Wellhead Area Delineation Methods

Badv, K.

Assist. Prof., Dept. of Civil Eng., Urmia University

Abstract

In this paper, methods and scientific fundamentals of the wellhead area delineation for the quality control of the drinking water resources in the cities, have been presented. At first, the available literature on criteria and methods of wellhead area calculation has been introduced. Then, the characteristics of each method has been evaluated by performing some calculations for drinking water well number 20 in Urmia City. At the end, the wellhead area of well number 20, along with the contaminant plume for a wastewater well near well number 20 were calculated using the computer code WHPA and the hydrogeologic data. The results of this study showed that if reliable hydrogeologic data are available, the semianalytical-numerical methods of the wellhead area delineation, have acceptable applicability for the users in the water industry.

روش‌های محاسبه‌ی حریم بهداشتی چاه

(دریافت ۸۱/٤/۲۵ پذیرش ۸۱/۱۱/۲)

کاظم بدو*

چکیده

در این مقاله روش‌ها و مبانی علمی محاسبه حریم بهداشتی چاه‌ها برای حفاظت کیفیت از منابع آب شرب در شهرها ارائه شده است. ابتدا با استفاده از منابع علمی موجود معیارها و روش‌های مختلف محاسبه حریم معرفی شده‌اند. سپس ویژگی هر کدام با انجام محاسبات برای چاه آب‌رسانی شماره ۲۰ شهر ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در خاتمه با استفاده از کد کامپیوتری WHPA و داده‌های هیدروژئولوژیک، حریم بهداشتی چاه شماره ۲۰ به همراه جبهه آلودگی برای یک چاه فاضلاب در حوالی این چاه محاسبه شده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که در صورت فراهم بودن اطلاعات قابل اعتماد هیدروژئولوژیک، روش‌های محاسباتی-عددی تعیین حریم، از کارایی قابل قبول برای رفع نیازهای کاربران برخوردار هستند.

کلمات کلیدی : چاه‌های آب شرب، حفاظت کیفی، حریم بهداشتی، هیدروژئولوژی.

مقدمه

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، یعنی سازمان‌های آب منطقه‌ای و شرکت‌های آب و فاضلاب کشور، محسوب می‌شود. در این راستا، محاسبه بهینه و دقیق حریم‌ها با استفاده از مبانی علمی از اهمیت بالایی 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. تعریف مبانی علمی و شناسایی و ارائه‌ی معیارها و روش‌های محاسبه‌ی حریم با انجام محاسبات حریم برای یکی از چاه‌های آب شرب شهر ارومیه در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است.

تعریف حریم بهداشتی چاه

در منابع علمی از حریم بهداشتی چاه به نام‌های ناحیه‌ی تسخیر[1]، ناحیه‌ی مشارکت[2] و ناحیه‌ی حفاظت سرچاهی[3] نیز نام برده می‌شود. به اختصار، ناحیه حریم بهداشتی همان ناحیه سطحی و یا زیر سطحی اطراف چاه است که در هنگام پمپاژ، آب چاه را تأمین کرده و از این ناحیه مواد آلاینده می‌توانند به طرف چاه حرکت کنند و به آب داخل چاه برسند [۲]. پمپاژ از چاه، تعادل طبیعی زیر سطحی را به هم می‌زند و موجب پایین آمدن سطح آب زیرزمینی در اطراف چاه می‌شود. این تأثیر که به صورت افت تراز آب زیرزمینی است، در ناحیه تأثیر چاه[4] اتفاق افتاده و مخروط افت[5] نامیده می‌شود. در اطراف چاه ناحیه دیگری به نام ناحیه مشارکت (ZOC) وجود دارد که شامل تمام نواحی است که در تغذیه آب چاه مشارکت دارند. قسمتی از ناحیه تأثیر چاه در داخل ناحیه مشارکت قرار می‌گیرد. اگر حرکت آب زیرزمینی به داخل چاه در مدت زمان معینی مد نظر باشد، ناحیه مشارکت کننده در تأمین آب چاه در این مدت معین، ناحیه انتقال[6] نامیده می‌شود که در واقع شامل قسمتی از ناحیه مشارکت است.

