مبانی محاسبات حریم بهداشتی برای حفاظت کیفی چاههای آب شرب در شهرها

کاظم بدو*

گروه مهندسی عمران دانشکدهٔ فنی، دانشگاه ارومیه

(دریافت مقاله: ۸۱/۷/۲٤ – دریافت نسخه نهایی: ۸۲/۳/۲٤)

چکیده – این تحقیق با هدف تعریف مبانی علمی و شناسایی و ارائهٔ روشهای موجود برای محاسبه حریم بهداشتی چاههای آب شرب شهرها صورت پذیرفته است. نتایج این مطالعه می‌تواند قسمتی از نیازهای شرکت آب و فاضلاب کشور را در خصوص کنترل کیفی منابع آب شرب از طریق تعیین و اعمال حریمهای بهداشتی چاهها، برطرف سازد. ابتدا با استفاده از منابع علمی موجود معیارها و روشهای تعیین حریم بهداشتی چاهها تعریف شدند. سپس روشهای (۱) شعاع ثابت، (۲) اشکال متغیر ساده شده، و (۳) روش محاسباتی جریان – انتقال در قالب کد رایانه‌ای WHPA ، معرفی شده، و کاربرد این روشها با مثالهای موردی از چاههای آب شرب ارومیه نشان داده شدند. مثالهایی از حریمهای بهداشتی محاسبه شده برای ۳۶ چاه آبرسانی شهر ارومیه با استفاده از سه مدول محاسباتی موجود در کد WHPA ارائه شده، و تاثیر پارامترهای هیدروژئولوژیک در مساحت حریمها مورد بحث قرار گرفت. در صورت فراهم بودن اطلاعات قابل اعتماد هیدروژئولوژیک در منطقه استقرار چاهها، روشهای محاسباتی و کد WHPA نتایج دقیقتری را برای حریمهای بهداشتی چاهها ارائه می‌دهند.

واژگان کلیدی : چاههای آب شرب، حفاظت کیفی، حریم بهداشتی، هیدروژئولوژی

Fundamentals of Capture Zone Calculations for the Qualitative Protection of Urban Drinking Water Wells

K. Badv

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University

Abstract: ***This study is an attempt to introduce scientific fundamentals and available methods for wellhead protection area (capture zone) delineation for drinking water wells in cities. The results of this study could obviate some demands of the national water and wastewater company in quality control of the drinking water resources by delineation and application of the wellhead protection areas. For this purpose, the available literaturer reviewed to extract, criteria and methods of wellhead protection delineation, Then, (1) fixed radius method, (2) simplified variable shape methods, and (3) flow-transport analytical methods implemented in the computer code WHPA are introduced. The applicability of these methods is shown by some sample calculations for Urmia drinking water wells. Samples of the calculated wellhead protection areas for 36 wells in Urmia City will be shown using three analytical modules in WHPA. The effects of the hydrogeologic parameters on the wellhead areas will be discussed. When reliable hydrogeologic parameters are available in the region where wells are located, the analytical methods and WHPA code produce accurate results for wellhead protection areas.***

Keywords: ***Drinking Water Wells, Quality Control, Capture Zone, Hydrogeology***

---

* – دانشیار

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

۱- مقدمه

حفاظت کیفی از منابع آب زیر زمینی شهرها که برای تامین آب شرب استحصالی از چاهها نقش دارند، امروزه از مسئولیتها و دغدغه‌های فکری متولیان تامین 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 ارائه معیارها و روشهای محاسبه حریم با انجام محاسبات حریم برای تعدادی از چاههای آب شرب شهر ارومیه در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است.

در بررسی منابع، یافته های علمی متعددی در مورد روشهای تعیین حریم بهداشتی چاهها شناسایی شدند [۱]. این منابع را می‌توان به چند شاخه تقسیم کرد: (۱) تعریف مبانی تئوریک حریم بهداشتی چاه [۲ و ۳]، (۲) مطالعات موردی [٤، ٥ و ٦]، (۳) استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی [۷]، (٤) استفاده از روشهای محاسباتی [۸ و ۹]، (٥) استفاده از مدلهای عددی [۱۰]، (٦) استفاده از تحلیلهای هیدروژئولوژیک – ژئولوژیک [۱۱]، و (۷) پروتوکلها و مقررات مربوط به تعیین حریم بهداشتی چاهها [۱۲]. در بررسی این منابع، کد رایانه‌ای WHPA که توسط بلانفورد و هویاکون[1] برای اداره حفاظت منابع آب زیر زمینی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا تهیه شده است شناسایی شد [۱۳]. این کد محاسباتی – عددی برای استفاده کارشناسان مدیریت منابع آب زیرزمینی ایالات متحده آمریکا برای تعیین حریم بهداشتی چاههای آب شرب تهیه شده است و تا کنون در تعیین حریمهای بهداشتی ایالات مختلف آمریکا مورد استفاده قرار گرفته و صحت نتایج آن تایید شده است [١٤].

۲- تعریف حریم بهداشتی چاه

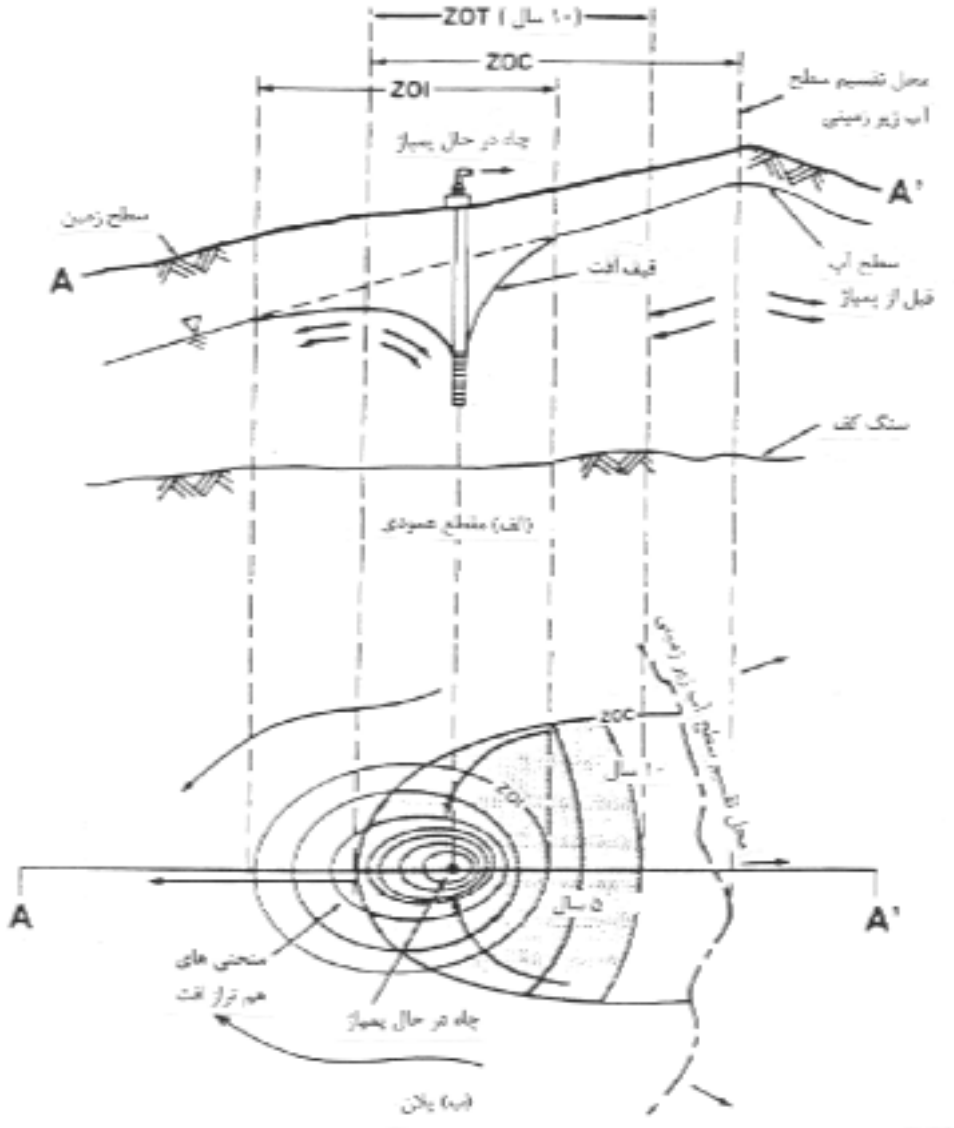
در منابع علمی از حریم بهداشتی چاه به نامهای (۱) ناحیه تسخیر[2]، (۲) ناحیه مشارکت[3]، و (۳) ناحیه حفاظت سر چاهی[4] نیز نام برده می‌شود. به اختصار ناحیه حریم بهداشتی همان ناحیه سطحی و یا زیر سطحی اطراف چاه است که در هنگام پمپاژ، آب چاه را تامین کرده و از این ناحیه مواد آلوده می‌توانند به طرف چاه حرکت کرده و به آب داخل چاه برسند[۱٥]. مطابق شکل (۱) پمپاژ از چاه، تعادل طبیعی زیر سطحی را به هم زده و موجب پایین آمدن سطح آب زیر زمینی در اطراف چاه می‌شود. این تاثیر که به صورت افت تراز آب زیر زمینی است، در ناحیه تاثیر چاه[5] اتفاق افتاده و قیف افت[6] 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. مطابق شکل (۱) قسمتی از ناحیه تاثیر چاه در داخل ناحیه مشارکت قرار می‌گیرد. اگر حرکت آب زیر زمینی به داخل چاه در مدت زمان معینی مد نظر باشد، ناحیه مشارکت کننده در تامین آب چاه در این مدت معین، ناحیه انتقال[7] نامیده می‌شود که در واقع شامل قسمتی از ناحیه مشارکت است.

