نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 2، جلد 10، خرداد - تیر 1395، ص. 251-241

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 10, May.-Jun. 2016, p. 241-251

ارائه یک روش جدید برای ارزیابی ریسک آلودگی منابع آب زیرزمینی بر پایه‌ی سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی عددی

عطاءاله جودوی[1*]، صفا خزائی[2]

تاریخ دریافت: 1395/1/18 تاریخ پذیرش: 1395/4/2

چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت و حفاظت از منابع ارزشمند آب‌زیرزمینی به‌شمار می‌رود. یک از کاستی‌های روش‌های معمول ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، عدم توانایی آن‌ها برای پیش‌بینی اثر پخش آلاینده‌ها در مناطق آسیب‌پذیر آبخوان بر آلودگی چاه‌های آب شرب می‌باشد. در این تحقیق، روشی جدید برای تعیین مناطقی از ناحیه گیرش چاه‌ها که در برابر آلودگی آسیب‌پذیری بیشتری دارند ارائه شده است. در این روش از مدل دراستیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان و از مدل‌سازی عددی جریان آب زیرزمینی توسط کد MODFLOW و ردیابی حرکت ذرات در آبخوان توسط کد MODPATH برای تعیین ناحیه گیرش چاه‌ها استفاده شده است. با تلفیق نتایج هر دو مدل در محیط GIS، نقشه ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی در محدوده شهرستان فیروزه در استان خراسان رضوی به‌صورت ناحیه‌ای و در محدوده ناحیه گیرش چاه‌های آب شرب تعیین شد. نتایج این مطالعه می‌تواند برای طراحی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی و همچنین مطالعات آمایش سرزمین به‌کار رود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، تعیین ناحیه گیرش چاه، DRASTIC، GIS، MODFLOW، MODPATH

مقدمه

ارزیابی ریسک آلودگی و آسیب‌پذیری آبخوان از مهم‌ترین اقدامات اولیه برای مدیریت و حفاظت منابع ارزشمند آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود. روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری را در سه دسته کلی می‌توان تقسیم‌بندی کرد: روش‌های همپوشانی شاخص‌ها، روش‌های فرایندمحور که بر پایه مدل‌های ریاضی فرایندهای فیزیکی را شبیه‌سازی می‌کنند و (دسته سوم) روش‌های آماری که بر پایه مقادیر اندازه‌گیری شده آلاینده‌ها در آب و خاک استوار هستند (Nobre et al., 2007).

روش‌های همپوشانی شاخص‌ها، بر پایه ویژگی‌های فیزیکی محیط و به‌صورت نقشه‌هایی تعیین می‌شوند و بیانگر معیاری برای تعیین حساسیت آب زیرزمینی به آلودگی‌های سطحی به‌کار برده می‌شوند. از این نقشه‌ها به‌عنوان حریم کیفی ناحیه‌ای منابع آب نیز نام برده می‌شود (دستورالعمل تعیین حریم کیفی آب‌های زیرزمینی، 1392). یکی از پرکاربردترین این روش‌ها، دراستیک (DRASTIC) است که توسط آلر و همکاران (Aller et al., 1987) با حمایت آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) به‌عنوان سیستمی استاندارد برای ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی نسبت به آلودگی ارائه شده است. در اروپا روش دیگری به نام GOD توسط فاستر 1987 برای این منظور ارائه شده است که سه پارامتر وضعیت هیدرولیکی آب زیرزمینی، چینه‌ها یا لایه‌های روی منطقه اشباع بر حسب وضعیت و درجه استحکام آن‌ها که میزان ظرفیت میرایی آلاینده‌ها را تعیین می‌کنند و عمق سطح آب زیرزمینی در این روش در نظر گرفته می‌شود (خدایی و همکاران، 1385). روش شاخص آسیب‌پذیری آبخوان (Aquifer Vulnerability Index; AVI) یکی دیگر از روش‌هایی است که در کانادا توسط ون‌استمپوورت و همکاران (Van Stempvoort et al., 1992) ارائه گردید که ضخامت و هدایت هیدرولیکی هر لایه در منطقه غیراشباع و گرادیان عمودی جریان را در نظر می‌گیرد. هم‌چنین پالمر و لویس سیستمی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در انگلستان و ولز طراحی کردند که در آن سه شاخصه نوع خاک، خصوصیات منطقه غیر اشباع و ویژگی‌های منطقه اشباع در نظر گرفته شد (Palmer and Lewis., 1998). در این میان، روش دراستیک بیش‌تر از دیگر روش‌ها توسط محققین از سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Almasri., 2008 Babiker et al., 2005; Fadlelmawla et al., 2011;

1- استادیار، گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق، مشهد
2- استادیار، مرکز تحقیقات عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: atajoodavi@gmail.com)

Fijani et al., 2013; Kazakis and Voudouris., 2015; Lathamani et al., 2015; Muhammad et al., 2015; Neh et al., 2014; Wang et al., 2012 al., 2015; Neshat).

