

یادداشت فنی

تحلیل حساسیت مدل دراستیک در ارزیابی آسیب پذیری
آبخوان آبرفتی شاهرودشادی ابوالحسنی الماسی^۱، هادی جعفری^۲۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- استادیار گروه هیدروژئولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود
(نویسنده مسئول) ۰۷۰۲۲۹۶۰۲۳ (۰۲۳) h_jafari@shahroodut.ac.ir

(دریافت ۹۴/۴/۲۸ پذیرش ۹۴/۱۲/۱۳)

چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری به‌عنوان ابزاری مدیریتی در راستای حفاظت از منابع آب‌زیرزمینی انجام می‌شود. در این تحقیق آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی شاهرود با استفاده از مدل دراستیک که یک مدل تجربی در ارزیابی پتانسیل آلودگی سفره آب زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد، بررسی شد و تحلیل حساسیت پارامترهای مدل در راستای شناخت مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری انجام شد. لایه‌های اطلاعاتی مدل شامل عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، توپوگرافی، اثر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی بر اساس تحلیل اطلاعات موجود و لایه بافت خاک سطحی بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تدقیق آن با نمونه‌برداری و آنالیز بافت خاک در محیط GIS تهیه و رتبه‌دهی شدند. پس از محاسبه شاخص آسیب‌پذیری، تحلیل حساسیت نقشه آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود به دو روش حذف پارامتر و آنالیز تک پارامتری انجام شد. پس از اعمال وزن مناسب از همپوشانی لایه‌ها شاخص دراستیک بین ۲۸ تا ۱۴۸ برآورد شد. حاشیه شمالی و بخش‌هایی از جنوب غرب آبخوان، بالاترین آسیب‌پذیری را داشتند و سایر مناطق آبخوان آسیب‌پذیری متوسط تا کم را نشان دادند. مقدار پایین غلظت نیترات در مناطق کشاورزی و افزایش آن به بیش از ۴۵ میلی‌گرم در لیتر در بخش‌های شمالی آبخوان شاهرود تأکیدی بر صحت پهنه‌بندی آسیب‌پذیری توسط مدل دراستیک می‌باشد. براساس نقشه آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود، ۱/۶ درصد از مساحت سفره از پتانسیل آلودگی (آسیب‌پذیری)، بسیار بالا، ۱۰ درصد از پتانسیل بالا، ۲۸/۸ درصد از پتانسیل آلودگی متوسط و ۱۸/۹ درصد از پتانسیل کم برخوردار بوده و مابقی (۴۰/۵ درصد) فاقد خطر آلودگی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: دراستیک، آسیب‌پذیری، تحلیل حساسیت، آبخوان شاهرود

۱- مقدمه

آسیب‌پذیری، به مفهوم نفوذ و پخش آلودگی‌ها از سطح زمین به سفره آب زیرزمینی در شرایط طبیعی بوده که به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌شود (Almasri 2008; Gogu & Dassargues 2000) آسیب‌پذیری ذاتی همان حساسیت آبخوان به عوامل طبیعی بوده و فقط به خصوصیات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی آبخوان وابسته است (Gogu & Dassargues 2000) در حالی که آسیب‌پذیری ویژه نشان‌دهنده آسیب‌پذیری آبخوان به آلاینده‌های خاص یا گروهی از آلاینده‌های ناشی از فعالیت انسانی است (Almasri 2008; Vrba & Zoporozes 1994) در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان مطالعات مختلفی انجام شده است (Sener & Devraz 2012; Yin et al. 2012; Azizi & Mohammadzadeh 2012; Ranjbar 2004; Khosravi et al.

در راستای به‌عنوان روشی کارآمد در بررسی آسیب‌پذیری استفاده شده است. یکی از بزرگ‌ترین مزایای این مدل، ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از پارامترهای متعدد با هدف محدود نمودن تأثیر خطاها یا عوامل نامعلوم و بنابراین عدم قطعیت‌های موجود بر روی خروجی نهایی است (Breaban & Paiu 2012; Evans & Myers 1990; Rosen 1994) با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در دشت شاهرود که برای اهدافی نظیر شرب، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این تحقیق با هدف شناسایی مناطق مستعد آلودگی، به بررسی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان شاهرود با استفاده از مدل دراستیک پرداخته شد. تحلیل

