تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
Volume 13, No. 4, Winter 2018 (IR-WRR)
۳۹-۵۰

بررسی روش‌های تعیین حریم حفاظتی با مدل تحلیلی WhAEM2000 در چاه‌های شرب دامنه- داران

جهانگیر عابدی کوپایی[۱*]، نسترن زمانی[۲]، مصطفی گودرزی[۳] و سمیرا اخوان[۴]

چکیده

در اغلب مناطق کشور قسمت قابل ملاحظه‌ای از آب شرب به وسیله چاه‌ها و از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. منابع مورد استفاده برای تأمین آب شرب شهرها همواره در معرض تهدید آلاینده‌های مختلف می‌باشند. حفاظت کیفی این منابع، امروزه از دغدغه‌های فکری متولیان تأمین و توزیع آب شرب محسوب می‌شود. بنابراین، محاسبه دقیق حریم حفاظتی دارای اهمیت بسیار است؛ زیرا اعمال حریم کوچک‌تر، خطر آلودگی آب چاه را بالا برده و حریم بزرگ‌تر اتلاف سرمایه را به دنبال خواهد داشت. در این مطالعه به کمک مدل WhAEM2000 با روش‌های مختلف به تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب آبخوان دامنه- داران در استان اصفهان پرداخته شد. نتایج نشان داد روش المان تحلیلی محدوده‌ای محافظه کارانه‌تر از روش شعاع ثابت محاسبه شده ارائه می‌دهد. به این ترتیب می‌توان سه ناحیه حفاظتی فوری، اجباری و حمایتی چاه‌های این منطقه را با این روش و به ترتیب با سه زمان انتقال ۲، ۵ و ۱۰ سال تعیین نمود. بر این اساس حریم حفاظت اجباری برای چاه‌های شرب این منطقه از ۱۵ هکتار برای چاه شماره ۲ دامنه تا ۲۵ هکتار برای چاه شماره ۱ و ۲ داران در جهت جریان آب زیرزمینی، متغیر بود.

کلمات کلیدی: چاه شرب، حریم حفاظتی، روش تحلیلی، روش حجمی، حفاظت اجباری

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۳/۱۲

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- استادیار بخش فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان خرداد ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Studying Different Methods for Wellhead Protection Area Delineation Using WhAEM2000 Analytic Model in Drinking Wells of Damaneh-Daran

J. Abedi Koupai [1], N. Zamani [2], M. Goodarzi[3] and S. Akhavan[4]*

Abstract

In most parts of Iran a considerable part of the drinking water is supplied by wells and groundwater resources. Water resources which are used to supply urban drinking water are always exposed to different pollutants. Accordingly the groundwater protection is one of the major concerns for decision-makers in supplying and distribution of drinking water. Precise calculation of wellhead protection areas is very important in this regard; since deciding on smaller area raises the risk of contamination of the well and considering larger areas causes capital losses. In this study, different methods were applied using WhAEM2000 to determine the wellhead protection area for Damaneh–Daran aquifer in Isfahan province. The results indicated that protection area with analytic element method is more conservative than calculated fixed radius method. Thus this method can be used to determine three zones of emergency, essential, and supportive protection with travel times of 2, 5, and 10 years, respectively. Accordingly, essential protection area for drinking wells in this region was varying from 15 hectares for well number 2 in Damaneh to 25 hectares for wells number 1 and 2 in Daran in the direction of groundwater flow.

Keywords: Drinking Well, Protection Area, Analytic Method, Volumetric Method, Essential Protection.

Received: February 27, 2017
Accepted: June 2, 2017

1- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: koupai@cc.iut.ac.ir
2- M.Sc. Graduate of Water Recourses Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran
4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*- Corresponding Author

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

آب زیرزمینی منبع تأمین‌کننده آب شرب در بسیاری از نقاط کشور می‌باشد. وجود منابع آلاینده متعدد در کنار چاه‌های شرب و عدم مدیریت صحیح آن‌ها می‌تواند تغییرات نامطلوبی در کیفیت آب ایجاد نماید (Badv and Mollaie, 2005). حفاظت کیفی از منابع آب زیرزمینی که از طریق چاه‌ها استحصال شده و در شهرها به مصرف شرب می‌رسد، از نظر بهداشتی برای حفظ سلامت شهروندان از اهمیت خاصی برخوردار است. مواد آلاینده رها شده در سطح و یا زیر زمین در صورت واقع شدن در داخل ناحیه‌ای خاص در اطراف چاه، پس از طی مسافتی در یک مدت زمان معین، می‌توانند به داخل چاه راه یابند (Badv, 2005). حفاظت کیفی از منابع آب زیرزمینی شهرها که برای تأمین آب شرب استحصالی از چاه‌ها نقش دارند، امروزه از مسئولیت‌ها و دغدغه‌های فکری متولیان تأمین و توزیع آب شرب محسوب می‌شود. در این راستا محاسبه بهینه و دقیق حریم‌ها با استفاده از مبانی علمی و توجه به آسیب‌پذیری آبخوان از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا محاسبه و اعمال حریم کوچک‌تر خطر آلودگی آب چاه را بالا برده و حریم بزرگ‌تر اتلاف سرمایه را به دنبال خواهد داشت.

ایران کشوری با بارندگی کم‌تر از یک سوم بارندگی جهان، جزو کشورهایی محسوب می‌شود که در آن آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب و کشاورزی می‌باشد. بر این اساس استان اصفهان نیز که دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک می‌باشد دارای وابستگی شدید به این منابع است. به طوری که طی ۲۰ سال اخیر افت منابع آب زیرزمینی در حوضه زاینده‌رود شتاب بیشتری گرفته است و در نتیجه‌ی چنین روندی افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در اغلب آبخوان‌ها به ویژه دشت‌های نجف آباد، دامنه و داران، برخوار، مهیار و جرقویه به چشم می‌خورد (Safavi and Rastghalam, 2017). دشت دامنه- داران یکی از بحرانی‌تـــریـــن مناطق فـــریدن در استان اصفهان از نظر کاهش منابع آبـــی است که در سال‌هـــای اخیر به دلیل استفاده زیاد از کودهای شیمیایی کیفیت آب زیرزمینی این منطقه دچار تغییراتی گـــردیـــده است بـــه همین دلیل حفاظت سریـع از منابع آب زیـــرزمینی ایـــن نـــاحیه نیازمند توجه و مدیریت خاص می‌باشد (Sabet Raftar, 2013; Foster et al., 2004). در سطح یک حوضه، علاوه بر تعیین حریم حفاظتی چاه، حریم حفاظتی آبخوان نیز مطرح بوده و در اکثر مناطق دنیا از آسیب‌پذیری آبخوان بدین منظور استفاده می‌شود. در بسیاری از کشورها، تعیین حریم حفاظتی در دو یا سه سطح در اطراف سیستم‌های تأمین آب شرب الزامی است. همچنین، لازمه برآورد حریم حفاظتی، محاسبه آسیب‌پذیری می‌باشد. به عبارت دیگر، در ابتدا باید آسیب‌پذیری یک آبخوان تهیه گردد تا سپس با استفاده از تعیین آلودگی پخش شده در منطقه بر اساس نوع کاربری، حریم حفاظتی تعیین شود (Sabet Raftar, 2013). در حریم حفاظتی منابع آب حداکثر سه نوع ناحیه حفاظتی از منبع تعریف شده است که تحت عنوان حریم حفاظت بهداشتی چاه (ناحیه ۱ یا حفاظت فوری)، ناحیه حفاظت داخلی (ناحیه ۲ یا حفاظت اجباری) و ناحیه حفاظت خارجی (ناحیه ۳ یا حفاظت حمایتی) به طور متوالی پیرامون چاه پمپاژ در نظر گرفته می‌شوند.

