تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هشتم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۱
Volume ۸, No. ۲, Fall ۲۰۱۲ (IR-WRR)
۸۰-۸۶

یادداشت فنی

بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی در مناطق شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[۱])
(مطالعه موردی شهر مشهد)

علی‌جعفری قریه‌علی[۱*]، غلام عباس کاظمی[۲]،
ناصر حافظی مقدس[۲] و سید صالح موسوی آسترآبادی[۳]

چکیده

در این مطالعه با استفاده از مدل سازی و به کارگیری بعضی از پارامترهای روش DRASTIC و همچنین نقش تراکم جمعیتی در نواحی شهری به کمک نرم افزار Arc GIS ۹,۳ به بررسی آلودگی آبخوان در نواحی شهری پرداخته است و نواحی در خطر آلودگی بالا و متوسط و کم مشخص شده است. اگرچه روش DRASTIC برای بیشتر دشتهای وسیع بکار گرفته می‌شود اما با ارزیابی بعضی از پارامترها دراستیک در نواحی شهری و سایر عوامل موثر با کمک مدل شبه دراستیک می‌توان آلودگی آبهای زیرزمینی را در نقاط شهری بررسی کرد. در این مطالعه به کمک پارامترهای عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی نقاط در معرض آلودگی آبخوان مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که منطقه مورد مطالعه شهری می‌باشد، شرایط خاص منطقه مورد بررسی قرار گرفته است، به طوری که نقش بافت خاک سطحی در مناطق شهری با توجه به نقش آن در کاهش در آلایندگی آبخوان زیاد ارزش‌گذاری شده است. همچنین با توجه به نقش فاضلاب شهری در آلودگی آبخوان، میزان تراکم جمعیت در نقاط مختلف شهر به عنوان یک پارامتر مهم مورد ارزشیابی قرار گرفته و به پارامترهای دراستیک اضافه شده است. به طور کلی نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین نقاط در معرض آسیب‌پذیری بالا در مناطق مرکزی و جنوبی و غربی آبخوان و همچنین در نواحی جنوب شرقی می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی آبخوان، مدل دراستیک، بافت خاک، تراکم جمعیتی، نواحی شهری.

تاریخ دریافت مقاله: ۳ بهمن ۱۳۹۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۶ شهریور ۱۳۹۱

۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی از دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران.
۲- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی زرند، کرمان، ایران.
*- نویسنده مسئول

Technical Note

Application of GIS in the Study of Groundwater Pollution in Urban Areas (Case Study: Mashhad city)

A. Jafarighariehali [۱] , Gh. A. Kazemi[۲],*
N. Hafezimoghadas[۲] and S. S. Mosaviasterabadi [۳]

Abstract

This study has dealt with the groundwater pollution using Arc GIS ۹,۳ and has identified the areas with high, moderate, and low pollution risk by the help of modeling and some parameters of the DRASTIC method taking into account the population growth rate in the urban areas. Although DRASTIC is often applied to the large alluvial plains, the contamination rate of the aqufer can be assessed in the urban area with a semi-drastic model if some of DRASTIC parameters are modified and also other effective factors are taken into account. In this study the parameters of depth to water, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of Vadose zone, and hydraulic conductivity were evaluated to assess the risk of groundwater contamination. The site specific conditions pertaining to the urban areas were also considered; the impact of the texture of surface soil on the contamination of aquifer in the urban areas has been highlighted. Considering the role of urban sewer in aquifer contamination the parameter of population density has also been determined as a vital parameter and has been added to the DRASTIC parameters. In general the findings showed that the most vulnerable areas in Mashhad city include central, southern, and southeastern parts of the city.

Keywords: Aquifer pollution, DRASTIC model, Soil texture, Population condense, Urban area.

