ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به‌روش دراستیک

فخرالدین آزاد شهرکی [۱] عبدالوحید آغاسی [۲] فرزاد آزاد شهرکی [۳] علیرضا زارعی [٤]

(دریافت ۸۷/۱۲/۱۳ پذیرش ۸۸/۱۰/۳۰)

چکیده

رفع آلودگی آبهای زیرزمینی هزینه زیادی دارد، از اینرو لازم است از ابزار مناسبی برای پیشگیری از آلودگی استفاده شود. یکی از ابزارهـا، پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان است که در این مقاله این ابزار برای دشت هشتگرد مورد بررسی قرار گرفت. آبخوان ایـن دشـت که همواره در معرض آلودگی ناشی از آبهای برگشتی آبیاری آغشته به کودهای شیمیایی، فاضلاب شهری و روستایی و پسـابهای صـنعتی است، با استفاده از شاخص دراستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. بـا آنـالیز حساسـیت بـه دو روش از صـحت وزن‌هـای اعمـال شـده بـر پارامترهای مؤثر اطمینان حاصل شد و مشخص شد بیشترین وزن مربوط به محیط غیراشباع خاک و تغذیه آبخوان است. سپس پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان این دشت با نقشه نیترات آب زیرزمینی مقایسه شد که تطابق نسبتاً خوبی را نشان داد. با انجام این تحقیـق مشخص شد که بیشترین درصد پتانسیل آسیب‌پذیری مربوط به کلاس متوسط است و مناطق شـمالی دشـت از پتانسـیل آسـیب‌پـذیری زیادی برخوردار بوده و نواحی جنوبی دشت کمترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارند.

واژه‌های کلیدی: شاخص دراستیک، آنالیز حساسیت، کاربری اراضی، نیترات، GIS

Vulnerability Mapping of the Hashtgerd Aquifer Using DRASTIC Method and Sensitivity Analysis

Fakhrodin Azad Shahraki [1] *Abdolvahed Aghasi [2]* *Farzad Azad Shahraki [3]* *Alireza Zarei [4]*

(Received March 4, 2009 Accepted Jan. 20, 2010)

Abstract

It is more expensive to remove pollution from polluted groundwater than to prevent it; hence, tools are sought that help managers prevent groundwater pollution. One such tool is the aquifer vulnerability mapping which is used to specify the most vulnerable parts of an aquifer. In this research, the vulnerability map of the Hashtgerd aquifer was investigated. Irrigation return flow polluted by nitrate fertilizers, rural and urban wastewater, and industrial wastewater were found to be the main sources of pollution in the study area. The DRASTIC index was used and two methods of sensitivity analysis were performed on the results to ensure proper weights had been assigned to effective parameters. Then, Hashtgerd vulnerability map was compared with the relevant nitrate map to find a relatively acceptable tolerance. The results indicate that the highest vulnerability potential was of the medium class. The northern part of the study area has a high vulnerability potential while its southern stretches exhibit the lowest.

Keywords: DRASTIC Index, Sensitivity Analysis, Land Use, Nitrate, GIS

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران (نویسنده مسئول) ۷۲۲۱۷۶۱ (۰۳۸۱)
F_azad_shahraki@ yahoo.com
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۳- عضو هیئت علمی بخش فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان
٤- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

1. M.Sc. of Water Res. Management, Khajeh Nasir Tousi Uni. of Tech., Tehran (Corresponding Author) (+98 381) 7221761 F_azad_shahraki@ yahoo.com
2. Assist. Prof. of Civil Engineering Dept., KhajenasirToosi University of Technology, Tehran
3. Faculty Member of Eng. Dept., Center of Agriculture and Natural Resources Research, Kerman
4. M.Sc. of Water Resources Management, Sharif University of Tech. Tehran

۱- مقدمه

امروزه با رشد روزافزون تکنولوژی، صنعتی‌تر شدن جهان، رشد جمعیت جهان و کاهش سریع منابع سالم آب، توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش یافته است. از طرف دیگر به‌دلیل اهمیت آب در سلامت انسان‌ها از دیر باز توجه خاصی به منابع آب و مسائل مربوط به آن شده است.

یکی از راههای پیشگیری آلودگی آب زیرزمینی، شناسایی مناطقی است که استعداد آلوده شدن بالایی دارند و به‌وسیله این شناخت می‌توان منطقه را از لحاظ آسیب‌پذیری پهنه‌بندی نمود و در نتیجه با اعمال تمهیدات لازم، از آلوده شدن مناطق با آسیب‌پذیری بالا جلوگیری نمود. یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های کیفی به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری، روش دراستیک[1] است.

در این مقاله نقشه آسیب‌پذیری دشت هشتگرد با مدل دراستیک در محیط GIS تهیه شد. به‌دلیل اینکه مدل‌های ارائه شده منابع آب زیرزمینی در گذشته اکثراً کمّی بودند لذا بررسی کیفی آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل‌های کیفی کاربردهای مختلفی دارند و در زمینه‌های مختلفی استفاده می‌شوند.

مدل‌های کیفی که در زمینه بررسی وضعیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی یا آسیب‌پذیری ذاتی استفاده می‌شوند، مقدار آلودگی را ارائه نمی‌کنند بلکه نقاط مختلف را به لحاظ خطر آلودگی نسبت به یکدیگر ارزیابی می‌کنند [۱].

اولین پروژه نیمه اتوماتیک با استفاده از مفهوم دراستیک و تکنیک GIS در دانشگاه کانزاس[2] توسط وود و همکاران[3] در سال ۱۹۸۶ انجام شده است. آتیکار رحمان[4] درسال ۲۰۰۷ به‌کمک مدل دراستیک در محیط GIS به بررسی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کم عمق در هند پرداخت و میزان حساسیت هر یک از پارامترهای مورد استفاده در مدل دراستیک را مورد ارزیابی قرار داد.

