ۲) که عدد بزرگتر نمایانگر پتانسیل آلودگی بیشتر است. باید توجه داشت که مدل دراستیک فقط یک ارزیابی نسبی است و قابلیت ارزیابی مطلق را ندارد (اختری ، ۱۳۸۵).

جدول ۱) رتبه بندی و وزن دهی پارامترهای مدل دراستیک (آر و همکاران ، ۱۹۸۷)

محیط آبخوان (A)		تغذیه خالص (R= In + P + T)		عمق سطح ایستابی (D)	
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۱	رس و سیلت	۱۰	۱۱-۱۳	۱۰	۰-۱/۵
۲	شیل توده ای				
۳	آذرین / دگرگونی	۸	۹-۱۱	۹	۱/۵-۴/۶
۴	آذرین / دگرگونی هوازده				
۶	ماسه سنگ لایه لایه / سنگ	۵	۷-۹	۷	۴/۶-۹/۱
	آهک / توالی شیلی	۳	۵-۷	۵	۹/۱-۱۵/۲
۶	ماسه سنگ توده ای				
۶	سنگ آهک توده ای	۱	۳-۵	۳	۱۵/۲-۲۲/۸
۸	شن و ماسه				
۹	بازالت			۲	۲۲/۸-۳۰/۴
۱۰	سنگ آهک کارستی			۱	> ۳۰/۴
	وزن	۴	وزن	۵	وزن

هدایت هیدرولیکی (C)		محیط غیر اشباع (I)		توپوگرافی (T)		محیط خاک (S)	
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۱	۰/۰۴-۴/۱	۱	رس و سیلت	۱۰	۰-۲	۱۰	نازک یا نبود خاک
		۳	شیل			۱۰	شن
۲	۴/۱-۱۲/۳	۴	آذرین / دگرگونی	۹	۲-۶	۹	ماسه
		۶	ماسه سنگ لایه لایه / سنگ آهک / توالی شیلی	۵	۶-۱۲	۸	کود گیاهی (peat)
۴	۱۲/۳-۲۸/۷					۷	رس متراکم
		۶	شن و ماسه با مقدار قابل ملاحظه ای رس و سیلت	۳	۱۲-۱۸	۶	لوم ماسه ای
						۵	لوم
۸	۴۱-۸۲	۶	ماسه سنگ	۱	> ۱۸	۴	لوم سیلتی
		۶	سنگ آهک			۳	لوم رس دار
۱۰	> ۸۲	۸	شن و ماسه			۲	کود (muck)
		۹	بازالت			۱	رس غیر متراکم
		۱۰	سنگ آهک کارستی				
	وزن	۵	وزن	۱	وزن	۲	وزن

جدول ۲- طبقه بندی میزان آسیب پذیری (آر و همکاران، ۱۹۸۷)

شاخص دراستیک	پتانسیل آلودگی
< ۷۹	بدون خطر آلودگی
۸۰ - ۹۹	خیلی کم
۱۰۰ - ۱۱۹	کم
۱۲۰ - ۱۳۹	کم تا متوسط
۱۴۰ - ۱۵۹	متوسط تا زیاد
۱۶۰ - ۱۷۹	زیاد
۱۸۰ - ۱۹۹	خیلی زیاد
> ۲۰۰	کاملا مستعد آلودگی

بحث و بررسی نتایج

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 ArcGIS9.3، نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت بجنورد تهیه شده است. هم چنین میزان تاثیر گذاری پارامترهای دراستیک با استفاده از روش های تحلیل حساسیت حذف نقشه و تک پارامتری مورد ارزیابی قرار گرفته است، که در ادامه به آن اشاره می گردد.

تهیه لایه های مدل دراستیک در منطقه مورد مطالعه

لایه عمق آب زیرزمینی

عمق سطح ایستابی، ضخامت موادی را تعیین می کند که آب نفوذی باید قبل از رسیدن به آبخوان این ضخامت را طی کند. در جایی که آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک تر است، انتقال آلاینده ها به آبخوان سریع تر صورت می گیرد. برای تهیه لایه عمق آب زیرزمینی در محیط ArcGIS9.3، از داده های سطح آب ۱۲ چاه پیژومتری مربوط به سال آبی ۸۹-۸۸ در دشت بجنورد استفاده شد. با درونیابی نقاط به روش IDW، لایه رستری عمق آب زیرزمینی با اندازه سلول ۲۰ متر ترسیم و سپس با استفاده از جدول ۱ به محدوده های تعریف شده توسط مدل دراستیک، رتبه بندی و در وزن مربوط ضرب گردید (شکل ۲).