Received: January ۲۳, ۲۰۱۲

Accepted: August ۲۷, ۲۰۱۲

۱- MSc. Graduate in Hydrology, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran. Email: Alijafari_۸۴@yahoo.com.
۲- Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran.
۳- MSc. Student in Petrology, Islamic Azad University of Zarand, Kerman, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل قابلیت بالا در مدیریت حجم زیاد داده‌های مکانی محیط مناسبی برای تحلیل پارامترهای دراستیک و تهیه نقشه آسیب‌پذیری فراهم می‌کند. به طور کلی روشهای زیادی برای ارزیابی آبخوان ارائه شده است که شامل روشهای فرایندی، روشهای آماری، روشهای اندیس و همپوشانی می‌باشد (Tesoriero et al., ۱۹۹۸). دراستیک 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 نیمه‌کمی 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 (چیت‌سازان و اختری، ۱۳۸۵). روش مدلی دراستیک توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده[۲] برای ارزیابی استاندارد آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی نسبت به آلودگی در کل ایالت متحده طراحی شد (Aller et al., ۱۹۸۷). برای تعیین اهمیت نسبی هر یک از پارامترهای مذکور هر پارامتر نسبت به سایر پارامترها ارزیابی می‌گردد. به طوری که به هر یک از پارامترها یک وزن نسبی بین ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد، موثرترین پارامترها دارای وزن ۵ و کمترین آنها دارای وزن ۱ می‌باشد. هر یک از پارامترهای دراستیک به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند که نسبت تأثیر آنها روی آسیب‌پذیری متفاوت می‌باشد؛ به بازه‌های هر کدام از پارامترهای دراستیک نیز یک رتبه بین ۱ تا ۱۰ اختصاص می‌یابد. این مدل بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است. وضعیت هیدروژئولوژیکی بیان‌کننده ترکیب عوامل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی می‌باشد (چیت‌سازان و اختری، ۱۳۸۵). به طور کلی امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون سیستم آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌گویند. لذا نقش بعضی از پارامترها بسته به شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه مهمتر و بعضی دارای اهمیت کمتر می‌باشد. برای مثال نقش تغذیه در مناطق شهری به دو صورت تغذیه نفوذ رواناب حاصل از بارندگی و نفوذ فاضلاب شهری و صنعتی می‌باشد که نفوذ فاضلاب اثرات سویی را بر آلودگی آبخوان دارد. مطالعات زیادی روی آسیب‌پذیری لایه‌های آبدار آب زیرزمینی شده است، مطالعه آسیب‌پذیری در آبخوان کاکامیگاهارا[۳] در ژاپن نشان داد که قسمت غربی این آبخوان دارای آسیب‌پذیری بالا در حالیکه قسمت شرقی آبخوان دارای آسیب‌پذیری متوسط و قسمت شمال‌شرقی آبخوان دارای آسیب‌پذیری کم می‌باشد. نقشه اصلاح‌شده آسیب‌پذیری نشان داد قسمت شرقی آبخوان به خاطر آلودگی در اثر فعالیت کشاورزی در معرض خطر قرار دارد و پارامتر تغذیه خالص بیشترین تأثیر را روی آسیب‌پذیری آبخوان داشته است (Babiker et al. , ۲۰۰۵). به طور کلی وجود منابع مهم آلاینده‌های نقطه‌ای و سطحی ناشی از فعالیتهای انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان باعث کاهش کیفیت آب می‌گردد؛ بنابراین جلوگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرزمینی ضروری می‌باشد (Melloul and Collin, ۱۹۹۴).

۲-منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعه قسمتی از دشت مشهد، که در حوضه آبریز کشف‌رود واقع شده، می‌باشد. شهر مشهد به عنوان مرکز استان خراسان رضوی مابین رشته‌کوه هزار مسجد و بینالود در منتهی‌الیه دشت مشهد در ارتفاع حدود ۱۱۱۰-۹۶۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. وسعت این شهر بیش از ۲۰۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا در حدود ۹۸۰ متر است. این حوضه در شمال استان خراسان در طول جغرافیایی $^{\circ}$۵۹ $^{'}$۲۰ تا $^{\circ}$۶۰ $^{'}$۸ شرقی و عرض $^{\circ}$۳۶ $^{'}$۳ تا $^{\circ}$۳۵ $^{'}$۴۰ شمالی واقع است و از شمال به خطالراس ارتفاعات هزارمسجد، از جنوب به حوضه آبریز جام‌رود و از غرب به حوضه آبریز رودخانه اترک محدود می‌شود. شهر مشهد به عنوان دومین شهر پرجمعیت ایران بعد از تهران می‌باشد که در حال حاضر با توجه به جذب زائر و گردشگر و همچنین وجود ۶۰ درصد جمعیت استان خراسان رضوی در این کلانشهر یکی از مهمترین عوامل اصلی در جهت آلودگی آبخوان آب زیرزمینی می‌باشد.