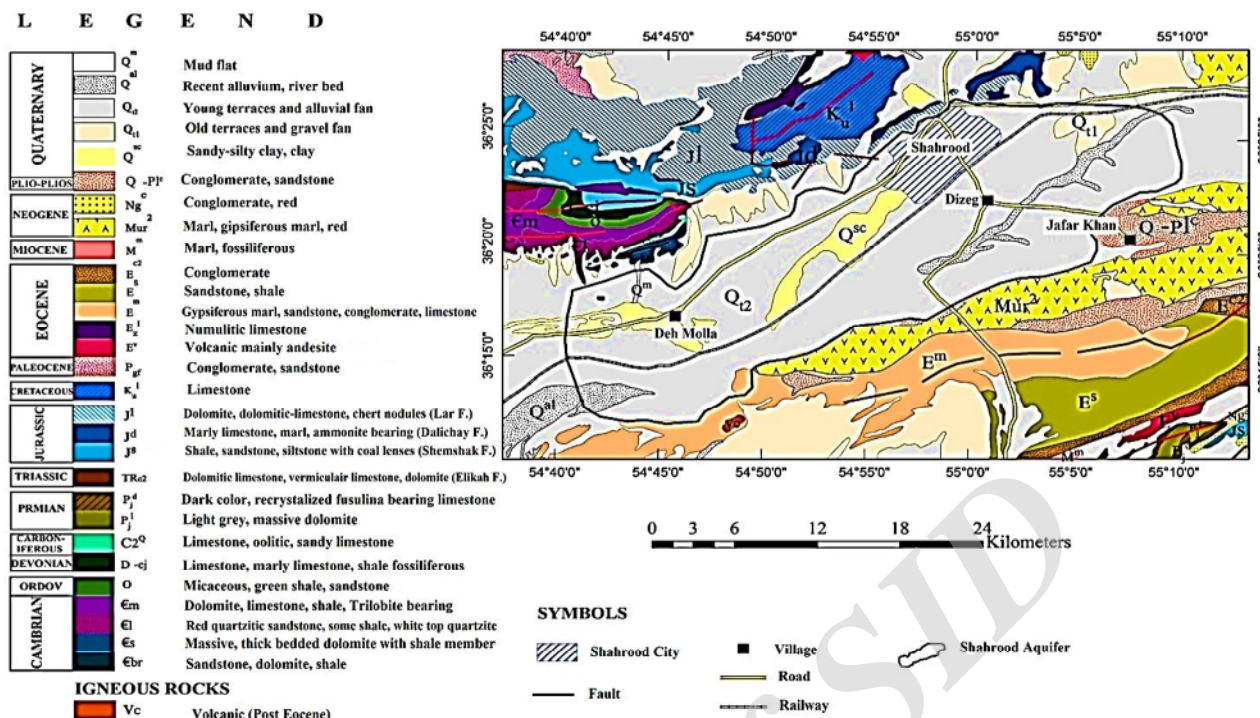


Fig. 1. Geological map of the study area

شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

(D)، تغذیه (R)، جنس سفره (A)، بافت خاک سطحی (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) پایه ریزی شده و نام مدل از قرارگیری حروف اول این هفت پارامتر اقتباس شده است. این هفت پارامتر در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نظیر ArcGIS به صورت هفت لایه اطلاعاتی وارد شده و با رتبه دهی، وزن دهی و سپس تلفیق، لایه جدیدی به نام شاخص دراستیک رابطه ۱ به دست خواهد آمد

$$\text{DRASTIC Index} = D_r D_w + R_b R_w + A_b A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

که در آن R رتبه و W وزن هر کدام از پارامترهای مدل بوده که به ترتیب بین ۱ تا ۱۰ و ۱ تا ۵ متغیر می باشد. پس از ارزیابی آسیب پذیری آبخوان، آنالیز حساسیت مدل به دو روش حذف پارامتر و آنالیز حساسیت تک پارامتری انجام شده است. در روش تحلیل حساسیت حذف پارامتر میزان حساسیت حذف پارامتر با استفاده از رابطه ۲ به دست می آید (Lodwick 1990)

حساسیت مدل و تعیین مؤثرترین پارامترها در آسیب پذیری نیز از دیگر اهداف تحقیق بود.

۲- منطقه مورد مطالعه

دشت شاهرود با وسعتی حدود ۵۴۰ کیلومتر مربع در جنوب ارتفاعات البرز در مسیر جاده اصلی تهران- مشهد در استان سمنان قرار گرفته است. از نظر زمین شناسی مطابق شکل ۱، قسمت های شمالی و جنوبی دشت به ترتیب متعلق به زون البرز و زون ایران مرکزی بوده که به لحاظ لیتولوژیکی در شمال عمدتاً سازندهای آهکی و دولومیتی و در جنوب واحدهای مارنی نشوژن و ائوسن رخنمون دارند (Valizadeh 2013). میانگین بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه ۱۵۸/۴ میلی متر و میانگین دمای سالانه ۱۵/۳ درجه سلسیوس است. این دشت با ضریب خشکی ۵/۶۱ در محدوده اقلیم خشک قرار می گیرد (Abolhassani Almasi 2015).