در ایران نیز تا کنون مطالعات مختلفی در مورد آسیب‌پذیری آبخوان‌های مختلف انجام شده است که یکی از مهم‌ترین آنها بررسی آسیب‌پذیری آبخوان شهر تهران توسط جوکار نیاسر در سال ۱۳۸۱ بوده است. به خاطر ماهیت فازی شاخص دراستیک، اکثر کارهایی که توسط محققان نظیر دیکسون[5] به‌منظور ارزیابی آسیب پذیری انجام شده است، ارزیابی آسیب پذیری به‌کمک منطق فازی بوده است.

۲- شرح روش دراستیک

سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا روش استانداردی را تحت عنوان روش دراستیک جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی ارائه نمود که بر اساس آن، پارامترهای مختلف هیدروژئولوژی که هر یک در انتقال آلودگی تأثیر گذارند با یک ضریب وزنی و یک ضریب ارزش با یکدیگر جمع شده و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری را ارائه می‌دهند. دراستیک متداول‌ترین روش برای ارزیابی حساسیت آبخوان است هرچند که هدف آن پیش‌بینی وقوع آلودگی در آب زیرزمینی نیست. البته برخی از کاربردهای دراستیک برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی‌ها موفق و برخی ناموفق بوده‌اند [۲]. درحال حاضر روش دراستیک به‌عنوان یک سیستم استاندارد برای ارزیابی پتانسیل آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل در بسیاری از کشورها استفاده می‌شود زیرا اطلاعات مورد نیاز این مدل به آسانی می‌تواند از نهادهای دولتی و یا نیمه دولتی به‌دست آید. اخیراً به‌منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری دراستیک، داده‌های مربوط به پارامترهای مختلف به محیط نرم افزار ARCGIS داده می‌شود و در این محیط داده‌های مختلف پردازش شده و پس از طی مراحلی نقشه آسیب‌پذیری ارائه می‌شود [۳].

۳- پارامترهای روش دراستیک

دراستیک مخفف کلمات هفتگانه زیر است:

۱- عمق آب زیرزمینی (D):عمق آب زیرزمینی عبارت است از فاصله سطح زمین تا سطح ایستابی که یکی از مهم‌ترین فاکتورهای شاخص دراستیک است زیرا بر اساس آن میزان ضخامتی که آب باید طی کند تا به سطح آبخوان برسد مشخص می‌شود. افزایش این ضخامت منجر به تصفیه و حذف آلودگی توسط زون غیر اشباع خاک می‌شود. به‌طور معمول، پتانسیل حفاظت از آلوده شدن آب با افزایش عمق، بیشتر می‌شود.

۲- تغذیه خالص (R) :عبارت است از میزان آبی که از طریق زون غیراشباع خاک و توسط عوامل مختلفی نظیر بارش به آب زیرزمینی می‌رسد. آب نفوذی یک عامل اصلی برای انتقال آلودگی از محیط غیر اشباع به ناحیه اشباع است و حامل آلودگی‌های جامد و مایع می‌باشد که به سطح آب زیرزمینی منتقل شده و باعث افزایش کمی و افت کیفی آب می‌شود. به‌طور کلی یک ناحیه با تغذیه بالای آب در ریسک آلودگی بالاتری قرار دارد.

۳- محیط آبخوان (A) : همانطور که از اسم این پارامتر مشخص است، محیط آبخوان به ساختار زمین در قسمت اشباع آبخوان گفته می‌شود. این پارامتر به نوع ترکیب و دانه‌بندی خاک بستگی دارد. از آنجایی که مواد تشکیل دهنده آبخوان بر طول مسیر و جهت جریان

---

[1] DRASTIC
[2] Kanasas
[3] Wood et al.
[4] Atiquar Rahman
[5] Dixon

آب تأثیر دارد لذا با افزایش طول مسیر، زمان لازم برای انجام فرایندهای میرایی نظیر جذب، واکنش‌های شیمیایی و پراکنش، افزایش می‌یابد. به‌طور کلی ترکیب دانه‌های درشت و بازشدگی‌هایی نظیر درز و شکاف درمحیط آبخوان باعث انتقال سریع آلاینده و در نتیجه افزایش پتانسیل آلودگی می‌شود. از اینرو هر چقدر محیط آبخوان ریزدانه‌تر باشد، افت آلودگی بیشتر خواهد بود.

۴- محیط خاک(S): منظور از محیط خاک، ناحیه بالایی زمین است که به‌طور متوسط عمقی در حدود ۶ فوت یا کمتر را تحت پوشش قرار می‌دهد. خاک و بافت آن اثر قابل توجهی بر مقدار آب نشت کرده به زمین دارد. به‌طور کلی آلودگی به‌طور وسیعی از نوع و مقدار رس موجود در خاک متأثر است که امکان تورم یا متراکم شدن دارد. بنابراین هرچه رس موجود در خاک کمتر متراکم و متورم شود و اندازه دانه‌های خاک کوچک‌تر باشد، تراوایی نسبی خاک کاهش می‌یابد و از اینرو احتمال رسیدن آلودگی به سطح آب زیرزمینی کمتر خواهد بود. محیط خاک برحسب رده‌بندی بافتی آن مشخص و امتیاز بندی می‌شود.

۵- توپوگرافی (T): منظور از توپوگرافی شیب سطح زمین است. شیب سطح زمین در کنترل حرکت آلودگی و یا نگهداری آن بر روی سطح زمین تأثیر دارد. لذا در سطح با شیب زیاد، امکان آلودگی آبخوان کمتر است و در سطوح کم شیب و افقی، زمان ماندگاری آلودگی بیشتر است لذا میزان نفوذ آلودگی بیشترخواهد بود.

۶- تأثیر ناحیه غیر اشباع (I): محیط غیر اشباع در تعریف دراستیک به محدوده بالای خط ایستابی آب زیرزمینی اطلاق می‌شود که همه خلل وفرج آن با آب پر نشده است. در واقع در این محیط علاوه بر آب، دو فاز جامد و هوا نیز وجود دارد. بافت محیط غیراشباع، زمان حرکت آلودگی از بین آنرا تعیین می‌کند. در آبخوان‌های سطحی، ارزشگذاری محیط غیر اشباع تقریباً همان ارزشگذاری محیط آبخوان را داراست. ناحیه غیر اشباع خاک، تأثیر زیادی بر نرخ نفوذ، طول مسیر و چگونگی حرکت آلاینده داشته و آنرا کنترل می‌نماید و از اینرو بر زمان لازم برای میرایی و افت آلودگی تأثیر گذار است.