نظر به اینکه به طور میانگین برای هر نفر در شهر روزانه تقریباً ۱۵۰۰ لیتر آب نیاز می‌باشد، در حالی که با توجه به مشکلات کمبود آب در این شهر و خشکسالیهای چند ساله اخیر سرانه آب هر مشهدی ۳۰۰ لیتر آب در روز می‌باشد و با اشاره به وجود ۸۵۰ هزار مشترک آب در این شهر به طور میانگین هر ۵ سال تعداد مشترکان به ۲ برابر افزایش می‌یابد، لذا افزایش مصرف آب را بدنبال دارد و این روند افزایش برداشت باعث آسیب جدی به آبخوان شده است و باعث بروز مشکلات جدی از لحاظ کمی و کیفی آبخوان‌های آب زیرزمینی شده است (الوندی، ۱۳۸۹). بنابراین ارزیابی عوامل مهم در آسیب‌پذیری آبخوان آب زیرزمینی شهر مشهد بسیار با اهمیت می‌باشد.

۳-شرایط مهم در استفاده روش DRASTIC

واژه دراستیک از هفت پارامتر تشکیل شده که با ارزش‌گذاری این پارامترها نقش اساسی در آسیب‌پذیری هر آبخوان دارند. این پارامترها شامل: ۱- عمق سطح ایستابی (D) ۲- تغذیه خالص (R) ۳- محیط

آبخوان (A) ۴- محیط خاک (S) ۵- توپوگرافی (T) ۶- محیط غیراشباع (I) ۷- هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) می‌باشد. میزان آسیب‌پذیری آبخوان‌های آب زیرزمینی شامل ۵ رده بالا، نسبتاً بالا، متوسط، نسبتاً پایین و پایین تقسیم می‌شود که از ارزش‌گذاری پارامترهای بالا و همپوشانی نقشه آسیب‌پذیری بدست می‌آید (Piscopo, ۲۰۰۱). روش DRASTIC در سال ۱۹۸۷ ارائه شد و بعدها به عنوان روش توصیه شده سازمان محیط زیست آمریکا در سال ۱۹۹۳ ارایه شد (خلقی، ۱۳۸۲). در این روش ۴ فرضیه در نظر گرفته شده که این فرضیه‌ها عبارتند از: ۱- آلودگی در سطح زمین تولید شود. ۲- آلودگی از طریق نفوذ به سطح زمین وارد می‌شود. ۳- عامل حرکت آلودگی آب است. ۴- منطقه مورد نظر که باید بیش از ۰/۴ کیلومتر مربع وسعت داشته باشد. منطقه پیشنهادی مورد مطالعه دارای شرایط خاصی می‌باشد که با در نظر گرفتن ارتفاعات و حومه منطقه مورد مطالعه و با فرض بر این که انتقال آلاینده از طریق بافت سطحی خاک صورت می‌پذیرد، در جهت مطالعه مناسب می‌باشد. هفت پارامتر به کار گرفته در روش دراستیک در زیر شرح داده شده‌اند:

۳-۱-عمق سطح ایستابی[۴]

به عمقی که آلودگی باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد عمق سطح آب گویند، هر چه سطح آب عمیق‌تر باشد موجب می‌شود زمان حرکت و ماندگاری آلودگی افزایش یابد. در این مطالعه با استفاده از نقشه‌های هم‌عمق سطح آب زیرزمینی که با اندازه‌گیری سطح آب در پیزومترهای واقع در منطقه بدست آمده، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. شواهد نشان داده که میزان عمق در شهر مشهد نسبت به نواحی اطراف یا دشت مشهد متفاوت می‌باشد و سطح آب در شهر بالا و عمق آب کم می‌باشد که با توجه به تغذیه آب در آبخوان از طریق فاضلابهای سطح شهر علت بالاآمدگی آب ذکر گردیده است، میزان عمق با استفاده از تغییرات سطح آب در پیزومترهای سطح شهر اندازه‌گیری شده است.