۳- معیارها و روشهای تعیین حریم بهداشتی چاه

نظریه‌ها و استانداردهای مفهومی که روشهای تعیین حریم بهداشتی بر اساس آنها تعریف می‌شود معیار نامیده می‌شود. در بررسی منابع پنج معیار اصلی شناسایی شدند[۳] که عبارت‌اند از: ۱- معیار فاصله، ۲- معیار افت، ۳- معیار زمان حرکت ٤- معیار مرزهای جریان و ٥ – معیار ظرفیت لایهٔ آبدار برای جذب و کاهش آلودگی[8]. پس از انتخاب معیار برای تعیین حریم، مقادیر حدی باید انتخاب شوند. در معیار فاصله، یک فاصلهٔ شعاعی در اطراف چاه به عنوان حریم تعیین می‌شود. در معیار افت، ناحیه‌ای در اطراف چاه تعیین می‌شود که در آن ناحیه، سطح آب زیرزمین (در لایهٔ غیر محصور سطحی) یا سطح پیزومتریک (در لایهٔ محصور) به مقدار معینی در اثر پمپاژ پایین آورده شود. در معیار زمان حرکت (TOT) ناحیه‌ای در اطراف چاه مشخص می‌شود که مواد آلوده دارای زمان یکسانی برای رسیدن به چاه هستند (مثلا ٥ سال). به عبارتی اگر زمان

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]



شکل ۱ - الف) مقطع عمودی و ب) پلان، شکل شماتیک از تعریف ناحیه تاثیر (ZOI)، ناحیه مشارکت (ZOC)، و ناحیه انتقال (ZOT) برای یک چاه در حال پمپاژ واقع در یک زمین با سطح آب زیر زمینی شیبدار

حرکت ۵ سال فرض شود، ناحیه یا مرزی در اطراف چاه مشخص خواهد شد که هر آلاینده‌ای که در روی مرز قرار دارد، ۵ سال طول خواهد کشید که به چاه برسد. در معیار مرز جریان، مرز تقسیم آب زیرزمینی و سایر عوارض فیزیکی و هیدروژئولوژیکی (مانند مرز غیرقابل نفوذ) که جریان آب زیرزمینی را کنترل می‌کند، مشخص و در تعیین حریم بهداشتی دخالت داده می‌شود. در معیار ظرفیت لایهٔ آبدار برای جذب و کاهش آلودگی، ناحیه‌ای تعیین می‌شود که در داخل آن ناحیه لایه‌های زیرسطحی دارای ظرفیت پالایندگی و جذب کافی برای کاهش غلظت آلاینده‌ها به حد قابل قبول برای شرب هستند. هر کدام از پنج معیار فوق الذکر دارای معایب و محاسنی‌اند و انتخاب آنها به مقدار زیاد بستگی به وضعیت لایه‌های هیدروژئولوژیک زیرسطحی در هر منطقه و همچنین وجود اطلاعات، داده‌ها و کارشناسان خبره در این زمینه دارد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

بـه دنـبال انتخاب معیار تعیین حریم بهداشتی چاه، روش تعیین حریم برای محاسبه و ترسیم حریم روی نقشه و سپس در زمین بـاید انـتخاب شـود. شـش روش بـرای تعییـن حریم شناسایی شـده‌انـد [۳] کـه بـه ترتیب از روش ساده و کم هزینه تا روش پیچـیده و پرهزیـنه عـبارت‌انـد از: (۱) روش شـعاع فرضـی و محاسـبه شـده، (۲)روش اشـکال متغیر ساده شده، (۳) روشهای محاسـباتی، (٤) روش ترسیم نقشه‌های هیدروژئولوژیک، و (۵) روش مدلهـای عـددی جـریان – انـتقال. در روش اول (شـعاع فرضی و محاسبه شده) یک معادله محاسباتی با استفاده از معیار زمـان حرکـت، شـعاع یـک دایره‌ای را در اطراف چاه مشخص مـی‌کـند. در روش دوم (اشـکال متغیر ساده شده)، از یک سری اشـکال اسـتاندارد بـرای حـریم دور چـاه اسـتفاده می‌شود. این اشـکال بـا اسـتفاده از مدلهای محاسباتی و ترکیبی از معیارهای مـرز جریان و زمان حرکت محاسبه و ترسیم می‌شوند. در روش سـوم (روش محاسـباتی) مـرزهای جـریان آب زیرزمینـی و دینامـیک انتقال آلودگی با استفاده از معادلات تجربی محاسبه و حریم بهداشتی تعیین می‌شود. این روش از دقت بیشتری نسبت بـه دو روش اول بـرخوردار اسـت. در روش چهـارم (ترسـیم نقشـه‌هـای هـیدروژئولوژیک)، مرزهای جریان آب زیرزمینی با اسـتفاده از روشهای زمین شناسی، ژئومورفولوژیک، ژئوفیزیکی و ردیابـی مـواد رنگی مشخص و در روی نقشه ترسیم می‌شود. در روش پنجم (روش مدلهای عددی جریان- انتقال) با استفاده از محاسـبات ریاضـی جریان آب زیرزمینی و یا معادلات انتقال آلودگـی، شـرایط متنوعـی از وضـعیتهای هـیدروژئولوژیک و پتانسـیلهای آلودگـی مـدل شـده و حـریم بهداشـتی چاه تعیین مـی‌شـود. ایـن روش دقیقتریـن و گرانتریـن روش تعیین حریم بهداشتی چاه است.

٤- نقـش مکانـیزمهای حرکتی وآلاینده‌ها در حریم بهداشتی چاه

آشـنایی بـا اصـول اولیه حرکت آب و آلاینده‌ها در لایه‌های خاک در قالب مبانی هیدروژئولوژی و حرکت آلودگی در خاک از ضـروریات اولـیه در تعیین حریم بهداشتی چاه است. عامل و مکانـیزم حرکتی مهمی که در حرکت آلاینده‌ها به طرف چاه در داخـل ناحـیهٔ مشـارکت نقـش دارد، مکانیزم ادوکشن[9] است که طـبق تعـریف همـان حرکـت آلاینده از یک نقطه به نقطهٔ دیگر توسط جریان آب زیرزمینی است. عوامل شیمیایی، بیولوژیک و فیزیکـی دیگـری نیز در بقا یا مرگ آلاینده‌ها (مانند آلاینده‌های میکروبـی) در داخـل زمین نقش دارند. مکانیزمهای کند کننده و پالایـنده باعـث کاهش حرکت آلاینده‌ها و مکانیزم پخش باعث افـزایش سـرعت حرکـت آلایـنده‌هـا در داخـل زمیـن می‌شود. آلایـنده‌هـای آب زیرزمینـی بـه دو دسـتهٔ اساسـی: آلایـنده‌های شـیمیایی (عناصـر آلـی و غیرآلی) و آلاینده‌های باکتریولوژیکی (مـیکروبها و ویروسـها) تقسـیم مـی‌شوند. از جملهٔ آلاینده‌های شـیمیایی غیرآلـی کـه بـه دلـیل عمـر و قابلیـت انحلال در آب زیرزمینـی همـواره مشـکل سازتر از بقیه عناصر هستند، نیترات، آمونـیاک، سـدیم و کلـراید را مـی‌تـوان نـام برد. به عنوان مثال آلودگـی ناشـی از نیترات در اثر فاضلابها و فعالیتهای کشاورزی (کودهای شیمیایی) در سطح وسیعی از لایه‌های آبدار سطحی و غـیر محصـور مـی‌توانـد اتفاق بیفتد. فلزات سنگین مانند جیوه، سـرب، قلـع، روی، آرسـینگ و غـیره، از شیرابه‌ها و فاضلابهای صـنعتی و بـه همـراه جـریان آب زیرزمینـی بـه سـفره‌های آب زیرزمینـی مـی‌توانـند راه پـیدا کنـند. ایـن عناصـر مـدت زمان طولانـیتری نسبت به عناصر غیرسنگین (مانند نیترات و نیتریت) مـی‌توانـند در داخل آب زیرزمینی وجود داشته باشند. از طرفی عناصـر سـنگین قابلیت جذب به بافت خاکهای رسی را دارند و نسـبت بـه عناصـر آلـی دارای قابلیـت پالایشی بیشتری هستند. اگـرچه پـاره‌ای از عناصـر آلی به صورت طبیعی در داخل زمین یافـت مـی‌شـوند، لکـن آلودگـی ناشی از عناصر آلی صنعتی به عنوان یک مشکل عمده در مقوله حفاظت از منابع آب زیرزمینی مطـرح اسـت. از جملـهٔ این آلاینده‌ها، شوینده‌ها، حشره‌کشها و هیدروکربـنهای صنعتی (انواع تولیدات نفتی) را می‌توان نام برد. ایـن عناصـر از طـرق مخـتلف مانـند عکس العملهای شیمیایی، فعالیـتهای میکروبیولوژیکـی و غـیره مـی‌توانند از آب زیرزمینی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

حذف شده و یا کاهش غلظت یابند. لکن تعدادی از این عناصر بـه مدت طولانی در داخل خاک و آب زیرزمینی می‌توانند بقا داشته باشـند. به عنوان مثال حشره کش DBCP در داخل آب زیرزمینی از ۵/۲۸ الی ۱۴۰ سال می‌تواند نصف عمر داشته باشد [۱۶].