۷- ضریب هدایت هیدرولیکی (C): هدایت هیدرولیکی به قابلیت هدایت آب توسط مواد تشکیل دهنده آبخوان گفته می‌شود که عمدتاً توسط تخلخل مواد تشکیل دهنده آبخوان کنترل می‌شود. این پارامتر از غیرقابل اعتمادترین پارامترها بوده و میزان انتشار و انتقال آلودگی در ناحیه اشباع تا حد زیادی به این پارامتر بستگی دارد. این مفهوم باید با مفهوم محیط آبخوان به‌خوبی تفکیک شود زیرا ممکن است محیط آبخوان تا حد زیادی نفوذ ناپذیر باشد ولی شامل شکافهای بزرگ باشد[۴].

۴- طریقه به‌دست آوردن شاخص آسیب‌پذیری دراستیک

در روش دراستیک به هر پارامتر یک نرخ و یک وزن بر حسب اهمیت پارامتر اختصاص داده می‌شود و از اینرو شاخص دراستیک بر اساس وزن دهی به مجموع هفت پارامتر به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (۱)$$

که در این رابطه

DI شاخص دراستیک، D،R،A،S،I،T و C پارامترهای هفت‌گانه، r نرخ ارزش (رتبه) و w وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. دسته بندی شاخص دراستیک مطابق با جدول ۱ است [۵].

۵- وزن‌دهی و ارزش‌گذاری پارامترها در روش دراستیک

وزن دهی عددی بر مبنای تکنیک دلفی پایه‌گذاری شده است که در سراسر جهان استفاده می‌شود. این تکنیک به‌صورت تجربی و تحقیقی در نواحی مورد نظر به‌منظور ارزیابی سطوح ریسک، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس این تکنیک، وزن بیشتر بیان کننده پتانسیل آلودگی بیشتر است. آلر و همکاران[1] در سال ۱۹۸۷ طی انجام تحقیقاتی وزن‌های ۱ تا ۵ را برای پارامترهای هفت‌گانه روش دراستیک ارائه کردند. از طرف دیگر آلر و همکاران به‌منظور ارزشگذاری یک پارامتر با توجه به خصوصیات مختلف این پارامتر، رتبه‌ای درنظر گرفته‌اند که این ارزشگذاری براساس منطق بولین[2] انجام می‌شود. این نرخها عدد ۱ تا ۱۰ متغیرانند. وزن‌ها و نرخهای مربوط به هر پارامتر درجدول ۲ نشان داده شده است [۶].

۶- موقعیت جغرافیایی و پارامترهای محدوده مطالعاتی هشتگرد

دشت هشتگرد در فاصله ۶۵کیلومتری غرب تهران و بین طولهای جغرافیایی ۲۹َ ۵۰ُ و ۰۶َ ۵۱ُ شرقی و عرضهای جغرافیایی ۴۷َ ۳۵ُ تا ۷َ ۳۶ُ شمال واقع گردیده است. مساحت این محدوده ۱۲۸۱ کیلومتر مربع بوده که ۶۴۶کیلومترمربع آنرا مساحت دشت و شوره‌زار و مابقی را وسعت ارتفاعات تشکیل می‌دهد [۷].

[1] Aller et al.
[2] Boulin

جدول۱- محدوده آسیب پذیری آبخوان [۵]

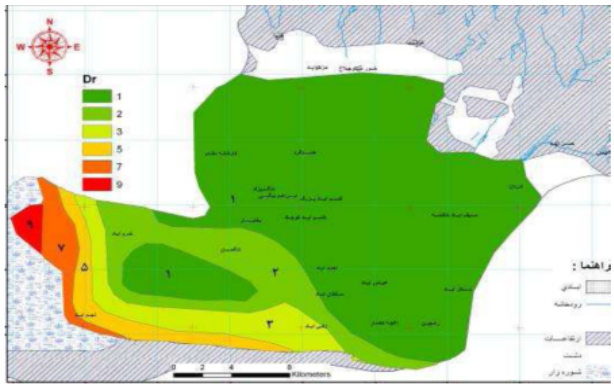
محدوده آسیب پذیری	آسیب پذیری
< ۴۶	ناچیز و قابل صرف نظر
۴۷ – ۹۲	کم
۹۳ – ۱۳۶	متوسط
۱۳۷ – ۱۸۴	زیاد
۱۸۵ <	خیلی زیاد

جدول ۲- رتبه و وزن پارامترهای روش دراستیک[۳]

محیط خاک		مواد تشکیل دهنده ناحیه غیراشباع		محیط آبخوان		هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)		توپوگرافی(درصد)		تغذیه(میلی‌متر)		عمق آب (متر)	
ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه
۱۰	نازک بدون خاک	۱	لایه محصور کننده	۲	شیل توده‌ای	۱	۰/۴-۴	۱۰	۰ – ۲	۱	۰ – ۵	۱۰	۰-۱/۵
۱۰	شن	۳	سیلت/ رس	۳	دگرگونی	۲	۴ – ۱۲	۹	۲ – ۶	۳	۵ – ۱۰	۹	۱/۵-۴/۶
۹	ماسه	۳	شیل	۴	دگرگونی هوازده	۴	۱۲ – ۲۸	۵	۶ – ۱۲	۶	۱۰ – ۱۸	۷	۴/۶-۹/۱
۸	پیت	۶	سنگ آهک	۵	آبرفت	۶	۲۸ – ۴۰	۳	۱۲ – ۱۸	۸	۱۸ – ۲۵	۵	۹/۱-۱۵/۲
۷	رس- ترک خورده	۶	ماسه سنگ	۶	ماسه سنگ،آهک وشیل	۸	۴۰ – ۸۰	۱	>۱۸	۹	> ۲۵	۳	۱۵/۲-۲۲/۸
۶	لوم ماسه‌ای	۶	ماسه سنگ ، شیل	۶	سنگ آهک توده	۱۰	>۸۰					۲	۲۲/۸-۳۰/۴
۵	لوم	۶	شن وماسه و رس	۶	ماسه سنگ توده							۱	>۳۰/۴
۴	لوم سیلتی	۴	دگرگونی	۸	شن وماسه								
۳	لوم رسی	۸	شن وماسه	۹	بازالت								
۲	لجن ولای	۹	بازالت	۱۰	سنگ آهک کارستی								
۱	رس سخت و متورم نشده	۱۰	سنگ اهک کارستی										
وزن:۲		وزن:۵		وزن:۳		وزن:۳		وزن:۱		وزن:۴		وزن:۵	