۳- مواد و روش ها

روش دراستیک براساس هفت پارامتر عمق سطح آب زیرزمینی

برای ترسیم نقشه هم ارزش محیط آبخوان شاهرود (A) از نتایج لاگ حفاری در پیزومترها استفاده شد. بر حسب جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در لاگ حفاری‌ها، به هر بخش از لاگ با بافت رسوبات مشخص، ارزش عددی اختصاص داده شده و در نهایت نقشه هم ارزش محیط آبخوان در محیط نرم افزار GIS ترسیم شد. پس از ترسیم نقشه هم ارزش محیط آبخوان، تغییرات آن مطابق جدول ۱ بین ۱ تا ۱۰ رتبه بندی شد (شکل ۲). همانطور که ملاحظه می شود محیط آبخوان در قسمت‌هایی از حاشیه شمالی و جنوبی از بافت دانه درشت گراولی برخوردار بوده است. این مناطق که با رنگ تیره نشان داده شده است، بیشترین رتبه آسیب پذیری را به خود اختصاص داده است. منظور از محیط خاک (S) در مدل دراستیک، قسمت بالایی زون غیر اشباع (خاک سطحی) بوده که تا حد نفوذ ریشه گیاهان ادامه دارد. در این تحقیق جهت تعیین تغییرات بافت خاک سطحی در دشت شاهرود از پردازش تصاویر سنجنده استر در سال ۲۰۰۱ در محیط ENVI استفاده شد (شکل ۳-الف). به این منظور از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و معکوس تصویر و همچنین ترکیب رنگی کاذب استفاده شده است (Ott et al. 2006) به منظور صحت سنجی نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تعداد ۱۵ نمونه خاک سطحی از نقاط مختلف دشت برداشت شده و نمونه‌ها به روش‌های الک و هیدرومتری دانه‌سنجی شد. نتایج دانه‌سنجی نمونه‌های خاک بر روی مثلث بافت خاک دپارتمان کشاورزی آمریکا مطابق شکل ۳-ب ترسیم و بافت نمونه‌ها تعیین شد. همخوانی نقشه بافت خاک حاصل از مطالعات سنجش از دور مطابق شکل ۳-الف و نتایج آنالیز دانه‌بندی نمونه‌های خاک دشت شاهرود بیانگر کارایی نسبتاً مناسب روش سنجش از دور در ترسیم بافت خاک در دشت شاهرود است. بر اساس تلفیق نتایج حاصل از سنجش از دور و بافت خاک نمونه‌های برداشت شده از سطح دشت شاهرود، نقشه بافت خاک دشت مطابق شکل ۳-ج ترسیم شد. پس از ترسیم این نقشه، رتبه‌دهی بخش‌های مختلف به لحاظ تأثیر در آسیب پذیری بر اساس جدول ۱ انجام شد (شکل ۳-د). لایه توپوگرافی (T) یکی دیگر از لایه‌های مدل دراستیک بوده که به تغییرات شیب سطح زمین مرتبط می‌شود. برای تهیه نقشه شیب دشت شاهرود از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شد و نقشه شیب بر اساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) دشت ترسیم شد (شکل ۲). مناطق

$$S = (|V/N - V'/n| / V) \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه S میزان حساسیت را نشان می‌دهد که به آن شاخص تغییر پذیری نیز می‌گویند. V و V' به ترتیب شاخص‌های آسیب پذیری بدون حذف و با حذف پارامتر و N و n به ترتیب تعداد لایه‌های مورد استفاده در محاسبه آنها می‌باشند. چنانچه حذف یک پارامتر تأثیری زیادی در شاخص نهایی داشته باشد، اختلاف در صورت کسر بیشتر شده و بنابراین میزان حساسیت (S) بیشتری ملاحظه می‌شود. در روش تحلیل حساسیت تک پارامتری وزن مؤثر یا واقعی هر کدام از پارامترها با وزن تئوریک اختصاص یافته به آن پارامتر در مدل دراستیک مقایسه می‌شود (Napolitano & Fabbri 1996) وزن مؤثر از رابطه ۳ محاسبه می‌شود

$$W = (P_r P_w / V) \times 100 \quad (3)$$

که در آن W وزن مؤثر مربوط به هر پارامتر، P_r و P_w به ترتیب رتبه و وزن پارامترها و V شاخص آسیب پذیری است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- لایه‌های اطلاعاتی و ارزش‌گذاری آنها

با استفاده از درون‌یابی داده‌های عمق سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت، نقشه هم ارزش عمق سطح ایستابی ترسیم شد (شکل ۲). پس از ترسیم نقشه هم ارزش عمق سطح ایستابی، تغییرات عمق سطح ایستابی مطابق جدول ۱ در کلاس‌های مختلفی تقسیم‌بندی شد و به هر کلاس، بسته به درجه اهمیت آن رتبه‌ای بین ۱ تا ۱۰ اختصاص یافت. تغییرات رتبه‌بندی عمق سطح ایستابی در آسیب پذیری آبخوان در شکل ۲ ارائه شده است. در مجموع اغلب مساحت آبخوان (قسمت‌های شرقی و مرکزی) از حداقل رتبه آسیب پذیری برخوردار است.

