



Technical Note

یادداشت فنی

Review of Effective Factors on Drinking
Wellhead Protection Area Using Numerical
Mathematical Model
(Case Study: Yaftabad District, City of
Tehran)

مروری بر عوامل موثر بر حریم حفاظتی چاه‌های شرب با
استفاده از مدل ریاضی عددی
(مطالعه موردی منطقه یافت آباد تهران)

B. Delkhahi^{1*} and F. Asadian²

بهزاد دلخواهی^{۱*} و فرهاد اسدیان^۲

Abstract

Delineation of the wellhead protection area for drinking water wells is an effective method to manage and protect water supply resources. The current study focused on the effects of the aquifer's hydraulic features on the shape of each well's protecting area and the capture zone. A mathematical simulation is performed for YaftAbad district in Tehran metropolitan area using the data for 24 drinking water wells. Based on the results, the hydraulic gradient around each well and the hydraulic conductivity of the aquifer, among other parameters, have a direct correlation with the length of each well's upstream length. Also, both the aquifer's effective porosity and thickness, has an inverse correlation with the size of each protection area. The study showed that the convergence of groundwater flow lines around each well causes the well to receive same amounts of water from around itself that leads to a symmetric shape of wellhead protection area.

Keywords: Wellhead protection area, Capture zone, Numerical mathematical model, Hydraulic conductivity.

Received: December 13, 2009

Accepted: July 26, 2011

چکیده

تعیین حریم حفاظتی برای چاه‌های شرب روش موثری جهت حفاظت و مدیریت منابع تامین‌کننده آب می‌باشد. این مطالعه با استفاده از داده‌های ۲۴ چاه شرب و انجام شبیه‌سازی ریاضی در منطقه یافت آباد تهران انجام شده است و بر اثرات ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان بر شکل حریم حفاظتی و ناحیه تسخیر هر چاه تمرکز داشته است. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی و از میان کلیه پارامترها، مقدار گرادیان هیدرولیکی و همچنین هدایت هیدرولیکی آبخوان در اطراف هر چاه دارای همبستگی مستقیم با طول بالادست حریم حفاظتی آن چاه می‌باشند. همچنین تداخل موثر و ضخامت آبخوان دارای همبستگی معکوس با اندازه حریم حفاظتی چاه می‌باشند. این مطالعه نشان داد که همگرایی خطوط جریان آب زیرزمینی در اطراف هر چاه باعث می‌شود که چاه مقادیر آب یکسانی از اطراف دریافت نموده و حریم حفاظتی چاه شکل متقارنی داشته باشد.

کلمات کلیدی: حریم حفاظتی چاه، ناحیه تسخیر، مدل ریاضی عددی، هدایت هیدرولیکی.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۲ آذر ۱۳۸۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۴ مرداد ۱۳۹۰

1- M.Sc in hydrogeology, Tehran Regional Water Authority, Tehran, Iran.
Email: behzad.delkhahi@gmail.com

2- Research Instructor, Research Institute of Applied Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: farhad.asadian@gmail.com

*- Corresponding Author

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی - آبشناسی، شرکت آب منطقه‌ای تهران، تهران، ایران

۲- مربی پژوهشی پژوهشگاه علوم پایه کاربردی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*- نویسنده مسئول

۲-۱- منطقه مورد تحقیق

منطقه مورد مطالعه، محدوده یافت آباد، با طول جغرافیایی بین $۱۵^{\circ} ۵۱'$ و $۲۰^{\circ} ۵۱'$ و عرض جغرافیایی بین $۴۰^{\circ} ۳۵'$ و $۴۵^{\circ} ۳۵'$ ، در جنوب غرب شهر تهران و بر روی آبرفت‌های عهد حاضر واقع شده است. این منطقه از شمال به جاده مخصوص کرج، از غرب به جاده شهریار، از شرق به بزرگراه آیت الله سعیدی و از جنوب به بزرگراه آزادگان و آزاد راه تهران - ساوه محدود می‌گردد (شکل ۱). از نظر زمین شناسی آبرفت محدوده مورد مطالعه جزء سازند آبرفتی تهران یا آبرفت‌های سری C بوده که از نهشته‌های سیلابی و رودخانه‌ای جور نشده تشکیل شده و به سبب داشتن سیمان سست میان قلوها، از نفوذ پذیری بالایی برخوردار است (Riben, 1966). در حال حاضر تعداد ۲۴ حلقه چاه عمیق وظیفه تامین آب شرب بخش عمده‌ای از منطقه مذکور را به عهده دارند. آبدهی چاه‌های مورد مطالعه بین ۳۵ تا ۱۷۲ لیتر در ثانیه می‌باشد. عمق این چاه‌ها که اکثراً تا رسیدن به سنگ کف حفر شده اند، بین ۱۸۰ تا ۲۷۵ متر متغیر است. ضخامت آبخوان در محدوده چاه‌های مورد مطالعه بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ متر، عمق برخورد به آب زیرزمینی مابین ۸۰ الی ۱۰۰ متر و ضریب قابلیت انتقال آبخوان بین ۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰ متر مربع بر روز می‌باشد.

