نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد9، خرداد - تیر 1394، ص. 344-335

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 9, May.-Jun. 2015, p. 335-344

ارزیابی و مقایسه روش‌های تعیین حریم کیفی چاه با استفاده از مدل ریاضی (مطالعه موردی: آبخوان استان گلستان)

زهرا صادقی[1*]، کاظم اسماعیلی [2] و عبدالرضا کابلی[3]

تاریخ دریافت: 1393/12/18 تاریخ پذیرش: 1394/3/20

چکیده

یکی از مهم‌ترین بخش‌های تأمین‌کننده نیاز بشر به آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در شرایط کنونی، بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور به‌خصوص در بخش شرب از آب زیرزمینی تأمین می‌گردد که عمدتاً از آبخوان‌های آزاد می‌باشد. بنابراین حفاظتکیفی این منابع از اهمیت زیادی برخوردار است. در بسیاری از موارد آلودگی آب‌های زیرزمینی، بعد از آلوده شدن چاه‌های آب شرب مشخص می‌شوند. رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرآیندی طولانی دارد که اغلب زمانی آلودگی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیرممکن می‌گردد. شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی‌های آب زیرزمینی، است. لذا در این مطالعه حریم کیفی دو حلقه از چاه‌های آب شرب واقع در منطقه مخروط افکنه و میان دشتی استان گلستان، با استفاده از نرم افزار WHEAM2000 و با به‌کارگیری روش معادلات جریان آب زیرزمینی در شرایط جریان یکنواخت و روش شعاع ثابت، به‌منظور مقایسه عملکرد روش‌های فوق در دو منطقه مذکور، برآورد شده است. نتایج این مطالعه نشان داد در صورت وجود پارامترهای هیدروژئولوژیک قابل اعتماد برای منطقه استقرار چاه‌ها، از نرم افزار فوق می‌توان به‌عنوان یک ابزار مفید برای تعیین حریم بهداشتی چاه بهره جست، هم‌چنین به‌دلیل پایین‌تر بودن شیب هیدرولیکی (i) و هدایت هیدرولیکی (k) حریم کیفی محاسبه شده از روش شعاع ثابت و روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده با مدل تحلیلی هم پوشانی بیش‌تری در مناطق میان دشتی نسبت به مناطق مخروط افکنه نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، استان گلستان، حریم کیفی، نرم افزار WHEAM2000

مقدمه

یکی از مهم‌ترین منابع آبی که در چند قرن اخیر مورد استفاده بیش از حد بشر قرار گرفته، منابع آب زیرزمینی است. در شرایط کنونی، بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور به‌خصوص در بخش شرب توسط منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد، که عمدتاً از آبخوان‌های آزاد می‌باشد. بنابراین حفاظت کیفی آب‌های زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است (عباسی و همکاران، 1390).

در بسیاری از موارد آلودگی آب‌های زیرزمینی، بعد از آلوده شدن چاه‌های آب شرب شناسایی می‌شوند. رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرآیندی طولانی است و در بیش‌تر موارد، ممانعت کردن از الحاق جریان‌های کم عمق منطقه به منابع آب زیرزمینی سخت یا غیر عملی است، از این رو منطقی است جریان‌های سطحی آلوده در منطقه شناسایی و کنترل شوند (ناصری و محمدلو، 1383).

امروزه توسعه صنعتی اثرات مخرب و زیان‌آوری بر محیط زیست در سراسر جهان و از جمله کشور ما گذاشته است. پیش‌بینی می‌شود در سال 2025 سرانه منابع آب ایران که در سال 1990 معادل 2025 متر مکعب برای هر نفر در سال بوده به رقمی بین 776 تا 860 متر مکعب سقوط نماید. به این ترتیب قرن بیست و یکم، قرن مواجه با کمبود آب خواهد بود. در حال حاضر ایران در شمار کشورهای در حال توسعه قرار گرفته است، لیکن چنانچه همزمان با توسعه، به مسائل محیط زیست به‌خصوص کیفیت آب توجه نشود، نه تنها توسعه اقتصادی حاصل نخواهد شد، بلکه این امرمشکلات و پیامدهای جبران ناپذیری را به دنبال خواهد داشت.

افزایش بی‌رویه جمعیت در سال‌های اخیر و محدودیت منابع آب‌های زیرزمینی باعث به بار آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع آبی

1- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3- کارشناس گروه تلفیق و بیلان دفتر مطالعات شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان
(*-نویسنده مسئول: Email: zahrasadeghi84@gmail.com)

کشور به‌خصوص در سال‌های آینده خواهد شد. جهت جلوگیری از وقوع این فاجعه، حفاظت از منابع آب می‌بایست به‌عنوان اصل و پایه در برنامه ریزی‌ها قرار گیرد (غلام نژاد و باغوند، 1389).