متوسط بارش در دشت شاهرود ۱۷۷/۶ میلی‌متر در سال است. بر اساس تجربیات و نظرات کارشناسی در دشت‌های مختلف و نتایج مدل‌سازی عددی آبخوان شاهرود، میزان تغذیه ناشی از بارش حدود ۵ تا ۲۰ درصد بارندگی در نظر گرفته شد (Jafari & Valizadeh 2014) نقشه هم ارزش و رتبه‌بندی شده تغذیه ناشی از بارش به آبخوان شاهرود در شکل ۲ نشان داده شده است.

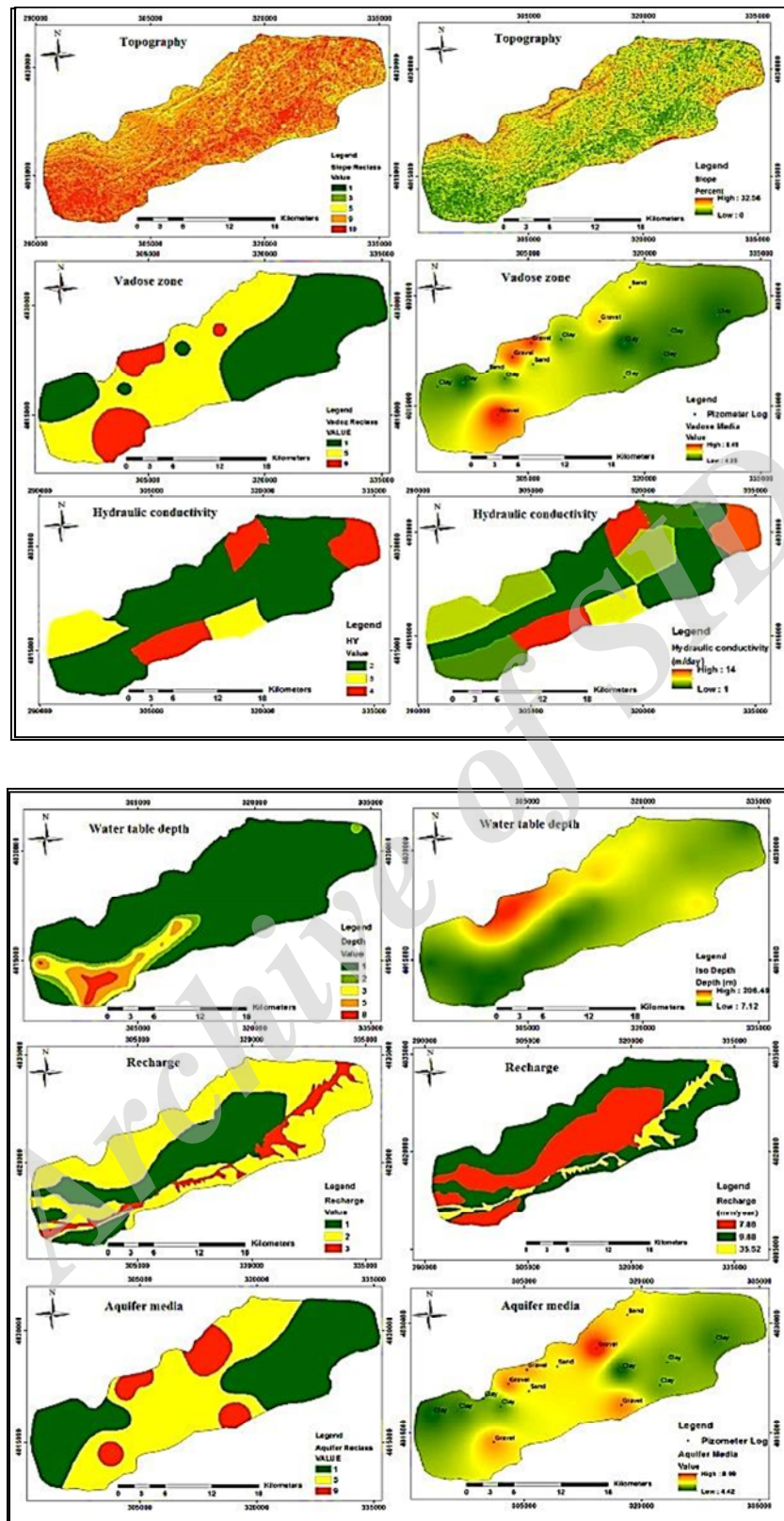


Fig.2. Semi-valued (right) and ranked (left) maps of the parameters in the Drastic Model of Shahrood Aquifer