از جمله تحقیقات انجام شده در زمینه حریم حفاظتی چاه‌های آب می‌توان به موارد ذکر شده در ادامه اشاره نمود. در مطالعه‌ای که با استفاده از روش المان تحلیلی به تعیین حریم حفاظتی پرداخته شده بود بیان شد، به طور کلی در ناحیه حفاظتی طولی به ترتیب تخلخل، ضخامت لایه اشباع، شیب هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار است، در حالی‌که در ناحیه حفاظتی عرضی به ترتیب ضریب قابلیت انتقال، تخلخل، گرادیان هیدرولیکی و سپس ضخامت ناحیه اشباع دارای اهمیت بیشتری می‌باشد (Bhatt, 1993). Alizade et al. (2009) برای تعیین حریم بیولوژیک چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد، از روش محاسباتی و مدلی که کینزل باخ در سال ۱۹۸۶ ارائه نمود استفاده نمودند و خطوط هم میزان ۵۰ روز برای هر چاه را رسم نمودند. بدین ترتیب هر ذره آلودگی که در خارج خطوط قرار گرفته باشد، از بین رفته، دیگر خطر آلودگی میکروبی برای چاه آب آشامیدنی وجود نخواهد داشت. در مطالعه دیگری در نیوجرسی با مقایسه نتایج مدل تحلیلی با مدل عددی مشاهده کردند حریم‌های حاصل از روش تحلیلی بزرگ‌تر و محافظه‌کارانه‌تر از روش عددی MODFLOW می‌باشد. دلیل این امر در این مطالعه در نظر گرفتن جزئیات خصوصیات آبخوان در روش عددی مطرح شد (Barry et al., 2009). در مطالعه Akbarpur et al. (2011) حریم حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر بیرجند با در نظر گرفتن وضعیت زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئوشیمی آبخوان به کمک نرم‌افزار WhEAM2000 بر اساس روش‌های «شعاع ثابت محاسبه شده» و «تحلیلی»، برآورد شد و نتایج به صورت نقشه‌هایی ارائه گردید. در نهایت بیان شد مقادیر شعاع حفاظتی تابعی از خصوصیات هیدروژئولوژیک، میزان پمپاژ و زمان پایداری آلاینده است. همچنین، مسافتی که آلوده‌کننده طی می‌کند به عواملی نظیر: کیفیت آلوده‌کننده، کیفیت زمین‌شناسی محل، سطح آب زیرزمینی، میزان نفوذ آلوده‌کننده‌ها در زمین، شرایط و کیفیت سطح زمین، میزان جریان آب‌های زیرزمینی و میزان پمپاژ آب‌های زیرزمینی وابسته است.

Archive of SID
www.SID.ir

Delkhahi and Asadian (2011) در بررسی ۲۴ چاه شرب در منطقه یافت آباد تهران با استفاده از برنامه MODPATH به این نتیجه رسیدند که میزان زیاد هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال و گرادیان هیدرولیکی سبب کشیدگی و باریک شدن حریم حفاظتی چاه می‌شود. در تحقیق دیگری جهت تعیین حریم حفاظتی از روش‌های متداول شعاع ثابت محاسبه شده و روش‌های تحلیلی KLF، Wyssling و روش مدل عددی استفاده شد. نتایج نشان داد در منطقه مورد مطالعه با افزایش زمان حرکت و افزایش فاصله از چاه از دقت روش‌های ترسیمی و تحلیلی کاسته می‌شود؛ ولی در صورت عدم وجود داده، زمان، سرمایه و تخصص کافی استفاده از روش‌های شعاع ثابت و تحلیلی نیز از دقت قابل قبولی برخوردار خواهد بود (Delkhahi et al., 2013). در مطالعه‌ای در آبخوان استان گلستان به منظور مقایسه عملکرد روش‌های مختلف در منطقه مذکور، از نرم‌افزار WhAEM2000 با به کارگیری روش معادلات جریان آب زیرزمینی در شرایط جریان یکنواخت و روش شعاع ثابت، استفاده شد. نتایج نشان داد میزان شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی نقش به سزایی در محاسبه حریم کیفی دارد؛ به‌طوری که زیاد بودن شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی در مناطق مخروط افکنه، باعث شده است حریم کیفی محاسبه شده از طریق روش شعاع ثابت محاسبه شده و روش شکل‌های تغییرپذیر ساده‌شده با خطای زیادی همراه شود (Sadeghi et al., 2015). در مطالعه‌ای در ایتالیا از دو مدل MODFLOW و WhAEM به ترتیب به عنوان مدل تفاضل محدود و مدل تحلیلی برای تعیین حریم بهداشتی مجموعه‌ای از چاه‌های شرب استفاده شد. در این مطالعه بیان شد استفاده از مدل تحلیلی بسیار ساده‌تر از مدل تفاضل محدود است و نتایج حاصل از آن بسیار شبیه مدل تفاضل محدود می‌باشد. به علاوه، بیان شد جهت جریان و میزان آن در منطقه به شدت بر شکل ناحیه حفاظتی تأثیرگذار خواهد بود (Ferrante et al., 2015).

نرم‌افزار WhAEM2000 در مقایسه با مدل‌های موجود حریم دقیقتری را تعیین می‌کند؛ زیرا این مدل از خصوصیات ذاتی آبخوان و اطلاعات ورودی زیادی از جمله توپوگرافی، مرز آبخوان، چاه‌های مشاهده‌ای، چاه‌های آب شرب، محدوده‌های شهری، تراز آب زیرزمینی، ضخامت آبرفت و آبخوان، عمق سنگ کف، قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی و میزان تخلخل آبخوان در مقایسه با سایر مدل‌های موجود که شامل تعداد کمتری از داده‌های ورودی است، استفاده می‌کند. با وجود این مزیت شایان توجه، مدل WhAEM2000 تأثیر کاربری اراضی در مدل‌سازی در نظر گرفته نشده است. با توجه به اینکه کاربری اراضی از ویژگیهای متغیر و پویای یک منطقه است که وابسته به زمان است و هر زمان احتمال تغییر آن وجود دارد پیشنهاد می‌گردد برای حفاظت بهتر و بیشتر از منابع آب شرب تعیین حریم با توجه به نقشه آسیب‌پذیری منطقه انجام شود و پایش آن در مقیاس زمانی کوتاه مدت، صورت پذیرد.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در تعیین حریم چاه‌ها با مدل‌های مختلف به آسیب‌پذیری آبخوان توجه کافی نشده است. تعیین آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از روش DRASTIC و تلفیق آن با مدل‌های تعیین حریم حفاظتی می‌تواند گامی مهم در ارتقای مدیریت و حفاظت مناطق اطراف چاه‌های تأمین آب شرب و مقابله با آلودگی‌های احتمالی آن باشد؛ لذا هدف از این تحقیق تعیین حریم حفاظتی اطراف چاه‌های شرب آبخوان دامنه- داران به کمک روش‌های مختلف با توجه به آسیب‌پذیری آبخوان و مقایسه این روش‌ها با یکدیگر می‌باشد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

آبخوان دامنه- داران در محدوده عرض جغرافیایی "۴۴ '۴۵ °۳۲ تا "۹ '۴ °۳۳ شمالی و طول "۶ '۲۲ °۵۰ تا "۳۶ '۴۳ °۵۰ شرقی در حوضه آبریز فلات مرکزی و زیر حوضه گاوخونی در غرب استان اصفهان واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این منطقه یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی استان اصفهان به‌شمار می‌آید که در سال‌های اخیر به شدت با مشکل کمبود آب و آلودگی آن روبرو شده است.

