

A. Alizade, phd

S. Afshin

Sh. Danesh, phd

E.mail: sara_afshin@yahoo.com

دکتر امین علیزاده، استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سارا افشین

دکتر شهناز دانش، استاد منابع طبیعی دانشگاه فردوسی مشهد

شماره مقاله: ۷۵۳

شماره صفحه پیاپی ۱۵۵۱۵-۱۵۵۳۴

تعیین و پهنه‌بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد

چکیده

شهر مشهد تا سال ۱۳۹۰ دارای جمعیتی حدود ۳ میلیون نفر و نیاز آبی سالانه حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب خواهد بود. با توجه به نقش منابع آب زیرزمینی در استخراج آب و تامین آب آشامیدنی شهرها، استفاده از چاه‌های آب داخل محدوده شهر امری اجتناب ناپذیر است. بنابراین، برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه حفظ چاه‌های آب آشامیدنی از خطر آلوده شدن، برنامه‌ریزی مدیریت جامع کیفیت منابع آب امری ضروری است. یکی از اهرم‌های مهم در این برنامه‌ریزی، تعیین و رعایت حریم چاه‌های آب آشامیدنی است. حریم بهداشتی یک چاه، محدوده‌ای است که در اطراف آن، اگر ذره‌ای آلودگی قرار گیرد، حداقل طی مدت پنجاه روز به چاه برسد، تا میکروارگانیسم‌ها در مسیر حرکت به طرف چاه در این مدت از بین رفته، خطری برای آلودگی آب به وجود نیاورند. بنابراین؛ برای آنکه چاه آب آشامیدنی فاقد آلودگی میکروبی باشد، باید فاصله مناسبی را بین منبع آلودگی و آن چاه در نظر گرفت. از آنجایی که تعداد قابل توجهی از چاه‌های آب آشامیدنی مشهد در داخل محدوده شهر قرار گرفته‌اند، که در اطراف آنها منابع آلوده کننده بیولوژیک وجود دارد، بنابراین، تعیین و محاسبه بهینه و دقیق حریم چاه‌ها باید براساس مبانی علمی انجام پذیرد، زیرا محاسبه و اعمال حریم کوچک‌تر، خطر آلودگی آب چاه را بالا برده، حریم بزرگ‌تر، به لحاظ در برگرفتن

زمین‌های محدوده اطراف حریم، ائتلاف سرمایه را به دنبال خواهد داشت. در این تحقیق، برای محاسبه حریم بهداشتی ۱۷۴ حلقه چاه آب آشامیدنی شهر مشهد از مدل ریاضی انتقال میکروارگانسیم‌ها که از جمله روش‌های محاسباتی _ عددی در تعیین حریم بیولوژیک چاه محسوب می‌شود، استفاده شده است. پس از تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان برای هر یک از ۱۷۴ حلقه چاه مذکور، خطوط همزمان رسیدن آلودگی به چاه بهره برداری با استفاده از مدل کینزل بک^۱ تعیین و رسم گردید. سپس، سطح شهر مشهد به لحاظ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی پهنه‌بندی شده است. نتایج این بررسی، حاکی از آن است که چاه‌های آشامیدنی شهر مشهد به دلیل تفاوت در خصوصیات آبخوان در مناطق مختلف شهر دارای حریم‌های متفاوتی بوده که بین ۲۷۰ تا ۳۵۰ متر متغیر است. به طوری که در مناطق مرکزی شهر (اطراف حرم به سمت میدان شهدا و راه آهن)، حریم بهداشتی چاه‌های آب ۲۷۰ تا ۲۹۰ متر بوده و به سمت شمال غربی شهر مشهد، این حریم افزایش یافته و بین ۳۲۰ تا ۳۵۰ متر است. بنابراین، دامنه این حریم از غرب و شمال غربی به سمت شرق مشهد به طور نسبی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: حریم بهداشتی، آب زیرزمینی، مدل ریاضی، انتقال میکروارگانسیم