بـرای قـرنهای طولانـی وجـود و بقـای میکرواورگانیزمهای پاتوژنـی در آب زیرزمینـی و حفاظت آب آشامیدنی استحصالی از این منابع، یکی از نگرانیهای اصلی بوده و هست. در لایه‌های خـاک نـیمه اشـباع عمـیق و در صـورت وفـور اکسیژن در این لایـه‌ها، باکتریها می‌توانند برای مدت بیشتر از شش ماه نیز زنده بمانـند. پاتوژنهـا در اثر عوامل فیزیکی (مانند دما) بیولوژیکی و شـیمیایی مـی‌توانـند در داخل خاک پس از مدتی از بین بروند. دماهـای بـالا، مقـدار pH حـدود ۷، اکسیژن کم و وجود مقادیر زیـاد کربـن آلـی در خـاک سرعت حذف باکتریهای پاتوژنی را افزایش می‌دهد [۱۶]. حذف عناصر میکروبیولوژیکی در خاک و آب زیرزمینـی بـه نـوع ایـن عناصر بستگی دارد. به عنوان مثال باکـتری کلـی فـرم پـس از مـدت کمتر از ۸ روز به میزان ۹۹/۹ درصـد حـذف مـی‌شـود در صـورتی که E.Coli به مدت زمان پـنجاه روز نیاز دارد تا به همان میزان حذف شود[۱۷]. ویروسها در اعمـاق و فواصـل افقـی نسـبتا طولانـی در زمیـن مـی‌توانند حرکـت کنند. به عنوان مثال حرکت بعضی از ویروسها در عمق ۶۷ مـتری و حرکـت افقی به طول ۴۰۸ متری توسط تعدادی از محققین گزارش شده است [۱۸]. مطالعات فراوانی روی عوامل تأثـیرگذار در بقـای ویروسـها در آب زیرزمیـن انجـام پذیرفـته است. این مطالعات نشان می‌دهد که دما یکی از پارامترهای مهم در ایـن ارتـباط اسـت. همچنیـن مطالعـات نشـان داده است که ویروسـها در آب چـاه دارای طول عمر بیشتری نسبت به آبهای سـطحی هسـتند و ۰/۱درصـد Hepatitisvirus ،Poliovirus، یـا Enterovirus مـی‌توانـد تـا بیشتر از ۱۴۰ روز در آب زیرزمینی زنـده بمـاند کـه ایـن مـدت بسیار طولانیتر از مدت زنده ماندن باکـتری E.Coli اسـت. در دمـای زیـر ۱۵۰ درجـهٔ سـانتیگراد Poliovirus مـی‌تواند به مدت بیش از ۲۵۰ روز نیز زنده باشد[۱۹]. بـر اسـاس یافـته‌هـای محققـان در کشـورهای اروپایـی توصیه می‌شود که زمان تأخیر ۵۰ تا ۶۰ روز و هرجا که ممکن باشد تا یکسـال بـرای حفاظـت آب چاههـا از ویروسـها و باکـتریهای پاتوژنـی در نظـر گرفته شود. به عنوان مثال زمان تأخیر ۵۰ روز بـه ایـن معنـی اسـت که ۵۰ روز طول می‌کشد که ویروس رها شـده در داخـل زمیـن قبل از مردن، از یک نقطه در اطراف چاه بـه چـاه برسـد. ضـمنا یـک حداقـل فاصلهٔ ۱۰۰ متر به صورت شـعاعی در اطـراف چـاه بـه عـنوان ناحیه حریم بهداشتی برای حفاظـت از ویروسها و باکتریها توصیه شده است. این توصیه‌ها نتـیجهٔ مطالعـات گسـتردهٔ چندیـن سـاله روی حرکـت و بقـای ویروسها و باکتریها در آبهای زیرزمینی است[۱۷].

۵- محاسبه حریم بهداشتی با روشهای شعاع ثابت

این روشها برای محاسبات اولیه حریم چاه به طور تقریبی و قـبل از محاسـبات حـریم بـار روشـهای دقیقـتر مـی‌تواند مورد اسـتفاده قـرار گیرد. در این روشها از معادلات ساده حرکت آب زیـر زمینـی بـه طـرف چـاه در یک مدت زمان انتقال مشخص اسـتفاده مـی‌شـود. در اینجا دو روش ساده به نامهای (۱) روش جریان حجمی FDER و (۲) روش معادلهٔ غیر تعادلی Theis به صـورت مثالهایی از محاسبه حریم برای چاه آبرسانی شماره ۲۰ ارومـیه ارائـه مـی‌شـود. جـدول (۱) اطلاعـات چـاه و داده‌های هـیدروژئولوژیک مـنطقه استقرار چاه را نشان می‌دهد. در روش FDER حجـم اسـتوانه‌ای از آب در اطـراف 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 معادلات Q دبی پمپاژ چاه (متر مکعب در ساعت)، t مـدت زمان انتقال (ساعت)، n درجهٔ پوکی سفره آب زیرزمینی، H ارتفـاع قسـمت مشـبک چـاه (مـتر)، r شعاع استوانه یا شعاع حریـم بهـداشـتی (متـر)، و $\pi = ۳/۱۴$ است. با اسـتفاده از این روش شـعـاع حـریم بـرای چـاه شماره ۲۰ برابـر با ۸۵۳/۷ مـتر محاسبـه مـی‌شود. اگر مدت زمان انتقال یک سال و ارتفاع

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

جدول۱- داده های مورد استفاده در محاسبه حریمهای بهداشتی چاههای آبرسانی شهر ارومیه

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
۳۸	ضخامت سفره (m)	۱۳۰/۷	دبی پماژ چاه (ساعت/ m^3)
۲/۳٤۷۲	ضریب نفوذپذیری سفره (ساعت/m)	۱۰	ارتفاع قسمت مشبک چاه (m)
۰/۰۰٤۹	گرادیان هیدرولیکی سفره	۰/۱	شعاع چاه (m)
۰/۰٤٦	سرعت جریان آب زیرزمینی(ساعت/m)	٤۳۸۰۰	مدت زمان انتقال (ساعت)
۰/۰۱۵	افت سطح آب در اثر پمپاژ (m)	۰/۲۵	درجه پوکی سفره آب زیر زمینی
۲٤	مدت زمان رسیدن به حالت تعادل در آزمایش پمپاژ (ساعت)	٤۷/۵٦	ضریب قابلیت انتقال سفره (ساعت/ m^2)
		۰/۰۱۳۷	ضریب ذخیره سفره

قسمت مشبک چاه به ۳۰ سانتی‌متر افزایش یابد، شعاع حریم به ۲۲۰ متر کاهش می‌یابد. در روشTheis[۲۰] داده‌های زمان – افت سطح آب توسط آزمایش پمپاژ برای چاه مورد نظر به دست آمده و سپس روی منحنی Theis ثبت و از روی آن ضریب قابلیت انتقالT و ضریب ذخیره S برای سفره آب زیرزمینی مورد نظر به دست می‌آید. معادلات استفاده شده عبارت‌اند از:

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

$$w(u) = \frac{4\pi Ts}{S} \qquad (٤)$$

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 فاصلهٔ حداکثر شعاع تأثیر چاه، W(u) تابع چاه، u پارامتر بی بعد مربوط به تابع چاه که از جدول Theis برای W(u) مورد نظر استخراج می‌شود، و بقیه پارامترها قبلا تعریف شدند. با توجه به داده‌های جدول (۱) تابع چاه W(u) برای چاه شماره ۲۰ برابر با ۰/۰٦۸٦ ، پارامتر u برابر با ۱/۸۸۵، و در نهایت شعاع حریم چاه (r) برابر با 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 نسبتا بزرگی را برای چاه نتیجه می‌دهند.