به‌منظور حفاظت آبخوان‌ها در مقابل آلودگی، اعمال محدودیت‌ها بر کاربری اراضی موجود و هم‌چنین برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، حفاظت از محدوده و حریم چاه‌ها ضروری است. اما محدودیت‌هایی نیز وجود دارد؛ چرا که از دیدگاه اقتصادی-اجتماعی قابل قبول نیست که برای حفاظت از منابع آب زیر زمینی، برداشت از کل محدوده آبخوان را برای کاربری‌های مختلف ممنوع کرد. بنابراین بسیار مقرون به صرفه خواهد بود که در تعیین و تعریف سطح کنترل لازم در حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی به جای اعمال کنترل بر کاربری اراضی و میزان برداشت، از ظرفیت میرایی طبیعی آلاینده در منطقه غیراشباع استفاده شود و در نتیجه به جای آنکه استفاده از تمامی قسمت‌های آبخوان ممنوع شود، تنها توسعه کاربری برای مناطق حساس و مستعد آلودگی متوقف شود (مجرد و همکاران، 1392).

از اینرو لازم است حریم‌هایی بر پایه آسیب‌پذیری آبخوان و شعاع حفاظتی منابع آب با توجه به میزان آلاینده‌ها، برای آبخوان تعیین گردد. در واقع این امر نشان می‌دهد چه فعالیت‌هایی و در کجا با خطر قابل قبول آلودگی آب زیرزمینی می‌تواند صورت بگیرد و یا چه فعالیت‌هایی باید متوقف گردد، در منابع علمی از این ناحیه به نام‌های، ناحیه تسخیر، ناحیه مشارکت، و ناحیه حفاظت سر چاهی نام برده شده است (نشریه شماره 404 وزارت نیرو).

در بحث حفاظت از آب‌های زیرزمینی روش‌های متعددی وجود دارد. وولو و همکاران، به توصیف حریم کیفی با استفاده از روش تحلیلی آب زیرزمینی برای چاه‌های موجود در بروکلین پارک در مینسوتای[1] امریکا پرداختند. این کار با شبیه‌سازی جریان پایدار در آبخوان فرانکونیا-آیرونتون-گالسویل[2] و سطح آب آبخوان صورت گرفت. توصیف این ناحیه با استفاده از زمان حرکت آب زیرزمینی انجام شد. آن‌ها با استفاده از تحلیل المان محدود و مقیاس محلی و منطقه‌ای به شبیه‌سازی چاه‌های شهر در رابطه با جریان‌های منطقه-ای اقدام کردند و از مدل تحلیل المان تک لایه برای توسعه و کالیبره کردن مدل‌های مجزا استفاده کردند و سپس هر کدام از این مدل‌های مجزا را با استفاده از مدل تحلیل المان چند لایه‌ای به همدیگر پیوند دادند. در نهایت، در این تحقیق حریم کیفی به روش معکوس Tracking-Particle برای چاه‌های موجود تعیین شد(Wuolo et al, 1995).

لیونگستون و همکاران، در یک مطالعه موردی فرضی روش‌های مختلف توصیف حریم کیفی و ارزیابی آن‌ها ارائه دادند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داده است که مدل‌سازی سه بعدی می‌تواند خیلی دقیق‌تر از مدل‌سازی عددی دو بعدی و حتی مدل تحلیلی باشد (Livingstone et al, 1995).

در تحقیقی که بارنت و همکاران، با استفاده از نرم افزار GIS انجام دادند، تلاش شد که حریم کیفی و منبع آلوده آن در یک منطقه خاص مشخص گردد. برای این پروژه آزمایشگاهی، 25 حلقه چاه برای تعیین حریم کیفی مورد استفاده قرار گرفت. یک لایه GIS با استفاده از عکس‌های ارتو که دارای مجموعه‌های خیلی محدودی از کاربری زمین‌ها می‌باشد، برای هر چاه به‌وجود آمد. در تحقیق ایشان، ابتدا نقشه‌های پایه برای بررسی آب‌های زیرزمینی تولید شده و سپس لایه‌ی GIS تولید شده با این نقشه‌های پایه به روز گردید. در نهایت، با استفاده از لایه نهایی GIS، منابع دارای پتانسیل تهدید کننده‌ی آب آشامیدنی در منطقه مشخص شدند (Barnett et al, 1997).

میلر و همکاران با استفاده از نرم افزار GIS، داده‌های مکانی حریم کیفی که بر اساس روش شعاع ثابت می‌باشند را به‌دست آورد و ناحیه حاصل از این روش را با روش‌های پیچیده‌تر مقایسه نمود. ایشان پیشنهاد نمودند که در جاهای که زمان، سرمایه و کادر فنی محدود است، روش شعاع ثابت محاسبه شده به‌عنوان نقطه شروع حفاظت از کیفیت آب‌های زیر زمینی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Miller et al, 2003).

لارون و همکاران تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی را بر روی جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان صحرای جودین[3] واقع در فلسطین اشغالی مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از مدل MODFLOW نحوه جریان آب‌های زیرزمینی و هم‌چنین نفوذ آن از یک آبخوان به آبخوان دیگر و از یک زیرحوضه به زیرحوضه دیگر را مورد ارزیابی قرار دادند (Laronne and Gvirtzman, 2005).

یائوتی و همکاران (2008) از مدل MODFLOW برای بررسی تغییرات شرایط هیدروژئولوژیکی و شبیه‌سازی رفتار جریان، تحت فشارهای مختلف در آبخوان غیر محصور بو-آرگ[4] استفاده کردند و با استفاده از روش سعی و خطا به شبیه‌سازی هدایت هیدرولیکی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نوسانات بار هیدرولیکی به تغییرات فصلی تغذیه از بارش و آبیاری بستگی دارد.