۳-۲- تغذیه خالص[۵]

میزان آب نفوذی از سطح و ورود به لایه آبدار زیرزمینی را تغذیه خالص می‌گویند. در نقاط شهری تغذیه بیشتر به صورت عمودی از چاههای جذبی فاضلاب و انتشار افقی با توجه به حرکت آب زیرزمینی در آبخوان می‌باشد. نفوذ آب از طریق بارندگی و آبیاری فضای سبز و باغات موجود در سطح شهر نیز می‌تواند اثرات سو و مفیدی را در بعضی از مناطق شهری در بر داشته باشد، بطوریکه در زمینهای کشاورزی می‌تواند آلودگی ناشی از استفاده سموم کشاورزی و کودهای شیمیایی سولفاته و نیتراته باعث آلودگی آن شود. همچنین نفوذ آب بارندگی آلودگی‌های سطحی مانند ساییدگیهای لاستیک اتومبیل حاصل از آثار ترمز آنها و همچنین آلودگیهای موجود در هوا که ناشی از مصرف سوخت اتومبیل و مراکز صنعتی می‌باشد را به آبخوان منتقل نماید و باعث آلودگی آبخوان گردد. میزان تغذیه خالص می‌تواند تحت نوع آبخوان و نوع مواد تشکیل‌دهنده آبخوان و سایر شرایط فیزیکی موجود در آبخوان متغیر باشد (بافت سطحی خاک)، که در زیر به بعضی از آنها پرداخته است.

۳-۳- نوع آبخوان[۶]

محیط لایه آبدار زیرزمینی و مواد تشکیل دهنده آن مشخص کننده طول و چگونگی روند مسیر سیستم جریانی آب زیرزمینی می‌باشد و طول مسیر در فرایند جذب و تغییر کیفیت آب زیرزمینی و پخش و گسترش آلودگی در آبخوان نقش مهمی را داراست. آکیفرهای آب آزاد در زیر شهرها سریعتر از آبخوان‌های تحت فشار در معرض آلودگی قرار دارند. از آنجا که آکیفر آب زیرزمینی در زیر شهر مشهد از نوع آزاد می‌باشد، لذا میزان آلودگی آن بیشتر است. نوع مواد تشکیل‌دهنده آکیفر یکی از عوامل مهم در انتقال آلودگی در آبخوان آب زیرزمینی می‌باشد.

۳-۴- نوع خاک[۷]

نوع خاک تحت لیتولوژی و بافت خاک در آبخوان می‌باشد و نقش مهمی در حرکت آلاینده‌ها و مسیر آب زیرزمینی دارد. وجود مواد با بافت دانه‌ریز نظیر سیلت و رس میزان سرعت آب زیرزمین را کاهش داده و مهاجرت و حرکت آلاینده‌ها را بسیار محدود و موضعی می‌سازد. در نقاط شهری با بافت ریزدانه نفوذ آب به کندی صورت می‌گیرد و بیشتر آلاینده‌ها جذب خاک و باعث تصفیه آب زیرزمینی در سفره می‌گردند. ولی در نقاط با بافت درشت دانه نفوذ آلاینده‌ها سریعتر انجام شده و باعث نشر افقی سریعتر در آبخوان و آلودگی وسیع در منطقه می‌گردند. لذا محیط خاکها بر حسب رده‌بندی بافت آن مطالعه می‌گردد و بـر اساس پتانسیل آلـودگی نیز امتیازبندی می‌گردند.

رسوبات در شهر مشهد متاثر از رسوبگذاری رودخانه کشف رود و مسیلهای فرعی جنوبی و جنوب غربی و همچنین رسوبگذاری بادی می‌باشد. بافت خاک در سطح شهر نیز تابعی از فاصله تا ارتفاعات و همچنین فاصله تا مسیل‌های اصلی است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بطور کلی بافت خاک در سطح شهر مشهد از غرب به سمت شرق و همچنین از جنوب به سمت شمال ریز دانه‌تر می‌گردد (حافظی مقدس، ۱۳۸۵).

۳-۵- توپوگرافی[8]

توپوگرافی با توجه به شیب و تغییرات موجود در سطح زمین مورد مطالعه قرار می‌گیرد و از آنجا که سطح آب زیرزمینی در آبخوان از توپوگرافی تبعیت می‌کند، نقش آن در مسیر آب زیرزمینی مؤثر می‌باشد. توپوگرافی در انتشار آلودگی نقش مؤثری را داراست، لذا محلهایی که شیب بیشتری دارند آلودگی را به سطوح پایین‌تر منتقل می‌کنند. درصد شیب در آبخوان را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و تعیین سنگ بستر آبخوان با استفاده از ژئوفیزیک محاسبه می‌گردد.