در منطقه مورد مطالعه ۸ چاه شرب در حال بهره‌برداری وجود دارد که اطلاعات آن‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است.

۲-۲- روش کار

در ابتدا روش DRASTIC برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان مورد استفاده قرار گرفت. در این روش همانطور که از نام آن مشخص است با استفاده از هفت پارامتر عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط اشباع آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، محیط غیر اشباع آبخوان (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تهیه می‌گردد (Aller et al., 1987). اولین هدف این روش اعمال فوریت‌های اجرایی فعالیت‌هایی است که در رابطه با آب زیرزمینی صورت می‌گیرند.

Archive of SID
www.SID.ir

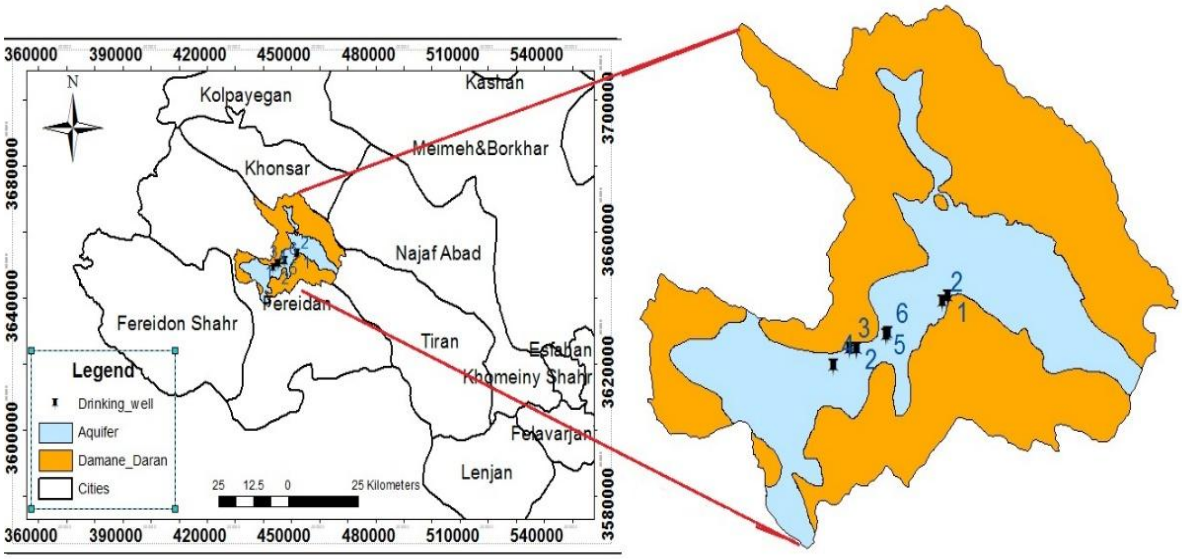

Fig. 1- Location of study area and drinking wells

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و چاه‌های شرب

Table 1- Drinking well's characteristics in the study area

جدول ۱- مشخصات چاه‌های شرب موجود در منطقه

well	UTM X	UTM Y	Flow in summer (m^3/ day)	Flow in Fall (m^3/ day)	Hydraulic Gradient
1 Damane	452224	3653401	954	1248	0.00125
2 Damane	451844	3653086	730	954	0.00125
1 Daran	445383	3650086	1010	1321	0.0016
2 Daran	445375	3650077	1460	1909	0.0016
3 Daran	444845	3650091	1123	1468	0.0016
4 Daran	443652	3649038	1123	1468	0.0016
5 Daran	447572	3650930	1516	1982	0.0009
6 Daran	447730	3651061	1965	2570	0.0009

همچنین، تهیه ابزاری کاربردی برای ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیـــرزمینی نسبت به آلودگی از اهداف دیگر این روش است (Sabet Raftar, 2013).

روش‌های مورد استفاده برای برآورد حریم حفاظتی شامل روش‌های شعاع ثابت دلخواه، شعاع ثابت محاسبه شده، اشکال متغیر ساده شده و روش تحلیلی می‌باشد، که در اینجا تنها به توضیح مختصری از روش تحلیلی پرداخته شده است. این روش، برای تعیین حریم حفاظتی چاه، از معادلات جریان آب زیرزمینی در انتقال آلودگی استفاده می‌کند. در این مطالعه برای اجرای این روش با توجه به اطلاعات موجود، به توصیه وزارت نیرو و همچنین سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا از نرم‌افزار WhAEM2000 استفاده شـــد (U. S. Environmental Protection Agency, 1989; Abrishamchi, 2012). در ایـــن مـــدل جـــریـــان آب زیرزمینی بر مبنای روش المان تحلیلی مدل‌سازی شده است و با استفاده از ترکیب معادلات تحلیلی که یکسری توابع ریاضی می‌باشند، سیستم آب‌های زیرزمینی مدل می‌شود. لایه‌های اطلاعاتی که برای حل معادلات جریان آب زیرزمینی در حالت جریان یکنواخت در مدل WhAEM2000 مورد نیاز می‌باشند در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. این لایه‌ها شامل لایه‌ی توپوگرافی، مرز آبخوان، چاه‌های مشاهده‌ای، چاه‌های آب شرب، محدوده‌های شهری، تراز آب زیرزمینی، ضخامت آبخوان، عمق سنگ کف، قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی و میزان تخلخل آبخوان می‌باشد. سپس، این لایه‌ها وارد مدل WhAEM2000 شدند و مدل جریان آب زیرزمینی برای چاه‌های شرب تهیه شد. بدین ترتیب که ابتدا مدل با استفاده از داده‌های سطح آب زیرزمینی واسنجی شد (Sadeghi et al., 2015). بدین منظور از تراز سطح آب زیرزمینی در ۱۳ نقطه از منطقه استفاده

Archive of SID
www.SID.ir

شد، بدین ترتیب که هر نقطه با مختصات و تراز سطح آب به عنوان یک نقطه ارزیابی "Test Point" بر روی نقشه مشخص گردید. سپس، مشخصات کلی آبخوان از جمله تراز سنگ کف، هدایت هیدرولیکی، ضخامت آبخوان و تخلخل (Freeze and Cherry, 1979) آن به مدل معرفی شد. محدوده آبخوان با استفاده از "Horizontal Barrier" معرفی گردید. لازم به ذکر است که پارامترهای بیان شده هر کدام با آزمون و خطا در محدوده مجاز آن پارامتر به دست آمده‌اند؛ به طوری که پس از اجرای برنامه کمترین متوسط خطا را دارا بودند (Kraemer et al., 2007). در نهایت، با توجه به دبی پمپاژ هر چاه شرب حریم کیفی برای سه زمان انتقال ۲، ۵ و ۱۰ سال رسم گردید و این نواحی به فرمت مناسب تبدیل و به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شد.

در مرحله بعد میزان اهمیت پارامترها بر شکل و میزان تغییر مساحت حریم کیفی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور در مرحله اول با توجه به اینکه دبی چاه‌ها در طول فصول مختلف سال به طور متوسط دارای ۳۰ درصد تفاوت آبدهی می‌باشند، برای مشاهده بهتر تأثیر دبی بر شکل حریم مقدار آن به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد دبی متوسط هر چاه کم و زیاد شد. همچنین، به دلیل این‌که پارامتر تخلخل مؤثر به صورت دقیق قابل برآورد نمی‌باشد و مقدار آن از روی جداول با توجه به جنس آبخوان تخمین زده می‌شود (Mays, 2010)، مقدار این پارامتر به میزان ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد کاهش و افزایش داده شد و تأثیر آن بر شکل و مساحت حریم حفاظتی چاه‌های شرب مشاهده شد. پارامتر دیگری که میزان تأثیر آن بر شکل و مساحت حریم حفاظتی چاه‌های شرب منطقه بررسی شد، تغذیه آبخوان بود که تأثیر آن به صورت کاهش و افزایش ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصدی مورد مقایسه قرار گرفت.