٦- محاسبه حریم بهداشتی با روش اشکال متغیرساده شده

در این روش اشکال 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 . فاصلهٔ مرز پایین دست شکل متغیر (حریم) تا چاه، با استفاده از مرز جریان آب زیرزمینی در اطراف چاه پمپاژ که همان مرز ناحیهٔ مشارکت است (ZOC)، تعیین می‌شود. این کار با استفاده از معادله جریان آب زیرزمینی یکنواخت که توسط Todd [۲۱] ارائه شده است انجام می‌پذیرد. سپس با استفاده از معیار زمان حرکت فاصلهٔ مرز بالا دست حریم تا چاه تعیین می‌شود. پس از محاسبه مرزهای بالادست و پایین دست، حریم چاه مطابق جهت جریان آب زیرزمینی تنظیم و روی نقشه پیاده می‌شود. پارامترهای مورد نیازدر محاسبات این روش همان پارامترهای اساسی هیدروژئولوژیک و دبی پماژ چاه است. از محاسن این روش سادگی محاسبات و عدم نیاز به تخصص فنی 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 فاصلهٔ پایین دست چاه تا حریم بهداشتی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

(x_1) از معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

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

کـه در آن Q دبـی پمپاژ چاه (متر مکعب در ساعت)، K ضریب نفوذپذیـری سفرهٔ آبدار (متر بر ساعت)، b ضخامت سفره آبدار (در حالـت سـفره محصـور) و یـا ضخامت قسمت اشباع سفرهٔ آبدار (در حالت سفره غیرمحصور (متر) و i گرادیان هیدرولیکی سفره است. فاصلهٔ کناری حریم تا چاه در طرفین چاه (Y_L) نیز از معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$X_1 = \pm\frac{Q}{2kbi} \qquad (٦)$$

بـرای محاسـبهٔ فاصـلهٔ بالادسـت چـاه تا حریم بهداشتی (جهت جـریان آب زیرزمینـی از بالادسـت چـاه به طرف چاه است) از معادلـهٔ زیـر 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 :

$$Z = \frac{Q}{2\pi kbi} \qquad (۸)$$

بـرای محاسبهٔ فاصلهٔ بالادست حریم تا چاه از علامت (+) معادله (۷) اسـتفاده می‌شود. در معادلهٔ (۷) t_x زمان حرکت از نقطهٔ x واقع در حریم بالادست چاه تا چاه (ساعت)، S ضریب ذخیرهٔ سفره، V سرعت جریان آب زیرزمینی (متر بر ساعت)، r_w شعاع چاه (مـتر) و r_x فاصـلهٔ بالادسـت حـریم تـا چاه (متر) است. برای محاسـبهٔ r_x کـه با سعی و خطا انجام می‌پذیرد، ابتدا مدت زمان انـتقال (t_x) انـتخاب شـده و سـپس مقـدارآن از معادلـه (۷) محاسبه می‌شود.

با استفاده از داده‌های جدول (۱) حریم بهداشتی چاه شماره ۲۰ ارومیه به روش فوق محاسبه شد که در شکل (۲) نشان داده شـده اسـت. در این شکل مقادیر ٤٧/٦ متر، ٢٥٦ متر، و ١٤٩/٥ مـتر بـه ترتیب فاصله پایین دست چاه تا حریم بهداشتی (x_1)، فاصـله بـالا دست چاه تا حریم بهداشتی (r_x)، و فاصله کناری حریم بهداشتی (Y_L در طرفین) تا چاه است. در این محاسبات مدت زمان انتقال ۵۰ روز در نظر گرفته شده است. در شکل(۲) حـریم بهداشـتی نسـبت بـه جهت جریان آب زیرزمینی ترسیم شده است.

۷- محاسـبه حـریم بهداشتی با روشهای محاسباتی جریان- انتقال

حـریم بهداشـتی چاه می‌تواند با استفاده از مدلهای رایانه‌ای کـه بـا اسـتفاده از روشـهای محاسـباتی معـادلات جـریان آب زیرزمینـی و انـتقال آلودگـی را حل می‌کنند، تعیین شود. امروزه مدلهـای رایانه‌ای متنوعی در دسترس قرار دارند که برای تحلیل وضـعیتهای هیدروژئولوژیکی که دارای شرایط مرزی پیچیده‌ای هسـتند بسـیار مفـیدند. داده‌هـای مـورد نـیاز در ایـن مدلهـا پارامـترهای هیدروژئولوژیکـی چـون نفوذپذیری، درجهٔ پوکی، ضریب ذخیره، ضخامت اشباع سفره، میزان تغذیه، ابعاد هندسی سـفره آب زیرزمینـی و موقعیت مرزهای هیدرولوژیک را شامل مـی‌شـود. پارامترهای انتقال آلودگی مانند ضریب پخش و غیره نـیز مـی‌توانـند در بعضـی از مدلهـا مورد استفاده قرار گیرند. از محاسـن این مدلها، دقت بالای نتایج آنها و کاربرد آنها در انواع شـرایط هـیدروژئولوژیک پیچـیده است. با استفاده از این مدلها حساسـیت پارامـترهای هـیدروژئولوژیک مختلف و تأثیرپذیری حـریم تعییـن شده به این پارامترها را می‌توان ارزیابی کرد. البته از طرفـی هزیـنه‌های لازم برای تهیه داده‌های مورد نیاز برای مدل و هزینهٔ تحلیلها را نیز شاید بتوان از معایب این روشها به شمار آورد.

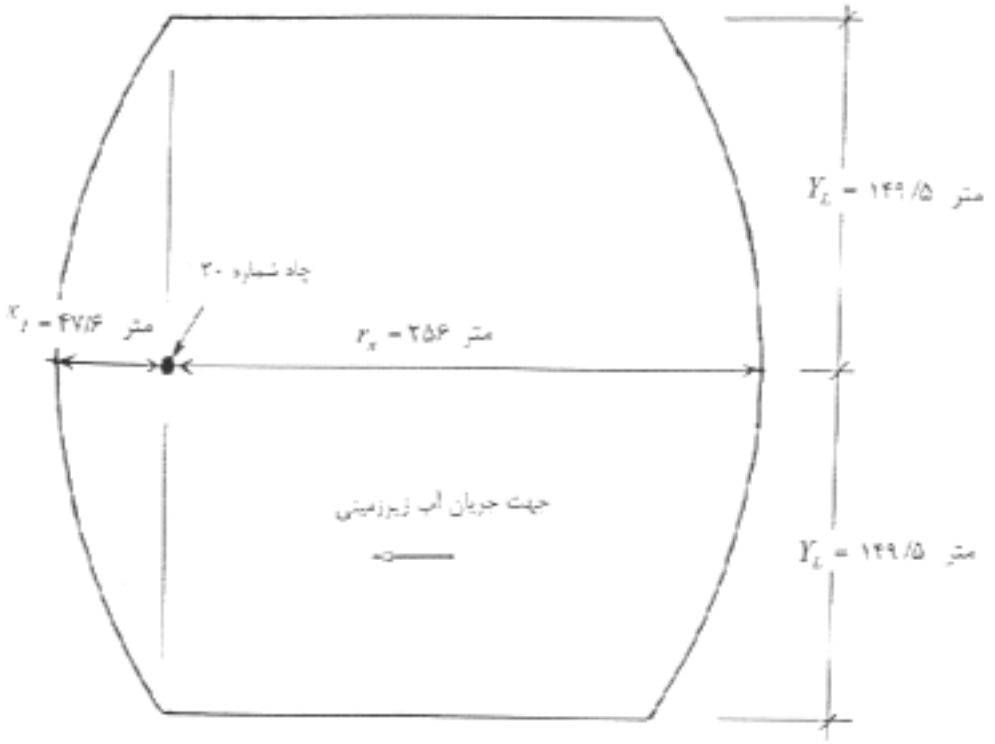
در ایـن قسـمت از مطالعـه از کـد رایانه‌ای WHPA استفاده شـده اسـت [۱۳]. سـه نـرم افـزار یـا مـدول محاسـباتی حریم بهداشـتی در کـد WHPA وجـود دارد. این مدولها عبارت‌اند از مـدول RESSQC ، مـدول MWCAP، و مدول GPTRAC. در جـدول (۲) ویژگـیها و کارایـی هر کدام از این مدولها به همراه شـرایط مـرزی در نظـر گرفته شده و خصوصیات آبخوان، ارائه شـده اسـت [۲۲]. در همـه مدولهـا آبخـوان دارای ضـخامت یکنواختـی بوده و می‌تواند محصور و یا نا محصور (آزاد) باشد. در مـدول GPTRAC آبخـوان نیمه محصـور یا نـشت دار نیـز