۶-۱- عمق سطح ایستابی

به‌منظور آگاهی از عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی از داده‌های مربوط به شبکه‌های پیزومتری استفاده و نقشه هم عمق آب زیرزمینی تهیه شد. ارزش‌گذاری عمق سطح ایستابی این آبخوان از نظر آسیب‌پذیری مطابق شاخصهای دراستیک در شکل ۱ نشان داده شده است.



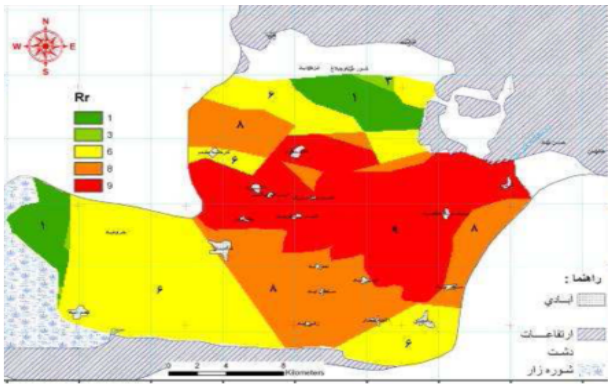
شکل ۱- ارزش‌گذاری عمق سطح ایستابی دشت هشتگرد

۶-۲- تغذیه خالص

این پارامتر با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی نظیر میزان بارش، میزان آب رودخانه‌ها، میزان آب برگشتی از چاههای شرب، چاههای صنعتی و چاههای کشاورزی و سپس برهم نهی این لایه‌ها به‌دست آمد. آبخوان دشت هشتگرد با وسعت ۵۰۸ کیلومتر مربع حدود ۸۰ درصد از دشت مورد مطالعه را در بر گرفته است و این مقادیر به‌صورت خلاصه در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. در انتها با جمع کردن لایه‌های فوق و برهم نهی آنها با یکدیگر، تغذیه خالص آبخوان دشت هشتگرد به‌دست آمد. با تقسیم‌بندی لایه فوق و رتبه‌دهی به محدوده‌های مختلف، دسته‌بندی دراستیک پارامتر تغذیه خالص آبخوان دشت هشتگرد مطابق شکل ۲ به‌دست آمد.

جدول ۳- بیلان آبخوان دشت هشتگرد [۷]

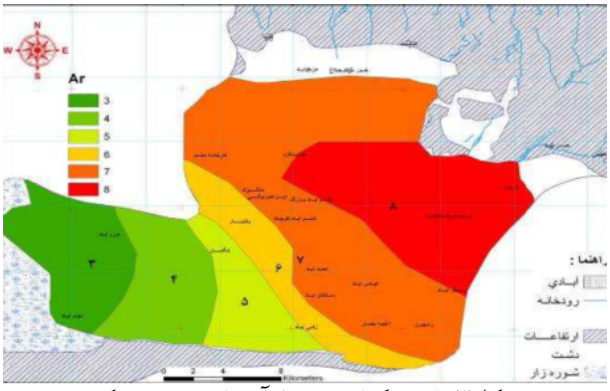
تخلیه (MCM)	جریان زیرزمینی خروجی	۲۰/۲۷
	زهکشی وتبخیر	---
	چاه، قنات، چشمه	۲۰۴/۶۸
	مجموع	۲۲۴/۹۵
تغذیه (MCM)	از پساب کشاورزی	۶۵/۴۲
	از پساب صنعت	۱/۰۴
	از پساب شرب	۲۲/۵۶
	از جریان‌های سطحی	۳۲/۷۸
	از بارندگی سطح دشت	۲۴/۸۸
	جریان زیرزمینی ورودی	۵۱/۳۲
	مجموع	۲۰۱
تغییرات حجم مخزن		۲۳/۹۵



شکل ۲- ارزش‌گذاری تغذیه خالص دشت هشتگرد

۶-۳- محیط آبخوان

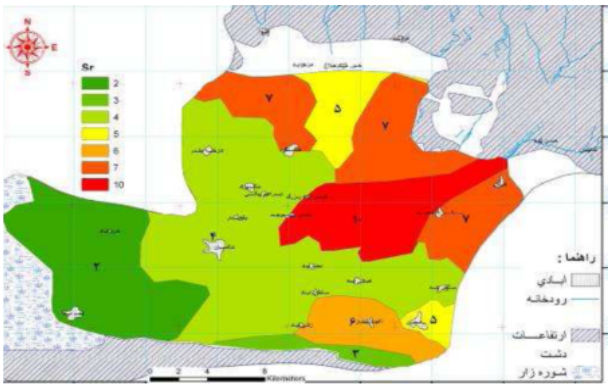
به‌منظور تهیه نقشه ارزش‌گذاری شده محیط آبخوان دشت هشتگرد، از اطلاعات موجود نظیر نیمرخ زمین‌شناسی چاههای اکتشافی و پیزومترهای حفر شده در سطح آبخوان و بررسی‌های ژئوفیزیکی به‌دست آمده محیط آبخوان استفاده گردید. در نهایت بر اساس روش دراستیک، نقشه پهنه‌بندی ارزش گذاری شده محیط آبخوان دشت هشتگرد مطابق شکل ۳ به‌دست آمد. مطابق شکل ضرایب محیط آبخوان از ۳ تا ۸ متغیر است.