۳-۶- اثر منطقه اشباع[9]

نوع منطقه غیر اشباع تعیین کننده خصوصیات میرایی مواد تشکیل دهنده خاک و سنگهای قرار گرفته بالای سطح ایستابی می‌باشد. لذا با بررسی بافت سطحی خاک و چاههای حفاری در سطح شهر به مطالعه آن پرداخته‌ایم. با توجه به بالا بودن سطح آب در این سالها بافت سطحی در بیشتر مکانها با آن مطابقت داشته است.

۳-۷- هدایت هیدرولیکی[10]

به قابلیت مواد تشکیل دهنده سفره جهت انتقال آب هدایت هیدرولیکی گویند. میزان نفوذپذیری به وزن مخصوص مایع و قطر دانه‌ها یا اندازه فضای خالی دانه‌ها و چسبندگی مایع (ویسکوزیته) آن وابسته است. در این محیط فقط به میزان قطر دانه‌ها وابسته است که تحت کنترل نوع بافت خاک منطقه تغییر می‌کند. از آنجا که هدایت هیدرولیکی با بافت خاک رابطه مستقیمی داشته در بیشتر مکانها با بافت خاک سنجیده شده است.

۴- روش مطالعه

در این مطالعه با ارزش‌گذاری روی پارامترهای موجود در منطقه و تهیه نقشه هر کدام از این پارامترها و همپوشانی آنها نقشه آسیب‌پذیری منطقه ارائه گردیده است. شایان ذکر است در این مطالعه با توجه به تأثیر تراکم جمعیت در مناطقی که نقش مهمتری در آلودگی سفره دارند، ارزش‌گذاری شده است. با توجه به اینکه در این شهر بیش از ۲۰ میلیون زائر سالانه از بارگاه امام رضا زیارت می‌کنند، نقش هتل‌ها و اماکن اقامتی در آلودگی شهر مشهد دارای اهمیت می‌باشد. بنابراین موقعیت آنها در محدوده مطالعه در آلودگی سفره نقش مؤثری دارد. بیمارستانها و مراکز درمانی و هتلها با توجه به مصرف بالای آب نقش مهمی در آلودگی آب زیرزمینی دارند. لذا در این مطالعه به عنوان یک پارامتر مهم، محل این مراکز جمعیتی با نرم‌افزار همپوشانی شده و نقش آنها در آلودگی سفره مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجا که میزان نیترات در اطراف قبرستانها بالا بوده و نقش مهمی در آلودگی سفره دارند (جعفری، ۱۳۸۶) ارزش بالایی نسبت داده شده است. پارامترهای مدل دراستیک در جدول ۱ با توجه به اهمیت آنها در منطقه ارزش گذاری شده‌اند. برای تهیه نقشه توپوگرافی از نقشه‌های توپوگرافی رقومی منطقه استفاده شد، به طوری که ابتدا یک مدل رقومی تهیه و سپس نقشه شیب تهیه شد. در منطقه مورد مطالعه قسمت اعظم منطقه دارای شیب کم در نظر گرفته شده است و آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی را افزایش خواهد داد. به طور کلی با توجه به جدول ۲ میزان تغذیه تحت تأثیر شیب و نفوذپذیری خاک و میزان تغذیه نقاط پر جمعیت بوده، همچنین منطقه غیر اشباع به عمق آب و نفوذپذیری وابسته بوده و تحت تأثیر این دو پارامتر قرار دارد و نقشه آن مانند این دو پارامتر می‌باشد. دراین جدول کلیه پارامترها بر اساس مشخصات منطقه مورد مطالعه شده ارزش‌گذاری شده‌اند. برای بررسی و نتیجه‌گیری از مدل ارایه شده با استفاده از یک اندیس عددی که از رتبه‌ها و وزنهای اختصاص یافته به پارامترها استنتاج شده، مدل بدست می‌آید. معادله مربوط برای تعیین این اندیس از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V=D_R D_W+R_R R_W+A_R A_W+S_R S_W+T_R T_W+I_R I_W+C_R C_W \quad (۱)$$

در رابطه فوق V میزان آسیب پذیری سفره و همچنین پارامتر W وزن و R رتبه مربوط به هر پارامتر مدل می‌باشد. به طور کلی آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه دارای ۵ درجه کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً بالا و بالا مشخص گردیده است. برای مدل ارایه شده حداقل ممکن برای اندیس دراستیک برای پارامترها ۳۵ و حداکثر ۲۵۵ مشخص شده است. در این مطالعه میزان ۳۵–۸۰ محدوده با آسیب‌پذیری پایین و ۸۱–۱۵۰ با آسیب‌پذیری متوسط و ۱۵۰–۲۵۵ با آسیب‌پذیری بالا مشخص گردیده است. به طور کلی بیش از ۴۰ درصد مساحت آبخوان با آسیب‌پذیری بالا مشخص شده است. مدل ارایه شده نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌پذیری در مناطق مرکزی و جنوبی و غربی آبخوان و نواحی جنوب شرقی می‌باشد. به طور کلی شکلهای ۱و ۲ و ۳ و ۴ نقشه لایه‌های مختلف مطالعه شده و شکل ۵ نقشه آسیب پذیری کلی شهر در پایان بیانگر این موضوع می‌باشد.