۳- نتایج و تحلیل

با توجه به مطالعه پیشین انجام شده در منطقه مورد نظر، بیش‌تر چاه‌های شرب این محدوده مطالعاتی، در نواحی با آسیب‌پذیری متوسط تا خیلی زیاد واقع شده‌اند، به همین دلیل اهمیت تعیین حریم حفاظتی در این منطقه دو چندان می‌شود (Zamani, 2016). شکل ۲ نقشه آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان مورد مطالعه را به روش DRASTIC نشان می‌دهد (Aller, 1987).

در ادامه به نتایج حریم حفاظتی حاصل از هر روش اشاره خواهد شد:

روش شعاع ثابت دلخواه با توجه به استاندارد وزارت نیرو در اطراف هر چاه شرب باید تا شعاع ۲۵ متری محصور شده باشد. بر این اساس دایره‌ای به مرکز هر چاه شرب با شعاع ۲۵ متر حریم حفاظتی چاه به روش شعاع ثابت دلخواه می‌باشد. روش شعاع ثابت محاسبه شده با دو فرمول حجمی و تغذیه انجام شد. نتایج مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهد با افزایش دبی و افزایش زمان انتقال شعاع حریم بزرگ‌تر می‌شود.

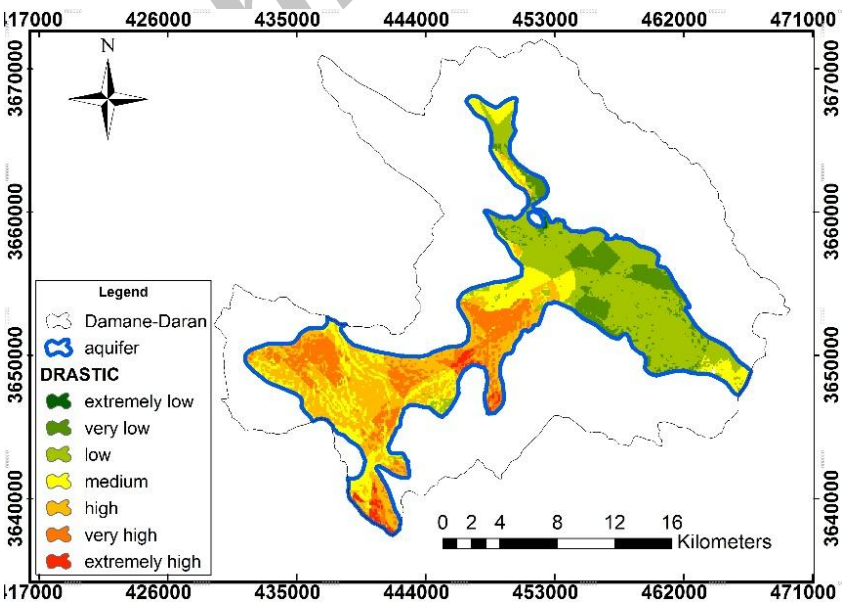

Fig. 2- DRASTIC vulnerability index for aquifer in the study area (Zamani, 2016)

شکل۲- شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC در آبخوان منطقه مورد مطالعه (Zamani, 2016)

www.SID.ir

در این روش، علاوه بر آنکه مقدار هدایت هیدرولیکی آبخوان تأثیری در نتایج حاصل ندارد، از جریان آب زیرزمینی و گرادیان هیدرولیکی آبخوان نیز صرف نظر شده است. بنابراین، دارای خطای زیادی می‌باشد اما؛ روشی ساده می‌باشد که به راحتی قابل اجرا است. این نتایج با نتایج Sadeghi et al. (2015) همخوانی دارد. .به طور کلی، مشاهده شد هرچه پارامترهای بیش‌تری در فرمول محاسبه شعاع دخیل باشند، حریم محاسبه شده به روش تحلیلی نزدیک‌تر خواهد بود. همان‌طور که از نتایج روش تغذیه مشاهده می‌شود این روش با استفاده از تعداد محدودی از پارامترها به شدت میزان حریم را بزرگ تخمین می‌زند. لازم به ذکر است با توجه به این که در روش حجمی برخی ساده‌سازی‌ها وجود دارد و تمام ویژگی‌های آبخوان، مانند غیر یکنواخت بودن ویژگی‌های هیدروژئولوژیک در اطراف منبع در نظر گرفته نمی‌شود، احتمال اینکه حفاظت انجام شده در این روش کافی نباشد وجود دارد. به همین دلیل استفاده از ضرایب ایمنی برای این روش در منابع مختلف پیشنهاد شده است که از جمله این موارد می‌توان به ضرایبی که توسط Abrishamchi (2012) پیشنهاد شده است، اشاره نمود.

در جدول ۳ نتایج حاصل از روش اشکال متغیر ساده شده ارائه شده است. در این روش با توجه به مقدار شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی، مساحت حریم حفاظتی در بالا دست چاه گسترش می‌یابد و لذا نسبت به روش شعاع ثابت محاسبه شده از دقت بیش‌تری برخوردار است؛ اما این روش به شدت حساس بوده و کوچک‌ترین خطا در دو پارامتر اخیر موجب خطای زیادی در محاسبه حریم حفاظتی خواهد شد. ضمن این‌که در این روش، پایین دست جریان بر اساس روش شعاع ثابت محاسبه شده برآورد می‌گردد و لذا مقادیر غیر واقعی به دست خواهد آمد. این نتایج در تطابق کامل با نتایج به دست آمده توسط Sadeghi et al. (2015) می‌باشد.

در جدول ۴ و ۵ نتایج حاصل از واسنجی مدل تحلیلی قابل مشاهده است. در این مرحله معیار قابل قبول بودن یا نبودن واسنجی کردن مدل این است که قدر مطلق تفاوت ارتفاع مشاهده شده و مدل شده کمتر از ۱۰ درصد ضخامت آبخوان باشد. در ادامه، نتایج حاصل از روش تحلیلی برای زمان‌های انتقال ۲، ۵ و ۱۰ ساله ارائه شده است. در این روش با توجه به کلیه خصوصیات آبخوان نظیر جهت جریان، شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی حریم حفاظتی محاسبه می‌شود و نتایج واقعی‌تری حاصل خواهد شد.