شکل ۲- نقشه هم‌ارزش (راست) و رتبه‌بندی شده (چپ) پارامترهای مدل دراستیک در محدوده آبخوان شاهرود

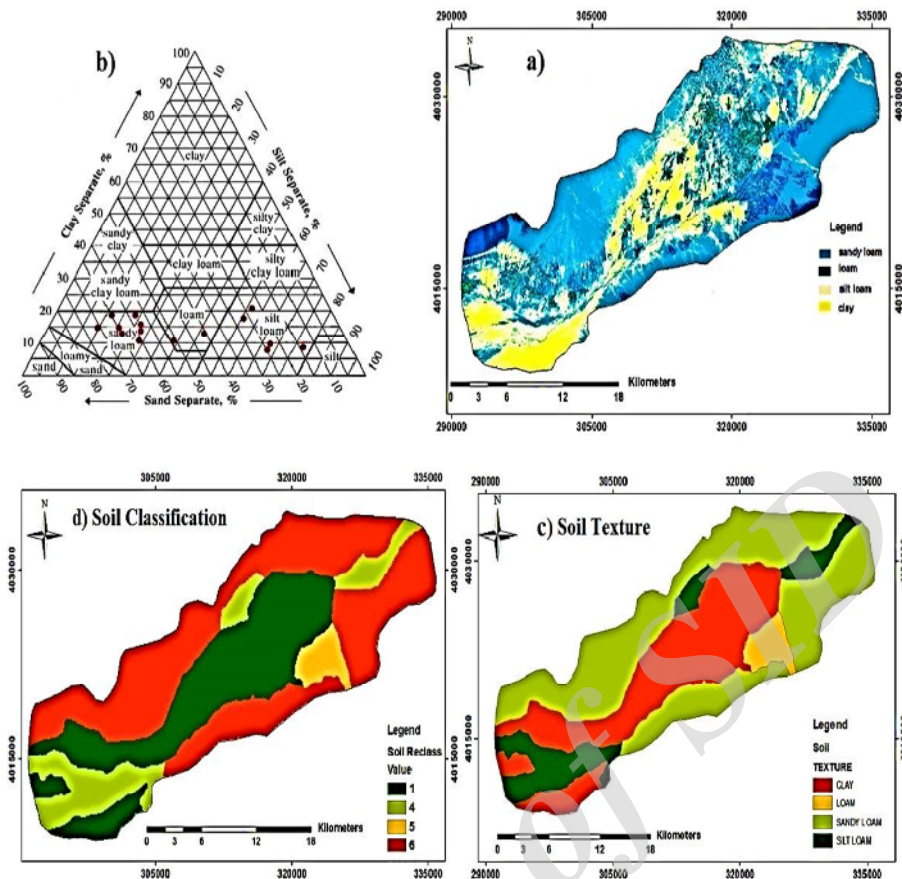


Fig. 3. Soil texture distribution in the Sharood Plain based on ASTER image processing (A), determination of soil texture in different parts of the plain based on USDA (US Department of Agriculture) (B), preparation of semi-values and ranked maps (C), and (D) surface soil texture at Shahrood Plain (D)

شکل ۳- پراکنندگی بافت خاک دشت شاهرود براساس پردازش تصاویر استر (a)، تعیین بافت خاک در بخش‌های مختلف دشت براساس استاندارد دیپارتمان کشاورزی آمریکا (b) و تهیه نقشه هم ارزش (c) و رتبه‌بندی شده (d) بافت خاک سطحی در دشت شاهرود

۲-۴- شاخص دراستیک و نقشه آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، با اختصاص وزن مربوط به هر لایه عمل انطباق لایه‌ها در محیط نرم افزار GIS انجام و شاخص دراستیک برای آبخوان شاهرود برابر ۲۸ تا ۱۴۸ برآورد و نقشه نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود در شکل ۴ ترسیم شد. بخش‌های جنوب‌غربی آسیب‌پذیرترین منطقه از آبخوان شاهرود بوده که این موضوع احتمالاً ناشی از عمق اندک سطح ایستابی در این مناطق است. همچنین بافت دانه درشت خاک سطحی در بخش‌هایی از حاشیه شمالی آبخوان سبب افزایش آسیب‌پذیری این منطقه شده است. به‌منظور صحت‌سنجی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود، توزیع غلظت نیترات در آبخوان بر