۵-نتیجه گیری

در این مطالعه برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان از پارامترهای عمق تا سطح ایستابی، محیط آبخوان، توپوگرافی، هدایت هیدرولیکی و تراکم جمعیتی استفاده شده است. با توجه به شرایط موجود در منطقه شهری نقش تراکم جمعیتی حائز اهمیت می‌باشد که با کمک پارامترهای دراستیک و تراکم جمعیتی آسیب‌پذیری سفره در مناطق

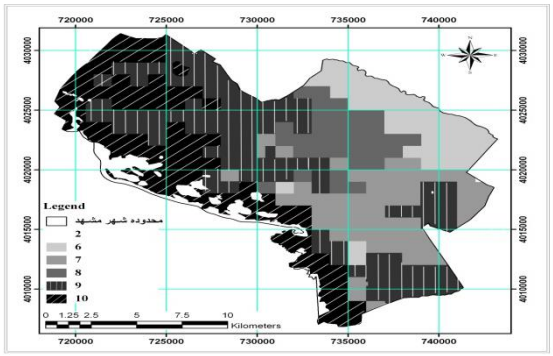
مختلف سفره مشخص گردیده‌اند. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌پذیری مربوط به مناطق با بافت درشت‌دانه و تراکم جمعیت بالا و محلهای با عمق کمتر از سطح ایستابی می‌باشد، این مناطق بیشتر در مناطق مرکزی و غربی و جنوبی و

جدول ۱- جدول ارزش گذاری پارامترهای مدل دراستیک در سفره آب زیرزمینی منطقه

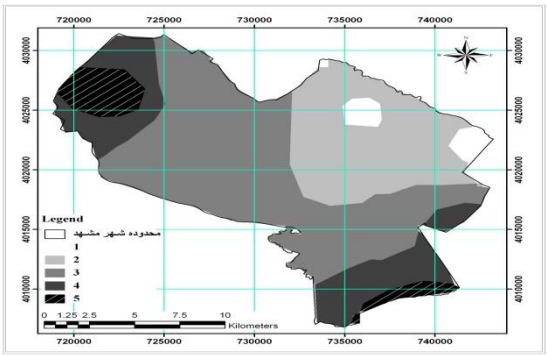
ردیف	پارامتر	شرح پارامتر با توجه به منطقه	ارزش نسبی پارامتر (وزن)
۱	عمق تا آب زیرزمینی (D)	میزان عمق از سطح زمین تا سطح ایستابی می‌باشد، در نواحی شهری با سیستم فاضلاب جذبی هر چه بیشتر باشد میزان آلودگی در سفره کمتر می‌باشد.	۵
۲	محیط آبخوان (A)	به خصوصیات منطقه اشباع وابسته بوده و در فرایند رقیق شدن آلاینده‌ها نقش اساسی دارد. با مطالعه ستون عمودی لیتولیوژیکی چند چاه عمیق مشخص شد با بافت سطحی خاک مطابقت دارد، لذا در این نواحی شهری با بافت سطحی خاک همخوان می‌باشد.	۴
۳	هدایت هیدرولیکی (C)	توانایی آبخوان در انتقال آب می‌باشد و هر چه میزان آن بیشتر باشد امکان جریان آلاینده‌ها بیشتر می‌باشد که میزان آن به بافت خاک دارد که هرچه درشت دانه باشد هدایت هیدرولیکی بیشتر است.	۵
۴	تغذیه خالص (R)	مقدار آبی که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی می‌رسد؛ که عامل اصلی آلاینده‌ها می‌باشد. تغذیه از چاه جذبی فاضلاب عامل اصلی در آلودگی سفره‌های زیرزمینی شهری است. در این پارامتر تراکم جمعیت نیز به عنوان یک عامل مهم در آلودگی در نظر گرفته شده است.	۴
۵	منطقه غیر اشباع (I)	این قسمت از خاک عبور و رقیق شدن مواد آلاینده به منطقه اشباع رادر کنترل دارد.	۳
۶	محیط خاک (S)	به قسمت بالایی منطقه غیر اشباع اشاره دارد و میزان آب نفوذی را در کنترل خود دارد.	۲
۷	توپوگرافی (T)	به شیب سطح زمین اشاره داشته و شیب کمتر زمان تماس آب سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر شده و امکان نفوذ آلاینده‌ها بیشتر خواهد شد.	۱