شکل ۳- ارزش‌گذاری محیط آبخوان دشت هشتگرد

۶-۴- محیط خاک

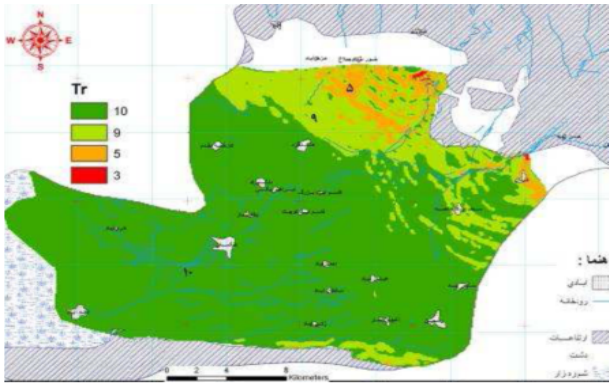
با توجه به شکل ظاهری زمین (فیزیوگرافی) و خصوصیات پروفیلی خاکها از قبیل تعداد و مشخصات طبقات خاک، رنگ، بافت، ساختمان و کلیه عوامل مؤثر در تشکیل خاک، همچنین با در نظر گرفتن نتایج آزمایشگاهی و پروفیل‌های شاهد هر سری می‌توان به خصوصیات خاک تشکیل دهنده آبخوان دشت هشتگرد پی برد. مطابق با این اطلاعات، اراضی مربوط به مخروط افکنه رودخانه کردان که شامل شن و ماسه سنگریزه دار است، در امتیاز دهی روش دراستیک دارای ارزش ۱۰ بوده و به طرف پایین‌دست رودخانه در محدوده مرکز دشت، لایه خاکهای عمیق شن-رس- سیلت دارای ارزش ۴ است (شکل ۴).



شکل۴- ارزش‌گذاری محیط خاک دشت هشتگرد

۶-۵- توپوگرافی

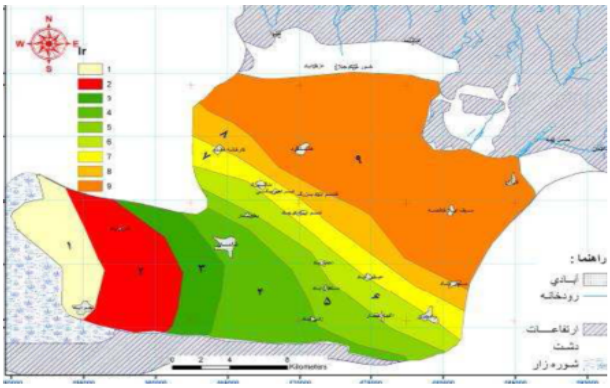
به‌منظور تهیه این لایه با توجه به ارتفاع نقاط در مناطق مختلف دشت، یک مدل رقومی ارتفاعی[1] در محیط GIS تهیه گردید. سپس بر اساس آن شیب نقاط برحسب درصد به‌دست آمد. شیب سطح زمین در دشت هشتگرد بین ۰/۰۰۷ تا ۱۶/۴۸ درصد متغیر بود. نقشه امتیازدهی شده دراستیک مطابق با شکل ۵ به‌دست آمد.



شکل۵- ارزش‌گذاری توپوگرافی دشت هشتگرد

۶-۶- تأثیر محیط غیراشباع

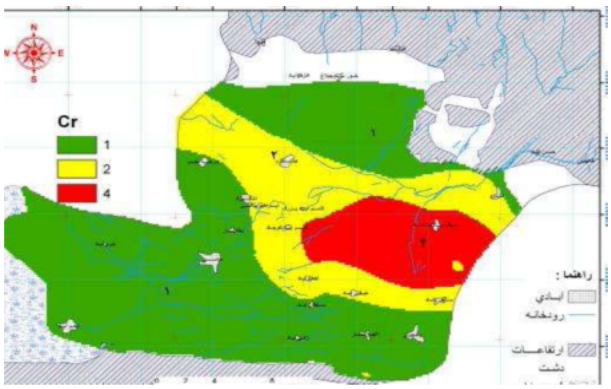
به‌منظور تهیه اثر منطقه غیر اشباع دشت هشتگرد با استفاده از آمار و اطلاعات ذکر شده در قسمت محیط آبخوان، می‌توان اطلاعات لازم برای تهیه نقشه پهنه‌بندی دراستیک را به‌دست آورد. مطابق شکل ۶، اراضی مخروط افکنه رودخانه کردان که متشکل از رسوبات قلوه سنگ، شن و ماسه است دارای رتبه ۸ تا ۹ بوده که به‌سمت جنوب به‌علت ریزدانه‌تر شدن مواد تشکیل دهنده محیط غیر اشباع آبخوان، این رتبه کاهش می‌یابد و در نزدیکی روستای نجم‌آباد، این مقدار به ۱ می‌رسد.



شکل۶- ارزش‌گذاری محیط غیراشباع دشت هشتگرد

۶-۷- هدایت هیدرولیکی

به‌منظور تهیه نقشه ارزش‌گذاری شده هدایت هیدرولیکی آبخوان از نقشه هم‌هدایت هیدرولیکی دشت هشتگرد استفاده گردید. سپس مطابق روش دراستیک، آبخوان دشت هشتگرد پهنه‌بندی شد. نقشه مذکور در شکل ۷ ارائه گردیده است. مطابق این نقشه به‌علت بالا بودن میزان هدایت هیدرولیکی در حوالی سیف‌آباد خالصه رتبه تخصیص داده شده به این پارامتر دارای مقدار ۴ بوده و در اراضی پایاب دشت به‌علت وجود رسوبات آبرفتی با هدایت هیدرولیکی کمتر از ۵ متر در روز، رتبه یک برای این پارامتر در نظر گرفته شد.