لایه تغذیه خالص

تغذیه خالص نشان دهنده مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی می رسد. تغذیه آب موجب می گردد تا آلوده کننده به صورت عمودی انتقال یافته و به سطح ایستابی برسد و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. معمولا هرچقدر تغذیه بیش تر باشد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی بیش تر است. لایه تغذیه به کمک روش پیسکوپو^۱ (۲۰۰۱) با استفاده از نقشه شیب (T)، بارندگی (P) و نفوذپذیری خاک (In) دشت بجنورد (رابطه ۲) بدست آمده است.

$$R = I_n + P + T \quad (2)$$

¹ Piscopo

شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه تهیه شد و با استفاده از معیارهای جدول ۳ طبقه‌بندی شد. نقشه خاک منطقه نیز با توجه به معیارهای جدول ۳ تهیه و طبقه‌بندی گردیده است. به منظور تهیه لایه بارندگی از گرادیان بارندگی ۲۵ ساله ۷ ایستگاه هواشناسی در محدوده دشت بجنورد استفاده و میزان بارندگی نسبت به ارتفاع با توجه به DEM منطقه، در هر نقطه از دشت محاسبه و با توجه به معیارهای جدول ۳ طبقه‌بندی شد. در نهایت سه نقشه فوق Overlay گردید و لایه رستری تغذیه خالص با اندازه سلول ۲۰ متر تهیه و بر اساس جدول ۱ رتبه بندی و در وزن مربوط ضرب گردید (شکل ۲).

جدول ۳- نمرات تغذیه برای منطقه مورد مطالعه (پیسکوپو، ۲۰۰۱)

شیب توپوگرافی (T)		بارندگی (P)		نفوذپذیری خاک (In)	
رتبه	محدوده %	رتبه	محدوده (mm)	رتبه	محدوده
۴	< ۲	۴	> ۸۵۰	۵	زیاد
۳	۲-۱۰	۳	۷۰۰-۸۵۰	۴	متوسط تا زیاد
۲	۱۰-۳۳	۲	۵۰۰-۷۰۰	۳	متوسط
۱	> ۳۳	۱	< ۵۰۰	۲	کم
				۱	خیلی کم

لایه محیط آبخوان

محیط آبخوان به مواد زمین شناسی تحکیم یافته یا تحکیم نیافته ای اطلاق می شود که بدنه یک آبخوان را تشکیل می دهند (اختری، ۱۳۸۵). این پارامتر طول و چگونگی روند مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می کند. همچنین بر مقدار سطح موثر موادی که با آلوده کننده در تماس هستند، موثر است. برای تهیه لایه محیط آبخوان از اطلاعات ۳۱ لاگ حفاری چاه های پیژومتری و بهره برداری موجود در منطقه مطالعاتی استفاده شده است. پس از جمع آوری اطلاعات مربوط به لاگ چاه ها، مختصات جغرافیایی و جنس غالب در بخش اشباع، لایه رستری محیط آبخوان در محیط ArcGIS9.3 با روش درونیابی IDW با اندازه سلول ۲۰ متر تهیه و بر اساس معیارهای جدول ۱ رتبه بندی و در وزن مربوط ضرب گردید (شکل ۲).

لایه محیط خاک

محیط خاک، قسمت بالایی منطقه غیر اشباع می باشد که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد. خاک تاثیر مهمی بر روی میزان تغذیه نفوذی به سطح ایستابی و بنابراین حرکت ماده آلاینده می گذارد. با استفاده از لاگ های حفاری چاه های پیژومتری و بهره برداری موجود در منطقه مطالعاتی، نقشه نوع و جنس خاک تا عمق ۲ متری در محیط ArcGIS9.3 با روش درونیابی IDW با اندازه سلول ۲۰ متر تهیه و سپس بر اساس معیارهای جدول ۱ رتبه بندی و در وزن مربوط ضرب گردید (شکل ۲).