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

جدول ۲- تعریف و کارآیی مدولهای محاسباتی در کد WHPA

نام مدول	تعریف و کارآیی
RESSQC	حـریمهای بهداشـتی وابسته به زمان را در اطراف چاههای پمپاژ، و یا جبههٔ آلودگی را در اطراف چاههـای جاذب، در سفره های آبدار همگن با گسترش سطحی نامحدود با جریان آب زیرزمینی یکنواخت پایدار مشخص می‌کند. تأثیر تداخل چاهها در نظر گرفته می‌شود.
MWCAP	حـریمهای بهداشـتی پـایدار وابسـته بـه زمان و یا نامتجانس را برای چاههای پمپاژ در سفره‌های همگـن با جریان آب زیرزمینی پایدار و یکنواخت مشخص می‌کند. سفرهٔ آبدار می‌تواند گسترش سـطحی نـامحدود داشـته و یـا تأثـیر مرزهای غیرقابل نفوذ و یا رودخانه می‌تواند مدل شود. این مـرزها بـه صـورت یـک خـط مستقیم به مدل تعریف می‌شوند. اگر چندین چاه در مسئله وجود داشته باشد تأثیر تداخل چاهها در نظر گرفته نمی‌شود.
GPTRAC	حریمهای بهداشتی وابسته به زمان را برای چاههای پمپاژ در سفره‌های آبدار همگن با جریان آب زیرزمینی پایدار و یکنواخت مدل می‌کند. سفرهٔ آبدار می‌تواند گسترش سطحی نامحدود داشته و یا توسط یک یا دو مرز موازی غیرقابل نفوذ و یا رودخانه محدود شده باشد. سفرهٔ آبدار می‌تواند محصـور، محصـور نشـت دار و یا غیرمحصور با تغذیهٔ سطحی باشد. تأثیر تداخل چاهها در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲- حریم بهداشتی محاسبه شده برای چاه آبرسانی شماره ۲۰ شهر ارومیه با استفاده از روش اشکال متغیر ساده شده

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

می‌تواند مدل شود؛ که در این صورت ضخامت و ضریب نفوذپذیری لایه محصورکننده به مدل تعریف می‌شود.

در کد رایانه‌ای WHPA سه نوع حریم بهداشتی می‌تواند محاسبه شود. این حریمها عبارت‌اند از: (۱) حریم بهداشتی پایدار، (۲) حریم بهداشتی وابسته به زمان و (۳) حریم بهداشتی نامتجانس. حریم بهداشتی پایدار ناحیهٔ سطحی یا زیرسطحی در اطراف چاه است که در یک مدت زمان نامحدود از این ناحیه آب زیرزمینی داخل چاه تامین می‌شود. به دلیل نامحدود بودن زمان، یک انتهای این نوع حریم همواره باز خواهد بود؛ در حالی‌که در حریم بهداشتی وابسته به زمان، حریم برای یک زمان محدودی محاسبه شده و محدوده حریم یک سطح معینی دارد. به علت غیر عملی بودن استفاده از حریم پایدار، حریم نامتجانس که ترکیبی از حریم پایدار و حریم وابسته به زمان است، مورد استفاده قرار می‌گیرد و انتهای حریم نامتجانس با توجه به زمان انتقال در نظر گرفته شده، با یک منحنی بسته می‌شود. مساحت حریم وابسته به زمان عموما کمتر از مساحت حریمهای پایدار و نامتجانس است [۱۳].

با استفاده از سه مدول فوق حریمهای بهداشتی برای چاههای آبرسانی ارومیه در شرایط مختلف محاسبه شدند[۲۲]. تعدادی از این نتایج در ادامه ارائه می‌شوند. در محاسبات از حریم بهداشتی وابسته به زمان به علت تطابق بیشتر با شرایط واقعی استفاده شده است. در یک مورد، با استفاده از مدول MWCAP نتایج حریمهای بهداشتی نامتجانس نیز ارائه شده است.

۷-۱ محاسبه حریم بهداشتی برای چاه شماره ۲۰ ارومیه و جبهه آلودگی برای یک چاه فاضلاب فرضی با استفاده از مدول RESSQC

با استفاده از داده‌های جدول (۱) و سایر پارامترهای محیطی و هیدروژئولوژیک، حریم بهداشتی چاه آبرسانی شماره ۲۰ ارومیه برای مدت زمان انتقال ۱ الی ۵ سال با استفاده از مدول RESSQC محاسبه و در شکل (۳) نشان داده شده است. آبخوان همگن با ضخامت ثابت وگسترش سطحی نامحدود است، جدول (۲). شکل (۳) محدودهٔ جبههٔ آلودگی را برای یک چاه فاضلاب (یا چاه تغذیه) با دبی ورودی (یا دبی تغذیه) ۱۰۰۰ متر مکعب در روز و برای همان مدت زمانهای انتقال نیز نشان می‌دهد. با توجه به اشکال حریم و جبهه‌های آلودگی میتوان چنین نتیجه گرفت که: (۱) حریمهای بهداشتی و جبهه‌های آلودگی با افزایش مدت زمان انتقال بزرگتر می‌شوند، (۲) حریمها در جهت جریان آب زیر زمینی گسترش دارند، بدین معنی که محدوده حریم در جهت جریان آب زیر زمینی دارای طولی بیشتر از عرض حریم است، (۳) طول حریم نسبت به موقعیت چاه، در بالا دست جریان آب همواره بیشتر از پایین دست جریان آب است، (٤) جبهه آلودگی با افزایش زمان انتقال افزایش می‌یابد و سطح بیشتری آلوده می‌شود، و (۵) جهت افزایش جبهه آلودگی هم جهت با جریان آب زیر زمینی است. مطابق این شکل برای شرایط فرضی در نظر گرفته شده جبهه آلودگی بعد از مدت حدود ٤ سال به چاه می‌رسد. در این مثال چاه فاضلاب در نظر گرفته شده فرضی است و نشان دهنده شرایط واقعی نیست. چاه شماره ۲۰ بیش از چهار سال است که مورد بهره‌برداری قرار دارد و تا کنون آمار موجود وجود آلودگی را در این چاه نشان نمی‌دهد.

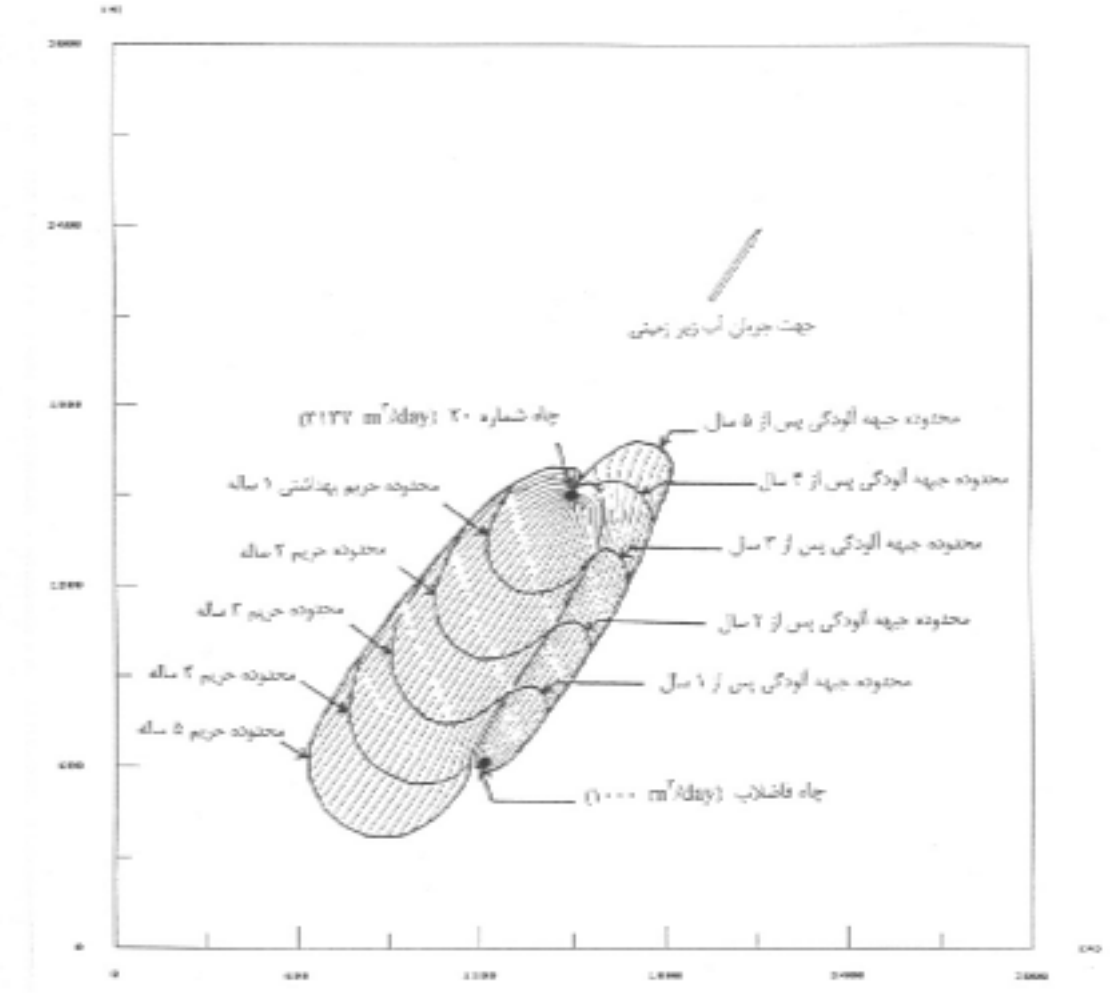
۷-۲ محاسبه حریمهای بهداشتی برای ۳٦ چاه آبرسانی ارومیه با استفاده از مدولهای RESSQC ، MWCAP ، و GPTRAC