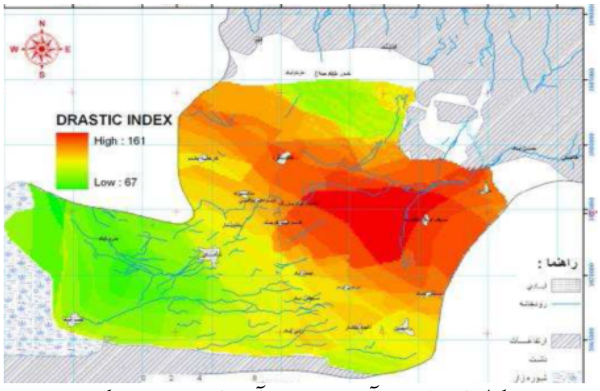


شکل۷- ارزش‌گذاری هدایت هیدرولیکی دشت هشتگرد

۷- محاسبه شاخص آسیب‌پذیری دشت هشتگرد به روش دراستیک

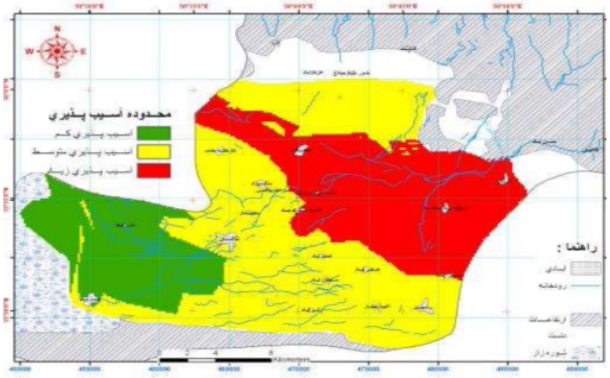
پس از رتبه‌بندی هر یک از پارامترهای مورد نیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری دشت هشتگرد، اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری در محیط GIS گردید. در این مرحله با ضرب کردن نقشه‌های رتبه‌بندی شده در وزن مربوطه، نقشه شاخص آسیب‌پذیری مطابق با شکل ۸ به‌دست آمد. همانطور که این نقشه نشان می‌دهد شاخص دراستیک در دشت هشتگرد بین ۶۷ تا ۱۶۱ متغیر است. اراضی مربوط به مخروط افکنه رودخانه کردان به‌علت وجود رسوبات دانه

[1] Digital Elevation Model (DEM)



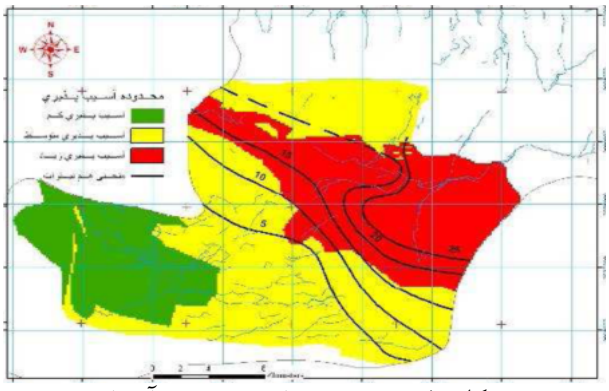
شکل۸-شاخص آسیب‌پذیری آبخوان دشت هشتگرد

درشت و تغذیه سطحی بالا، از آسیب‌پذیری بالاتری نسبت به آلودگی در مقایسه با اراضی جنوبی برخوردارند. به‌علت ریزدانه بودن رسوبات و کم بودن تغذیه سطحی در اراضی جنوبی و جنوب غربی دشت، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در مقابل آلودگی در این ناحیه کم است. بر اساس جدول ۱، دشت هشتگرد به سه ناحیه با آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شود که در شکل ۹ نشان داده شده است. بر اساس پهنه‌بندی مذکور، اراضی مخروط افکنه رودخانه کردان از پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی برخوردارند. در حوالی مرکز دشت و به‌سمت جنوب، پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط بوده و قسمت زیادی از مساحت دشت را در بر می‌گیرد. قسمت کوچکی از دشت نیز که در سمت جنوب غربی واقع شده است از پتانسیل آسیب‌پذیری کمی برخوردار است.

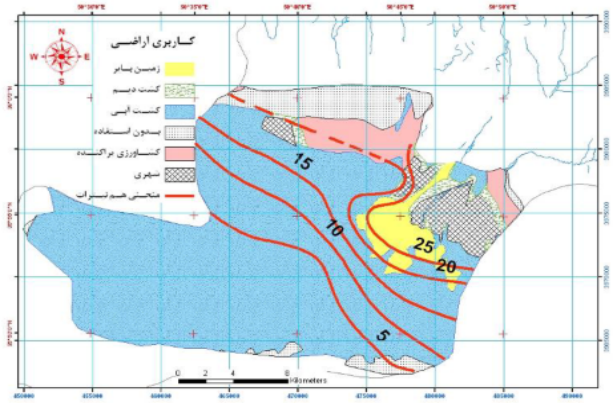


شکل۹- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت هشتگرد

از آنجایی که آلاینده نیترات یکی از آلاینده‌های مهم و پایدار در آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود، لذا از این آلاینده به‌منظور ارزیابی نقشه پهنه‌بندی دراستیک استفاده شد. با توجه به شکل ۱۰ می‌توان مشاهده نمود که این پهنه‌بندی با توزیع نیترات آب زیرزمینی دشت هشتگرد از همخوانی خوبی برخوردار است. همچنین نقشه کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشتر آلودگی نیترات موجود در منطقه، ناشی از فاضلاب شهری و کودهای مصرفی در کشاورزی است (شکل ۱۱).



شکل۱۰- منحنی هم‌نیترات و پهنه‌بندی آبخوان



شکل۱۱- نقشه کاربری اراضی دشت هشتگرد

۸- آنالیز حساسیت

برخی از دانشمندان نظیر باربر[1]، باتس[2] و آلیسون[3] معتقدند که آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی ممکن است بدون استفاده از همه پارامترهای دراستیک نیز به‌دست آید. این محققان همچنین بیان می‌کنند که وزن‌ها و نرخهای نسبت داده شده در روش دراستیک دارای دقت کافی نیست. برخی دیگر نظیر ناپولیتانو[4] و فابری[5] معتقداند که وزن‌ها ونرخهای نسبت داده شده به شاخص آسیب‌پذیری دراستیک دارای دقت کافی بوده و هیچ دلیلی برای شک کردن به این ضرایب وجود ندارد. با این وجود محققان به‌دلیل نبود شواهد تجربی، به نتایج مدل دراستیک تردید دارند. لذا به‌منظور از بین بردن این تردیدها، آنالیز حساسیت برای این مدل انجام شد [۸].