۲-۲- روش تحقیق

به منظور تکمیل آمار آبدهی چاه‌های شرب مورد تحقیق، چاه‌های مذکور در چهار نوبت طی سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ مورد بازدید قرار گرفته و آبدهی لحظه‌ای آنها با استفاده از کنتورهای حجمی نصب شده بر روی لوله آبده اندازه‌گیری گردید. از متوسط آبدهی لحظه‌ای اندازه‌گیری شده، در مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی و ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب مورد مطالعه استفاده شده است.

به منظور تهیه مدل جریان آب زیرزمینی، ابتدا کلیه داده‌های سطح آب زیرزمینی، پارامترهای هیدرولیکی و عناصر تغذیه و تخلیه آبخوان از منابع مختلف جمع‌آوری، تصحیح و جهت ورود به مدل آماده گردید. در مرحله بعد پس از انتخاب ابعاد شبکه و شرایط مرزی مناسب، آبخوان منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار GMS^۵ (گروه مهندسی Aquaveo) با استفاده از برنامه مدل‌سازی MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988) شبیه‌سازی گردید. سپس جهت ترسیم نواحی تسخیر چاه‌های شرب منطقه یافت آباد با زمان حرکت ۵۰ روز، ۲ و ۱۰ سال، از برنامه کامپیوتری MODPATH

حفاظت کیفی از منابع آب زیرزمینی شهرها که برای تامین آب شرب استحصالی از چاه‌ها نقش دارند، امروزه از مسئولیت‌ها و دغدغه‌های فکری متولیان تامین و توزیع آب شرب کشور محسوب می‌شود. از آنجایی که بیشتر آلاینده‌ها بطور مستقیم یا غیر مستقیم از سطح زمین وارد سیستم آب زیرزمینی می‌شوند، انتخاب یک روش مناسب به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی می‌بایست در بر گیرنده تعیین نواحی تامین کننده آب برای چاه‌های شرب و سپس اعمال محدودیت‌های کاربری اراضی و حفاظتی در داخل این نواحی باشد. محدوده‌ای از آبخوان که آب مورد نیاز یک چاه در حال پمپاژ را تامین نموده و آلاینده‌ها از طریق آن می‌توانند وارد سیستم آب زیرزمینی شده و نهایتاً به چاه برسند ناحیه تسخیر^۱ یا ناحیه مشارکت^۲ نامیده می‌شود. در شرایط طبیعی، ناحیه تسخیر به فاصله اندکی از پائین دست هیدرولیکی چاه شروع شده و به سمت بالا دست جریان آب زیرزمینی و تا مرزهای هیدرولوژیکی توسعه می‌یابد. در کاربردهای عملی معمولاً قسمت بالا دست ناحیه تسخیر را توسط معیار زمان حرکت^۳ محدوده می‌کنند و در واقع، تنها بخشی از ناحیه تسخیر را که در آن ذرات آب یا آلاینده در طی زمانی مشخص به چاه خواهند رسید را در نظر می‌گیرند و به آن، حریم حفاظتی چاه^۴ می‌گویند. اندازه و شکل حریم حفاظتی چاه به ویژگی‌های هیدرولیکی مواد تشکیل دهنده آبخوان، میزان برداشت از آبخوان، فاصله از منابع آبی مجاور، مرزها و جهت جریان آب زیرزمینی بستگی دارد. (Rahman and Shahid (2008) از مدل عددی جهت ترسیم حریم حفاظتی هفت حلقه چاه در نزدیکی شهر داکا در کشور بنگلادش استفاده نموده‌اند. در این تحقیق اثرات شرایط مرزی جریان آب زیرزمینی بر حریم حفاظتی بررسی گردیده است. (Moinante and Lobo Ferreira (2005) ضمن استفاده از روش‌های تحلیلی جهت ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب دهکده‌ای در کشور پرتغال، از روش‌های گرافیکی و آماری جهت بررسی اثرات تغذیه سطحی آبخوان و اثر میزان برداشت از چاه بر شکل حریم حفاظتی استفاده نموده‌اند و در نهایت رابطه مستقیم این دو پارامتر با اندازه حریم حفاظتی را نتیجه گرفتند. در تحقیق حاضر با بهره‌گیری از داده‌های مربوط به چاه‌های شرب منطقه یافت آباد تهران، ضمن ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های مذکور به کمک مدل ریاضی عددی، تاثیر ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان و سیستم آب زیرزمینی بر اندازه و شکل حریم حفاظتی چاه با استفاده از نتایج شبیه‌سازی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