مقدمه

آب مورد نیاز آشامیدنی در اکثر شهرها از منابع زیرزمینی تامین می‌شود. با وجود این، در سال‌های اخیر افزایش جمعیت و برداشت روز افزون آب از مخازن زیرزمینی، باعث کاهش کمی و زوال کیفی این منابع شده است. افت شدید سطح آب در دشت مشهد و به تبع آن آبخوان شهر مشهد که بعضاً به بیش از ۱۰ متر نسبت به چند سال گذشته گزارش شده، بدون شک، برای آب زیرزمینی مشهد یک مشکل محسوب می‌شود (سیادتی مقدم، ۱۳۸۳). از طرف دیگر، کاهش شدید آب در آبخوان و ورود آلاینده‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری باعث افت شدید کیفیت آب زیرزمینی دشت و شهر

1 - KinzelBach

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۱۱

مشهد شده است. از آنجایی که اکثر شهرهای ایران فاقد سیستم جمع آوری، تصفیه و انتقال فاضلاب‌های خانگی هستند، فاضلاب‌ها به طور مستقیم وارد چاه‌های جاذب می‌گردند.

گرچه، یکی از راهکارهای عملی برای کاهش آلودگی در این زمینه احداث شبکه فاضلاب شهری است، اما شبکه جمع آوری و انتقال فاضلاب شهری، به تنهایی حلال مشکلات آب آشامیدنی شهر مشهد نیست زیرا بخش زیادی از آب مصرفی شهر از چاه‌های داخل شهر تامین می‌شود و احداث شبکه فاضلاب باعث کاهش تغذیه آبخوان می‌گردد. بر اساس مطالعات انجام گرفته و با توجه به اطلاعات پیزومترهای حفر شده در داخل شهر مشهد، از شهریور ۱۳۷۵ تا شهریور ۱۳۸۲ سطح آب زیرزمینی از ارتفاع ۹۵۲/۱۳ متر نسبت به سطح دریا به ۹۴۸/۱۲ متر نسبت به سطح دریا کاهش یافته است؛ یعنی به‌طور متوسط سطح آب زیرزمینی هر سال ۵۳ سانتی متر افت داشته است (سیادتی مقدم، ۱۳۸۳). البته، این افت سطح آب در تمام سفره یکنواخت نیست. سطح آب زیرزمینی در نواحی شرق به علت تغذیه توسط چاه‌های فاضلاب منازل، تقریباً ثابت مانده و حتی در محدوده قلعه ساختمان سطح آب زیرزمینی ۹۲ سانتی متر بالا آمده است، اما در نواحی غرب مشهد به علت احداث شبکه جمع آوری فاضلاب منازل و همچنین، تخلیه زیاد توسط چاه‌ها، سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط سالیانه بیش از یک متر افت نموده است (سیادتی مقدم، ۱۳۸۳).

منابع آب زیرزمینی که مهمترین منبع تولید آب آشامیدنی شهرها هستند، ممکن است از طریق تغذیه مصنوعی با فاضلاب یا آب سطحی، چاه‌های جاذب، نشت از مخازن سپتیک یا نشت از لوله‌های فاضلاب، به میکرو ارگانسیم‌های بیماریزا آلوده شوند که در این رابطه چاه‌های جذبی فاضلاب، مهمترین عامل آلوده کننده به شمار می‌روند (علیزاده، ۱۳۶۹). برای آنکه این چاه‌ها فاقد آلودگی میکروبی بوده و برای آشامیدنی مناسب باشند، باید فاصله مناسبی (حریمی) را بین منبع آلودگی، آب زیرزمینی و چاه‌های تامین آب در نظر گرفت. برای اطمینان از داشتن آب آشامیدنی سالم، رعایت زمان و فاصله مناسب