وانگ و همکاران در تحقیقی ریسک آلودگی منابع آب زیرزمینی را ارزیابی کردند. در این تحقیق ابتدا منابع آلودگی مشخص شدند و سپس با توجه به بار آلودگی و خصوصیات آلاینده (که شامل میزان سمّیت، سیار بودن و پایداری آلاینده بود) نقشه پهنه‌بندی خطر را تولید کردند. پس از تهیه نقشه خطر، نقشه آسیب‌پذیری نیز به روش دراستیک تولید شد و پس از آن نقشه ارزش آب‌زیرزمینی با توجه به کمیت و کیفیت آب زیرزمینی پهنه‌بندی گردید. در نهایت این سه نقشه برای تحلیل ریسک آلودگی با یکدیگر تلفیق شدند (Wang et al., 2012). فادلمولا و همکاران روشی را برای ناحیه‌بندی آبخوان به منظور حفاظت کیفی آب زیرزمینی ارائه داده‌اند. در این رویکرد برای رتبه‌بندی خطر، کاربری‌های اراضی که احتمالاً بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیرگذار هستند، شناسایی و در شرایط نسبی ارزیابی می‌شوند. آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نیز با استفاده از روش دراستیک انجام گردید. معیار برای تخمین ارزش نسبی آب زیرزمینی نیز مبتنی بر سه عامل (وابستگی فعلی به آب زیرزمینی، وابستگی به آب‌زیرزمینی در آینده و تعامل با منابع زیست‌محیطی) بود. در نهایت دو نقشه ریسک، 1- نقشه ریسک عمومی با ترکیب خطر منابع آلودگی و میزان آسیب‌پذیری آب زیرزمینی 2-نقشه ریسک وزن‌دهی شده با توجه به ارزش آب‌زیرزمینی که از ترکیب نقشه ریسک عمومی و نقشه‌ی ارزش نسبی آب‌زیرزمینی به دست می‌آید. نقشه ریسک وزن‌دهی شده با توجه به ارزش نسبی آب زیرزمینی نیز برای استفاده جهت اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه در نظر گرفته شده است. مزیت نقشه ریسک دوم این است که برای مثال در مکان‌هایی که ارزش آب زیرزمینی پایین است ریسک به صورت کلی نسبت به وضعیتی که در نقشه ریسک عمومی نشان داده شده، کم‌تر می‌شود و تناسب بیش‌تری برای هدف اولویت‌بندی برنامه‌های اصلاحی و پیشگیرانه دارد (Fadlelmawla et al., 2011). هم‌چنین، کازاکیس و ودوس به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک آلودگی آبخوان نسبت به نیترات، روش دراستیک را اصلاح کردند. در این تحقیق، پارامترهای کیفی نوع آبخوان، خاک و منطقه اشباع با پارامترهای کمی ضخامت آبخوان، مقدار نیتروژن تولید شده در خاک و مقاومت هیدرولیکی منطقه غیراشباع که حرکت آب در این منطقه را محدود می‌کند، جایگزین شده‌اند. در نهایت، پارامترهای مدل دراستیک پیشنهادی با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای غلظت نیترات واسنجی شدند (Kazakis and Voudouris., 2015).

روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ناحیه‌ای زمانی به‌کار گرفته می‌شوند که هدف از تعیین حریم کیفی، حفاظت کل آبخوان و ارائه سیاست‌های منطقه‌ای و ملی باشد. اما درصورتی که بخشی از یک آبخوان (مانند محدوده تحت نفوذ یک یا چند چاه آب شرب) مدنظر باشد، بایستی از روش‌های تعیین حریم کیفی نقطه‌ای (رویکرد فرایندمحور) استفاده گردد. حریم کیفی نقطه‌ای منابع آب مانند ناحیه گیرش (capture zone) یک چاه بهره‌برداری، توسط روش‌های مختلفی مانند روش شعاع ثابت دلخواه، روش شعاع ثابت محاسبه شده، مدل‌های تحلیلی و مدل‌سازی عددی تعیین می‌گردد که از نظر روش کار و هزینه‌های اجرایی با هم متفاوت بوده و انتخاب هر یک از آن‌ها با توجه به منابع موجود، شرایط هیدروژئولوژیکی و اهداف ویژه‌ای صورت می‌گیرد (دستورالعمل تعیین حریم کیفی آب‌های زیرزمینی، 1392). مدل‌های عددی، پیشرفته‌ترین این روش‌ها را شامل می‌شوند که قابلیت شبیه‌سازی فرایندهای پیچیده جریان آب و انتقال آلاینده در زیر زمین را دارا هستند (Nobre et al., 2007). البته برای اجرای این مدل‌ها به حجم زیادی از داده‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی نیاز است و هم‌چنین عواملی مانند پیچیدگی‌های طبیعت، رفتار تصادفی بعضی فرایندها و کمبود داده باعث بوجود آمدن خطا در نتایج مدل و عدم قطعیت در مطالعات می‌شود (جودوی، 1394).

دلخواهی و اسدیان (1388) به منظور تعیین محدوده حفاظتی جهت جلوگیری و پیشگیری از آلودگی چاه‌های آب شرب چاه‌های شرب منطقه یافت آباد تهران از کدهای ریاضی MODFLOW و MODPATH استفاده کردند. در این تحقیق، علاوه بر تعیین حریم‌های حفاظتی با زمان‌های سیر 50 روز، 2 و 10 سال برای چاه‌های فوق الذکر، تأثیر پارامترهای مختلف آبخوان و چاه بر روی شکل و چگونگی گسترش حریم حفاظتی مورد بحث و بررسی قرارگرفت. هم‌چنین نوبره و همکاران با استفاده از مدل‌سازی عددی حرکت آب زیرزمینی، ناحیه گیرش چاه‌های شرب را تعیین کردند. این اطلاعات برای تحلیل ریسک آلودگی و شناسایی مناطقی که دارای اولویت برای پایش هستند به‌کار گرفته شد (Nobre et al., 2007).