Table 2- The area of protection zone in recharge and volumetric method (ha)

جدول ۲- مساحت حریم حفاظتی در روش تغذیه و حجمی (هکتار)

well	Recharge Method	Volumetric Method (Time of Travel 2 yr)	Volumetric Method (Time of Travel 5 yr)	Volumetric Method (Time of Travel 10 yr)
1 Daran	290.63	2.85	7.13	14.25
2 Daran	419.80	4.12	10.29	20.59
3 Daran	405.69	3.17	7.92	15.84
4 Daran	405.69	3.17	7.92	15.84
5 Daran	547.69	6.51	16.27	32.53
6 Daran	709.96	8.43	21.09	42.17
1 Damane	344.84	2.21	5.53	11.07
2 Damane	263.70	1.69	4.23	8.46

Table 3- Wellhead protection area characteristics in Simplified Variable Shapes (SVS) method (m)

جدول ۳- مشخصات حریم کیفی چاه‌ها به روش اشکال متغیر ساده شده (متر)

well	Flow (m^3/day)	x_1	Y_1	r_x(2 years)	r_x(5 years)	r_x(10 years)	Protection Area (ha)
1 Daran	1010.88	20.53	64.47	275	623	1188	11.58
2 Daran	1460.16	29.66	93.12	291	645	1215	15.84
3 Daran	1123.20	22.81	71.63	280	629	1195	14.13
4 Daran	1123.20	22.81	71.63	280	629	1195	13.44
5 Daran	1516.32	83.32	261.61	236	468	820	29.74
6 Daran	1965.60	108	339.13	256	496	858	37.24
1 Damane	954.72	36.52	114.68	158	325	586	9.61
2 Damane	730.08	27.93	87.70	148	311	568	7.16

Archive of SID
www.SID.ir

Table 4- Statistic summery of modeling

جدول ۴- خلاصه آماری نتایج مدل‌سازی

Parameter	Value
Observations	12
Maximum Difference	5.5
Minimum Difference	-4.1
Average Difference	0
Median Difference	-1.5
Mean Absolute Difference	3.3
Root-Mean-Square Difference	3.5

از طرفی اجرای آن از لحاظ تملک زمین مورد نیاز حریم حفاظتی چاه اقتصادی‌تر خواهد بود. ضمن اینکه در این روش شرایط خاص مانند رودخانه تغذیه کننده آبخوان و مرزهای نفوذناپذیر قابل شبیه‌سازی خواهد بود. بدین ترتیب شرایط پیچیده آبخوان قابل شبیه‌سازی است. مساحت حاصل از زمان‌های انتقال مختلف با استفاده از روش تحلیلی در جدول ۶ ارائه شده است. در شکل ۳ محدوده و شکل حریم‌های حفاظتی شهرستان داران به کمک این روش به عنوان نمونه قابل مشاهده است. در این روش، برخلاف مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی بر مبنای روش‌های عددی (مانند نرم‌افزار MODFLOW)، نیازی به شبکه‌بندی سطح حوضه نمی‌باشد و به جای آن، تنها عوارض ژئولوژیک و هیدرولوژیک در مدل وارد شده که متناظر هر کدام از آن‌ها تابعی تعریف می‌شود. در واقع استفاده از این توابع یکی از مزیتهای روش المان‌های 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 به دست آورد که این نیز بـــه دلیل عدم نیاز به شبکه‌بندی حوضه می‌باشد.

در ادامه برای مقایسه بهتر حریم‌های حفاظتی محاسبه شده توسط هر چهار روش برای زمان انتقال ۵ سال ارائه شده است (شکل ۴). تمامی تصاویر با مقیاس ۱:۶۰۰۰ هستند. همانطور که از تصاویر مشخص است، مساحت تخمین زده شده توسط روش تحلیلی تقریباً در حالت میانه سایر روش‌ها قرار دارد.

در نهایت، می‌توان اذعان داشت در صورتی که اطلاعات کافی وجود داشته باشد، می‌توان با استفاده از روش تحلیلی مدل WhAEM2000 حریم مناسب برای حفاظت از منابع شرب برآورد نمود، به این ترتیب که زمان انتقال ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب به عنوان حریم فوری، حریم اجباری و حریم حمایتی در نظر گرفته شود. همچنین در صورتی که اطلاعات محدودی نظیر دبی پمپاژ از چاه‌ها، عمق چاه یا آبخوان و نوع خاک منطقه در اختیار باشد می‌توان از روش شعاع ثابت محاسبه شده با اعمال ضریب اطمینان برای برآورد حریم حفاظتی برای زمان انتقال‌ها و نواحی ذکر شده در حالت قبل استفاده نمود.

مقایسه مساحت‌های این روش با اعمال ضریب اطمینان با روش المان تحلیلی نشان می‌دهد این روش حدود یک درصد مساحت حریم را بیش‌تر تخمین می‌زند، ولی باید توجه داشت که در روش المان تحلیلی شکل حریم در جهت جریان کشیده می‌شود، در حالی‌که در این روش شعاع ثابتی اطراف چاه منظور می‌شود. بدین ترتیب می‌توان سریع‌ترین روش را برای حفاظت فوری و دقیق‌ترین روش را برای حفاظت اجباری در نظر گرفت.

Table 5- Points used for modeling and the results

جدول ۵- نقاط مورد استفاده در مدل‌سازی و نتایج آن

Name	UTM X	UTM Y	Observed head	Modeled head	Difference
1	450457	3653545	2274.46	2277.14	2.68
2	448284	3651511	2278.45	2274.67	-3.77
3	445888	3647554	2274.23	2271.44	-2.78
4	437014	3650051	2263.27	2267.64	4.37
5	451.64	3657877	2286.58	2282.51	-4.06
6	440856	3648743	2265.76	2269.13	3.37
7	433615	3650109	2269.06	2267.58	-1.48
8	436881	3647417	2269.20	2267.71	5.51
9	455318	3657356	2281.22	2284.93	3.71
10	455998	3654614	2284.92	2283.44	-1.48
11	459493	3655055	2285.85	2283.05	-2.79
12	459589	3652147	2286.68	2278.89	-3.78

Archive of SID
www.SID.ir

Fig. 3- Protection area of Daran's drinking wells with analytic method

شکل ۳- حریم چاه‌های شرب داران به روش تحلیلی

Table 6- Area resulted from the analytic method for 2, 5 and 10 years travel times (ha)

جدول ۶- مساحت‌های روش تحلیلی برای سه زمان انتقال ۲، ۵، ۱۰ ساله (هکتار)

well	Travel time		
	2 years	5 years	10 years
Daran 1and 2	12.02	25.02	33.74
Daran 3	9.99	17.93	23.39
Daran 4	9.96	16.36	21.58
Daran 5 and 6	19.58	39.55	53.21
Damane 1	10.45	22.23	22.76
Damane 2	9.46	15.28	20.34

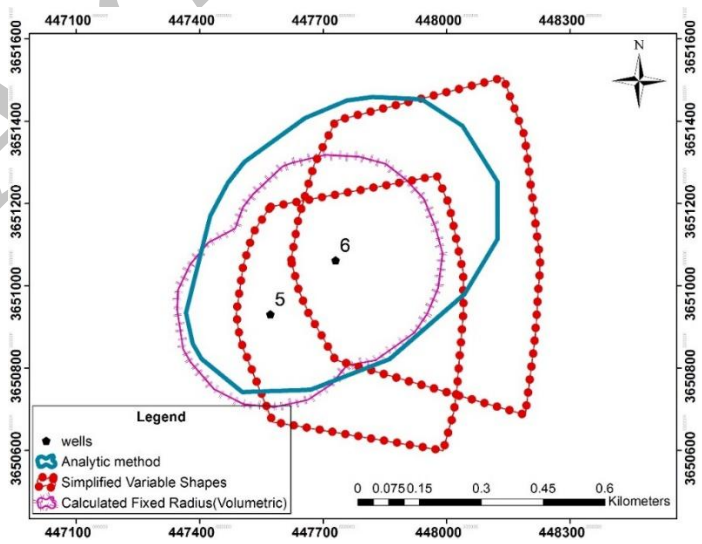

Fig. 4- Different methods of estimating protection area for wells number 5 and 6 in Daran