مرکزی با کمترین شیب بیشترین رتبه در آسیب‌پذیری آبخوان را کسب نموده و حواشی شمالی دشت از حداقل رتبه آسیب‌پذیری برخوردار شدند (شکل ۲). لایه منطقه وادوز (I) یا محیط غیر اشباع در روش دراستیک نشان دهنده تأثیر بافت خاک در فاصله زیر منطقه خاک سطحی تا سطح ایستابی بر آسیب‌پذیری آبخوان است (Aller et al. 1987). نقشه هم ارزش محیط غیراشباع آبخوان شاهرود در شکل ۲ ترسیم و بر اساس محدوده‌های اشاره شده در جدول ۱ رتبه‌بندی شده است (شکل ۲). با توجه به موجود نبودن نقشه تغییرات هدایت هیدرولیکی آبخوان شاهرود، نقشه هم ارزش هدایت هیدرولیکی (C) بر اساس نتایج مدل‌سازی عددی آبخوان شاهرود ترسیم شد (Valizadeh 2013) (شکل ۲).

نیترا ت به بالاتر از ۴۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است. البته ذکر این نکته ضروری است که در مناطق شهری به دلیل استفاده از چاه‌های جذبی در دفن فاضلاب، عملاً نقش منطقه خاک و محیط غیر اشباع در میرایی و کاهش آلودگی‌ها حذف شده و به همین دلیل این مناطق از غلظت نیترا ت بالایی برخوردار می‌باشند (Kalategi et al., 2015).

۳-۴- آنالیز حساسیت مدل دراستیک در تعیین آسیب پذیری آبخوان شاهرود

در تحلیل حساسیت مدل دراستیک به روش حذف پارامتر، با حذف تک تک پارامترها، میزان حساسیت آسیب پذیری آبخوان شاهرود نسبت به هر پارامتر با استفاده از رابطه ۲ محاسبه و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین تغییر در شاخص آسیب پذیری آبخوان با حذف پارامتر محیط غیر اشباع اتفاق می‌افتد. به طوری که میانگین حساسیت شاخص تغییر پذیری آن برابر ۲/۱ درصد است. پس از آن، پارامترهای محیط آبخوان و بافت خاک سطحی به ترتیب با میانگین حساسیت ۱/۳ و ۱/۱۶۸ درصد در رتبه دوم و سوم قرار می‌گیرند. این موضوع اهمیت و تأثیرگذاری بیشتر این لایه‌ها در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان شاهرود را اثبات می‌کند. نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری مدل دراستیک در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان شاهرود در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد وزن مؤثر و تنوری پارامترهای دراستیک کاملاً بر هم منطبق نبوده و در بعضی موارد تفاوت‌های قابل توجهی با هم دارند. بر این اساس پارامتر محیط غیر اشباع (I) با میانگین وزن مؤثر ۲۳/۵ درصد

جدول ۱- رتبه‌دهی پارامترهای مدل دراستیک
Table 1. DRASTIC Model parametric ranking

Parameter	Rank	Parameter	Rank
Depth to Water-table (m) (D)		Aquifer media (A)	
7.22-10.5	8	Gravel	9
10.5-17.5	5	Sand	5
17.5-23.5	3	Clay	1
23.5-30.4	2	Soil (S)	
30.4-206.12	1	Sandy Loam	6
Recharge (mm/yr) (R)		Loam	5
15.52-35.52	3	Silty Loam	4
9.88-15.52	2	Clay	1
7.88-9.88	1	Impact of vadose zone (I)	
Topography (%) (T)		Gravel	9
0-2	10	Sand	5
2-6	9	Clay	1
6-12	5	Hydraulic Conductivity (m/day) (C)	
12-18	3	9.66-14	4
> 18	1	5.33-9.66	3
		1-5.3	2

اساس نتایج مطالعات کلاتگی و همکاران بررسی و بر روی نقشه نمایش داده شده است (Kalategi et al., 2015) (شکل ۴). همانطور که ملاحظه می‌شود در اغلب بخش‌های آبخوان و به ویژه مناطق کشاورزی که از شاخص آسیب پذیری کمتری برخوردار می‌باشند، مقدار غلظت نیترا ت کم (کمتر از ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) است. در مناطق شهری که به دلیل بافت خاک دانه درشت‌تر، آبخوان از آسیب پذیری متوسطی برخوردار بوده است، مقادیر غلظت

جدول ۲- نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف پارامتر (چپ) و تک پارامتری (راست) مدل دراستیک در بررسی آسیب پذیری آبخوان شاهرود

Table 2. Statistical results of sensitivity analysis of parametric removal (right) and single parameter removal (left) in the DRASTIC Model used to study the vulnerability level of Shahrood aquifer