نقشه‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ناحیه‌ای که بر پایه روش‌های همپوشانی شاخص‌ها تهیه می‌شوند، ابزارهای تصمیم‌گیری مناسبی برای آمایش سرزمین و مدیریت منابع آب به‌شمار می‌آید. اما یکی از مشکلات آن‌ها، در نظر نگرفتن جریان منطقه‌ای و محلی آب‌زیرزمینی و هیدرولیک چاه‌ها می‌باشد. در تحقیق حاضر، یک روش جدید برای پهنه‌بندی ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی ارائه شده است که حاصل تلفیق یکی از روش‌های همپوشانی شاخص‌های متداول با حریم کیفی نقطه‌ای چاه‌ها بدست آمده از مدل‌های عددی در محیط GIS است. در نتیجه، علاوه بر در نظر گرفتن فرایندهای کنترل کننده حرکت آلاینده از سطح زمین تا سطح آب‌زیرزمینی، حرکت آلاینده در آبخوان تا مقصد را نیز در بر می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

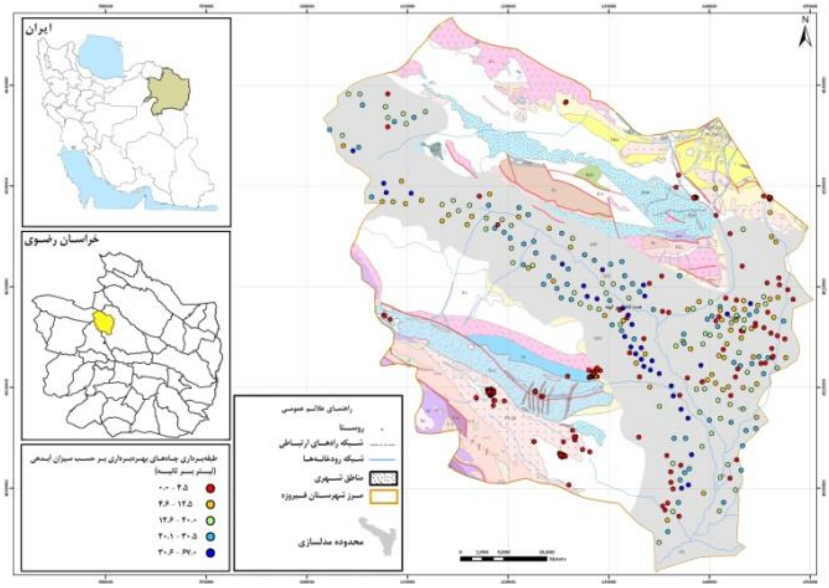
معرفی منطقه مورد مطالعه

روش ارائه شده در این تحقیق در پهنه آبرفتی شهرستان فیروزه واقع در استان خراسان رضوی به‌کار برده شده است. این شهرستان بین 36 درجه و 3 دقیقه تا 36 درجه و 33 دقیقه عرض شمالی و 58 درجه و 9 دقیقه تا 58 درجه و 41 دقیقه طول شرقی گسترش یافته است (شکل 1). از وسعت 1608 کیلومتری مربع شهرستان، 625 کیلومتر مربع آن را دشت فرا گرفته است. شهرستان فیروزه دارای اقلیم خشک با میانگین بارندگی سالانه 229/69 میلی‌متر و میانگین دما 14/6 درجه سلسیوس می‌باشد (مهندسین مشاور هیدروتک توس، 1394).

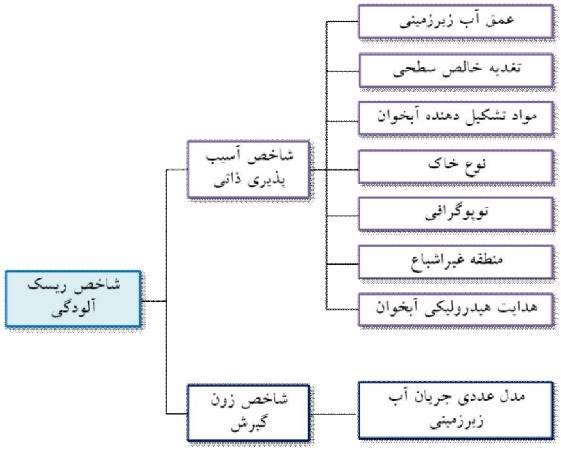
طبق نتایج آخرین آماربرداری انجام شده در سال 1387، در شهرستان فیروزه 428 حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق با مجموع تخلیه 104/2 میلیون‌متر مکعب در سال وجود دارد که 96 درصد آن در بخش کشاورزی و 3 درصد آن برای آب شرب مصرف می‌گردد (مهندسین مشاور هیدروتک توس، 1394).

معرفی مدل جدید ارزیابی ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی

فرآیند طی شده در این تحقیق برای ارزیابی ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی در شکل 2 نمایش داده شده است. در این فرآیند، از مدل دراستیک برای تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان در محیط GIS استفاده شده است. همچنین شاخص ناحیه گیرش (چاه‌های آب شرب) با بهره‌گیری از مدل‌سازی عددی تعیین گردید. تلفیق این داده‌ها، شاخص ریسک آلودگی آب زیرزمینی را تعیین کرد.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه و محدوده مدل‌سازی



شکل 2- فرآیند مدل‌سازی برای محاسبه شاخص ریسک آلودگی

شاخص آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان

همانطور که قبلاً ذکر شد، شاخص آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان با بهره‌گیری از مدل دراستیک به‌دست آمد. دراستیک یک مدل تجربی است که اولین بار در سال 1987 توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (آلر و همکاران، 1987) ارائه گردید. بر پایه این روش، از هفت پارامتر عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص سطحی، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی استفاده شد. هر کدام از هفت پارامتر مدل دراستیک، تشکیل یک لایه رستری می دهند. پارامترهای درون این لایه‌ها بر اساس پتانسیل آلودگی بین 1 تا 10 رتبه بندی (Rating; R) می‌شوند که عدد 10 نشان دهنده پتانسیل زیاد آلودگی می‌باشد. سپس مقادیر رستری هر یک از این لایه‌ها در وزن خارجی خود (Wating; W) که عددی بین 1 تا 5 می‌باشد، ضرب شده و با یکدیگر جمع می‌شوند.