شکل ۴- روش‌های مختلف برآورد حریم حفاظتی برای چاه‌های ۵ و ۶ داران

Archive of SID
www.SID.ir

همچنین به دلیل اینکه حریم حمایتی محدوده‌ای است که ضریب اطمینان را در حفاظت از منابع افزایش می‌دهد، لکن از طرفی در همه مناطق به دلیل کمبود زمین یا ارزش اقتصادی زمین نمی‌توان آن را اعمال نمود. برای این ناحیه می‌توان حریم ایجاد شده با زمان انتقال ۱۰ سال را در نظر گرفت. Dong et al. (2013) در مطالعه خود به بررسی پنج روش مختلف در تعیین حریم کیفی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد روش المان تحلیلی دارای جواب نزدیک‌تری به مدل عددی MODFLOW- MODPATH می‌باشد، همچنین، در مطالعه مذکور بیان شده است که روش استفاده از فرمول حجمی شعاع ثابت محاسبه شده برای آبخوان‌های که در آن شیب آب زیرزمینی کم باشد مناسب‌تر هستند و در آبخوان‌های با شیب زیاد تا ۸۰ درصد مساحت حریم را کم‌تر تخمین می‌زند که در مجموع با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. به طور کلی مقایسه روش‌های مختلف در این مطالعه با روش المان تحلیلی نشان داد، روش شعاع ثابت محاسبه شده با فرمول حجمی نسبت به روش المان تحلیلی ۵۵ درصد مساحت حریم را کمتر تخمین می‌زند، در حالی‌که با اعمال ضریب اطمینان ۱/۵، مساحت تخمین زده شده ۱ درصد بیش‌تر از روش المان تحلیلی می‌شود. روش اشکال متغیر ساده شده نسبت به روش المان تحلیلی مساحت را ۲۲ درصد کمتر تخمین زدند. باتوجه به بازدید منطقه‌ای که از محل مورد مطالعه انجام شد محدوده‌های تحت پوشش حریم به روش المان تحلیلی برای محدوده حفاظت اجباری ارائه شده‌اند. در این محدوده‌ها لازم است نظارت دقیق بر روی کاربری اراضی صورت گیرد. در حریم حفاظت اجباری چاه‌های ۱ و ۲ داران که کاربری اصلی نواحی اطراف آن مسکونی و دفع فاضلاب از طریق چاه‌های جذبی می‌باشد، پمپ بنزینی نیز واقع شده است. برای چاه شماره ۳ نیز حریم حفاظت اجباری شامل منازل مسکونی، هتل و گلستان شهدای داران می‌شود. چاه‌های ۴ تا ۶ داران نیز در محدوده حریم حفاظتی خود شامل زمین‌های کشاورزی می‌شوند. حریم حفاظتی اجباری برای چاه شماره ۱ و ۲ دامنه شامل شهر زیرزمینی دامنه می‌شود، علاوه بر منازل مسکونی، گلزار شهدا نیز در این ناحیه وجود دارد. با توجه به اینکه مدل WhAEM با درنظر گرفتن خصوصیات ذاتی آبخوان به تعیین حریم حفاظتی می‌پردازد تأثیر کاربری اراضی در مدل‌سازی در نظر گرفته نمی‌شود، این مسأله نشان می‌دهد محدوده برآورد شده توسط این مدل با توجه به خصوصیات آبخوان و بدون در نظر گرفتن آلودگی خاصی باید مورد حفاظت قرار گیرد. علاوه بر این موضوع به دلیل قرار گیری چاه‌های شرب در مناطق با پتانسیل آلوده شدن زیاد تا خیلی زیاد، پیشنهاد می‌گردد که تمهیدات لازم برای حفاظت بهتر و بیشتر از منابع آب شرب صورت گیرد و حتی در مواردی که منبع آلوده‌کننده قابل جابجایی نیست، چاه به محل دیگری منتقل شود.

۳-۱- بررسی تأثیر پارامترها بر شکل و اندازه حریم

طی کاهش و افزایش دبی پمپاژ برای زمان انتقال ۵ سال مشاهده شد با افزایش دبی، مساحت حریم‌ها نه تنها بیش‌تر می‌شود بلکه حریم‌ها پهن‌تر هم می‌شوند از طرف دیگر با کاهش دبی، نیز مساحت حریم‌ها از طریق کم شدن عرض، کم می‌شود. همچنین این تغییرات تأثیر چندانی بر طول حریم نداشت بلکه با تغییر در عرض حریم خود را نشان می‌داد. به طور متوسط با کاهش ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی دبی به ترتیب مساحت حریم به میزان ۴، ۱۱ و ۱۸ درصد کاهش و با افزایش ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی دبی به ترتیب مساحت حریم به میزان ۲، ۱۰ و ۱۸ درصد افزایش می‌یابد. در شکل‌های ۵ و ۶ تغییر شکل حریم به عنوان نمونه برای چاه‌های ۵ و ۶ داران قابل مشاهده است.

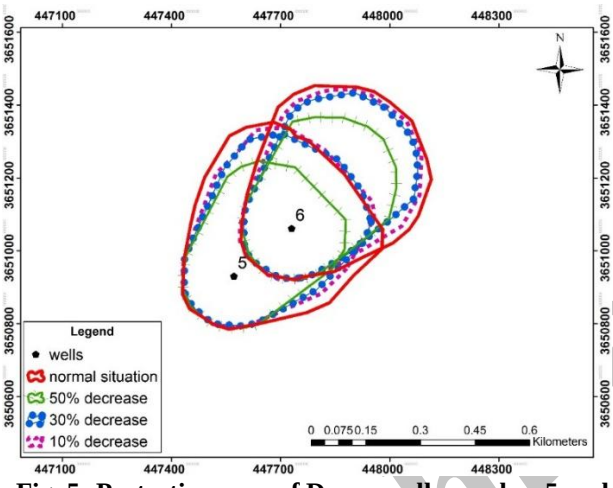

Fig. 5- Protection area of Daran wells number 5 and 6 by decreasing flow

شکل ۵- حریم‌های کیفی با کاهش دبی چاه‌های ۵ و ۶ داران

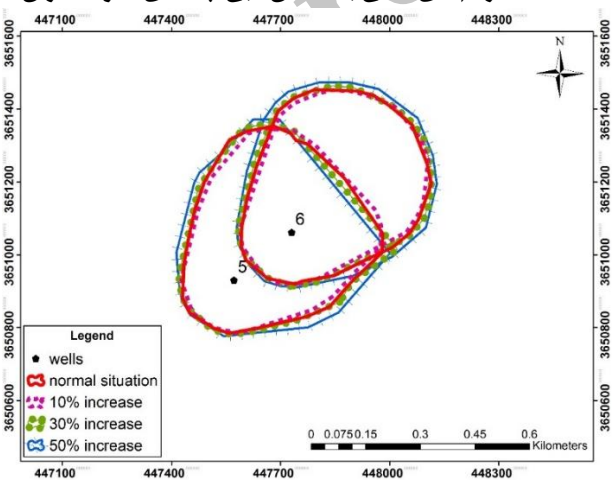

Fig 6- Protection area of Daran wells number 5 and 6 by increasing flow

شکل ۶- حریم‌های کیفی با افزایش دبی چاه‌های ۵ و ۶ داران

Archive of SID
www.SID.ir

تأثیر کاهش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصدی میزان تخلخل مؤثر به ترتیب باعث افزایش ۱۰، ۱۸ و ۵۲ درصدی مساحت و افزایش همین میزان تخلخل مؤثر باعث کاهش ۲، ۱۱ و ۱۸ درصدی مساحت شد. مشاهده می‌شود کاهش تخلخل مؤثر تأثیر بیش‌تری بر مساحت حریم کیفی نسبت به افزایش آن دارد. این مسأله نشان می‌دهد مدل درصورت کاهش این پارامتر سخت‌گیرانه‌تر نسبت به حالت افزایش آن عمل می‌کند و به کاهش آن به صورت مشخص‌تری پاسخ می‌دهد.