درخشنده رو و همکاران (1388) جهت تعیین تغییرات ذخیره آب و هد سرعت آبخوان (مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه بشار) از نرم‌افزار MODFLOW استفاده نمودند. نتایج ایشان بیانگر این است که با افزایش مدت زمان شبیه سازی، مدل خود را با تنش‌های وارده بیش‌تر تطابق داده و تغییرات هد و میدان سرعت در محدوده دشت کاهش می‌یابد.

1- Brooklyn Park, Minnesota
2- Franconia-Ironton-Galesville

3- Judean4 -Bou-Areg

مشهدی و باغ وند 2010، در مطالعه موردی آبخوان امان آباد اراک به بررسی و مدل‌سازی آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر مجاورت با محل دفن زباله پرداختند، ایشان ابتدا با نمونه‌گیری از خاک محل دفن زباله‌ها و نمونه‌گیری از چاه‌های آب شرب منطقه آزمایشات گوناگون بر روی نمونه‌ها انجام دادند و سپس سفره مورد مطالعه را با روش تفاضل محدود و با استفاده از نرم افزارMODFLOW مدل-سازی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که منطقه موجود از پتانسیل آلودگی بالایی برخوردار بوده و در صورت عدم کنترل و رفع آلودگی آبخوان با مشکلات جدی‌تری از جمله آلودگی چاه‌های آب شرب روبرو خواهد شد.

اکبرپور و همکاران (1390) با استفاده از نرم افزار WHEAM2000 به مدل‌سازی عددی آب زیرزمینی دشت بیرجند پرداختند و نواحی حفاظتی برای تک تک چاه‌ها مورد مطالعه را محاسبه نمودند، ایشان به این نتایج دست یافتند که میزان دبی بهره-برداری و هدایت هیدرولیکی نقش بسزایی در اندازه و شعاع حفاظتی در محدوده شهر بیرجند داشته است، به‌طوریکه بالابودن دبی و هدایت هیدرولیکی در برخی چاه‌ها باعث بالارفتن شعاع حفاظتی گشته است.

الوا و همکاران، آلوده شدن آب زیرزمینی توسط پسروی خط ساحلی و نفوذ بیش از حد آب دریا به منابع آب زیرزمینی شمال شرق دلتای نیل را با استفاده از تهیه نقشه‌های آسیب پذیری در محیط نرم افزار GIS بررسی نمودند، در تحقیقات ایشان ارتباط و همبستگی خوبی بین نقشه‌های آسیب‌پذیری ساخته شده و داده‌های کیفیت آب که به تازگی جمع‌آوری شده بود، وجود داشت (Elewa et al, 2013).

بانژاد و همکاران (1392) با استفاده از از نرم‌افزار MODFLOW به شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت نهاوند پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که تراز محاسبه شده توسط مدل نشان‌دهنده حرکت آب‌های زیرزمینی در جهت شیب غالب منطقه یعنی از جنوب شرقی به شمال غربی است. درنهایت از کد عددی MODPATH که انتقال توده‌ای ذرات را شبیه‌سازی می‌کند برای تخمین مسیر حرکت آلودگی و هم‌چنین مبدأ آلودگی استفاده نمودند.

مجرد و همکاران (1392) آبخوان دشت زرقان را از نظر هیدرولیکی و پخش و انتشار آلودگی مدل‌سازی عددی نمودند. ایشان مدل تهیه شده را برای پیش‌بینی کمی و کیفی جریان آب در آبخوان مزبور به‌کار گرفتند و حریم کیفی ناحیه‌ای و نقطه‌ای آبخوان را با استفاده از نرم افزار PMWIN تعیین نمودند.

آب زیرزمینی یک منبع طبیعی و مهم در تأمین آب شرب استان گلستان می‌باشد، بنابراین حفاظت از آن به لحاظ کمی و کیفی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر، تعیین حریم کیفی دو حلقه چاه آب شرب واقع در منطقه مخروط افکنه و میان دشتی استان گلستان، با استفاده از نرم افزار WHEAM2000 و مقایسه آن‌ها می باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: محدوده مطالعاتی در استان گلستان و در مختصات جغرافیایی '00-°54 تا '29-°56 طول شرقی و '36-°36 تا '47-°37 عرض شمالی واقع شده است. استان گلستان با وسعتی در حدود 20380 کیلومتر مربع و با داشتن اراضی زراعی دیم و آبی حدود 650 هزار هکتار به عنوان قطب کشاورزی کشور تلقی می‌گردد. پتانسیل آب زیرزمینی و سطحی استان به‌ترتیب 1250و 1235 میلیون متر مکعب برآورد می‌گردد که بر اساس آخرین اطلاعات موجود از مجموع پتانسیل مذکور حدود 777 میلیون متر مکعب از جریانات سطحی و 1177 میلیون متر مکعب از آب‌های زیرزمینی به‌منظور شرب، کشاورزی و صنعت، استحصال می‌شود (سایت شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان).