$$IVI= D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w \quad (1)$$

که در این معادله IVI، شاخص آسیب‌پذیری ذاتی؛ D، عمق آب زیرزمینی؛ R، تغذیه خالص سطحی؛A، محیط آبخوان؛ S ، نوع خاک؛T، توپوگرافی؛ I، منطقه غیر اشباع؛ C، هدایت هیدرولیکی و پایین‌نویس‌های r و w به‌ترتیب رتبه و وزن هر پارامتر می‌باشند. وزن بیش‌تر، تأثیر بیش‌تر آن پارامتر را بر شاخص آسیب‌پذیری ذاتی را نشان می‌دهد. وزن‌ها و رتبه‌بندی پارامترها در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1- رتبه و وزن پارامترهای مدل دراستیک

عمق آب زیرزمینی (متر)	رتبه	خاک	رتبه	منطقه غیراشباع	رتبه	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	رتبه
1.7>	10	شن	10	شن و ماسه	8	28-40	4
1.7-5	9	ماسه	9			12-28	3
5-10	7	شن، ماسه و رس	8	ماسه لای‌دار	6	4-12	2
10-16.7	5	رس و ماسه	7			4<	1
16.7-25	3	رس	5	رس و ماسه	4	***وزن:***	***3***
25-33.3	2	مناطق مسکونی	1				
3/33<	1	***وزن:***	***2***	رس	2		
وزن:	***5***	توپوگرافی (درصد شیب)	رتبه	***وزن:***	***5***		
مقدار تغذیه آبخوان	رتبه	0-2	10	محیط آبخوان	رتبه		
178-254	8	2-6	9	ماسه و شن	7		
102-178	6	6-12	5	ماسه همراه با مقداری رس	5		
51-102	3	12-18	3	رس همراه با مقداری ماسه	3		
51<	1	18<	1	رس	2		
وزن:	***4***	***وزن:***	***1***	***وزن:***	***3***		

لایه‌ی عمق آب‌زیرزمینی با استفاده از داده‌های سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای موجود در شهرستان و لایه شیب با استفاده از DEM SRTM 90m ایجاد شدند. اطلاعات تغذیه خالص و هدایت هیدرولیکی از مرجع ایزدی (1392) استخراج گردید. لایه نوع خاک با توجه به اطلاعات خاک‌شناسی و نقشه‌ی زمین شناسی 1:100000 منطقه که به‌ترتیب از شرکت آب منطقه‌ای خراسان و پایگاه ملی داده‌های علوم زمین اخذ گردید، تهیه شد. لایه‌ی منطقه غیراشباع و مواد تشکیل دهنده‌ی آبخوان با استفاده از لاگ‌های حفاری اخذ شده از اداره امور آب ناحیه نیشابور تهیه شدند. برای ایجاد این دو لایه، در نقاطی که لاگ حفاری وجود داشت با توجه به دانه‌بندی بخش اشباع و غیراشباع و با توجه به جدول 1، رتبه‌دهی صورت گرفت و در نهایت در محیط GIS پهنه‌بندی انجام گردید.

شاخص ناحیه گیرش چاه‌ها (مدل عددی جریان آب زیرزمینی)

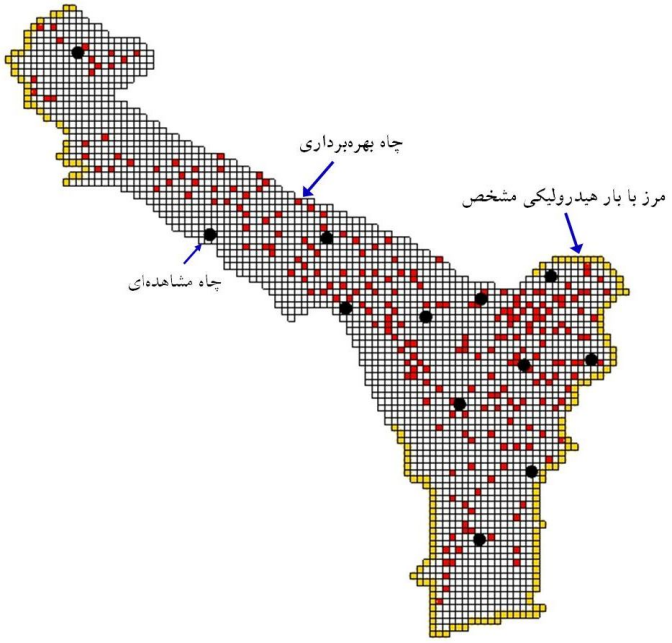
در تحقیق حاضر، با توجه به اهمیت حفاظت منابع آب شرب، شاخصی برای بررسی مسیر و زمان حرکت آلاینده‌های احتمالی به چاه‌های شرب شهرستان تعریف شد. به این منظور، ناحیه گیرش برای چاه‌های مذکور با استفاده از مدل‌های عددی MODFLOW (Mcdonald and Harbaugh., 1996) و MODPATH (Pollock., 1989) تعیین گردید.

MODFLOW یک مدل تفاضل محدود برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی می‌باشد که توسط سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) توسعه داده شده و امروزه به‌صورت یک مدل استاندارد، قابل اعتماد و تایید شده درآمده است (نظری و جودوی، 1393). MODPATH مدلی نیمه تحلیلی برای ردیابی ذرات است که مسیرهای جریان سه بعدی را بر پایه نتایج مدل MODFLOW محاسبه می‌کند (Pollock., 2012).