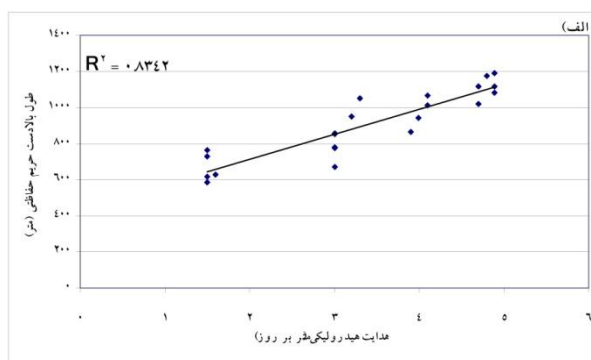
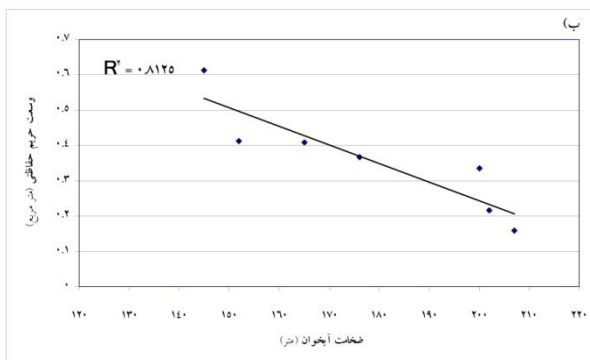
و انکسار و در نتیجه تغییر جهت خطوط جریان آب زیر زمینی در مرز دو ناحیه می‌گردد. چنین وضعیتی در شکل ۳ نشان داده شده است. تخلخل موثر مواد تشکیل دهنده آبخوان رابطه معکوس با اندازه ناحیه تسخیر چاه دارد. به طوریکه افزایش آن سبب کاهش اندازه ناحیه تسخیر می‌شود. این مسئله در حریم حفاظتی ۱۰ ساله چاه شماره ۲ کاملاً مشهود می‌باشد. بطوریکه بخش انتهایی حریم حفاظتی این چاه، به دلیل واقع شدن در ناحیه با تخلخل بیشتر، کشیده‌تر و کوچکتر از بخش ابتدایی آن می‌باشد (شکل ۴).

ضخامت آبخوان نیز دارای رابطه معکوس با اندازه حریم حفاظتی چاه می‌باشد. در شکل ۲ وجود همبستگی معکوس بین این دو پارامتر نشان داده شده است. گرادیان هیدرولیکی بالا همانند هدایت هیدرولیکی، باعث کشیدگی و باریک شدن حریم‌های حفاظتی می‌شود. بطور مثال در چاه‌های شماره ۱ و ۲ یافت آباد، افزایش گرادیان هیدرولیکی از حدود ۹ در هزار در محل چاه‌ها، به بیش از ۳۰ در هزار به سمت شمال منطقه، باعث کشیده و باریک‌تر شدن حریم‌های حفاظتی شده است (شکل ۵).