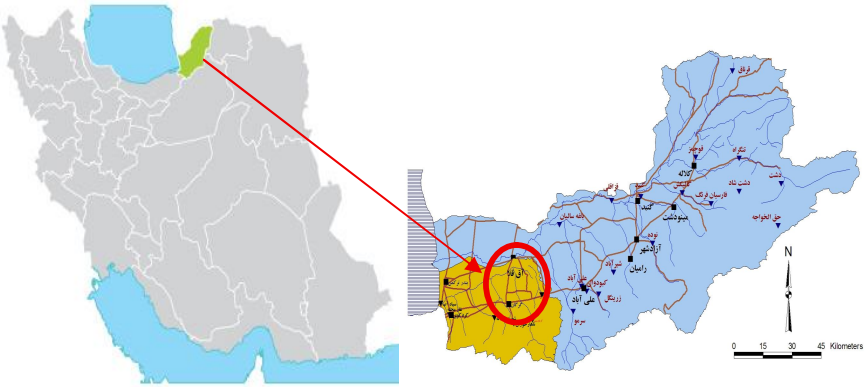
این دشت در معرض منابع آلاینده شهری، صنعتی و کشاورزی قرار دارد و از مناطق مستعد آلودگی به شمار می‌رود. آبخوان موجود در دشت از منابع مهم شرب و کشاورزی ساکنین استان گلستان بوده و میادین تأمین آب شرب استان عمدتاً به‌صورت نوار باریکی در بخش جنوبی آبخوان توسعه یافته‌اند.

معیارها و روش‌ها: معیارهای استانداردی که در حریم بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از: معیار فاصله، زمان حرکت، افت تراز آب زیرزمینی، مرزهای جریان و معیار ظرفیت لایهٔ آبدار برای جذب و کاهش آلودگی (عباسی و همکاران، 1390).

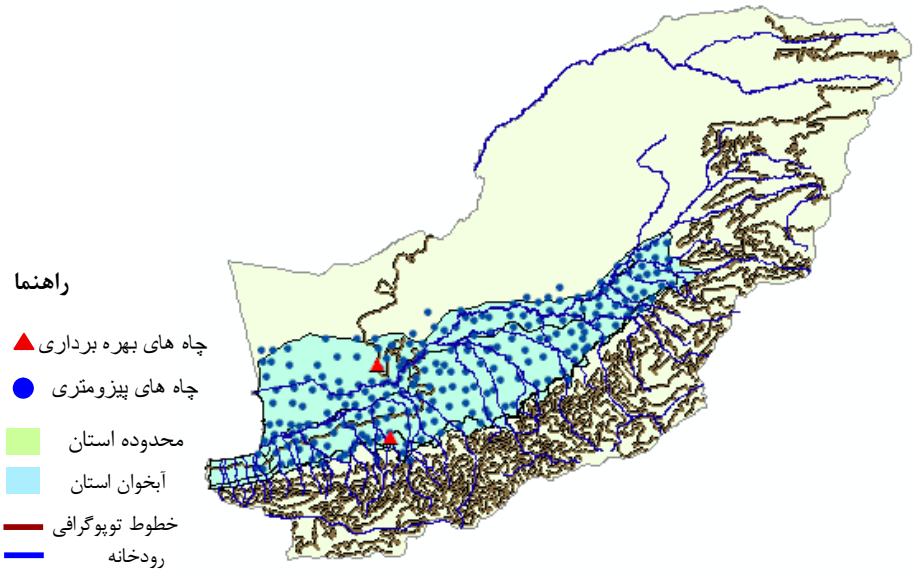
سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا شش روش برای تعیین حریم کیفی چاه‌ها بر مبنای اهمیت و دقت به ترتیب زیر بیان می‌کند:

شعاع ثابت دلخواه، شعاع محاسبه شده ثابت، شکل‌های متغیر ساده، مدل‌های تحلیلی، برداشت هیدروژئولوژیکی، مدل‌سازی عددی. پیشرفته‌ترین و بهترین روش، آن است که از مباحث تحلیلی و یا از مدل‌سازی کامپیوتری و یا ترکیبی از آن دو استفاده کند، که در این صورت اگر برداشت‌های دقیق و کاملی از پارامترهای آبخوان موجود باشد، می‌توان با زمان و هزینه کم‌تری حریم کیفی چاه را تعیین نمود (نشریه شماره 404 وزارت نیرو).

روش شعاع ثابت محاسبه شده :در این روش، محدوده‌ایی دایره شکل به مرکزیت منبع آب (چاه یا چشمه) در نظر گرفته می-شود، به گونه‌ای که آب زیرزمینی برای طی مسیر از مرز دایره تا مرکز دایره که منبع در آن قرار گرفته است، به مدت زمانی مشخصی نیاز داشته باشد. به بیان دیگر، در این روش، استوانه‌ای در داخل زمین در نظر گرفته می‌شود به طوری که شعاع استوانه براساس زمان انتقال تعیین می‌شود.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه



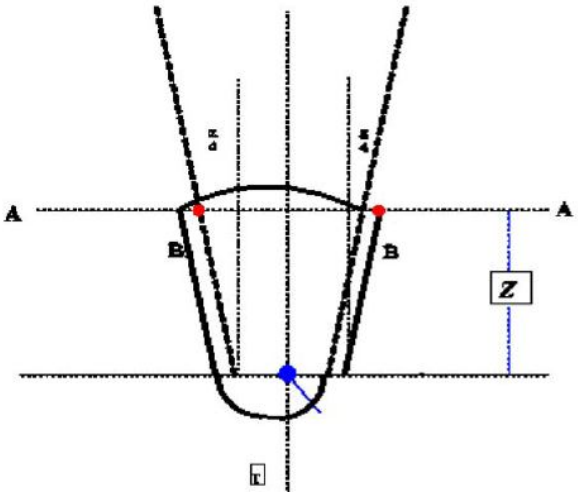
شکل 2- موقعیت چاه های شبکه سنجش سطح پیزومتری