به‌منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی، ردیابی ذرات و مشخص کردن ناحیه گیرش چاه‌ها در محدوده شهرستان فیروزه از نرم‌افزار GMS (Groundwater Modeling System) استفاده شد که یک رابط گرافیکی قدرتمند برای کدهای MODFLOW و MODPATH می‌باشد و از داده‌های پایگاه اطلاعاتی GIS پشتیبانی

می‌کند (نظری و جودوی، 1393).

پس از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و تهیه مدل مفهومی، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد 500×500 متر در یک لایه و شامل 2487 سلول فعال برای مدل عددی انتخاب شد (شکل 3). پارامترهای مورد نیاز برای مدل از قبیل: تراز سنگ کف، ارتفاع سطح زمین، منطقه‌بندی هدایت هیدرولیکی و تغذیه‌ی ناشی از آب برگشتی کشاورزی و بارش به سلول‌های مدل وارد شد. در محدوده‌ی مدل‌سازی، 12 حلقه چاه مشاهده‌ای و 254 حلقه چاه بهره‌برداری وجود دارد. بر پایه مدل مفهومی، شرایط مرزی مدل نیز تعیین شد که جبهه‌های ورودی و خروجی آب زیرزمینی با استفاده از مرز با بار هیدرولیکی مشخص شبیه‌سازی گردید.



شکل 3- سلول‌های فعال مدل عددی جریان آب زیرزمینی، شرایط مرزی و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای

نتایج و بحث

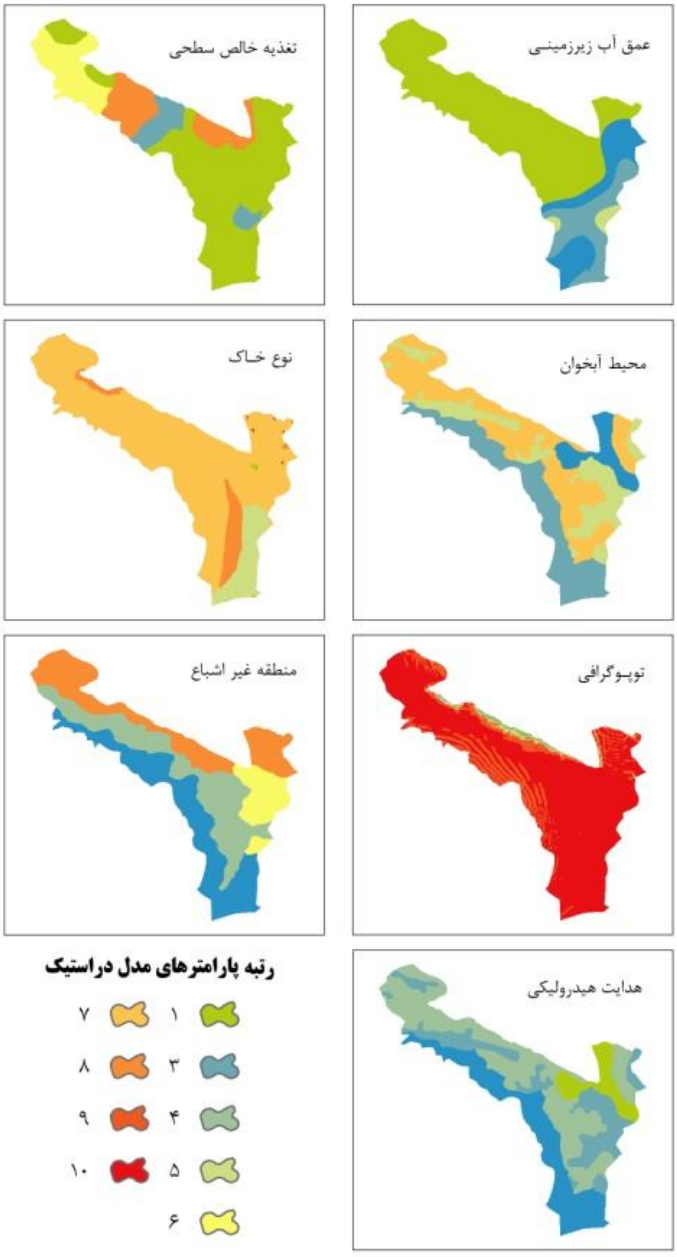
بعد از اینکه تمامی لایه‌های مورد نیاز مدل دراستیک به‌صورت رستر با سلول‌هایی به ابعاد 50 متر تهیه شدند، این لایه‌ها با توجه به وزن مربوطه تلفیق گشته و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی تهیه گردید. شکل 4، لایه‌های رستری پارامترهای مدل دراستیک را نشان می‌دهد. در شکل 5، شاخص آسیب‌پذیری ذاتی به‌دست آمده از تلفیق لایه‌ها، بعد از اینکه نرمال شده تا در بازه 1 تا 10 قرار گیرد، نمایش داده شده است. مناطق دارای شاخص عددی بیش‌تر، نسبت به آلودگی آسیب‌پذیرتر هستند.

در گام بعد، مدل آب زیرزمینی تهیه شده برای آبخوان آبرفتی، مدل در شرایط ماندگار (steady) با استفاده از داده‌های سال 1385 و با تغییر مقادیر هدایت هیدرولیکی واسنجی گردید. نتایج واسنجی مدل به‌صورت مقایسه سطح آب اندازه‌گیری شده و سطح آب شبیه‌سازی شده در چاه‌های مشاهده‌ای در شکل 6 ارائه شده است.