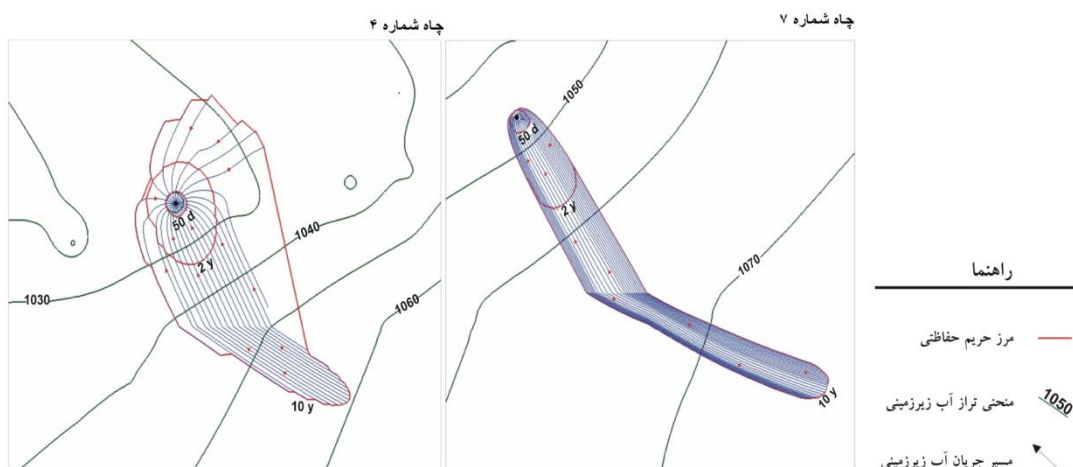
(Pollock, 1989) استفاده گردید. این برنامه مسیر حرکت ذرات آب یا آلاینده برای هر چاه شرب را ترسیم می‌کند که در واقع این مسیرهای حرکت ذرات، ناحیه تسخیر چاه را مشخص می‌کنند. پس از ترسیم نواحی تسخیر و حریم‌های حفاظتی چاه‌های مورد مطالعه، تاثیر پارامترهای هیدرولیکی آبخوان و جریان آب زیرزمینی بر اندازه و شکل حریم‌های حفاظتی ترسیم شده، با استفاده از نتایج شبیه‌سازی مدل عددی، مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

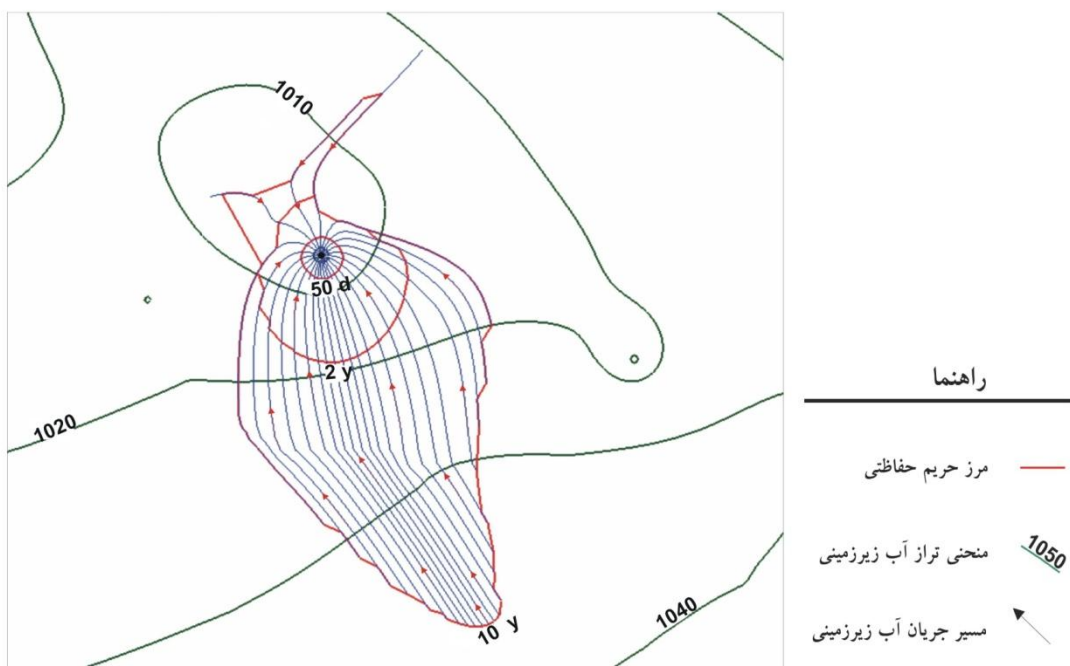
براساس مطالعات انجام شده (Moinante and Lobo Ferreira, 2005) هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال بالای آبخوان سبب کشیدگی و باریک شدن حریم حفاظتی چاه می‌شود. به منظور بررسی این موضوع، در شکل ۲ رابطه طول بخش بالا دست حریم حفاظتی چاه‌های شرب منطقه یافت آباد تهران با هدایت هیدرولیکی آبخوان منطقه نشان داده شده است. ضریب همبستگی حاصل بیان‌گر وجود یک روند خطی بین این دو پارامتر می‌باشد. علاوه بر وجود ارتباط مستقیم بین هدایت هیدرولیکی آبخوان با طول بالادست حریم حفاظتی، واقع شدن حریم حفاظتی چاه در نواحی با هدایت هیدرولیکی متفاوت، باعث شکستگی