برای از بین رفتن عوامل بیماری‌زا که به طرف چاه حرکت می‌کنند، لازم است تا اطمینان حاصل گردد که عوامل بیماری‌زا طی این مدت در این مسیر از بین خواهند رفت. مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی در گام اول مستلزم شناخت کافی از منشاء آلاینده‌های آبخوان بوده، در گام دوم نیاز به ابزاری دارد تا بازتاب تأثیر عوامل مختلف مؤثر در کیفیت آبخوان را پیش‌بینی نماید. در این راستا به کمک ابزاری مانند شبیه‌سازها و یا مدل‌ها، می‌توان با دقت قابل قبولی شرایطی را مشابه با آنچه در طبیعت است، به وجود آورده، به نتایج رضایت بخشی دست یافت. مدل ریاضی انتقال میکروارگانیزم‌ها (نظیر باکتری و ویروس) در به کارگیری و شناخت تعیین محل چاه‌های جاذب فاضلاب نسبت به چاه‌های آب آشامیدنی (و یا برعکس)، تعیین محل مخازن سپتیک و یا تعیین محل دفن لجن در زمین‌های بایر یا کشاورزی بخوبی قابل استفاده است.

در این مقاله، تعیین حریم بیولوژیک چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد به منظور تعیین نقاط آسیب‌پذیر شهر مشهد در اثر نفوذ فاضلاب خانگی و در نتیجه، تعیین نقاطی که نیاز به عملیات پایش دائمی دارند، تعیین نقاط مطمئن‌تر به لحاظ سلامتی برای حفر چاه و در نهایت، تعیین اولویت برای ایجاد سیستم‌های دفع و انتقال فاضلاب برای مکان‌هایی که بار آلودگی بیشتری دارند، مورد نظر بوده است.

پیشینه

در منابع علمی، از حریم بهداشتی چاه به عنوان ناحیه تسخیر^۲ (CZ)، ناحیه مشارکت^۳ (ZOC)، ناحیه حفاظت سرچاهی^۴ (WHPA) 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، از این ناحیه مواد آلوده می‌توانند به طرف چاه حرکت کنند و به

2 Capture Zone

3 Zone Of Contribution

4 Well Head Protection Area

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۱۳

آب داخل چاه برسند (EPA,1986). آشنایی با اصول اولیه حرکت آب و آلاینده‌ها در لایه‌های خاک در قالب مبانی هیدروژئولوژی و حرکت آلودگی در خاک از ضروریات اولیه در تعیین حریم بهداشتی چاه است. در بررسی منابع، یافته‌های علمی متعددی در مورد روش‌های تعیین حریم بهداشتی چاه‌ها شناسایی گردیده‌اند (EPA,1988).

عامل مهمی که در حرکت آلاینده‌ها به طرف چاه در داخل ناحیه مشارکت نقش دارد، مکانیزم انتقال افقی مواد یا ادوکسیون^۵ است که طبق تعریف، همان حرکت افقی آلاینده از نقطه‌ای به نقطه دیگر توسط جریان آب زیرزمینی است. عوامل شیمیایی، بیولوژیک و فیزیکی دیگری نیز در بقا یا مرگ آلاینده‌ها (مانند میکروارگانیسم‌ها) در داخل زمین نقش دارند. مکانیزم‌های کند کننده^۶ و پالاینده باعث کاهش حرکت آلاینده‌ها و مکانیزم پخش^۷ باعث افزایش سرعت حرکت آلاینده‌ها در داخل زمین می‌شود. به دلیل تفاوت در مشخصه‌های خاک، گذر حجمی جریان آب زیرزمینی، سرعت نفوذ آلاینده‌ها، شرایط گوناگون محیطی مناسب برای رشد انواع باکتری‌ها و سایر عوامل دیگر، نمی‌توان با قاطعیت فاصله‌ای را که فاضلاب در خاک طی می‌کند تا آلاینده‌های آن حذف شوند، مشخص کرد. آلاینده‌ها در خاک‌های ریز دانه (ماسه‌ای) پس از طی مسیر کوتاهی متوقف می‌شوند، در حالی که در زمین‌ها، مانند سنگ‌های دارای ترک و درز و شکاف مانند کارست، قادرند تا فاصله‌های بسیار زیادی حرکت کنند (قنادی، ۱۳۸۳). بررسی باتلر و همکاران (۱۹۵۴)، در رابطه با حرکت باکتری‌های بیماری‌زا و مواد شیمیایی سمی در آب زیرزمینی حاکی از آن است که حرکت این مواد از فصل مشترک سفره‌ها بین ۳۵ سانتی‌متر تا ۱۵۰ سانتی‌متر، بوده است. با این حال، هنگامی که این مواد به جریان آب زیرزمینی وارد شده‌اند، عوامل بیماری‌زا در چاه‌ها با فاصله‌های