پس از واسنجی مدل، مشخصات چاه‌های آب شرب شهرستان فیروزه برای مدل عددی مشخص و برای محاسبه حریم حفاظت کیفی این چاه‌ها از کد MODPATH استفاده گردید. با اجرای مدل ردیابی ذرات (MODPATH)، ناحیه گیرش با زمان 10، 25، 50 ساله و نهایی (شرایط ماندگار مستقل از زمان) چاه‌های آب شرب شهرستان فیروزه تعیین گردید (شکل 7). این ناحیه‌ها در واقع حریم حفاظت کیفی این چاه‌ها را نشان می‌دهند.

نتایج مدل عددی نشان می‌دهد که ناحیه گیرش محاسبه شده برای بعضی از چاه‌ها دارای شکل خاصی (کشیدگی و طول زیاد) است که با آنچه از روش‌های ساده‌تر تعیین حریم نقطه‌ای مانند روش شعاع ثابت مشخص گردد، تفاوت بسیار زیادی دارد. این موضوع اهمیت استفاده از مدل‌های عددی برای برآورد گسترش ناحیه گیرش چاه‌ها را نمایان می‌سازد.

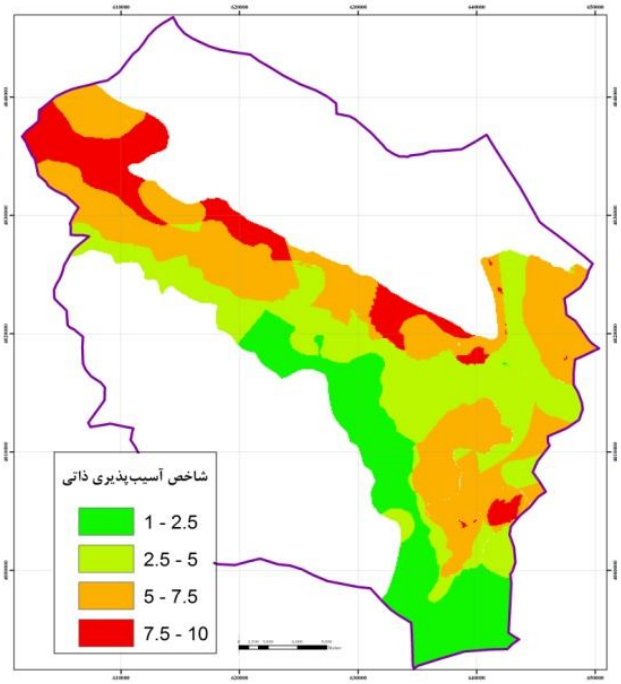
ناحیه گیرش چاه‌های آب شرب پس از محاسبه، وارد GIS شده و شاخص ناحیه گیرش برای کل محدوده مدل‌سازی با استفاده از جدول 2 محاسبه گردید.



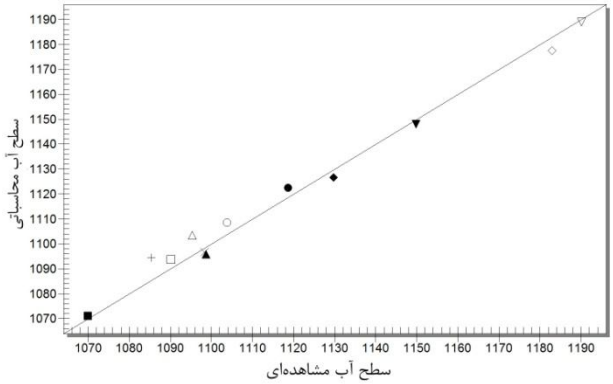
شکل 4- لایه‌های رستری تهیه شده برای مدل دراستیک

جدول 2- رده‌بندی شاخص ناحیه گیرش برای کل محدوده مدل‌سازی

توصیف ناحیه گیرش	شاخص
زمان حرکت 10 سال	10
زمان حرکت 25 سال	9
زمان حرکت 50 سال	8
ناحیه گیرش نهایی	7
مناطق خارج از ناحیه گیرش	1



شکل 5- شاخص آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان در محدوده شهرستان فیروزه



شکل 6- مقایسه سطح آب اندازه‌گیری شده و سطح آب شبیه‌سازی شده توسط مدل MODFLOW در چاه‌های مشاهده‌ای

در گام نهایی محاسبات، لایه‌های رستری شاخص آسیب‌پذیری ذاتی (IVI) و شاخص ناحیه گیرش (CZI) با استفاده از فرمول 2 یکدیگر تلفیق شد تا شاخص ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی (RI) در محدوده مطالعاتی تعیین گردد.