همان طور که انتظار می‌رود در صورت افزایش تخلخل میزان مساحت حریم کاهش و در صورت کاهش تخلخل میزان مساحت نسبت به حالت عادی افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل‌های ۷ و ۸ مشخص است با تغییر تخلخل مؤثر شکل حریم از نظر طولی بیش‌تر از عرضی تغییر می‌کند، به عبارت دیگر با افزایش تخلخل مؤثر طول حریم کوتاه و با کاهش آن طول حریم بلند می‌شود. در مقایسه نتایج تحقیق Bhatt (1993) نیز نشان داد که در صورت افزایش تخلخل از ۰/۲ به ۰/۳ و افزایش ضخامت ناحیه اشباع از ۶ به ۹ متر ناحیه حفاظتی به ترتیب به میزان ۴۶۹ و ۲۵۹ هکتار کاهش می‌یابد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داد.

پارامتر دیگری که تأثیر آن بر شکل و مساحت حریم کیفی چاه‌های شرب مورد بررسی قرار گرفت تغذیه آبخوان بود که کاهش و افزایش ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصدی آن نسبت به حالت موجود به طور متوسط به ترتیب سبب کاهش ۷، ۱۰ و ۲۲ درصد و افزایش ۲۳، ۲۸ و ۳۶ درصدی مساحت شد. بدین ترتیب مشاهده می‌شود تأثیر افزایش تغذیه بر بزرگ شدن حریم بیش‌تر از تأثیر کاهش آن بر کوچک شدن حریم می‌باشد. همانطور که از شکل‌های ۹ و ۱۰ مشخص است تأثیر افزایش تغذیه بیش‌تر بر طول حریم است که سبب افزایش آن در بالا دست چاه می‌شود و کاهش تغذیه سبب کم شدن مساحت حریم کیفی و گاهاً افزایش فاصله حریم در جهت پایین دست چاه می‌شود.

نتایج مطالعه Dong et al. (2013) نیز این نکته را تأیید می‌نماید که کاهش تغذیه باعث کاهش اندازه حریم می‌گردد. به طور کلی، در شرایطی که دبی پمپاژ از چاه ثابت باشد، هدایت هیدرولیکی و تغذیه، فاکتورهای مهمی در تعیین حریم حفاظتی می‌باشد. تغذیه جهت و بزرگی جریان را تعیین می‌کند که به ترتیب بر شکل و اندازه ناحیه تغذیه‌کننده تأثیر می‌گذارد. در حالی‌که هدایت هیدرولیکی بزرگی جریان را که تعیین‌کننده اندازه حریم است کنترل می‌کند.

به طور کلی نتایج این مقایسه‌ها نشان داد، در صورتی که کاهش یا افزایش پارامتری وابسته به خصوصیات آبخوان سبب انتقال راحت‌تر آلودگی به چاه شود، روش تحلیلی نسبت به آن تغییر واکنش شدیدتری نشان می‌دهد. به عنوان مثال پاسخ روش تحلیلی به افزایش تغذیه شدیدتر از کاهش آن بود. همین حالت برای کاهش تخلخل نیز مشاهده شد. این مسأله در حالی است که کاهش و افزایش دبی پمپاژ تقریباً تأثیر یکسانی در کاهش و افزایش مساحت حریم‌ها داشت.

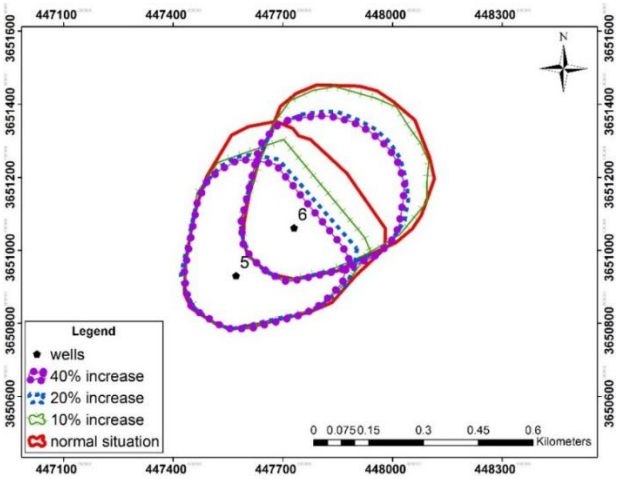

Fig. 7- Protection area of Daran wells number 5 and 6 by increasing effective porosity

شکل ۷- حریم کیفی چاه‌های ۵ و ۶ داران با افزایش تخلخل مؤثر

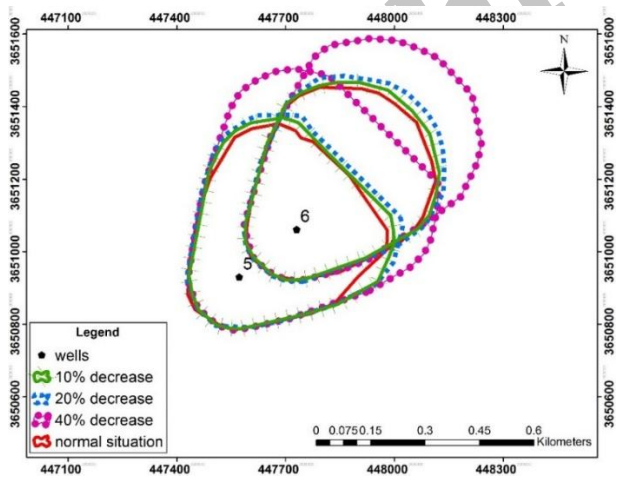

Fig. 8- Protection area of Daran wells number 5 and 6 by decreasing effective porosity

شکل ۸- حریم کیفی چاه‌های ۵ و ۶ داران با کاهش تخلخل مؤثر

Archive of SID
www.SID.ir

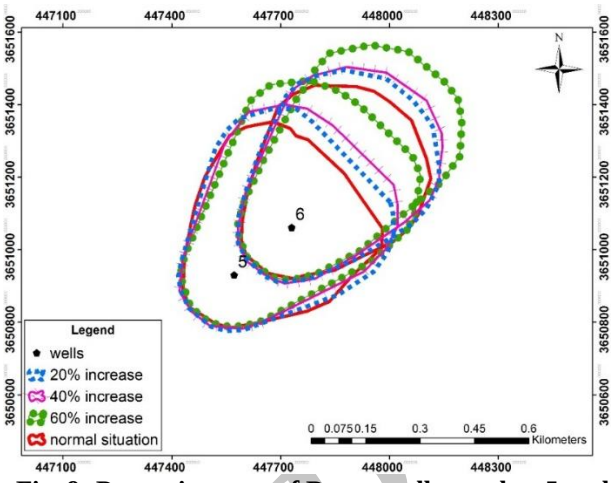

Fig. 9- Protection area of Daran wells number 5 and 6 by increasing aquifer recharge

شکل ۹- حریم‌های کیفی چاه‌های ۵ و ۶ داران با افزایش تغذیه آبخوان

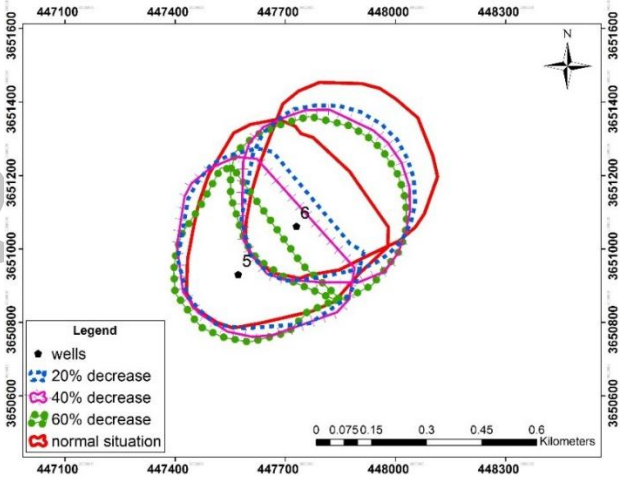

Fig. 10- Protection area of Daran wells number 5 and 6 by decreasing aquifer recharge