تا به حال دو روش برای آنالیز حساسیت شاخص دراستیک ارائه شده است.

[1] Barber
[2] Bates
[3] Allison
[4] Napolitano
[5] Fabbri

۸-۱- آنالیز حساسیت پارامتر واحد

در این روش که توسط ناپولیتانو و فابری در سال ۱۹۹۶ ارائه شد وزن واقعی یا مؤثر هر پارامتر توسط رابطه ۲ به‌دست آمده و با وزن نظری آن مقایسه می‌شود

$$W = (P_r P_w / V) \times 100 \qquad (۲)$$

که در این رابطه

W وزن مؤثر هر یک از پارامترها، P_r و P_w نیز به‌ترتیب وزن و نرخ مربوط به آن پارامتر و V نیز شاخص آسیب‌پذیری کل در آن زیر ناحیه است [۸].

برای به‌دست آوردن حساسیت نسبت به هریک از پارامترها، آبخوان دشت هشتگرد به ۵۱۰ زیر- ناحیه به‌صورت رستری (سایز هر پیکسل ۱۰۰۰) تقسیم شد و در نهایت نتایج مورد نظر مطابق با جدول ۴ به‌دست آمد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بیشترین وزن مؤثر مربوط به تأثیر ناحیه غیر اشباع (I) می‌باشد که تقریباً با وزن نظری مربوط به این پارامتر همخوانی دارد. پس از آن نیز بیشترین وزن مربوط به تغذیه خالص (R) است. پارامترهای محیط آبخوان (A)، هدایت هیدرولیکی (C)، عمق آب زیرزمینی (D) و محیط خاک(S) نیز در رده‌های بعدی قرار دارند. در نهایت کمترین وزن مؤثر متعلق به توپوگرافی (T) است که با وزن نظری تطابق زیادی دارد. همانطور که قبلاً بیان شد علت کم بودن وزن مؤثر عمق آب زیرزمینی را می‌توان عمیق بودن سطح آب زیرزمینی در دشت هشتگرد دانست.

۸-۲-آنالیز حساسیت به‌وسیله حذف لایه‌ها

در این روش که توسط مانسون[1] و سابودا[2] در سال ۱۹۹۰ ارائه شد تغییرات شاخص آسیب‌پذیری به‌وسیله حذف یک یا چند لایه، بررسی می‌شود

$$S = (|V/N - V'/n|/V) \times 100 \qquad (۳)$$

که در این رابطه

S میزان حساسیت، V و 'V به‌ترتیب شاخصهای آسیب‌پذیری تغییر یافته و تغییر نیافته و بالاخره N و n نیز به‌ترتیب تعداد لایه‌های مورد استفاده برای محاسبه V و 'V است. شاخص آسیب‌پذیری تغییر نیافته در حقیقت با استفاده از هر هفت پارامتر و شاخص آسیب‌پذیری تغییریافته با تعداد کمتری از پارامترها محاسبه می‌شود [۸].

برای انجام این آنالیز، سطح دشت هشتگرد در نقشه آسیب‌پذیری به ۵۱۰ زیر-ناحیه (مساحت هر زیر-ناحیه حدوداً برابر یک کیلومتر مربع) به‌صورت رستری تقسیم شد و با حذف تک تک لایه‌ها میزان حساسیت شاخص آسیب‌پذیری نسبت به هر پارامتر به‌دست آمد که نتایج حاصل از این آنالیز در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول مذکور نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات شاخص پتانسیل آسیب پذیری آب زیرزمینی با حذف لایه محیط غیر اشباع

[1] Manson
[2] Svoboda

جدول ۴- آنالیز حساسیت پارامتر واحد

پارامتر	وزن نظری	وزن نظری (درصد)	وزن مؤثر(درصد)			
			حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار
D	۵	۲۱/۷	۳/۱	۱۱/۸	۵۴/۸	۱۱
R	۴	۱۷/۴	۰	۲۱/۳	۳۳/۰	۷/۸
A	۳	۱۳/۰	۸/۴	۱۵/۲	۲۲/۸	۳
S	۲	۸/۷	۳/۶	۸/۴	۱۵/۵	۳/۱
T	۱	۴/۳	۰/۶۲	۷/۱	۱۴/۹	۲/۹
I	۵	۲۱/۷	۴/۹	۲۴/۲	۴۸/۹	۹/۷
C	۳	۱۳/۰	۲/۴	۱۲	۲۲/۳	۴/۵

جدول ۵- آمار به‌دست آمده از حذف لایه‌ها

پارامتر حذف شده	تغییرات شاخص آسیب پذیری			
	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار
D	۰	۱/۴	۵/۷۲	۰/۸۵
R	۰/۱	۱/۶	۳/۷	۰/۷۲
A	۰	۰/۴	۱/۶	۰/۳۵
S	۰	۰/۹	۲/۶	۰/۵۹
T	۰/۰۶	۱/۱	۲/۹	۰/۵۸
I	۰	۱/۸	۵/۷۷	۱/۳
C	۰	۰/۶	۲/۷۳	۰/۶۴

خاک(I) به‌دست می‌آید به‌طوری که میانگین تغییرات ۱/۸ است. پس از پارامتر محیط غیر اشباع مشاهده می‌شود که تغذیه خالص(R) با میانگین تغییرات ۱/۶، در رتبه دوم حساسیت قرار دارد. پس از تغذیه خالص، پارامتر عمق سطح آب (D) ، توپوگرافی (T) و محیط خاک (S) و هدایت هیدرولیکی (C) به‌ترتیب با میانگین تغییرات ۱/۴،۱/۱، ۰/۹ و ۰/۶ در رتبه‌های بعدی حساسیت قرار دارند و در نهایت آسیب‌پذیری آبخوان، با میانگین تغییرات ۰/۴، کمترین حساسیت را نسبت به محیط آبخوان (A) داراست. بر اساس نتایج بالا می‌توان به این نکته پی برد که وزن‌های نسبت داده شده به پارامترهای شاخص دراستیک، از صحت خوبی برخوردارند. بعلاوه، نتایج نشان می‌دهد که به‌علت پایین بودن سطح ایستابی در سطح دشت، این پارامتر از حساسیت کمتری برخوردار بوده و در رتبه سوم حساسیت و بعد از تغذیه خالص قرار می‌گیرد[۸].