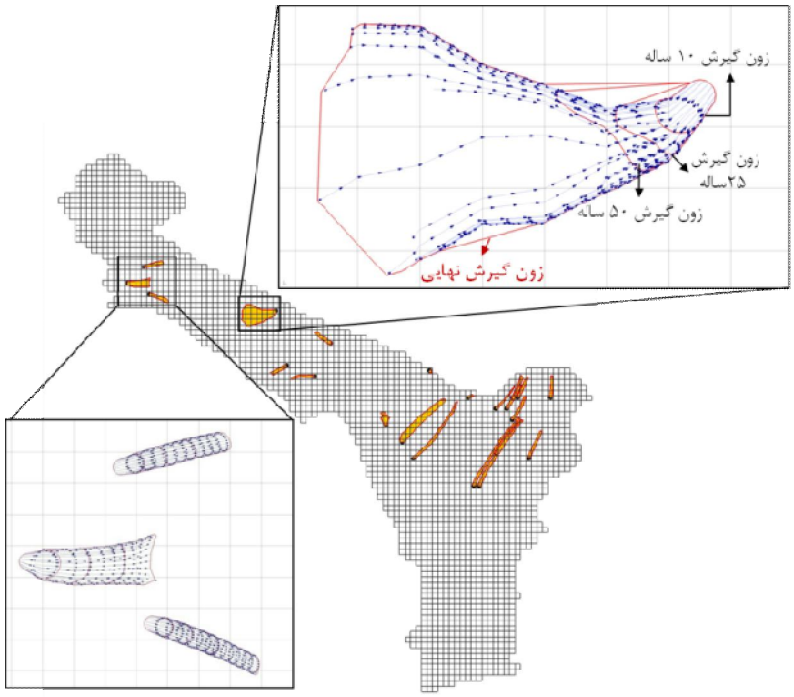
$$RI = IVI^{x} CZI \quad (2)$$

شکل 8، نقشه ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی را نشان می‌دهد. شاخص ریسک آلودگی آب زیرزمینی بین 1 تا 100 می‌تواند تغییر کند. مقادیر کم آن به این معنی است که احتمال آلودگی منابع آب زیرزمینی بسیار اندک است. اما مقادیر زیاد این شاخص نشان می‌دهد که منابع آب در معرض ریسک آلودگی قرار دارند و این مناطق نیاز به حفاظت و اقدامات پیشگیرانه دارند.

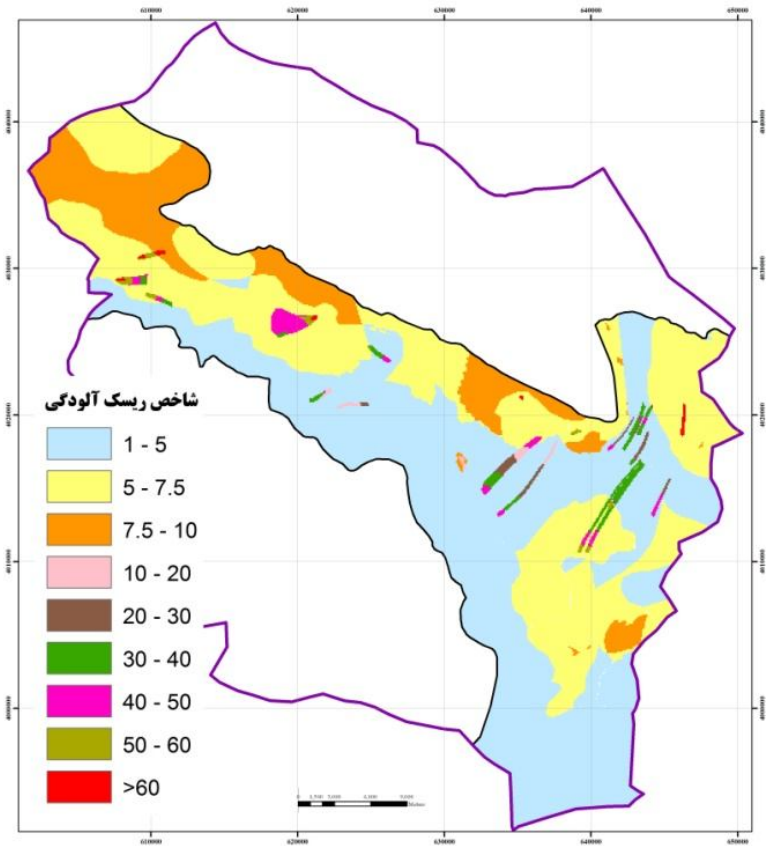
از نکات قابل توجه، گستردگی زیاد ناحیه گیرش بعضی از چاه‌ها می‌باشد، به‌طوری که طول بعضی از آن‌ها به بیش از 6 کیلومتر می‌رسد. نقشه ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی (شکل 8) نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از ناحیه گیرش با اینکه در فاصله زیادتری از چاه قرار دارد، به‌علت اثر مؤلفه‌های دیگری مانند عمق آب‌زیرزمینی، نوع خاک و منطقه غیر اشباع در برابر آلودگی آسیب‌پذیر هستند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، یک روش جدید برای پهنه‌بندی ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی ارائه شده است که حاصل تلفیق مدل دراستیک با حریم کیفی نقطه‌ای چاه‌ها به‌دست آمده از مدل‌های عددی در محیط GIS است.



شکل 7- ناحیه گیرش چاه‌های آب شرب شهرستان فیروزه محاسبه شده توسط مدل MODPATH



شکل 8- نقشه ریسک آلودگی آب‌زیرزمینی در محدوده شهرستان فیروزه

توانایی روش ارائه شده در این تحقیق برای تعیین مناطقی از ناحیه گیرش چاه‌ها که در برابر آلودگی آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند باعث می‌شود یکی از مشکلات روش‌های مرسوم ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، که عدم توانایی پیش‌بینی اثر پخش آلودگی در مناطق آسیب‌پذیر آبخوان بر آلودگی منابع ارزشمند آب مانند چاه‌های آب شرب می‌باشد رفع گردد. شناسایی این مناطق برای طراحی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی و هم‌چنین مطالعات آمایش سرزمین و تعیین کاربری اراضی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

منابع

ایزدی،ع. 1392. کاربرد و ارزیابی یک مدل توسعه یافته تلفیقی آب زیرزمینی-آب سطحی در حوضه آبریز نیشابور. پایان‌نامه دوره دکتری، دانشگاه فروسی مشهد.

جودوی،ع. 1394. مدل‌های ریاضی آب زیرزمینی، فرصت‌ها و چالش-ها. نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، مشهد، صفحه 165.

خدایی،ک.، شهسواری،ع.ا.، اعتباری،ب. 1385. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین به روش‌های DRASTIC و GODS. فصلنامه زمین شناسی ایران.2. 4: 73-87.

دستورالعمل تعیین حریم کیفی آب‌های زیرزمینی. 1392. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، نشریه شماره 621.