لایه توپوگرافی

توپوگرافی به شیب و تغییرپذیری شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب سطح زمین بر روی مقدار نفوذ آب و آلاینده تاثیر می‌گذارد. توپوگرافی در توسعه خاک‌ها نیز اثر گذاشته و بنابراین بر روی رقیق شدن آلاینده تاثیر دارد. برای تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه با دقت ۲۰ متر استفاده شد. برای این منظور در محیط ArcGIS9.3 از مسیر Spatial Analyst ← Surface Analysis ← Slope نقشه شیب منطقه با اندازه سلول ۲۰ متر تهیه و سپس بر اساس جدول ۱ رتبه بندی و در وزن مربوط ضرب گردید (شکل ۲).

لایه محیط غیراشباع

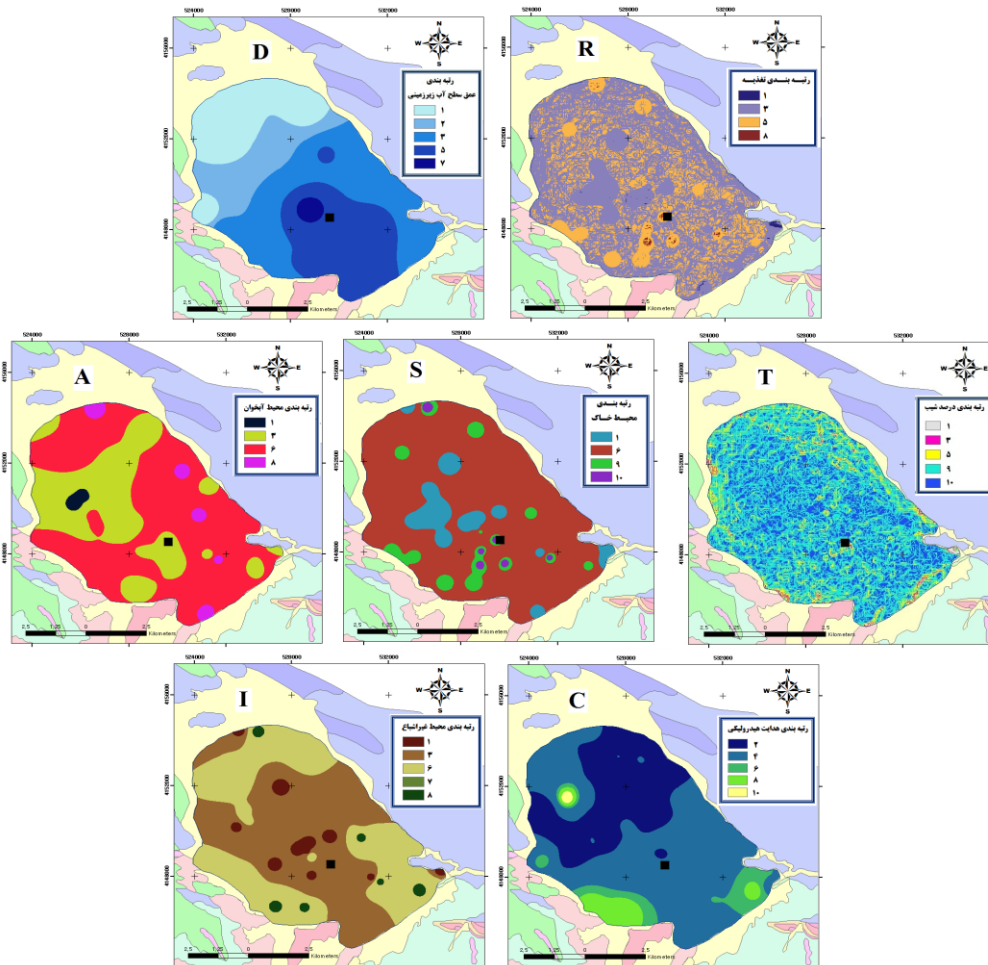
منطقه غیراشباع از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستایی ادامه می‌یابد که از نظر دارا بودن آب غیراشباع یا به طور ناپیوسته اشباع می‌باشد. نوع محیط غیراشباع، خصوصیات تغذیه‌ای و رقیق‌سازی مواد زیر پروفیل خاک و بالای سطح ایستایی را تعیین می‌کند. این محیط همچنین مسیر جریان و طول مسیر را کنترل کرده و بنابراین بر زمان لازم برای رقیق شدن و کمیت مواد آلاینده تاثیر می‌گذارد. برای تهیه لایه محیط غیراشباع همانند لایه محیط آبخوان از لاگ‌های حفاری چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری موجود در منطقه مطالعاتی استفاده شده، با این تفاوت که به جای جنس غالب در بخش اشباع آبخوان، جنس غالب در بخش غیر اشباع تعیین و بر اساس معیارهای جدول ۱ رتبه بندی و در وزن مربوط ضرب گردید (شکل ۲).