معیارها و روش‌های محاسبه حریم بهداشتی چاه

نظریه‌ها و استانداردهای مفهومی که روش‌های تعیین حریم بهداشتی بر اساس آن‌ها تعریف می‌شود، معیار نامیده

*استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه ارومیه

1 Capture Zone
2 Zone of Contribution, ZOC
3 Wellhead Protection Area, WHPA
4 Zone of Influence, ZOI
5 Cone of Depression
6 Zone of Transport ZOT

می‌شود. در بررسی منابع، پنج معیار اصلی شناسایی گردیدند، که عبارت‌اند از : معیار فاصله، معیار افت، معیار زمان حرکت، معیار مرزهای جریان و معیار ظرفیت لایه آبدار برای جذب و کاهش آلودگی[1] [۳]. پس از انتخاب معیار، روش تعیین حریم برای محاسبه و ترسیم حریم روی نقشه و سپس در زمین باید انتخاب شود. پنج روش برای تعیین حریم شناسایی شده‌اند [۳] که به ترتیب از روش ساده وکم هزینه تا روش پیچیده و پرهزینه عبارت‌اند از : روش شعاع فرضی و محاسبه شده[2]، روش شکل‌های متغیر ساده شده[3]، روش‌های محاسباتی(تحلیلی)، روش ترسیم نقشه‌های هیدروژئولوژیک و روش مدل‌های عددی جریان-انتقال.

نقش میکروب‌ها و ویروس‌ها در حریم بهداشتی چاه

برای قرن‌های طولانی وجود و بقای میکروارگانیزم‌های پاتوژنی در آب زیرزمینی و حفاظت آب آشامیدنی استحصالی از این منابع، یکی از نگرانی‌های اصلی بوده و هست. در لایه‌های خاک نیمه اشباع عمیق و در صورت وفور اکسیژن در این لایه‌ها، باکتری‌ها می‌توانند برای مدت بیشتر از شش ماه نیز زنده بمانند. پاتوژن‌ها در اثر عوامل فیزیکی (مانند درجه‌ی حرارت)، بیولوژیکی و شیمیایی می‌توانند در داخل خاک پس از مدتی از بین بروند. درجه‌ی حرارت زیاد، pH حدود ۷، اکسیژن کم و وجود مقادیر زیاد کربن آلی در خاک سرعت حذف باکتری‌های پاتوژنی را افزایش می‌دهد. حذف عناصر میکروبیولوژیک در خاک و آب زیرزمینی به نوع این عناصر بستگی دارد. به عنوان مثال، باکتری کلیفرم پس از مدت کمتر از ۸ روز به میزان ۹۹/۹ درصد حذف می‌شود در صورتی که E.Coli به پنجاه روز نیاز دارد تا به همان میزان حذف شود [٤]. ویروس‌ها در اعماق و فواصل افقی نسبتاً طولانی در زمین می‌توانند حرکت کنند. به عنوان مثال، حرکت بعضی از ویروس‌ها در عمق ٦٧ متری و حرکت افقی به طول ٤٠٨ متر توسط تعدادی از محققین گزارش شده است [٥]. مطالعات فراوانی روی عوامل تأثیرگذار در بقای ویروس‌ها در آب زیرزمینی انجام پذیرفته است. این مطالعات نشان می‌دهد که درجه حرارت یکی از پارامترهای مهم در این ارتباط است. هم‌چنین مطالعات نشان داده است که ویروس‌ها در آب چاه، دارای طول عمر بیشتری نسبت به آب‌های سطحی هستند و ۰/۱ درصد ویروس‌های هپاتیت[4]، پولیو[5] یا اینترو[6] می‌توانند تا بیشتر از ۱٤۰ روز در آب زیرزمینی زنده بمانند که این مدت بسیار طولانی‌تر از مدت زنده ماندن باکتری E Coli است. در درجه حرارت زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد ویروس پولیو می‌تواند به مدت بیش از ۲۵۰ روز نیز زنده باشد [٦]. براساس یافته‌های محققین در کشورهای اروپایی توصیه می‌شود که زمان تأخیر ۵۰ تا ٦۰ روز و هر جا که ممکن باشد تا یکسال برای حفاظت آب چاه‌ها از ویروس‌ها و باکتری‌های پاتوژنی در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، زمان تأخیر ۵۰ روز به این معنی است که ۵۰ روز طول می‌کشد که ویروس رها شده در داخل زمین قبل از مردن، از یک نقطه در اطراف چاه به چاه برسد. ضمناً یک حداقل فاصله ۱۰۰ متر به صورت شعاعی در اطراف چاه به عنوان ناحیه حریم بهداشتی برای حفاظت از ویروس‌ها و باکتری‌ها توصیه شده است. این توصیه‌ها نتیجه مطالعات گسترده چندین ساله روی حرکت و بقای ویروس‌ها و باکتری‌ها در آب‌های زیرزمینی است [٤].