شکل ۱۰- حریم‌های کیفی چاه‌های ۵ و ۶ داران با کاهش تغذیه آبخوان

۴- خلاصه و جمع‌بندی

با توجه به نقشه آسیب‌پذیری آبخوان، مشاهده شد بیش‌تر چاه‌های شرب این محدوده مطالعاتی، در نواحی با آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد واقع شده‌اند، به همین دلیل اهمیت تعیین حریم کیفی در این منطقه دو چندان می‌شود؛ چرا که محافظت از چاه در برابر آلاینده‌ها در شرایطی که خود آبخوان به صورت ذاتی دارای پتانسیل آلوده شدن می‌باشد، دشوارتر خواهد بود. علاوه بر آن‌که قرارگیری کاربری‌های نامناسب در نزدیکی چاه سبب آلودگی آب آن می‌شود، قرار گرفتن یک منبع آلودگی به صورت ناگهانی در نزدیکی چاه خطر آلودگی آن را افزایش می‌دهد. لذا توصیه می‌شود ضمن در نظر گرفتن نقشه آسیب‌پذیری آبخوان، کاربری‌های آلوده‌کننده در فاصله مناسب از چاه‌ها قرار گیرند. این فاصله مناسب با روش‌های مختلف قابل محاسبه است. با مقایسه روش‌های مختلف این نتیجه حاصل شد که روش المان تحلیلی محدوده‌ای محافظه کارانه‌تر از روش شعاع ثابت محاسبه شده و مقرون به صرفه‌تر ارائه می‌دهد. به این ترتیب می‌توان سه ناحیه حفاظتی فوری، اجباری و حمایتی چاه‌های این منطقه را با این روش و به ترتیب سه زمان انتقال ۲، ۵ و ۱۰ سال تعیین نمود. بر این اساس، حریم حفاظت اجباری برای چاه‌های شرب این منطقه از ۱۵ هکتار برای چاه شماره ۲ دامنه تا ۲۵ هکتار برای چاه شماره ۱ و ۲ داران در جهت جریان آب زیرزمینی، متغیر بود.

در این تحقیق روش‌های مختلف محاسبه حریم مقایسه شد و وضعیت چاه‌های شرب منطقه از لحاظ رعایت حریم کیفی و وجود منابع خطر بررسی گردید، مناطق پرخطر تعیین شد و افزایش اقدامات حفاظتی و یا جابه‌جایی محل چاه برای آنها پیشنهاد می‌گردد. بر اساس نتایج تحقیق انجام شده توصیه می‌گردد با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی، همانند سایر کشورها طرح و قوانین مدونی در زمینه حفاظت کیفی از منابع با در نظر گرفتن آسیب‌پذیری آبخوان‌ها تصویب و در مرحله اجرا قرار گیرد. به همین دلیل توصیه می‌شود، محدوده‌های پیشنهاد شده برای حریم حفاظتی چاه‌ها پیاده‌سازی شود و با انجام آزمایش‌های مختلف کارایی آن‌ها بررسی گردد. از طرف دیگر آموزش همگانی و آگاهی بخشی به عموم مردم از مواردی است که در حفاظت از منابع زیرزمینی رکنی اساسی به شمار می‌رود.

۶- مراجع

Abrishamchi A (2012) Wellhead protection guide for packaging drinking wells. Department of Water and Wastewater, Ministry of Energy Code-404-a (In Persian)

Akbarpur A, Etebari B, Borznuni S (2011) Groundwater modeling in order to determine wellhead protection area of drinking wells (case study: Birjand). In Proc. of 4th Iran Water Resources Management Conference, 3- May, Tehran (In Persian)

Aller L, Bennett T, lehr J H, Petty R J and Hackett G (1987) DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. United States Environmental Protection Agency, Region 5, Library (PL-12J)

Alizade A, Afshin S, Danesh S (2009) Determination and mapping of wellhead protection of Mashhad

Archive of SID
www.SID.ir

protection defining strategy and setting priorities. The World Bank global partnership associate program, Note 8, Pp 4

Freeze R A and Cherry A J (1979) Groundwater. Prentice Hall Inc, New Jersey, 262- 265

Kraemer S R, Haitjema H M and Kelson V A (2007) Working with WhAEM2000 capture zone delineation for a city well field in a valley fill glacial Outwash aquifer supporting wellhead protection. Office of research and development, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460

Mays L W (2010) Water resources engineering. 2nd ed, John Wiley and Sons, Inc., United State

Sabet Raftar A (2013) Groundwater protection area instruction. Ministry of Energy, Management and Planning Organization, Department of Engineering and Technical Standards of Water and Wastewater, Code-621 (In Persian)

Sadeghi Z, Esmaili K, Kaboli A R (2015) Evaluation and comparison of methods for determining the protection zone of wells using a mathematical model (Case study of Golestan aquifer). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 2(9):335-344 (In Persian)

Safavi H R, Rastghalam M (2017) Solution to the water crisis in the Zayandehrud River basin; joint supply and demand management. Journal of Iran-Water Resources Research, 12(4):12-22 (In Persian)

U. S. Environmental Protection Agency (1989) Wellhead Protection Programs: Tools for Local Governments. Office of Ground-Water Protection, Washington, D.C., EPA 440/6-89-002

Zamani N (2016) Groundwater protection using vulnerability map with fuzzy clustering method and determining wellhead protection area of Damaneh-Daran aquifer's drinking wells. Water Recourses Engineering M. Sc. thesis, Isfahan University of Technology (In Persian)

drinking wells. Geographical Research 92(1):109-127 (In Persian)

Badv K (2005) Fundamentals of capture zone calculation for qualitative protection of urban drinking water wells. Esteghlal 23(2):77-91(In Persian)

Badv K, Mollaie M (2005) Standards and methods of wellhead protection delineation- case study for number 33 drinking well of Uremia. First national civil engineering conference, 3-4 May, Tehran (In Persian)

Barry F, Ophori D, Hoffman J and Canace R (2009) Groundwater flow and capture zone analysis of the central Passaic river basin, New Jersey, Environ Geol, 56:1593- 1603

Bhatt K (1993) Uncertainty in wellhead protection area delineation due to uncertainty in aquifer parameter values. J. Hydrology 149:1- 8

Delkhahi B, Asadian F (2011) Review of effective factors on drinking wellhead protection area using numerical mathematical model (Case study: Yaftabad district, City of Tehran). Journal of Iran-Water Resources Research, 7(3):89-94 (In Persian)

Delkhahi B, Khodaei K, Asadian F (2013) A comparison of delineation methods for wellhead protection area case study: drinking wells of Hamedan city. Journal of Iran-Water Resources Research, 9(2):27-41 (In Persian)

Dong,Y, Xu H, Li G (2013) Wellhead protection area delineation using multiple methods: a case study in Beijing. Environ Earth Sci, 70:481- 488

Ferrante M, Mazzetti E, Fiori A, Burini M, Fioriti B, Mazzoni A, Schiro G, Vacca G, Brunone B, Meniconi S, Capponi C (2015) Delineation of wellhead protection areas in the Umbria region. 2. Validation of proposed procedur. Procedia Environ Sci, 25:96-103

Foster S, Gardufio H, Kemper K, Tuinhof A, Zanni M and Dumars C (2004) Groundwater quality

Archive of SID

www.SID.ir