۷-۲-۱ نتایج مدول RESSQC

با استفاده از مدول RESSQC حریمهای بهداشتی برای ۳٦ چاه آبرسانی مستقر در شهر ارومیه برای مدت زمان انتقال ۵ سال محاسبه شدند [۲۲]. این حریمها در شکل (٤) با پنج خط جریان نشان داده شده اند. در این شکل شماره شناسایی چاهها و موقعیت میادین ولایت فقیه و انقلاب ارومیه نسبت به موقعیت چاهها نشان داده شده است. همچنین چاههای شماره ۱ الی ۸ واقع در حاشیه شمال غربی شکل، در منطقه ریحان آباد ارومیه واقع بوده و نباید با چاههای هم شماره در سایر نقاط شهر اشتباه شوند. محدودهٔ محل استقرار چاهها ۱۰۰۰۰ متر در

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]



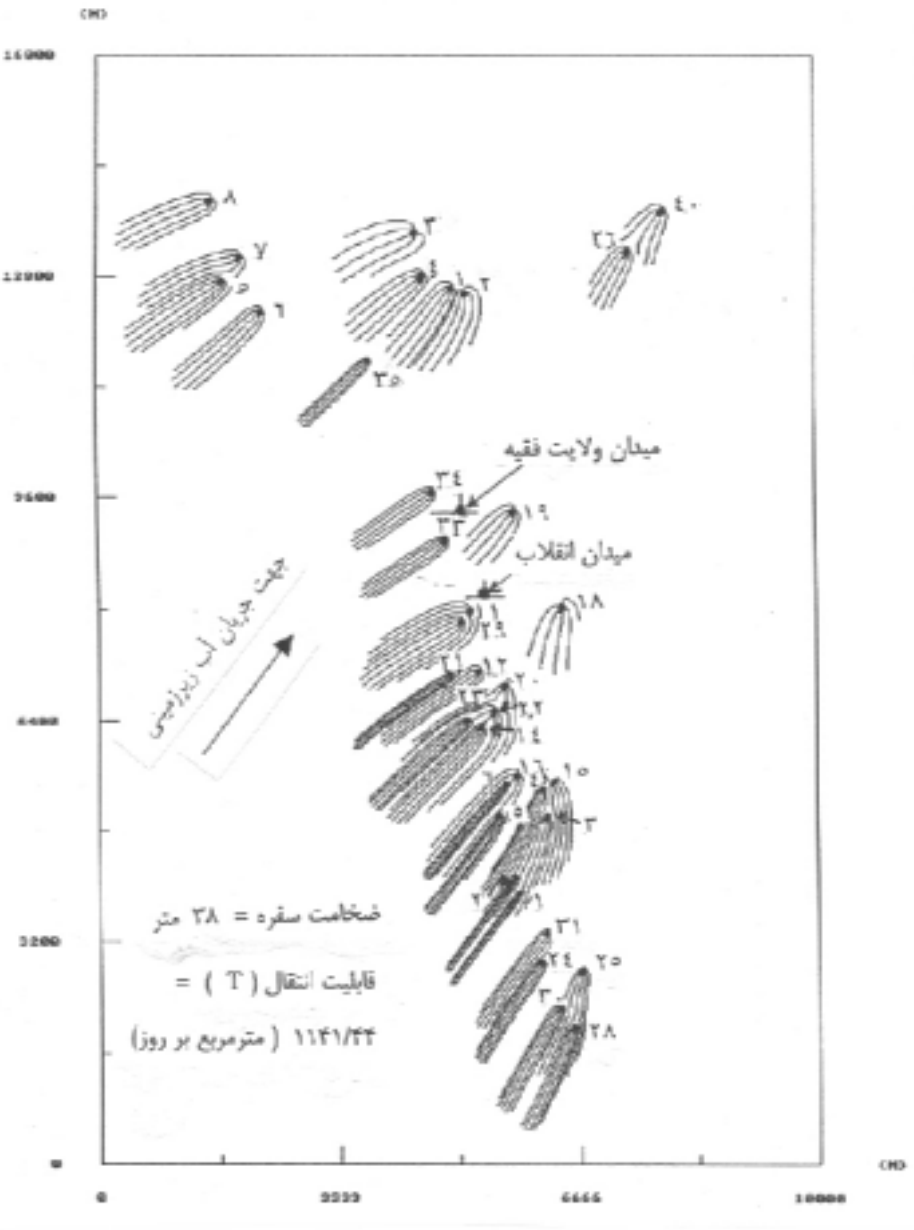
شکل ۳- حریمهای بهداشتی و جبههای آلودگی محاسبه شده برای چاه آبرسانی شماره ۲۰ شهرارومیه و یک چاه فاضلاب (تغذیه) با استفاده از مدول RESSQC از کد رایانهای WHPA برای مدت زمان انتقال ۱ الی ۵ سال

۱٦۰۰۰ متر است. مدول RESSQC اثر تداخل چاهها را در نظر میگیرد و مطابق شکل (٤) این اثر در شکل حریمهای بهداشتی چاههایی که نزدیک هم هستند (مانند چاههای شماره ١٤، ۲۰، ۲۲ و ۲۳) دیده میشود و این چاهها در قسمتی دارای حریم مشترکاند. همچنان که از شکل (٤) مشهود است، عموما حریمها در جهت جریان آب زیر زمینی گسترش دارند هر چند تعدادی از حریمها به علت اثر تداخل چاهها کاملا هم جهت نیستند.

۷-۲-۲ نتایج مدول MWCAP

با این مدول اثر رودخانه در حریمهای بهداشتی، به عنوان یک مرز فیزیکی میتواند در نظر گرفته شود؛ لکن اثر تداخل چاهها در نظر گرفته نمیشود (جدول ۲). در این قسمت از محاسبات رودخانه شهر چای به صورت یک خط مستقیم و با موقعیت مکانی خود نسبت به چاهها و با امتداد مشخص، به همراه جهت جریان آب زیر زمینی به مدول تعریف میشوند. سایر دادههای ورودی همانند دادههای استفاده شده در مدول RESSQC است. شکل (٥) حریمهای بهداشتی محاسبه شده با مدول MWCAP را برای ٣٦ چاه آبرسانی ارومیه در دو حالت حریم بهداشتی وابسته به زمان (شکل ٥ – الف) و حریم بهداشتی نامتجانس (شکل ٥ – ب) نشان میدهد. مقایسه حریمهای محاسبه شده در شکل (٥ – الف) با حریمهای محاسبه شده توسط مدول RESSQC، شکل (٤) نشان میدهد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