محاسبه حریم بهداشتی چاه شماره‌ی ۲۰ ارومیه با روش‌های شعاع ثابت

این روش‌ها برای محاسبات اولیه حریم چاه به طور تقریبی و قبل از محاسبات حریم با روش‌های دقیق‌تر می‌تواند استفاده می‌شود. در این روش‌ها از معادلات ساده حرکت آب زیرزمینی به طرف چاه در یک مدت زمان انتقال مشخص استفاده می‌شود. در این‌جا دو روش ساده به نام‌های روش جریان حجمی[7] و روش معادله غیر تعادلی تایس[8] به صورت مثال‌هایی از محاسبه حریم برای چاه آبرسانی شماره‌ی ۲۰ ارومیه ارائه می‌شود. جدول ۱ اطلاعات چاه و داده‌های هیدروژئولوژیک منطقه استقرار

[1] Capacity of the Aquifer to Assimilate Contaminants
[2] Fixed Radius Arbitrary and Calculated
[3] Simplified Variable Shapes
[4] Hepatitisvirus
[5] Poliovirus
[6] Enterovirus
[7] FDER
[8] Theis

چاه را نشان می‌دهد. در روش FDER حجم استوانه‌ای از آب در اطراف قسمت مشبک چاه محاسبه و سپس شعاع استوانه که همان شعاع حریم چاه خواهد بود، محاسبه می‌شود. معادلات مربوطه به صورت زیر است:

$$Qt+ = n\pi HR^2 \qquad (۱)$$

$$r = \sqrt{\frac{Qt}{\pi nH}} \qquad (۲)$$

در این معالات Q دبی پمپاژ (مترمکعب در ساعت)، t مدت زمان انتقال (ساعت)، n درجه پوکی (تخلخل) آبخوان زیرزمینی، H ارتفاع قسمت مشبک چاه (متر)، r شعاع استوانه یا شعاع حریم بهداشتی (متر) و π=۳/۱٤ می‌باشد. با استفاده از این روش، شعاع حریم برای چاه شماره‌ی ۲۰ ارومیه برابر ۸۵۳/۷ متر محاسبه می‌شود. اگر مدت زمان انتقال یک‌سال و ارتفاع قسمت مشبک چاه ۳۰ سانتی‌متر افزایش یابد، شعاع حریم به ۲۲۰ متر کاهش می‌یابد. در روش تایس داده‌های زمان- افت سطح آب توسط آزمایش پمپاژ برای چاه مورد نظر به دست آمده [۷]و سپس روی منحنی تایس ثبت و از روی آن ضریب قابلیت انتقال (T) و ضریب ذخیره (S) برای سفره آب زیرزمینی مورد نظر به دست می‌آید. معادلات استفاده شده عبارت‌اند از :