جدول1- رابطه و متغیر های مورد نیاز برای تعیین شعاع در روش شعاع ثابت

رابطه محاسبه شعاع محدوده 2 و3	$R = FS\sqrt{\frac{QT}{n.H.\pi}}$
R	شعاع محدوده 2 و 3
Q	میانگین سالانه نرخ پمپاژ ($m^3/year$)
T	زمان انتقال (2سال برای محدوده 2 و 5 سال برای محدوده 3)
n	ضریب تخلخل
H	ارتفاع لوله مشبک
π	3/14
FS	ضریب ایمنی = (1/3-1/5)

روش شکل‌های تغییرپذیر ساده: این فرض که تمام آب برداشتی از منبع آب (چاه یا چشمه)، از استوانه فرضی اطراف منبع تأمین می‌شود تنها در فاصله کوتاهی از منبع (15 تا 30 متر) یا در شرایطی که از گرادیان هیدرولیکی صرف نظر شده باشد، صحیح است. اگر سطح پتانسیل یا سطح آب زیرزمینی دارای شیب قابل توجهی باشد، آنگاه سهم آب برداشتی از بالا دست چاه یا چشمه بسیار بیش‌تر از مناطق پایین‌دست است. از این رو، سطح دایره‌ای شکل در اطراف منبع، فرض دقیقی نخواهد بود.

جهت استفاده از این روش ابتدا، از روش شعاع ثابت محاسبه شده، یک دایره به مرکز چاه رسم می‌شود. سپس یک خط مرکزی در جهت بالادست چاه با استفاده از رابطه $Z = t\frac{ki}{n}$ رسم می‌گردد (شکل 3). در این رابطه k هدایت هیدرولیکی، i گرادیان هیدرولیکی و n تخلخل است، هم‌چنین t برای محدوده 2 و محدوده 3 به ترتیب 2 سال و 5 سال می‌باشد.



شکل 3- تعیین حریم کیفی به روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده

روش تحلیلی: در روش تحلیلی، برای تعیین حریم بهداشتی چاه، از معادلات جریان آب زیرزمینی در انتقال آلودگی می‌توان استفاده کرد. این روش، داده‌های مختلف هیدروژئولوژیکی را برای محاسبه فاصله تا محل جدائی آب زیرزمینی از گرادیان پایین‌دست به‌کار می‌برد و ناحیه تغذیه‌کننده‌ی چاه را به‌دست می‌آورد. در این جا محل جدایی گرادیان بالادست از روی مرزهای جریان مبداء، و یا با استفاده از معیار زمان حرکت، تعیین می‌شود. داده‌های مورد نیاز این روش، ضریب قابلیت انتقال، پوکی، گرادیان هیدرولیکی، نفوذپذیری هیدرولیکی و عمق اشباع لایه آبده در آن قسمت که دارای سوراخ‌هایی برای نفوذ آب است، می‌باشد (عباسی و همکاران، 1390).

در این تحقیق برای اجرای این روش از نرم افزار WHEAM2000 استفاده شده است، مدل فوق برای محاسبه تعیین حریم کیفی یک چاه به‌صورت گام به گام برای مسائل و روش‌های موجود از قبیل، روش شعاع ثابت، به‌دست آوردن حریم چاه در جریان یکنواخت و روش مدل‌های ژئوهیدرولوژیکی ارایه شده است. این مدل توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا تهیه و توسعه داده شده است و بر مبنای روش المان تحلیلی آب‌های زیرزمینی را مدل‌سازی کرده و حریم حفاظتی اطراف چاه، چشمه و حتی قنات را محاسبه می کند.

بر خلاف مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی بر مبنای روش‌های عددی (مانند نرم افزارMODFLOW)، در روش المان تحلیلی نیازی به تقسیم حوضه به شبکه‌بندی نمی‌باشد و به جای آن، تنها عوارض ژئولوژیکی و هیدرولوژیکی در مدل وارد شده که متناظر هر کدام از آن‌ها تابعی تعریف می‌شود.

هر مورد از این توابع یکی از عوارض هیدرولوژیکی و ژئوهیدرولوژیکی مؤثر بر سیستم آب‌های زیرزمینی را مدل می‌کنند. مثلاً تابع Sink-Line برای مدل کردن رودخانه‌ها و مرز دریاچه‌ها است و تابع Sink-Arael برای مدل کردن تغذیه سطحی می‌باشد. توابع مختلف دیگری نیز در این روش تعریف شده‌اند که با توجه به خواص هیدرولوژیکی، عوارض گوناگون برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. در واقع استفاده از این توابع یکی از مزیت‌های روش المان-های تحلیلی نسبت به روش‌های عددی است که در آن کاربر نیازی به تعریف شبکه و مقیاس مدل نخواهد داشت. هم‌چنین بر خلاف روش‌های عددی با استفاده از این روش می‌توان خواص سیستم را در هر نقطه دلخواهی به‌دست آورد که این نیز به دلیل عدم نیاز به شبکه‌بندی حوضه می‌باشد (عباسی و همکاران، 1390).