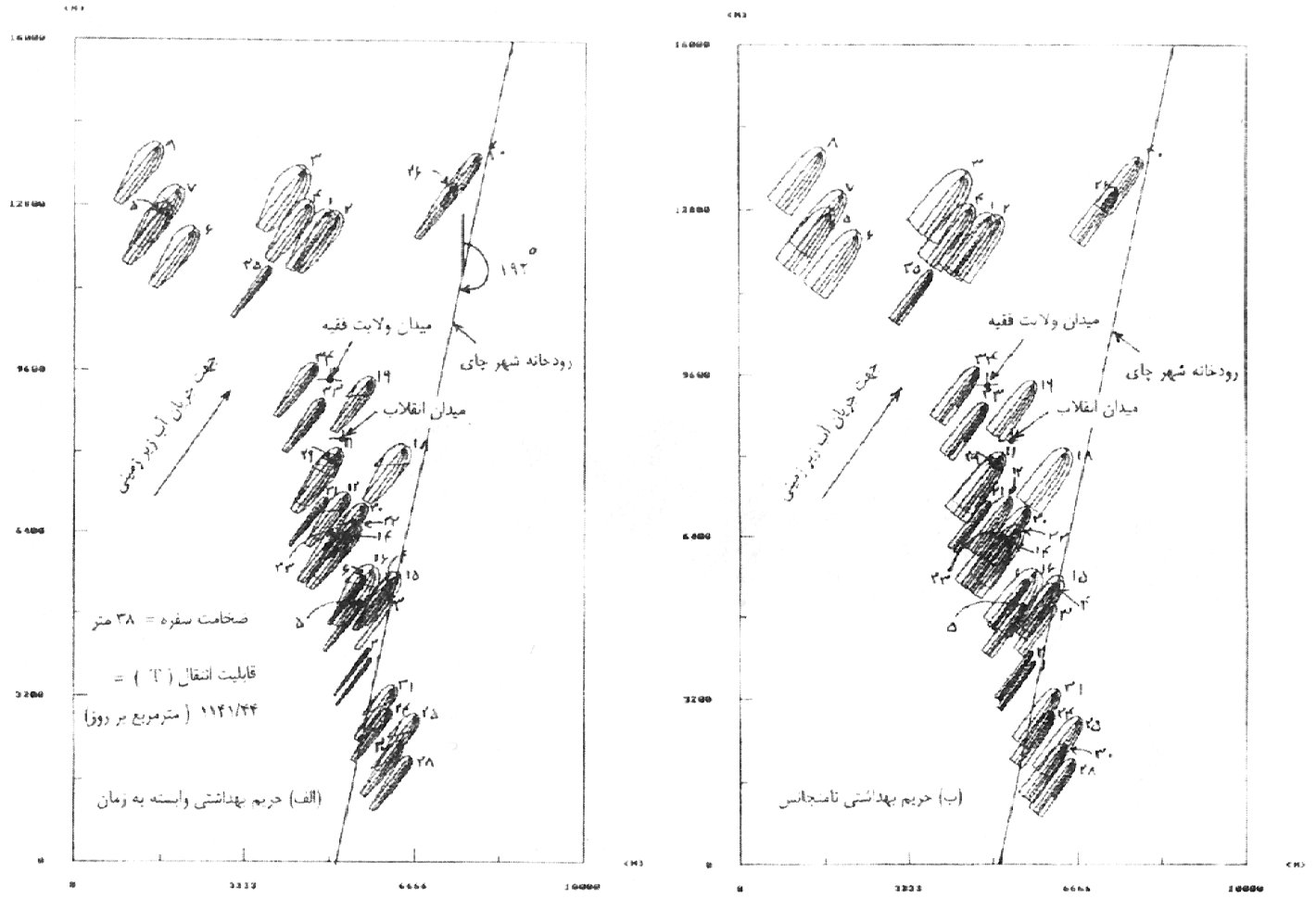


شکل ٤- حریمهای بهداشتی محاسبه شده برای ۳٦ چاه آبرسانی شهر ارومیه با استفاده از مدول RESSQC از کد رایانه‌ای WHPA برای مدت زمان انتقال ۵ سال

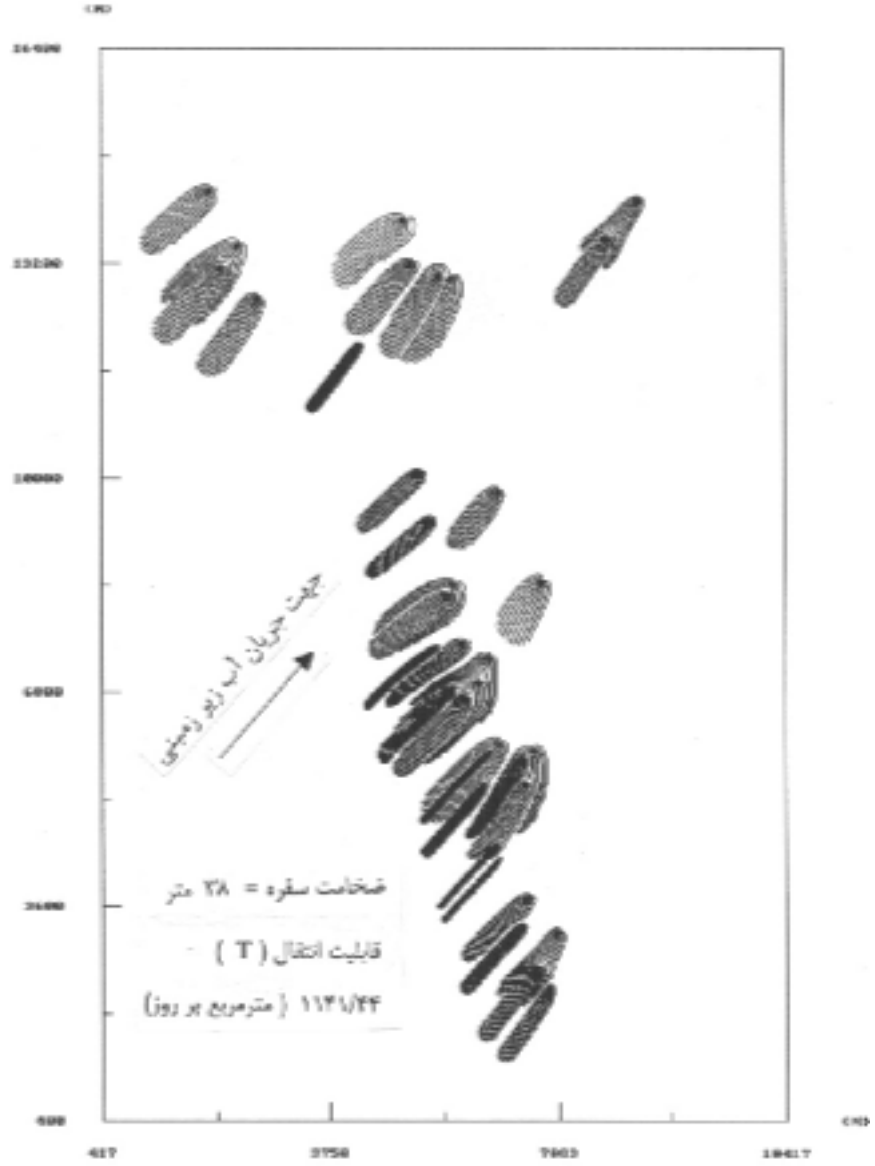
کـه در شـکل (٤) امـتداد حـریمها لزوما همگی در امتداد جهت عمومی جریان آب زیر زمینی نیستند. این تفاوت به دلیل اعمال تاثیر تداخل چاهها به علت نزدیکی به هم، در مدول RESSQC و عـدم اعمـال تاثـیر در مـدول MWCAP اسـت. در مـدول MWCAP محاسـبات حـریم بهداشـتی هر چاه به طور مجرد و بدون تاثیر تداخل حریمهای بهداشتی، انجام می‌پذیرد. از مقایسه مسـاحت تقریبـی حـریمها در شـکل(٤) (مـدول RESSQC) و شـکل (۵ – الف) می‌توان نتیجه گرفت که امتداد طولـی حریمهای محاسبه شده توسط مدول RESSQC به مقدار کـم از امـتداد طولـی حـریمها در مـدول MWCAP بیشـتر و مساحت حریمها نیز مقداری بیشتر است. مطابق شکل (۵ – ب) حریمهای بهداشتی نامتجانس محاسبه شده، قسمتی از حریمهای

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5] [Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]



شکل ۵- حریمهای بهداشتی محاسبه شده برای ۳۶ چاه آبرسانی شهر ارومیه با استفاده از مدول محاسباتی MWCAP با وجود مرز رودخانه و در دو حالت (الف) حریم وابسته به زمان، و (ب) حریم نا متجانس. مدت زمان انتقال ۵ سال می‌باشد.



شکل٦ - حریمهای بهداشتی محاسبه شده برای ٣٦ چاه آبرسانی شهر ارومیه با استفاده از مدول محاسباتی GPTRAC، حالت سفره نیمه محصور نشت دار، با گسترش نامحدود و بدون مرز برای سفره. مدت زمان انتقال ٥ سال است.

بـدون انـتهای از نوع پایدار بوده لکن در انتهای خود با توجه به زمـان انـتقال در نظـر گرفـته شـده، با یک منحنی بسته شده‌اند. مسـاحت این حریمها (شکل ٥ – ب)، قدری بزرگتر از مساحت حریمهای وابسته به زمان هستند، شکل (٥ – الف).

در نـتایج محاسـبات مدول MWCAP در شکل (٥ – الف)، رودخانـه شـهر چـای بـه علت اثر تغذیه ای آن، باعث کوچکتر شـدن حـریم بهداشـتی چاههای همجوار شده است. برای مثال، مجموع مساحت حریمهای بهداشتی چاههای شماره ٣، ٤، و ١٥ در شـکل (٥ – الـف) کوچکـتر از مجمـوع مساحت حریمهای بهداشـتی همیـن چاهها در شکل (٤) است. همچنان که قبلا ذکر شد، مقداری از این تاثیر نیز در اثر تداخل حریم چاههاست، شکل (٤).