$$r = \sqrt{\frac{4uTt}{S}} \qquad (۳)$$

$$W(u) = \frac{4\pi Ts}{Q} \qquad (٤)$$

در این معادلات r شعاع حریم بهداشتی چاه (متر)، t مدت زمان رسیدن به حالت تعادل در آزمایش پمپاژ (ساعت)، S افت سطح آب زیرزمینی در فاصله حداکثر شعاع تأثیر چاه W(u) تابع چاه، u پارامتر بی بعد مربوط به تابع چاه که از جدول تایس برای W(u) مورد نظر استخراج می‌شود، و بقیه پارامترها نیز قبلاً تعریف شده‌اند. با توجه به داده‌های جدول ۱ برای چاه شماره‌ی ۲۰ ارومیه تابع چاه W(u) برابر ۰/۰٦۸٦، پارامتر u برابر ۱/۸۸۵، و در نهایت شعاع حریم چاه (r) برابر ۷۹۲/٦ متر محاسبه می‌شود. این مقدار حریم با مقدار حریم محاسبه شده با روش FDER هم‌خوانی دارد، گرچه هر دو روش به علت تقریبی بودن، حریم‌های نسبتاً بزرگی را برای چاه نتیجه می‌دهند.

محاسبه حریم بهداشتی چاه ۲۰ با روش شکل‌های متغیر ساده شده

در این روش، شکل‌های متغیر ساده شده‌ای از حریم بهداشتی چاه با استفاده از دو معیار مرزهای جریان و زمان حرکت و با استفاده از مدل‌های محاسباتی ترسیم می‌شوند. فاصله‌ی مرز پایین دست شکل متغیر (حریم) تا چاه، با استفاده از مرز جریان آب زیرزمینی در اطراف چاه پمپاژ که همان مرز ناحیه‌ی مشارکت است (ZOC)، تعیین می‌شود. این کار با استفاده از معادله جریان آب زیرزمینی ماندگار که توسط تاد[1] ارائه شده است، انجام می‌پذیرد [۸]. سپس با استفاده از معیار زمان حرکت، فاصله مرز بالادست حریم تا چاه تعیین می‌شود. پس از محاسبه مرزهای بالادست و پایین‌دست، حریم چاه مطابق جهت جریان آب زیرزمینی تنظیم و روی نقشه پیاده می‌شود. پارامترهای مورد نیاز در محاسبات این روش همان پارامترهای اساسی هیدروژئولوژیک و دبی پمپاژ چاه می‌باشد. از محاسن این روش، سادگی محاسبات و عدم نیاز به تخصص فنی

[1] Todd

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در محاسبه حریم بهداشتی برای چاه آبرسانی شماره ۲۰ ارومیه.

پارامتر	مقدار/واحد	پارامتر	مقدار/واحد
ضخامت سفره	۳۸(m)	دبی پمپاژ چاه	۱۳۰/۷(m³/hr)
ضریب نفوذپذیری سفره	۲/۳٤۷۲(m/hr)	ارتفاع قسمت مشبک چاه	۱۰(m)
گرادیان هیدرولیکی سفره	۰/۰۰٤۹	شعاع چاه	۰/۱(m)
سرعت جریان آب زیرزمینی	۰/۰٤٦(m/hr)	مدت زمان انتقال	٤۳۸۰۰(hr)
افت سطح آب در اثر پمپاژ	۰/۰۱۵(m)	درجه پوکی سفره آب زیرزمینی	۰/۲۵
مدت زمان رسیدن به حالت تعادل در آزمایش‌پمپاژ	۲٤(hr)	ضریب قابلیت انتقال سفره	٤۷/۵٦(m²/hr)
		ضریب ذخیره سفره	۰/۰۱۳۷

بالا برای محاسبه و پیاده کردن حریم است. لکن از معایب آن دقت کم نتایج حاصله در مناطق دارای ناهمگنی زیاد شرایط هیدروژئولوژیک است. در این روش فاصله پایین دست چاه تا حریم بهداشتی (X_1) از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$X_1 = -\frac{Q}{2\pi kbi} \qquad (۵)$$

که در آن Q دبی پمپاژ چاه (مترمکعب در ساعت)، K ضریب نفوذپذیری سفره آبدار (متر بر ساعت)، b ضخامت سفره آبدار در حالت سفره محصور و یا ضخامت قسمت اشباع سفره آبدار در حالت سفره غیر محصور (متر) و i گرادیان هیدرولیکی سفره می‌باشد. فاصله کناری حریم تا چاه در طرفین چاه (Y_1) نیز از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Y_1 = \pm\frac{Q}{2kbi} \qquad (۶)$$