جدول ۲- رتبه‌های مربوط به پارامترهای شبه مدل دراستیک در منطقه مورد مطالعه

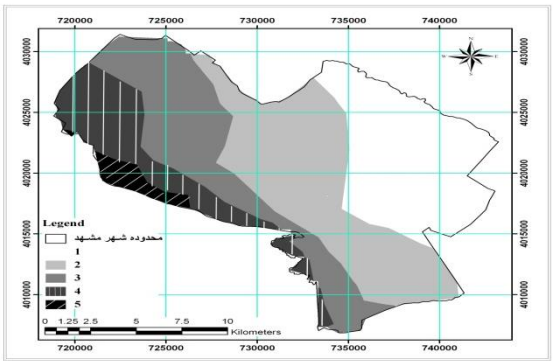
پارامتر	رتبه	پارامتر	رتبه	پارامتر	رتبه
۱- عمق تا سطح ایستابی (متر)		**۳- توپوگرافی (شیب، درصد)**		**۵- هدایت هیدرولیکی خاک**	
۰-۱۵	۱۰	<۲	۵	بالا	۱۰
۱۵-۳۰	۹	۰-۲	۴	نسبتاً بالا	۹
۳۰-۴۵	۸	۱۰-۲۰	۳	متوسط	۷
۴۵-۶۰	۷	۲۰-۳۳	۲	کم	۵
۶۰-۷۰	۶	>۳۳	۱	نسبتاً کم	۳
۷۰-۸۰	۵	**۴- اماکن جمعیتی و نقش آنها در تغذیه**		خیلی کم	۱
۸۰-۹۰	۳	قبرستانها	۱۰	**۶- تغذیه خالص (میلیمتر)**	
۹۰-۱۰۰	۲	اماکن جمعیتی بالا و هتلها	۹	۲۲-۲۵	۱۰
>۱۰۰	۱	بیمارستانهای بزرگ	۸	۱۸-۲۲	۸
۲- محیط آبخوان و بافت خاک		مراکز درمانی کوچک	۷	۱۷-۱۸	۵
گراولی	۱۰	کارگاهها و تأسیسات	۵	۱۲-۱۷	۳
ماسه‌ای	۹	اردوگاهها	۴	۸-۱۲	۱
سیلتی	۷	باغات و مراکز کشاورزی	۳	منطقه غیر اشباع به عمق سطح آب و نفوذپذیری خاک وابسته می‌باشد و به طور کلی تحت تأثیر این دو پارامتر قرار دارد.	
سیلتی-رسی	۵	میزان تغذیه تحت تأثیر شیب و نفوذپذیری خاک و میزان تغذیه از اماکن جمعیتی خاک دارد.			
رسی					
سنگی	۱				



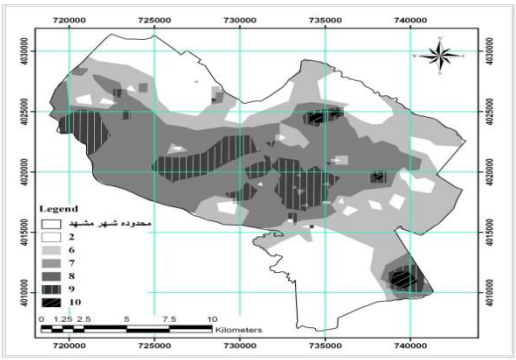
شکل ۱- لایه محیط آبخوان (بافت خاک) و هدایت هیدرولیکی برای بررسی آسیب پذیری زیر شهر مشهد