۹- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه دشت هشتگرد یکی از دشتهای مهم استان تهران محسوب می‌شود، این دشت برای انجام مطالعه انتخاب گردید. با در نظر گرفتن اینکه آب زیرزمینی این دشت از کیفیت نسبتاً مطلوبی برخوردار بود، از اینرو سعی شد آبخوان این دشت از لحاظ پتانسیل آسیب‌پذیری بررسی شود تا در صورت نیاز اقدامات لازم جهت پیشگیری از آلوده شدن نواحی با اهمیت بالاتر و مستعد آلودگی در این دشت انجام گیرد. از آنجایی که روش دراستیک پرکاربردترین روش نسبت به روشهای رتبه‌دهی دیگر است از این روش برای انجام این تحقیق استفاده شد. همچنین از آنجایی که در این روش تعداد پارامترهای بیشتری دخیل می‌باشند، می‌توان ادعا نمود که این روش نسبت به سایر روشها از تکامل بیشتری برخوردار است.

به‌طور کلی از این تحقیق نتایج زیر به‌دست آمد:

۱- نقشه پتانسیل آسیب‌پذیری به‌دست آمده، آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان را نشان می‌دهد و فقط می‌تواند به‌عنوان ابزار اولیه برای توسعه آتی منطقه به‌کار رود. ضمن اینکه این ابزار جایگزین برخی مطالعات خاص در محل نمی‌شود و همچنین هیچ‌گونه اطلاعاتی از نوع آلاینده و میزان آن در اختیار قرار نمی‌دهد.

۲- با توجه به نتایج تحلیل حساسیت می‌توان از صحت وزن‌های اعمال شده بر پارامترهای روش دراستیک اطمینان پیدا کرده و در صورت نیاز، وزن‌های موجود آنها را در این روش تغییر داده و بر اساس آن، پهنه‌بندی دقیق‌تری از آسیب‌پذیری منطقه به‌دست آورد. لازم به‌ذکر است که پارامترهای قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) و محیط آبخوان (A) از ویژگی‌های ذاتی و زمین شناسی منطقه به شمار می‌روند و وزن‌های آنها تغییر زیادی نمی‌کند.

۳- در پهنه‌بندی دشت توسط شاخص دراستیک، دشت هشتگرد را به سه ناحیه با آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد می‌توان تقسیم نمود. ۵۰/۲ درصد از مساحت کل منطقه به کلاس آسیب‌پذیری متوسط تعلق دارد، ۳۱/۸ درصد از مساحت آبخوان در کلاس آسیب‌پذیری زیاد و ۱۸ درصد دیگر از سطح دشت در کلاس آسیب‌پذیری کم قرار گرفته است که این پهنه‌بندی با توزیع نیترات آب زیرزمینی دشت هشتگرد همخوانی خوبی دارد.

۴- قسمت شمالی و شمال شرقی آبخوان دشت هشتگرد از آسیب‌پذیری زیادی برخوردار است. از اینرو، کنترل این ناحیه در مقابل آلودگی باید مد نظر قرار گیرد. آلودگی نیترات این منطقه نیز بالاست، لذا این ناحیه نیاز به مراقبت بیشتر و همچنین اعمال محدودیت‌های خاصی دارد. مناطق مرکزی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط و نواحی جنوبی و جنوب غربی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری کمی برخودار هستند.

۵- با توجه به نقشه کاربری اراضی می‌توان دریافت که بیشتر آلودگی نیترات موجود در منطقه از فاضلاب شهری و کودهای مصرفی در کشاورزی ایجاد می‌شود. از اینرو باید با افزایش راندمان آبیاری تا حد امکان از آبهای برگشتی کشاورزی به آبخوان که اغلب خود به‌عنوان منبع آلاینده آبخوان به شمار می‌روند کاست، زیرا این گونه آبها اغلب آغشته به کودهای حیوانی و به‌خصوص کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و علف کشها هستند. همچنین پیشنهاد می‌شود که مقادیر کود و سموم مصرفی کنترل گردد.

۱۰- پیشنهاد

به‌علت اینکه حذف آلودگی از منابع آب زیرزمینی پرهزینه است، این پهنه‌بندی می‌تواند به عنوان ابزار ارزشمندی در اختیار مسئولان و متولیان قرار گرفته تا به‌کمک آن بتوانند تصمیمات لازم را جهت کاربری اراضی و مدیریت آبخوان دشت هشتگرد اتخاذ کنند. این تصمیمات می‌تواند شامل اعمال مدیریت در مصرف کودهای کشاورزی و فاضلاب شهری به نقاط مطمئن‌تر و تغییر کاربری اراضی باشد.

۱۱- مراجع

1- Ibrahim, M., and Jagath, J. (2003). "Multi-criteria decision analysis with probabilistic risk assessment for the management of contaminated groundwater." *Environmental Impact Assessment Review*, 23 (6), 683-721.

2- Adamat, R., Foster, I., and Baban, S. (2003). “Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Arzaq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC.” *Applied Geography*, 23,303-324.

3- Mohammad, P., and Almasri, N. (2003). “Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer.” *J. of Environmental Management*, 68 (3), 315-328.

4- Deakc, J., Vargay, Z., Leonea, A., and Ripaa, M. (2004). “Vulnerability and risk evaluation of agricultural nitrogen pollution for Hungary’s main aquifer using DRASTIC and GLEAMS models.” *J. of Environmental Management*, 68 (3), 298-304.

5- Nobre, R., Rotunno, O. C., and Mansur, W. J. (2007). “Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and fuzzy logic tool.” *J. of Contaminant Hydrology*, 94, 277-292.

6- Babiker, S., Mohamed, A., Tetsuya, H., and Kikuo, K. A. (2005). “GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights.” *Science of the Total Environment*, 345 (1-3), 127-140.

7- Tehran Regional Water Co. (2007). *Groundwater report of Hashtgerd Aquifer*, Tehran.

8- Rahman, A. (2007). “A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligrah, India.” *Applied Geography*, 28 (1), 32-53.