برای محاسبه فاصله بالادست چاه تا حریم بهداشتی (جهت جریان آب زیرزمینی از بالادست چاه به طرف چاه است) از معادله (۷) که بر اساس معیار زمان حرکت تعریف شده است، استفاده می‌شود.

$$t_x = \frac{S}{V}\left[\pm(r_x - r_w) + Z\ln\frac{(Z \pm r_w)}{(Z \pm r_x)}\right] \qquad (۷)$$

که Z عبارت است از :

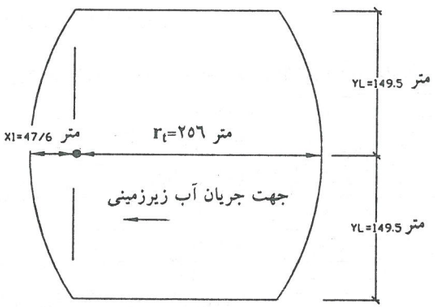
$$Z = \frac{Q}{2\pi kbi} \qquad (۸)$$

برای محاسبه فاصله بالادست حریم تا چاه از علامت (+) معادله (۷) استفاده می‌شود. در معادله (۷)، t_x زمان حرکت از نقطه x واقع در حریم بالادست تا چاه (ساعت)، S ضریب ذخیره سفره، V سرعت جریان آب زیرزمینی (متر بر ساعت)، r_w شعاع چاه (متر) و r_x فاصله بالادست حریم تا چاه (متر) است. برای محاسبه r_x که با سعی و خطا انجام می‌پذیرد، ابتدا مدت زمان انتقال (t_x) انتخاب شده و سپس مقدار آن از معادله (۷) محاسبه می‌شود.

با استفاده از داده‌های جدول ۱ حریم بهداشتی چاه شماره ۲۰ ارومیه به روش فوق محاسبه شد که در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل مقادیر ٤٧/٦ متر، ٢٥٦متر و ١٤٩/٥ متر به ترتیب فاصله پایین‌دست چاه تا حریم بهداشتی (X_1)، فاصله بالادست چاه تا حریم بهداشتی (r_x) ، و فاصله کناری حریم بهداشتی (Y_1 در طرفین) تا چاه می‌باشد. در این محاسبات مدت زمان انتقال ۵۰ روز در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ حریم‌بهداشتی نسبت به جهت جریان آب زیرزمینی ترسیم شده است.

محاسبه حریم بهداشتی با روش‌های محاسباتی- عددی جریان- انتقال

حریم بهداشتی چاه می‌تواند با استفاده از مدل‌های کامپیوتری که با استفاده از روش‌های محاسباتی-عددی معادلات جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی را حل می‌کنند، تعیین شود. امروزه مدل‌های کامپیوتری متنوعی در دسترس قرار دارند که برای تحلیل وضعیت‌های هیدروژئولوژیک که دارای شرایط مرزی پیچیده‌ای هستند بسیار مفیدند. داده‌های مورد نیاز در این مدل‌ها پارامترهای‌هیدروژئولوژیک چون نفوذپذیری، درجه پوکی،



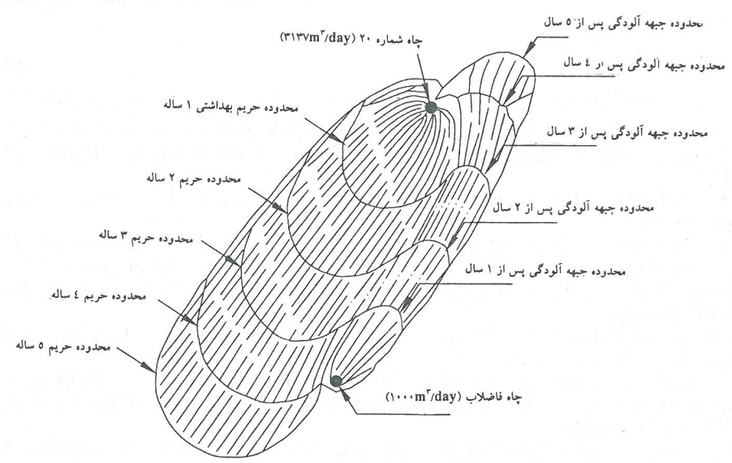
شکل ۱- حریم بهداشتی محاسبه شده برای چاه شماره‌ی ۲۰ ارومیه با استفاده از روش شکل‌های متغیر ساده شده.