شکل ۲- ارتباط اندازه حريم حفاظتي با الف) هدايت هيدروليكي و ب) ضخامت آبخوان



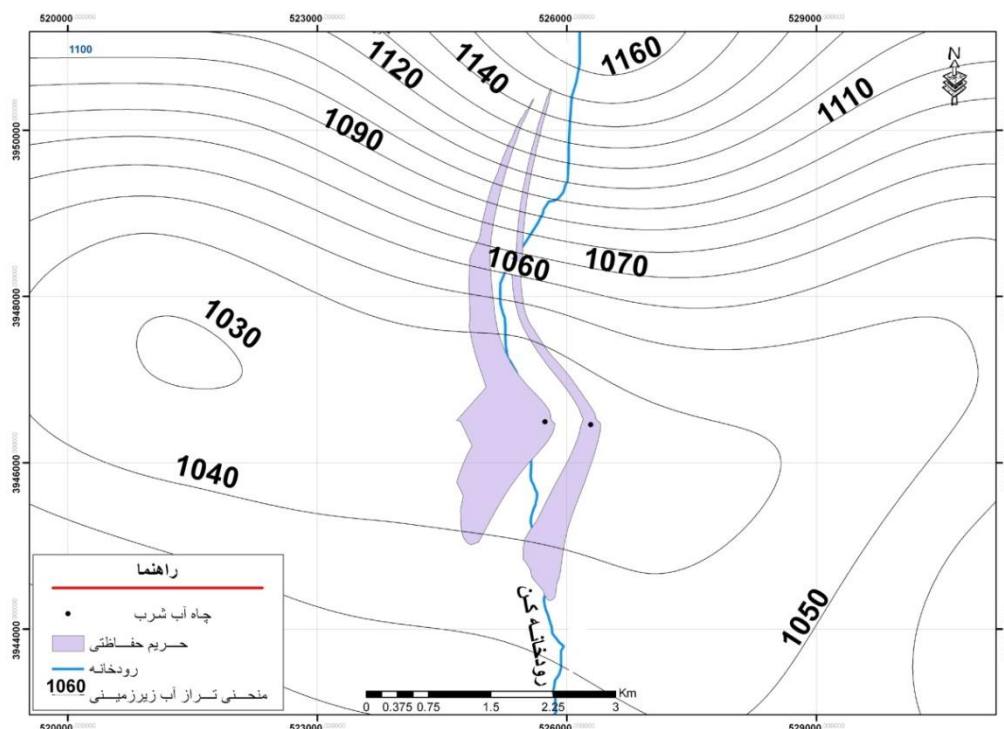
شکل ۳- شکستگی خطوط جریان در محل تغيير هدايت هيدروليكي آبخوان (چاه‌های شماره ۴ و ۷)



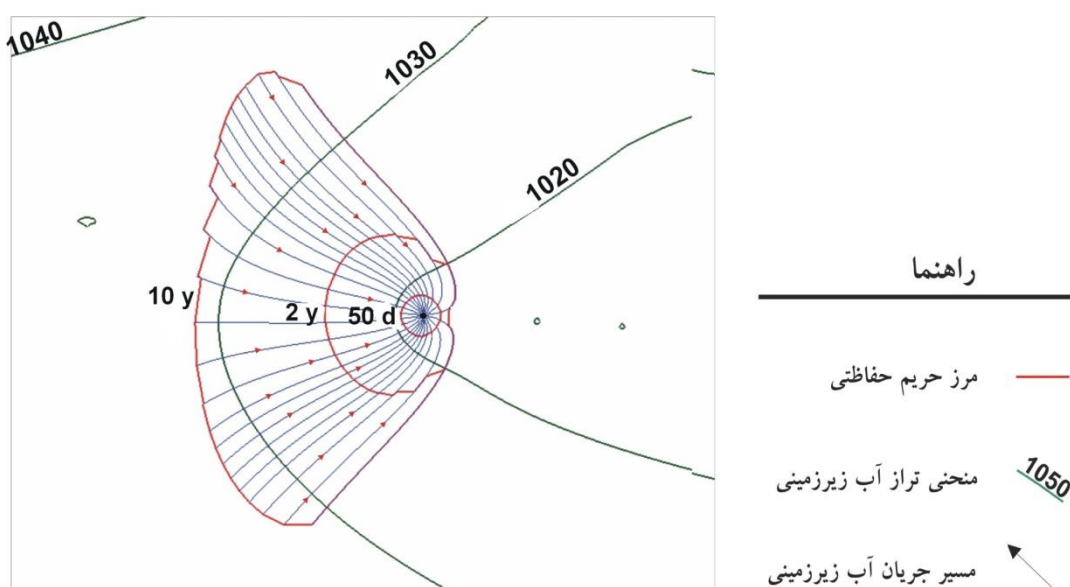
شکل ۴- تاثير تداخل موثر بر حريم حفاظتي چاه شماره ۲