٧-٢-٣- نتایج مدول GPTRAC

همچـنان کـه قـبلا ذکـر شد، مدول GPTRAC حالت سفره نـیمه محصـور یـا نشت دار را نیز می‌تواند مدل کند. حریمهای بهداشـتی ٣٦ چـاه آبرسـانی ارومـیه برای هر سه حالت سفره با

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

مـدول GPTRAC محاسـبه شـدند [۲۲]. شـکل و مسـاحت حـریمهای محاسـبه شـده بـرای دو حالـت سـفره محصـور و نامحصـور بـه دلیل شرایط مرزی و هیدروژئولوژیک یکسان در نظـر گرفـته شـده، شـبیه حـریمهای محاسبه شده توسط مدول RESSQC، شکل (٤) بودند و لذا اشکال مربوطه در اینجا نشان داده نشـده‌انـد [۲۲]. بـرای بررسی تاثیر یک لایه محصور کننده نشـت دار در بـالای سـفره، روی شـکل و مسـاحت حـریمها، محاسـبات با همان داده‌های استفاده شده در محاسبات قبلی و با در نظـر گرفتن یک لایه محصور کننده فرضی به ضخامت ۱ متر و ضـریب نفوذپذیری ۰/۰۰۰۸٦٤ متر در روز، برای این ۳٦ چاه انجـام پذیرفـت. شـکل (٦) حریمهای بهداشتی محاسبه شده را نشان می‌دهد. این حریمها با ده خط جریان نشان داده شده‌اند و بـرای وضوح بیشتر شماره چاهها در شکل قید نشده‌اند. مقایسه حـریمها در دو حالـت سـفره محصـور و سـفره نـیمه محصور نشـت دار نشان داد که در حالت دوم حریمهای محاسبه شده از نظـر مسـاحت مقداری کوچکتر از حالت اول هستند که به دلیل نشـت از سـفره از مـیان لایه محصور کننده نشت دار است. این امـر موجـب مـی‌شـود مقـداری از آب سفره تلف شده و میزان جـریان آب ورودی بـه داخـل چـاه کـاهش یـابد. کـاهش دبی ورودی بـه داخل چاه (یا دبی پمپاژ چاه) باعث کاهش مساحت حریم بهداشتی چاه می‌شود.

۸- خلاصه و نتیجه گیری

در ایـن مطالعـه حـریم بهداشتی برای کنترل کیفی چاههای آب شـرب در شـهرها تعـریف و سـپس پنج معیار و پنج روش مخـتلف بـرای محاسـبه حـریم بهداشـتی معرفـی شـدند. نقش مکانـیزمهای حرکتـی و آلاینده‌های میکربی و شیمیایی در حریم بهداشـتی چـاه بـه طور اجمال بحث شد. سپس با استفاده از دو روش شـعاع ثابت FDER و شعاع ثابت Theis، و روش اشکال متغـیر سـاده شده، حریمهای بهداشتی برای چاه آبرسانی شماره ۲۰ ارومـیه محاسبه شده و نتایج حاصله مورد بحث قرار گرفت. در قسـمت دیگـر مطالعـه کـد رایانـه‌ای WHPA و مدولهـای محاسـباتی مـربوطه بـه عـنوان یک روش محاسباتی برای تعیین حـریم بهداشـتی معرفـی شـدند. سـپس نـتایج محاسبات حریم بهداشـتی بـا مدول محاسباتی RESSQC، از کد WHPA، برای چـاه شـماره ۲۰ ارومـیه بـه همـراه جبهه آلودگی برای یک چاه فاضـلاب فرضـی در حوالی چاه شماره ۲۰ ارائه شد. در ادامه با اسـتفاده از سـه مـدول محاسـباتی RESSQC، MWCAP، و GPTRAC، حـریمهای بهداشـتی بـرای ۳٦ چاه آبرسانی ارومیه بـرای شـرایط محیطـی و هـیدروژئولوژیک در نظـر گرفته شده تعییـن شـد. اثـر تداخـل حریم چاههای همجوار، تاثیر رودخانه شـهرچای، و تاثـیر یک لایه محصور کننده نشت دار فرضی، در شکل حریمهای بهداشتی محاسبه شده مورد بحث قرار گرفت.

در صـورت فـراهم بـودن اطلاعـات قـابل اعـتماد هیدروژئولوژیک در منطقه استقرار چاهها، روشهای محاسباتی و کـد WHPA نـتایج دقیقـتری را برای حریمهای بهداشتی چاهها ارائـه مـی‌دهند. این حریمها نسبت به حریمهای محاسبه شده با روشـهای سـاده‌تـر مانند روش شعاع ثابت، کوچکتر و در نتیجه اقتصادیتر خواهند بود.

تشکر و قدردانی

مولـف از مسئولین محترم سازمان مدیریت و برنامه ریزی و شـرکت آب و فاضـلاب اسـتان آذربایجانغربـی که در طول این مطالعه مشوق و پشتیبان بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌کند.

واژه نامه

1. Blanford and Huyakon
2. capture zone
3. zone of contribution (ZOC)
4. wellhead prorection area, WHPA
5. zone of influence (ZOI)
6. cone of depression
7. zone of transport (ZOT)
8. capacity of the aquifer to assimilate contaminants
9. advection

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]

مراجع

1. US EPA, "Literature Review of Methods for Delineating Wellhead Protection Areas," Report No EPA 816-R-98-021, 1998.
2. Livingstone, S., Franz, T., and Guiger, N., "Managing Groundwater Resources Using Wellhead Protection," *Geoscience Canada*, Vol. 22, No. 4, pp. 121-128, 1995.
3. US EPA, "Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas," Report No. EPA-440/5-93-001, 1987, 1993.
4. Ginsberg, M., "Applicability of Wellhead Protection Area Delineation to Domestic Wells: A case study," EPA-813-B95-007, 13 pp, 1995.
5. Heath, Douglas, L., "Delineation of a Refined Wellhead Protection Area for Bedrock Public Supply Wells," Charlestown, Rhode Island. USEPA, 1995.
6. Waterloo Hydrogeologic Inc., "Delineation of Wellfield Capture Zones Within the Waterloo Moraine (Technical Reference for Capture Zone Modeling)," Report by Waterloo Hydrogeologic Inc., Waterloo, Canada, 2000.
7. Rifai, H. S., Hendricks, L. A., Kilborn, K., and Bedient, P. B. "GIS User Interface for Delineating Wellhead Protection Areas," Groundwater. Vol. 31, No. 3, pp. 480-488, 1993.
8. Cole, B. E., "Impact of Hydraulic Conductivity Uncertainty on Capture Zone Delineation (Wellhead Protection, Contaminant Transport)," University of Notre Dame. UMI, Doctoral Sabstracts International, Vol. 56-07B, 185 pp, 1996.
9. Wuolo, R. W., Dahlstrom, D. J., and Fairbrother, M. D., "Wellhead Protection Area Delineation Using the Analytic Element Method of Groundwater Modeling," *Groundwater*, Vol. 33, No. 1, pp. 71-83, 1995.
10. USEPA, "Numerical Codes for Delineating Wellhead Protection Areas in Agricultural Regions Based on the Assimilative Capacity Criterion," EPA Report /600/R-92-223, 1997.
11. Paillet, F. L., and Pedler, W. H., "Integrated Borehole Logging Methods for Wellhead Protection," The 1993 36th Annual Meeting of the Association of Engineering Geologists, San Antonio, TX. Engineering Geologists, Vol. 42, No. 2-3, pp. 155-165, 1996.
12. Ontario Ministry of the Environment, "PROTOCOL for Delineation of Wellhead Protection Areas for Municipal Groundwater Supply Wells Under Direct Iinfluence of Surface Water, Report No. PIBS 4168e, Ontario Ministry of the Environment, Canada, 2001.
13. Blandford , T.N., and Huyakon, P. S., "WHPA, A Modular Semi – Analytical Model for the Delineation of Wellhead Protection Areas," HydroGeologic Incorporation ,Herndon, VA 22070, US EPA , USA, 1991.
14. Moore, B. A., "Case Studies in Wellhead Protection Area Delineation and Monitoring," USEPA Report 600/R-93/107, 1993.
15. Office of Groundwater Protection, US EPA, "Safe Drinking Water Act (SDWA)," Washington, D.C, 1986.
16. Gebra, C. P., Yates, M. V., and Yates, S. R., "Quantitation of Factors Controlling Viral and Bacterial Transport in the Subsurface, In Modelling the Environmental Fate of Microorganisms, 77-87, ed. C.J. Hurst. Washington, D.C.: American Society of Microbiology, 1991.
17. Matthess, G, Foster, S.S.D., and Skinner, A.C., "Theoretical Background, Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones. "International Contributions to Hydrogeology," Vol. 6. UNESCO – IUGS , International Association of Hydrogeologists, Heise, Hannover, West Germany, 1985.
18. Kewick, B.H., and C. P. Gerba, "Viruses in Groundwater, Environmental science and Technology," Vol. 14, PP: 1240 – 1297, 1980.
19. Matthess, G., and Pekdeger, A., "Survival and Transport of Pathogenic Bacteria and Viruses in Groundwater ." Geological – Paleontological Institute of kiel University, Kiel, Federal Republic of Germany, 1981.
20. Theis, C.V., "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, 1935.
21. Todd, D.K., *Ground Water Hydrology*. John Wiley and Sons, Inc, 1980.

۲۲. بـدو، ک. "تحقـیق در وضـعیت منابع آب زیر زمینی مورد اسـتفاده جهـت آب شـرب شـهری و منابع آلاینده در شهر ارومـیه بـا تاکـید بـر تعییـن حریم بهداشتی برای چاههای آب شـرب،" گـزارش پژوهشـی، سـازمان مدیریـت و برنامه‌ریزی استان آذربایجانغربی، دو جلد، ۲۳۴ صفحه.، ۱۳۸۱.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1383.23.2.7.5]