Removed Parameters	Sensitivity of variability index (S) (%)				Parameter	Theoretical Weight	Theoretical Weight (%)	Effective Weight (%)			
	Ave.	Max.	Min.	Standard Deviation				Ave.	Max.	Min.	Standard Deviation
D	0.971	6.169	0.002	0.58	D	5	21.74	10.96	51.3	4.42	5.92
R	0.828	2.399	0.006	0.488	R	4	17.4	11.33	28.68	2.86	4.95
A	1.303	4.999	0.023	0.736	A	3	13.04	14.54	44.28	3.4	8.98
S	1.168	2.633	0.006	0.695	S	2	8.7	12.83	30.08	1.49	8.03
T	0.752	2.349	0.014	0.528	T	1	4.3	14.61	33.07	0.87	5.57
I	2.101	6.772	0.006	1.564	I	5	21.74	23.52	54.92	6.02	12.71
C	0.755	2.164	0	0.48	C	3	13.04	12.21	27.27	4.05	4.95

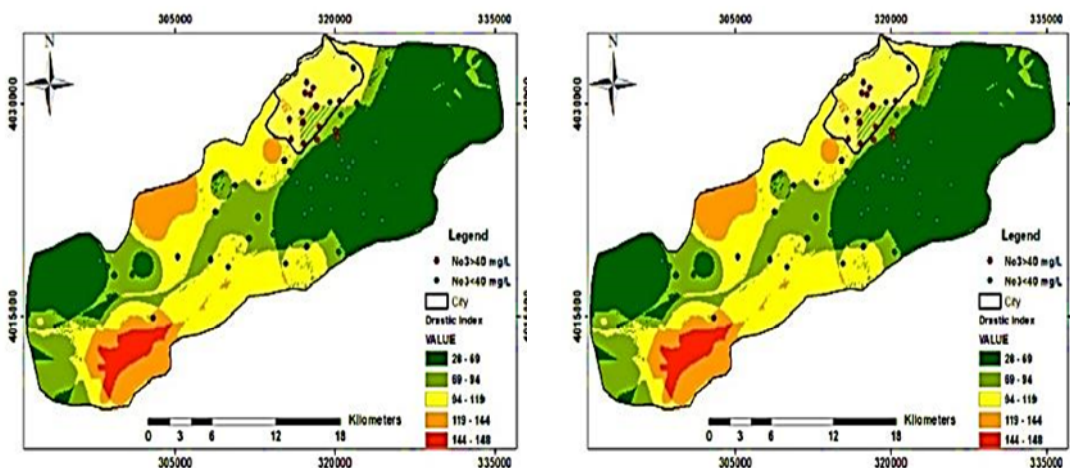


Fig. 4. Vulnerability index map of Shahrood Plain (right) and Nitrate distribution in the aquifer and its relationship with the final vulnerability map (left)

شکل ۴- نقشه شاخص آسیب پذیری آبخوان شاهرود (راست) و توزیع نیترات در آبخوان و ارتباط آن با نقشه نهایی آسیب پذیری (چپ)

تنها حدود ۱/۶ درصد از آسیب پذیری خیلی زیاد برخوردار است. منطقه شهری و بخش های جنوبی آبخوان آسیب پذیری بالا و سایر مناطق آسیب پذیری متوسط تا کم را نشان می دهد. نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین در قسمت های جنوبی آبخوان و درشت دانه بودن بافت خاک سطحی در حاشیه شمالی، سبب آسیب پذیری بالای این مناطق شده است. صحت سنجی پهنه بندی آسیب پذیری در دشت شاهرود بر اساس توزیع غلظت نیترات در دشت نشان می دهد که در مناطق کشاورزی با شاخص آسیب پذیری پایین، مقدار غلظت نیترات کم بوده که این موضوع عمدتاً ناشی از بافت دانه ریز خاک سطحی است. بر اساس نتایج تحلیل حساسیت مدل دراستیک به روش های حذف پارامتر و تک پارامتر، اثر منطقه غیراشباع بیشترین حساسیت را نشان می دهد. بنابراین این لایه اهمیت زیادی در تعیین شاخص آسیب پذیری آبخوان شاهرود ایفا نموده و باید تهیه آن با ملاحظات و دقت بیشتری صورت گیرد و برنامه ریزی مناسب در راستای کسب اطلاعات جامع تر از محیط غیر اشباع آبخوان انجام شود.

به عنوان مهم ترین و مؤثرترین پارامتر در تعیین آسیب پذیری آبخوان شاهرود شناسایی شده که با نتایج حاصل از تحلیل حساسیت حذف پارامتر نیز همخوانی دارد. پارامترهای محیط آبخوان، توپوگرافی و بافت خاک وزن مؤثر بیشتری نسبت به وزن تئوری نشان می دهند و در رتبه های بعدی به لحاظ اهمیت و نقش در شاخص آسیب پذیری آبخوان شاهرود قرار می گیرند. پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه و هدایت هیدرولیکی وزن مؤثر کمتری نسبت به وزن تئوری اختصاصی به آنها در مدل دراستیک داشته و بنابراین تأثیر کمتری بر روی شاخص آسیب پذیری آب های زیرزمینی دشت شاهرود در مقایسه با مدل تئوری دراستیک دارند.