منحنی‌های تراز آب زیرزمینی و در نتیجه همگرا شدن خطوط جریان، چاه از پیرامون خود به مقدار یکسانی آب دریافت می‌کند که این امر باعث متقارن شدن شکل حریم حفاظتی چاه می‌شود. چنین وضعیتی در چاه شماره ۱ کاملاً مشهود است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد چاه از شمال و جنوب خود تقریباً به مقدار برابری آب دریافت می‌کند که این مسئله سبب متقارن شدن حریم حفاظتی آن شده است.

جهت‌یابی حریم حفاظتی تابع جهت جریان آب زیرزمینی است به طوری که حریم حفاظتی در خلاف جهت جریان آب زیرزمینی گسترش می‌یابد. متفاوت بودن تعداد و تمرکز مسیرهای جریان در نقاط مختلف حریم حفاظتی، بیانگر میزان متفاوت جریان ورودی از جهات مختلف به داخل چاه است. در صورت وجود یک منبع آلودگی در مسیر جریان غالب آب زیرزمینی، آلاینده‌ها با مقدار و سرعت بالاتری به چاه خواهند رسید. در برخی مواقع به دلیل بسته بودن



شکل ۵- تاثیر گرادیان هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی بر حریم حفاظتی چاه‌های شماره ۱ و ۲



شکل ۶- تاثیر همگرایی خطوط جریان آب زیرزمینی بر شکل حریم حفاظتی چاه شماره ۱

۴- نتیجه گیری

براساس نتایج از طریق شبیه سازی سیستم جریان آب زیرزمینی منطقه یافت آباد تهران و ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های منطقه مورد مطالعه، تاثیر ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان بر اندازه و شکل حریم حفاظتی مورد بررسی قرار گرفت. براین اساس، هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال و گرادیان هیدرولیکی بالا، سبب کشیدگی و نازک شدن حریم حفاظتی چاه می‌شود. ضخامت آبخوان و تخلخل موثر دارای رابطه معکوس با اندازه حریم حفاظتی چاه می‌باشند. در برخی مواقع به دلیل بسته بودن منحنی‌های تراز آب زیرزمینی و در نتیجه همگرا شدن خطوط جریان، چاه از پیرامون خود به مقدار یکسانی آب دریافت می‌کند که این امر باعث متقارن شدن شکل حریم حفاظتی چاه می‌شود.

پی نوشتها

- 1- Capture zone
- 2- Zone of contribution
- 3- Time of travel
- 4- Well Head Protection Area
- 5- Ground water Modeling System
- 6- Path lines

۵- مراجع

- McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W. (1988), "A modular three dimensional finite difference groundwater flow model," *Techniques of water resources investigations*, 06-A1, USGS, 576p.
- Moinante, M. J. and Lobo-ferreira, J. P. (2005) "On wellhead protection assessment methods and a case-study application in Montemor-o-Novo, Portugal," *The fourth inter-celtic colloquium on hydrology and management of water resources*, pp. 21-34.
- Pollock, D.W. (1989), "Documentation of computer programs to complete and display pathlines using results from the U.S. Geological survey modular three dimensional finite difference groundwater model," *USGS*, open file report 89-381, 81p.
- Rahman, M., and Shahid, SH. (2008), "Modeling Groundwater Flow for the Delineation of Wellhead Protection Area around a Water-well at Nachole of Bangladesh," *Journal of Spatial Hydrology*, Vol.4, No.1, pp 13-22.
- Rieben, H. (1966), "Geological observations on alluvial deposits in northern Iran," *Geology survey of Iran, REP*. Vol.22, No.9, 40. p., 10 fig., 1 pl.