ضریب ذخیره، ضخامت اشباع سفره، میزان تغذیه، ابعاد هندسی سفره آب زیرزمینی و موقعیت مرزهای هیدرولوژیک را شامل می‌شود. از محاسن روش‌های محاسباتی- عددی، دقت بالا و کاربرد آن‌ها در انواع شرایط هیدروژئولوژیک پیچیده است. در این قسمت از مطالعه از کد کامپیوتری WHPA که توسط بلاندفورد و هایکون تهیه شده و به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، دفتر حفاظت از آب‌های زیرزمینی، در اختیار دست‌اندرکاران مدیریت منابع آب زیرزمینی برای تعیین حریم بهداشتی چاه‌ها قرار دارد، استفاده شده است [۹]. سه نرم‌افزار یا مدول محاسباتی بهداشتی در کد WHPA وجود دارد [۱]. پارامترهای اساسی مورد نیاز برای این مدول‌ها در جدول ۱ نشان داده شدند. با استفاده از این مدول‌ها حریم‌های بهداشتی برای چاه آبرسانی شماره‌ی ۲۰ ارومیه در شرایط مختلف محاسبه شدند [۱]. در این‌جا فقط نتایج محاسبات توسط مدل RESSQC ارائه می‌شود. کد کامپیوتری WHPA و مدول‌های محاسباتی مربوطه به زبان فرترن ۷۷ نوشته شده‌اند.

محاسبه حریم بهداشتی چاه شماره‌ی ۲۰ و جبهه آلودگی یک چاه فاضلاب با استفاده از مدول RESSQC

پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه حریم بهداشتی چاه با استفاده از مدول RESSQC از کد کامپیوتری WHPA در جدول ۱ نشان داده شدند. ابعاد هندسی منطقه مورد مطالعه (۳۰۰۰ متر در ۳۰۰۰ متر)، موقعیت هندسی چاه شماره ۲۰ و چاه فاضلاب در این منطقه، و جهت جریان آب زیرزمینی نیز به مدول معرفی شده‌اند. با استفاده از این داده‌ها حریم بهداشتی چاه آبرسانی شماره ۲۰ ارومیه برای مدت زمان انتقال ۱ الی ۵ سال با استفاده از مدول RESSQC محاسبه و در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل محدوده جبهه آلودگی را برای یک چاه فاضلاب (چاه تغذیه) با دبی ورودی (دبی تغذیه) ۱۰۰۰ مترمکعب در روز و برای همان مدت زمان‌های انتقال نیز نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های حریم و جبهه‌های آلودگی می‌توان چنین نتیجه گرفت که : حریم‌های بهداشتی و جبهه‌های آلودگی با افزایش مدت زمان انتقال بزرگ‌تر

جهت جریان آب زیرزمینی



شکل ۲- حریم‌های بهداشتی و جبهه‌های آلودگی محاسبه شده برای چاه آبرسانی شماره ۲۰ ارومیه و یک چاه فاضلاب با استفاده از مدول RESSQC از کد کامپیوتری WHPA برای مدت زمان انتقال ۱ الی ۵ سال.

می‌شوند؛ حریم‌ها در جهت جریان آب زیرزمینی گسترش دارند، بدین معنی که محدوده حریم در جهت جریان آب زیرزمینی دارای طولی بیشتر از عرض حریم است؛ طول حریم نسبت به موقعیت چاه، در بالادست جریان آب همواره بیشتر از پایین‌دست جریان آب است؛ جبهه آلودگی با افزایش زمان انتقال افزایش می‌یابد و سطح بیشتری آلوده می‌شود؛ و جهت افزایش جبهه آلودگی هم جهت با جریان آب زیرزمینی است. مطابق این شکل برای شرایط در نظر گرفته شده، جبهه آلودگی بعد از مدت حدود ٤ سال به چاه می‌رسد.

خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مطالعه حریم بهداشتی جهت کنترل کیفی چاه‌های آب شرب در شهرها تعریف و سپس پنج معیار و پنج روش مختلف برای محاسبه حریم بهداشتی معرفی و نقش مکانیزم‌های حرکتی و آلاینده‌های میکربی و شیمیایی در حریم بهداشتی چاه به طور اجمال بحث شد. سپس با استفاده از سه‌روش محاسباتی شعاع ثابت FDER، شعاع ثابت تایس، روش شکل‌های متغیر، و داده‌های هیدروژئولوژیک، حریم بهداشتی برای چاه آبرسانی شماره ۲۰ ارومیه محاسبه شده و نتایج حاصله مورد بحث قرارگرفت. در قسمت دیگر مطالعه کد کامپیوتری WHPA و نرم‌افزارهای محاسباتی مربوطه به عنوان یک روش عددی برای محاسبه حریم بهداشتی معرفی گردید. سپس نتایج محاسبات حریم بهداشتی با مدول محاسباتی RESSQC، از کد WHPA، برای چاه شماره ۲۰ ارومیه به همراه جبهه آلودگی برای یک چاه فاضلاب در حوالی چاه شماره ۲۰ ارائه گردید.

مقایسه نتایج به دست آمده از روش‌های محاسباتی ساده و روش محاسباتی-عددی نشان داد که روش‌های محاسباتی-عددی به علت در نظر گرفتن شرایط متنوع محیطی و هیدروژئولوژیک، از دقت بالاتری نسبت به روش‌های محاسباتی ساده برخوردار بوده و حریم‌های کوچک‌تر و اقتصادی‌تری را نتیجه می‌دهند. از روش‌های محاسباتی ساده در تعیین حریم در مراحل اولیه مطالعات و قبل از به دست آمدن نتایج دقیق‌تر توسط روش‌های محاسباتی- عددی، می‌توان بهره جست.

تشکر و قدردانی

مؤلف از مسئولین محترم سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان‌غربی که در طول مطالعه مشوق و پشتیبان بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌کند.

منابع و مراجع

۱- بدو، ک.، ۱۳۸۱. "تحقیق در وضعیت منابع آب زیرزمینی مورد استفاده جهت آب شرب شهری و منابع آلاینده در شهر ارومیه با تأکید بر تعیین حریم بهداشتی برای چاه‌های آب شرب". گزارش پژوهشی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان آذربایجان غربی، دو جلد، ۲۳٤ صفحه.

2- Office of Groundwater Protection, US EPA, (1986). *"Safe Drinking Water Act (SDWA)"*, Washington, D.C.

3- US EPA, (1987-1993). *"Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas"*, Report No. EPA-440/5-93-001.

4-Matthess, G., Foster, S.S.D and Skinner, A.C., (1985). *"Theoretical Background, Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones"*, International Contributions to Hydrogeology, Vol. 6., UNESCO-IUGS, International Association of Hydrogeologists, Heise, Hannover, Germany.

5- Kewick, B.H., and Gerba, C.P. (1980). *"Viruses in Groundwater"*, Environmental Science and Technology, Vol. 14, pp: 1240-1297.

6-Matthess, G., and Pekdeger, A., (1981). *"Survival and Transport of Pathogenic Bacteria and Viruses in Groundwater"*. Geological-Paleontological Institute of Kiel University, Kiel, Federal Republic of Germany.

7- Theis, C.V., (1935). *"The Relation Between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate of Duration of a Well Using Ground Water Storage"*, American Geophysical Union Transaction, Vol. 16, pp. 519-524.

8- Todd, D.K., (1980). *"Ground Water Hydrology"*, John Wiley and Sons, Inc., N.Y.

9- Blandford, T.N., and Huyakon, P.S., (1991). *"WHPA, A Modular Semi-Analytical Model for the Delineation of Wellhead Protection Areas"*, HydroGeologic Incorporation, Hernodon, VA 22070, US EPA, USA.