۵- نتیجه گیری

شاخص دراستیک آبخوان شاهرود برابر ۲۸ تا ۱۴۸ برآورد شده و بر اساس پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان، ۴۰/۵ درصد از مساحت آبخوان آسیب پذیری قابل اغماض، ۱۸/۹ درصد آسیب پذیری کم، ۲۸/۸ درصد آسیب پذیر و ۱۰ درصد آسیب پذیری زیاد داشته و

References

- Abolhasani Almasi, Sh., 2015, "Assessing vulnerability of Shahrood aquifer using DRASTIC model", MSc. Thesis, University of Shahrood. (In Persian)
- Ahmadi, A. & Abroomand, M., 2009, "A Study on contamination potential of Khash plain, East Iran, using geographic information system", *Journal of Applied Geology*, 5(1), 1-11. (In Persian)

- Aller, L., Bennet, T., Leher, J. H., Petty, R. J. & Hackett, G., 1987, "DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings", EPA 600/2-87-035, 622. U. S. Environmental Protection Agency.
- Almasri, M. N., 2008, "Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine", *Journal of Environment Management*, 88, 577-593.
- Asghari Moghadam, A., Fijani, A. & Nadiri, A., 2009, "Assessing vulnerability of water resources in Bazargan and Poldasht plains using DRASTIC model", *Journal of Environmental Studies*, 52, 55-64. (In Persian)
- Azizi, F. & Mohammadzadeh, H., 2012, "Vulnerability mapping and evaluating spatial changes in groundwater quality of Emamzadeh Jafar plian, Gachsaran, by DRASTIC and GWQI quality index", *Journal of Water Resources Engineering*, 5 (13), 1-16.
- Breaban, I. G. & Paiu, M., 2012, "Application of DRASTIC model and GIS for evaluation of aquifer vulnerability: Case Study Barlad city area", *Water Resources and Wetlands, Conf. Proc.*, Tulcea-Romania.
- Evans, B. M. & Myers, W. L., 1990, "A GIS based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC", *Journal of Soil and Water Conservation*, 45, 242-245.
- Gogu, R. C. & Dassargues, A., 2000, "Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods", *Environmental Geology*, 39(6), 549-559.
- Jafari, H. & Valizadeh, M., 2014, "Modelling transport of nitrate in Shahrood aquifer", *Journal of Geochemistry*, 3(1), 23-32. (In Persian)
- Kalategi, M., 2015, "Evaluating nitrate contamination of Shahrood groundwater resources", MSc Thesis, University of Shahrood. (In Persian)
- Kalategi, M., Jafari, H. & Bagheri, R., 2015, "Assessing nitrate contamination of water resources in Shahrood", *Proceeding of the 7th National Conference and Exhibition on Environmental Engineering*, Tehran University, Tehran. (In Persian)
- Khodaei, K., Shahsavair, A.A. & Etaebari, B., 2006, "Vulnerability mapping of Jovein aquifer using DRASTIC and GODS methods", *Journal of Iranian Geology*, 4, 73-87. (In Persian)
- Khosravi, Kh., Habibnezhad, M., Soleimani, K. & Babei, Kh., 2012, "Assessing vulnerability of groundwater using DRASTIC model in GIS (Case study: Dehgolan plain, Kordestan Province)", *Journal of Watershed Management*, 3(5), 41-62.
- Lodwick, W. A., Monson, W. & Svoboda, L., 1990, "Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: Suitability analysis", *Journal of Geographic Information of Systems*, 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.
- Ott, N., Kollersberger, T. & Tassara, A., 2006, "GIS analyses and favorability mapping of optimized satellite data in northern Chile to improve exploration for copper mineral deposits", *Geosphere*, 2, 236-252.

- Ranjbar, A., 2004, "Assesment of the potential vulnerability of Shiraz plain by DRASTIC in GIS", MSc Thesis, University of Sistan and Baloochestan. (In Persian)
- Rosen, L., 1994, "A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions", *GroundWater*, 32(2), 278-285.
- Sener, E. & Davraz, A., 2012, "Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method", *Hydrogeology Journal*, 21(3), 701-714.
- Valizadeh, M., 2013, "Modelling transport of nitrate in groundwater of Shahrood plain", MSc Thesis, University of Shahrood. (In Persian)
- Vrba, J. & Zoporozec, A., 1994, *Guide book on mapping groundwater vulnerability*, International Association of Hydrogeology, Hannover Heise.
- Yin, L., Zhang, E., Wang, X., Wenninger, J., Dong, J., Guo, L. & Huang, J., 2012, "A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in the Ordos Plateau, China", *Environ. Earth. Sci.*, 69, 171-185.