مراحل انجام کار برای تعیین حریم بهداشتی چاه‌های آب شرب به‌صورت زیر می‌باشد:

1- تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در محیط GIS که برای حل معادلات جریان آب زیرزمینی در حالت جریان یکنواخت در نرم افزار WHEAM2000 مورد نیاز می‌باشند. این لایه‌های اطلاعاتی شامل موارد ذیل می‌باشند:

توپوگرافی، مرز آبخوان، پیزومترهای سفره کم عمق استان، چاه-های آب شرب، محدوده‌های شهری، تراز آب زیرزمینی سفره کم عمق، ضخامت آبرفت، عمق سنگ کف، قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی و میزان تخلخل در سفره آب زیرزمینی.

2- استخراج و تبدیل پارامترهای مورد نیاز نرم افزار WHEAM2000 از لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده

3- ورود داده‌های مورد نیاز نرم افزار WHEAM2000

4- تهیه مدل جریان آب زیرزمینی برای هریک از چاه‌های شرب

به‌صورت جداگانه

5- اجرای مدل تهیه شده و ترسیم نواحی حریم بهداشتی چاه-های آب شرب برای زمان‌های انتقال مورد نظر.

در ادامه تعیین حریم بهداشتی هر یک از چاه‌های انتخابی به-صورت جداگانه ارائه می گردد.

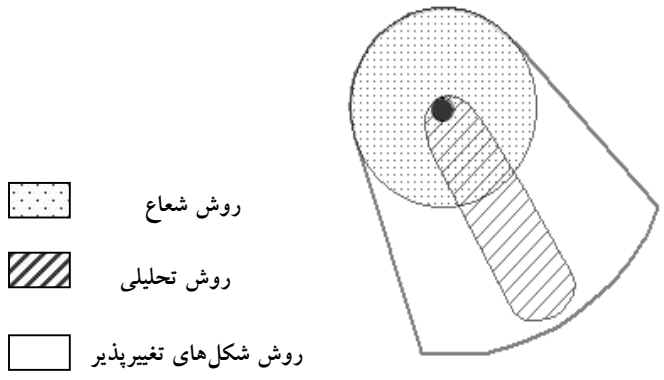
نتایج و بحث

محاسبه حریم کیفی چاه شرب آبفا گرگان سیاه تلو 2 (واقع در مخروط افکنه): این چاه در داخل محدوده شهری شهر گرگان قرار دارد. مشخصات هیدروژئولوژیکی محدوده مدل‌سازی شده اطراف این چاه در جدول شماره 2 ارائه گردیده و مشخصات مربوط به محدوده حریم کیفی چاه برای زمان انتقال آلاینده پنج ساله در شکل 4 نشان داده شده است.

مساحت‌های حریم کیفی به‌دست آمده از طریق روش شعاع محاسبه شده و روش شکل‌های تغییر پذیر ساده و مدل تحلیلی در جدول زیر ارائه شده است، هم‌چنین خطای محاسبه حریم کیفی به روش‌های شعاع محاسبه شده و شکل‌های تغییر پذیر ساده نسبت به حریم کیفی محاسبه شده به روش تحلیلی ارائه شده است:

جدول2- مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی مورد استفاده در مدل جهت تعیین حریم کیفی چاه آب شرب(مخروط افکنه)

نام چاه:	**سیاه تلو 2**				
مشخصات چاه:					
مختصات x	**277889**	**مختصات y**	**4082488**	**دبی(لیتر بر ثانیه)**	**24**
مشخصات Test Points:					
TP1 مختصات x	283176	مختصات y	4080472	تراز آب زیرزمینی(متر)	175/47
TP2 مختصات x	278214	مختصات y	4084155	تراز آب زیرزمینی(متر)	74/11
TP3 مختصات x	278214	مختصات y	4082431	تراز آب زیرزمینی(متر)	84/6
عمق سنگ کف(متر)		252		ضخامت آبرفت(متر)	45
هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)		12,5		تخلخل مفید	0/05
جهت جریان آب زیرزمینی(درجه)		120		گرادیان هیدرولیکی	0/01



شکل 4- حریم بهداشتی 5 ساله چاه شرب آبفا گرگان (منطقه مخروط افکنه)

همانطور که در جدول 3 مشخص می‌باشد، با توجه به اینکه در مناطق مخروط افکنه شیب هیدرولیکی (i) و هدایت هیدرولیکی (k) بالا می‌باشد، لذا حریم کیفی محاسبه شده از طریق روش شعاع ثابت محاسبه شده و روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده با خطای زیادی همراه خواهد بود، لذا توصیه می‌شود در این مناطق از مدل‌های تحلیلی مانند نرم افزار WHEAM2000 جهت محاسبه حریم کیفی

استفاده گردد.