لایه هدایت هیدرولیکی

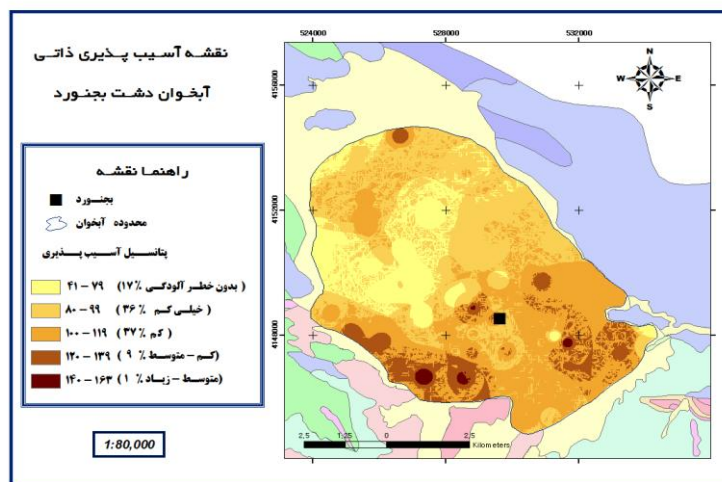
توانایی مواد آبخوان در انتقال آب، هدایت هیدرولیکی نامیده می‌شود، که نرخ جریان آب‌های زیرزمینی را تحت یک شیب هیدرولیکی معین کنترل می‌کند. نرخ جریان آب زیرزمینی نیز میزان ورود آب به آبخوان را کنترل می‌کند. در این تحقیق مقدار هدایت هیدرولیکی منطقه با اندازه سلول ۲۰ متر از تقسیم نقشه ضریب قابلیت انتقال (الطافی و محمدزاده، ۱۳۹۰) بر ضخامت اشباع آبخوان بدست آمد. سپس لایه هدایت هیدرولیکی بر اساس جدول ۱ رتبه بندی و در وزن مربوط ضرب گردید (شکل ۲).

شاخص آسیب پذیری دراستیک

نقشه پهنه بندی شاخص دراستیک دشت بجنورد (شکل ۳) نشان می‌دهد که این شاخص بین ۴۱ تا ۱۶۳ تغییر می‌کند. برای نشان دادن وضعیت آسیب پذیری منطقه، شاخص آسیب پذیری بر اساس جدول ۲ به ۵ محدوده مختلف طبقه بندی شد که نتایج درصدگیری از آن‌ها توسط ابزار X-Tools توسط نرم افزار ArcGIS9.3 بدست آمد. نتایج نشان می‌دهد که ۱، ۹، ۳۷، ۳۶ و ۱۷ درصد از آبخوان مورد مطالعه به ترتیب دارای آسیب پذیری بالا، متوسط، کم، خیلی کم و قابل اغماض است.



شکل ۲- نقشه های رتبه بندی شده پارامترهای مدل DRASTIC در دشت بجنورد (D: عمق آب زیرزمینی، R: تغذیه خالص، A: محیط آبخوان، S: محیط خاک، T: توپوگرافی، I: محیط غیراشباع، C: هدایت هیدرولیکی)



شکل ۳- نقشه پهنه بندی آسیب پذیری ذاتی دشت بجنورد

تحلیل حساسیت مدل

میزان تاثیر پذیری هر کدام از پارامترها برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت بجنورد با استفاده از تحلیل حساسیت حذف پارامتر و تحلیل حساسیت تک پارامتری مورد بررسی قرار می گیرد.