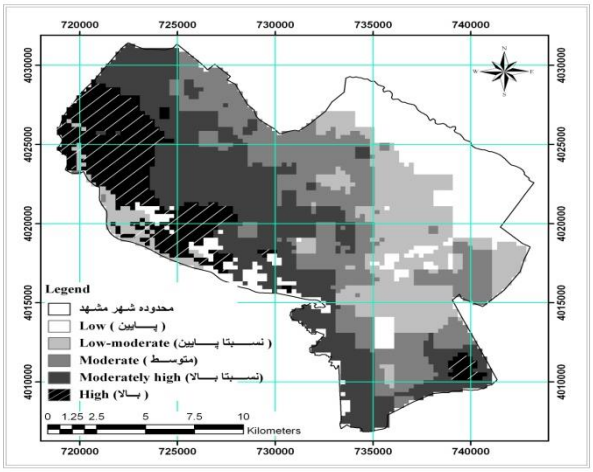
شکل ۲- لایه عمق از سطح ایستابی سفره برای آسیب-پذیری زیر شهر مشهد



شکل ۳- لایه شیب توپوگرافی سفره برای آسیب‌پذیری زیر شهر مشهد



شکل ۴- لایه میزان تغذیه و تراکم جمعیتی سفره برای آسیب‌پذیری زیر شهر مشهد



شکل ۵- نقشه آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی شهر مشهد

جنوب شرقی شهر مشهد قرار دارند. نتایج نشان می‌دهند نقاط در معرض آلودگی بیشتر مربوط به مکانهای با بافت درشت‌دانه و تراکم جمعیتی بالاتر، نقاط در معرض آلودگی پایین تر در مکانهای با بافت ریزدانه و تراکم جمعیتی پایین‌تر می‌باشد. به طور کلی بیشترین آسیب‌پذیری در مناطق مرکزی و جنوبی و غربی سفره و در نواحی جنوب شرقی می‌باشد.

پی نوشت‌ها

۱-Geographical Information System
۲-US Environmental Protection Agency
۳- Kakamighara
۴-Depth to water
۵-Net Recharge
۶-Aquifer media
۷- Soil media
۸-Topography
۹- Impact of vadose zone
۱۰-Conductivity

۶- مراجع

الوندی، ز. (۱۳۸۹)، "بحران کمبود آب مشهد، دنیای اقتصاد"، سال هشتم، شماره ۲۲۴۸، ص ۲۳.

جعفری قریه علی، ع. (۱۳۸۶)، "تأثیر شهرسازی بر روی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی شهر مشهد"، *پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود*، ۱۱۸ صفحه.

چیت‌سازان، م.، اختری، ی.، (۱۳۸۵)، "پتانسیل‌یابی آلودگی آبهای زیرزمینی در دشتهای زویرچری و خران با استفاده از مدل دراستیک و سیستم جغرافیایی"، *مجله آب و فاضلاب*، شماره ۵۹، ص ۵۱-۳۹.

حافظی‌مقدس، ن. (۱۳۸۵)، "گزارش زمین‌شناسی مهندسی پروژه ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر مشهد"، *سازمان مسکن و شهرسازی خراسان رضوی*.

خلقی، م.، تاکی، ر. (۱۳۸۲)، "ارزیابی آسیب‌پذیری دشت قزوین"، *مجله زمین‌شناسی مهندسی*، جلد اول، شماره ۳، ص ۲۷۰-۲۵۵.

Aller, L. T., Bennett, H. J. R., Lehr, R., Petty, J. and Hackett, G., (۱۹۸۷), "DRASTIC: A standard system for evaluating ground water pollution potential using geo-hydro geologic setting", *US Environmental Protection Agency Report*, USEPA ۶۰۰/۲-۸۷-۰۳۵,pp ۶۲۲.

Babiker, I. S., Mohamed, M. A. A., Hiyama, T., and Kato, K., (۲۰۰۵), "A GIS-based DRASTIC model for Assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, Central Japan", *Since of the Total Environment*, ۳۴۵,pp ۱۲۷-۱۴۰.

Melloul, A,. and Collin,M,.(۱۹۹۴),"Water quality factor identification by the principal components statistical method," *Water Sci. Technol*, ۳۴, pp ۴۱-۵۰.

Piscopo, G., (۲۰۰۱), "Groundwater vulnerability map explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. "*Department of Land and Water Conservation, Australia*".

Tesoriero, A. J., Inkpen, E. L., and Voss, F. D. (۱۹۹۸), "Assessing ground-water vulnerability using logistic regression," *proc., Source Water Assessment and Protection ۹۸ Conference*, Dallas, TX, pp. ۱۵۷-۱۶۵.