جدول3- مساحت و خطا محاسبه حریم کیفی محاسبه شده به روش شعاع ثابت و شکل‌های تغییر پذیر،نسبت به مقادیر محاسبه شده به روش تحلیلی

روش	مساحت (m^2)	خطا
شعاع محاسبه شده	3780162/7	%92
شکل‌های تغییر پذیر ساده	9042045/8	%3/6
تحلیلی	1960144	-

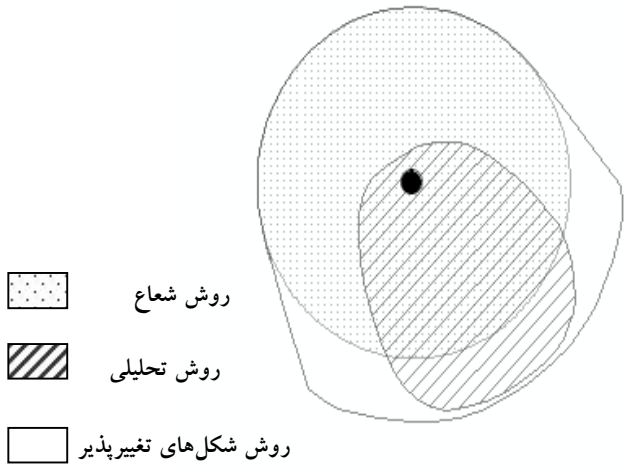
محاسبه حریم بهداشتی چاه بهره‌برداری منطقه میان دشتی: این چاه در داخل محدوده شهر آق قلا قرار دارد. مشخصات هیدروژئولوژیکی محدوده مدل‌سازی شده اطراف این چاه در جدول شماره 4 ارائه گردیده و مشخصات مربوط به محدوده حریم کیفی چاه برای زمان انتقال آلاینده پنج ساله در شکل5 نشان داده شده است.

در جدول 5، مساحت‌های حریم کیفی به‌دست آمده و هم‌چنین خطای محاسبه حریم کیفی به روش شعاع محاسبه شده و روش شکل‌های تغییرپذیر ساده نسبت به حریم کیفی محاسبه شده به روش تحلیلی ارائه شده است:

در مناطق میان دشتی با توجه به اینکه شیب هیدرولیکی (i) و هدایت هیدرولیکی (k) پایین‌تر می‌باشد، لذا حریم کیفی محاسبه شده از طریق روش شعاع ثابت و روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده با مدل تحلیلی هم‌پوشانی بیش‌تری نسبت به مناطق مخروط افکنه دارد.

جدول 4- مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژیکی مورد استفاده در مدل جهت تعیین حریم کیفی چاه آب شرب (میان دشتی)

نام چاه:	**چاه بهره‌برداری در محدوده شهر آق قلا**				
مشخصات چاه:					
مختصات x	**273687**	**مختصات y**	**4105447**	**دبی(لیتر بر ثانیه)**	**20**
مشخصات Test Points:					
TP1 مختصات x	276793	مختصات y	4107612	تراز آب زیرزمینی(متر)	-10/73
TP2 مختصات x	267525	مختصات y	4108002	تراز آب زیرزمینی(متر)	-13/2
TP3 مختصات x	274645	مختصات y	4104382	تراز آب زیرزمینی(متر)	-8/45
عمق سنگ کف(متر)		175		ضخامت آبرفت(متر)	55
هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)		2		تخلخل مفید	0/10
جهت جریان آب زیرزمینی(درجه)		120		گرادیان هیدرولیکی	0/004



شکل 5- حریم بهداشتی 5 ساله چاه بهره برداری گرگان (منطقه میان دشتی)

جدول5- مساحت و خطا محاسبه حریم کیفی محاسبه شده به روش شعاع ثابت و شکل‌های تغییر پذیر، نسبت به مقادیر محاسبه شده به روش تحلیلی

روش	مساحت (m^2)	خطا
شعاع محاسبه شده	12996407/9	%70
روش شکل‌های تغییر پذیر ساده	17413364/3	%15/9
مدل تحلیلی	6722391/6	-

نتیجه‌گیری

روش شعاع ثابت محاسبه شده از جریان آب زیرزمینی و گرادیان هیدرولیکی آبخوان‌ها صرف نظر کرده و مقدار هدایت هیدرولیکی آبخوان نیز تأثیری در نتایج حاصله نخواهد داشت. لذا هر چند این روش، روش ساده‌ای بوده و براحتی قابل اجرا است اما بخاطر موارد ذکر شده دارای خطای بالایی می‌باشد.

روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده با توجه به مقدار شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی، مساحت حریم کیفی را در بالادست منبع آب (چاه) گسترش می‌دهد و لذا نسبت به روش شعاع ثابت محاسبه شده از دقت بیش‌تری برخودار است اما این روش به مقادیر شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی به شدت حساس بوده و کوچک‌ترین خطا در دو پارامتر اخیر موجب خطای بالایی در محاسبه حریم کیفی خواهد شد. ضمن اینکه در این روش، پایین‌دست جریان بر اساس روش شعاع ثابت محاسبه شده برآورد می‌گردد و لذا مقادیر غیر واقعی به‌دست خواهد آمد.

روش مدل تحلیلی بر اساس کلیه خصوصیات آبخوان از جمله جهت جریان، شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی حریم کیفی را محاسبه نموده و نتایج واقعی‌تری ارائه می‌دهد و اجرای آن از لحاظ تملک زمین مورد نیاز حریم کیفی چاه اقتصادی‌تر می‌باشد. ضمن اینکه در روش مدل تحلیلی شرایط خاص مانند رودخانه تغذیه‌کننده آبخوان، مرزهای نفوذناپذیر و ... قابل شبیه‌سازی بوده و لذا در روش مدل‌های تحلیلی، شرایط پیچیده آبخوان نیز در محاسبه حریم کیفی قابل شبیه‌سازی می‌باشد.