دلخواهی،ب.، اسدیان،ف. 1388. تعیین حریم حفاظتی چاه با استفاده از مدل ریاضی عددی؛ مطالعه موردی چاه‌های شرب منطقه یافت آباد تهران، نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی، بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان.

مهندسین مشاور هیدروتک توس. 1394. مطالعات توسعه کمی و کیفی منابع آب شهرستان فیروزه، گزارش هیدروژئولوژی.

نظری،ر.، جودوی،ع. 1393. مدل‌سازی کاربردی جریان و انتقال آلاینده در آبخوان. چاپ اول، نشر آفتاب عالم‌تاب، مشهد. 240 صفحه.

Aller,L., Bennett,T., Lehr,J.H., Pretty,R.J., Hackett,G. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. US Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma (EPA-600/2-87-035).

Almasri,M.N. 2008. Assessment of Intrinsic Vulnerability to Contamination for Gaza Coastal Aquifer. Palestine. Journal of Environmental Management. 88: 577–93.

Babiker,I.S., Mohamed,M.A.A., Hiyama,T., Kato,K. 2005. A GISbased DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of the Total Environment. 345: 127–140.

Fadlelmawla,A.A., Fayad,M., El-Gamily,H., Rashid,T., Mukhopadhyay,A., Kotwicki,V. 2011. A land surface zoning approach based on three-component risk criteria for groundwater quality protection. Water resources management. 25: 1677-1697.

Fijani,E., Nadiri,A., Asghari,A. 2013. Optimization of DRASTIC method by supervised committee machine artificial intelligence to assess groundwater vulnerability for Maragheh–Bonab plain aquifer, Iran. Journal of Hydrology. 503: 89–100.

Foster,S.S.D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Proceedings and informations / TNO Committee on Hydrological Research, 38: 36–86.

Kazakis,N and Voudouris,K. 2015. Groundwater Vulnerability and Pollution Risk Assessment of Porous Aquifers to Nitrate: Modifying the DRASTIC Method Using Quantitative Parameters. Journal of Hydrology 525: 13–25.

Lathamani,R., Janardhana,M.R., Mahalingam,B and Suresha,S. 2015. Evaluation of Aquifer Vulnerability Using Drastic Model and GIS: A Case Study of Mysore City, Karnataka, India. Aquatic Procedia. 4:1031–38.

Mcdonald,M.C., Harbaugh,A.W. 1996. User's Documentation for MODFLOW-96. An Update to the U.S. Geological Survey Modular Three-dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model. Open-File Report: 96–485.

Muhammad,A.M., Zhonghua,T., Dawood,A.S and Earl,B. 2015. Evaluation of Local Groundwater Vulnerability Based on DRASTIC Index Method in Lahore, Pakistan. Geofísica Internacional. 54.1: 67–81.

Neh,A.V., Ako Ako,A., Ayuk,R.A and Hosono,T. 2015. DRASTIC-GIS Model for Assessing Vulnerability to Pollution of the Phreatic Aquiferous Formations in Douala–Cameroon. Journal of African Earth Sciences. 102:180–90.

Neshat,A., Pradhan,B and Dadras,M. 2014. Groundwater Vulnerability Assessment Using an Improved DRASTIC Method in GIS. Resources, Conservation and Recycling 86: 74–86.

Nobre,R.C.M., Filho,R., Mansur,W.J., Nobre,M.M.M, Cosenza,C.A.N. 2007. Groundwater Vulnerability and Risk Mapping Using GIS, Modeling and a Fuzzy Logic Tool. Journal of Contaminant Hydrology. 94.3-4: 277–92.

6.

Van Stempvoort,D., Ewert,L., Wassenaar,L. 1992. AVI: A Method for Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada. PPWD Groundwater and Contaminants Project, National Hydrology Research Institute.

Wang,J., He,J., Chen,H. 2012. Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. Science of the Total Environment. 432: 216-226.

Palmer,R.C., Lewis,M.A. 1998. Assessment of groundwater vulnerability in England and Wales. In: Robins, N.S. (Ed.), Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability. Geological Society, Special Publications. 130: 191–198.

Pollock,D.W. 1989. MODPATH—a computer program to complete and display pathlines using results from MODFLOW. Open-File Report. U.S. Geological Survey, Reston, VA, 89–381.

Pollock,D.W. 2012. User guide for MODPATH version 6-A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 10, May.-Jun. 2016, p. 241-251

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 2، جلد 10، خرداد - تیر 1395، ص. 251-241

A New Method for Groundwater Vulnerability and Risk Mapping Using GIS and Numerical Modeling

A. Joodavi[1]*, S. Khazaei[2]
Recived: Apr.06, 2016 Accepted: Jun.22, 2016

Abstract

The assessment of groundwater vulnerability to pollution has become an important element for proper water resource management and land use planning. The available methods do not evaluate the regional risk within the perspective of the well capture zone and hence fail to predict the implications that high vulnerability areas have on the water quality of abstraction wells. This study presents a methodology to search for areas within the well capture zones with the highest risk indices. This includes the use of DRASTIC methodology for vulnerability mapping and numerical modeling, using MODFLOW and MODPATH, for capture zone delineation. The integration of these elements, performed in a GIS environment, provided the mechanism to assess risk mapping and identify areas within the capture zone in Firouze county in Razavi Khorasan Province in Iran that must be prioritized in terms of groundwater monitoring and use restriction.

Keywords: Groundwater vulnerability, Capture zone delineation, DRASTIC, GIS, MODFLOW, MODPATH

1- Assistant Professor, Department of Hydroinformatics, East Water and Environmental Research Institute, Mashhad
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Hussein University, Tehran
(*- Corresponding Author Email: atajoodavi@gmail.com)