تحلیل حساسیت حذف نقشه

تحلیل حساسیت حذف نقشه، حساسیت نقشه آسیب پذیری را با حذف یک یا تعداد بیشتری از نقشه‌ها نشان می‌دهد (لودویک و همکاران^۱، ۱۹۹۰). حساسیت حذف نقشه با استفاده از فرمول ۳ محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{D/N - D'/n}{D} \quad (3)$$

که S میزان حساسیت را نشان می‌دهد D و D' به ترتیب شاخص های آسیب پذیری بدون حذف نقشه و با حذف نقشه هستند. N و n تعداد لایه‌های مورد استفاده در محاسبه D و D' می‌باشند. با حذف تک تک پارامترهای مدل، میزان حساسیت مدل آسیب پذیری دشت بجنورد نسبت به هر پارامتر بدست آمد. نتایج حاصل (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشترین تغییر در شاخص آسیب پذیری با حذف پارامتر محیط غیراشباع (I) با میانگین تغییرات ۱/۳۵ اتفاق می‌افتد. این موضوع می‌تواند به علت وزن زیاد پارامتر و خصوصیات منطقه غیر اشباع در دشت باشد.

جدول ۴- نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف تک نقشه در دشت بجنورد

تغییرات شاخص آسیب پذیری				
پارامتر حذف شده	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
D	۵/۰۰	۰	۰/۹۵	۰/۷۲
R	۲/۶۷	۰	۰/۵۰	۰/۳۷
A	۳/۷۴	۰	۰/۵۹	۰/۳۹
S	۲/۰۶	۰	۰/۵۲	۰/۴۹
T	۲/۲۳	۰	۰/۸۴	۰/۳۶
I	۴/۲۹	۰	۱/۳۵	۱/۰۴
C	۳/۱۷	۰	۰/۶۸	۰/۴۱

تحلیل حساسیت تک پارامتری

تحلیل حساسیت تک پارامتری برای ارزیابی تاثیر هر کدام از پارامترهای مدل دراستیک بر روی شاخص نهایی آسیب پذیری انجام می‌شود. از این روش برای مقایسه وزن موثر یا واقعی هر کدام از پارامترهای ورودی با وزن تئوری اختصاص یافته به آن پارامتر در مدل دراستیک استفاده می‌شود (ناپولیتانو و فابری^۲، ۱۹۹۶) وزن موثر در هر سلول با استفاده از فرمول ۴ به دست می‌آید:

$$W = \frac{P_r P_w}{D} \times 100 \quad (4)$$

¹ Lodwick et al.

² Napolitano & Fabbri

که W وزن موثر هر پارامتر، P_r و P_w به ترتیب نمره و وزن هر کدام از پارمترها و D شاخص نهایی آسیب پذیری می‌باشد. با توجه به نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری (جدول ۵)، پارامتر محیط غیراشباع (I) با میانگین وزن موثر ۲۱/۷۹ درصد به‌عنوان موثرترین پارامتر در ارزیابی آسیب‌پذیری شناخته می‌شود که نتایج حاصل از تحلیل حساسیت حذف نقشه را نیز تایید می‌کند.

جدول ۵- نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری در دشت بجنورد

پارامتر	وزن تئوری	وزن تئوری (%)		
		حداکثر	حداقل	میانگین
D	۵	۴۴/۳۰	۳/۵۰	۱۵/۳۴
R	۴	۳۰/۳۰	۴/۴۰	۱۵/۰۵
A	۳	۳۶/۷۳	۲/۰۹	۱۵/۴۶
S	۲	۲۲/۶۴	۱/۹۰	۱۱/۸۱
T	۱	۱۸/۵۲	۰/۸۸	۹/۳۰
I	۵	۴۰/۰۰	۴/۴۲	۲۱/۷۹
C	۳	۱۳/۰۴	۵/۱۷	۱۱/۲۶