همانطور که مشاهده شد میزان شیب هیدرولیکی (i) و هدایت هیدرولیکی (k) نقش بسزایی در محاسبه حریم کیفی داشته است، به‌طوریکه بالابودن شیب هیدرولیکی (i) و هدایت هیدرولیکی (k) در مناطق مخروط افکنه، باعث گشته است حریم کیفی محاسبه شده از طریق روش شعاع ثابت محاسبه شده و روش شکل‌های تغییرپذیر ساده شده با خطای زیادی همراه شود.

منابع

اکبرپور،ا.، اعتباری،ب و برزنونی،س. 1390. مدل‌سازی آب زیرزمینی در راستای تعیین حریم کیفی چاه‌های آب شرب (مطالعه موردی بیرجند). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب.

بانژاد،ح.، محب زاده،ح.، قبادی،م،ح و حیدری،ق. 1392. شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی آبخوان دشت نهاوند. نشریه آب و خاک، 23 .2: 57-43.

درخشنده رو،غ،ر.، واقفی،م و سعیدی‌فر،غ،ر. 1388. مطالعه موردی حوزه آبریز رودخانه بشار جهت تعیین تغییرات ذخیره آب و هد سرعت آبخوان با استفاده از نرم افزار MODFLOW. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

عباسی،م.، کابلی،ع و نیک قوجق،ی. 1390. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی گرگان به روش Drastic و تعیین حریم کیفی نقطه‌ای آبخوان. طرح پژوهشی، شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان.

غلام نژاد،ن و کارگر،م. 1385. تعیین حریم کیفی منابع آب زیرزمینی. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

مشهدی،ل و باغوند،ا. 1389. بررسی و مدل‌سازی آلودگی ناشی از زباله‌های محل دفن بر آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی آبخوان امان آباد). چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.

مجرد،م.، رخشنده رو،غ،ر و امیری،ح. 1392. تعیین حریم کیفی ناحیه-ای و نقطه‌ای منابع آب زیرزمینی دشت زرقان در استان فارس با اسفاده از نرم افزار PMWIN. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران.

ناصری،ح و قره محمدلو،م. 1383.تعیین حریم کیفی چاه‌های آب شرب (مطالعه موردی: شهر ساری). هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

Barnett,Ch., Zhou,Y., Vance,S and Fulcher,C. 1997. Wellhead protection area delineation for identifying potential contamination sources. http://proceedings.esri.com/library /userconf/proc95/to150/p121.html.

Elewa,H.H., Shohaib,R.G., Qaddah,A.A. and Nousir,A.M. 2013. Determining groundwater protection zones for the Quaternary aquifer of northeastern Nile Delta using GIS-based vulnerability mapping. Environ Earth Science. 68: 313–331.

Laronne,B.I., and Gvirtzman,L.H. 2005 Groundwater flow along and across structural folding: an example from the Judean desert, Israel. Journal of Hydrology.312: 51–69.

Livingstone,S., Franz,T and Guiger,N. 1995. Managing

1995. Wellhead protection area delineation using the analytic element method of ground water modeling. Groundwater. 33.1: 71-83.

Yaouti,F., Mandour,A., Khattach,D and Kaufmann,O. 2008. Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). Journal of Hydro-environment Research. 2: 192-200.

ground water resources using wellhead protection Geosciences Canada. 22.4: 121-128.

Miller,C., Chudek,P and Babcock,S. 2003. A comparison of wellhead protection area delineation methods for public drinking water systems in Whatcom County, Washington. J. Environmental Health. 66.2: 17-27.

Wuolo,R.W., Dahlstrom,D.J and Fairbrother,M.D.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 9, May.-Jun. 2015, p. 335-344

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد9، خرداد - تیر 1394، ص. 344-335

Evaluation and Comparison of Methods for Determining the Protection zone of Wells Using a Mathematical model (Case Study of Golestan aquifer)

Z. Sadeghi[1*], K. Esmaili[2] and A.R. Kaboli[3]
Recived: Mar.09, 2015 Accepted: Jan.10, 2015

Abstract

Underground water resources is One of the most important parts that supplies the human need, particularly in arid and semi-arid. At present, a considerable part of the drinking water is supplied from underground water sources, which are mostly free aquifer. Therefore,the Quality protection of this sources is important. Decontamination of groundwater is costly and lengthy process and is often diagnosed when the aquifer decontamination is impossible. Identify vulnerable areas of aquifers and land use management is one of the best ways to prevent contamination of groundwater.

So in this study, the qualitative protection zone of tow drinking water wells located in the Alluvial area and plain of golestan province, using WHEAM2000 software and use the method of equations in groundwater flow in uniform flow conditions and constant radius, To compare the performance of two methods to calculate protection zone in these areas, was calculated. The results showed that in the presence of hydrological-reliable parameters for the establishment of wells area, the above software can be used as a useful tool for the determining protection zone of wells. Since in the plain area the hydraulic gradient (i) and hydraulic conductivity (k) is lower, so the protection zone calculated by method of equations in groundwater flow in uniform flow conditions and constant radius overlap more than the Alluvial area.

Keywords: Groundwater, Golestan Aquifer, Protection zones, Software WHEAM2000

1,2- PhD Student and Associate Professor. Water Engineering dept. Ferdowsi University of Mashhad
3- M.Sc. in Hydrogeology, Golestan Regional Water Company, Iran
(* Corresponding Author Email: Zahrasadeghi84@gmail.com)