نتیجه گیری

پس از تهیه نقشه پهنه بندی آسیب پذیری ذاتی آبخوان دشت بجنورد با مدل دراستیک، شاخص آسیب پذیری این دشت از ۴۱ تا ۱۶۳ در حال تغییر است. با توجه به نقشه آسیب پذیری دشت بخش شمالی آبخوان دارای آسیب پذیری بدون خطر آلودگی تا خیلی کم و بخش جنوبی آن دارای آسیب پذیری کم تا زیاد می‌باشد. بیشترین خطر آسیب پذیری مربوط جنوب ترین قسمت آبخوان است. با توجه به کم بودن عمق سطح ایستابی و بالا بودن هدایت هیدرولیکی در بخش جنوبی آبخوان، مکان های با آسیب پذیری زیاد در قسمت بالا دست جریان آب زیرزمینی قرار دارد که در صورت ورود آلودگی به این بخش آبخوان احتمال پخش آن در کل آبخوان وجود دارد. هدف از تحلیل حساسیت، شناسایی موثرترین پارامتر بر آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بود که با توجه به نتایج تحلیل حساسیت حذف نقشه و تک‌پارامتری، پارامتر محیط غیراشباع به‌عنوان موثرترین پارامتر در منطقه شناسایی شد.

منابع

- اختری کلاته صوفی، یوسف. ۱۳۸۵. ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دشتهای زویرچری و خران با استفاده از مدل DRASTIC و GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- الطافی دادگر، مجید، و محمدزاده، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی قابلیت انتقال آبخوان دشت بجنورد با استفاده از داده های سونداژ الکتریکی. *پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران*.
- مهندسین مشاور طوس آب. ۱۳۹۰. گزارش شناسایی منابع آب زیرزمینی (جلد سوم)، مطالعات حفاظت کیفی منابع آب دشت های خراسان شمالی، سازمان آب منطقه ای خراسان شمالی.
- مهندسین مشاور مهار آب عمران گستر. ۱۳۸۶. مطالعات نیمه تفضیلی منابع آب زیرزمینی دشت بجنورد، سازمان آب منطقه ای خراسان شمالی.
- عزیزی، فرحناز، و محمدزاده، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از مدل DRASTIC و تکنیک های GIS، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک.
- 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/600/2-87/035:19-25. U.S.Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma.

- Lodwick, W.A., Monson, W., Svoboda, L., 1990. At-tribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. *Int J Geogr Inf Syst*;4(4),413 – 28.
- Napolitano, P., Fabbri A. G., 1996. Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. *HydroGIS 96: application of geographical information systems in hydrology and water resources management. Proceedings of Vienna Conference. IAHS Pub, 235: 559–566.*
- Piscopo, G., 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia, <http://www.dlwc.nsw.gov>.
- Stigter, K., 2006. Scientific research in Africa in the 21st century, in need of a change of approach. *African J. Agric. Res.* 1: 4-8.
- Verba J., Zoporozec A., 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *IAH*, vol. 16, 131p.

***Detection of vulnerable areas with groundwater contamination
using DRASTIC model in GIS media
(case study:bojnord plain-North khorasan)***

Faezeh Davodi ¹, Hossein Mohammadzadeh ²

1- Master student of hydrogeology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran;
Faezhdavodi@yahoo.com

2- Assistant professor ,Groundwater Research Center (GRC), Ferdowsi University of
Mashhad, Iran; Mohammadzadeh@ferdowsi.um.ac.ir

Abstract

In most regions of Iran groundwater is the most important resource of supply water for agricultural, drinking, and industry. Therefore, in order to achieve an appropriate and effective method for protection of groundwater resources from pollution that threaten it in the future, the vulnerability assessment systems for groundwater aquifers have been developed. In this research, in order to prepare the vulnerability map of Bojnord aquifer located in North Khorasan province, the DRASTIC model has been applied. DRASTIC model has seven hydrogeologic parameter that affecting to the groundwater contamination which is listed here: depth to water table(D), net recharge(R), aquifer media(A), soil media(S), topography(T), impact of vadose zone(I), hydraulic conductivity(C) of aquifer. This parameters combining with GIS and result is map of prone areas of contamination in aquifer. Vulnerability zoning map of Bojnord plain shows that DRASTIC index between 41-163 is in change. Based on the results 1, 9, 37 and 36% of Bojnord aquifer has high, medium, low and very low vulnerability, and 17% of the area is negligible. In this research, to evaluate the amount of influence of parameters in the model, the analysis of the sensitivity of the model with two methods done. Single parameter sensitivity analysis and map removal sensitivity analysis applied for this purpose.

Keywords: vulnerability aquifer, sensitivity analysis, DRASTIC model, Bojnord plain.