5 Advection

6 Retardation

7 Dispersion

۱۵ تا ۷۰ متر از محل ورود اولیه نیز مشاهده شده اند. در این بررسی، مواد شیمیایی سمی تا فاصله‌های ۱۹/۵ الی ۱۳۷ متر از محل تزریق اندازه‌گیری شده است^۸ (باتلر، ۱۹۸۴) بر اساس گزارش باتلر و همکاران (۱۹۵۴)، از راه یابی آلاینده‌ها از محل تخلیه فاضلاب مدفوعی به چاه‌هایی که در فاصله ۴۵۰ متر قرار داشته‌اند، حکایت دارد (باتلر، ۱۹۸۴). به‌طور معمول 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 توصیه، نتیجه مطالعات گسترده چندین ساله روی حرکت و بقای ویروس‌ها و باکتری‌ها در آب‌های زیرزمینی است (فاستر و اسکینر، ۱۹۸۵).^۹ برخی دیگر از سازمان‌های بهداشتی، حداقل فاصله مناسب و ایمن چاه توالت و چاه آب آشامیدنی را ۳۰ متر توصیه کرده اند. باید توجه داشت که بر اساس تجربه‌های میدانی و مستندات علمی، در خاک‌های ریز دانه و در شرایط غیر اشباع، همه میکروارگانیسم‌ها، در فاصله کمتر از ۲ متر، از جریان آب حذف می‌شوند. بیشترین مسافتی که میکروارگانیسم‌ها قادر به طی آن در خاک هستند، در شرایط اشباع و خاک‌های درشت دانه و سنگ ریزه رخ می‌دهد. با این حال، اغلب میکروب‌های بیماری‌زا، به دلیل دمای پائین توده خاک و کمبود یا فقدان مواد غذایی، پس از گذشت چند هفته از بین می‌روند.

حذف عناصر میکروبیولوژیک در خاک و آب زیرزمینی به نوع این عناصر بستگی دارد. در لایه‌های خاک نیمه اشباع و در صورت وفور اکسیژن در این لایه‌ها، برخی باکتری‌ها می‌توانند برای مدت بیشتر از شش ماه نیز زنده بمانند. پاتوژن‌ها در اثر عوامل فیزیکی (مانند دما)، بیولوژیک و شیمیایی می‌توانند در داخل خاک پس از مدتی از بین بروند. درجه حرارت زیاد، pH حدود ۷، اکسیژن کم و وجود مقادیر زیاد کربن آلی در خاک، سرعت حذف باکتری‌های پاتوژنی را افزایش می‌دهد (گبرا و یتس، ۱۹۹۱).^{۱۰}

8 - Bulter

9 - Foster & Skinner

10 - Gebra & Yates

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۱۵

تحقیقات اخیر نشان داده است که بر خلاف تصور رایج که تعیین فاصله چاه توالی و چاه آب را عامل مؤثر در جلوگیری از آلودگی میکروبی چاه آب می‌شناسد، مطمئن ترین و صحیح ترین شیوه برای تعیین احتمال آلودگی، تعیین مدت زمانی است که طی آن، آب چاه‌های توالی به منابع آبی می‌رسد. بر اساس یافته‌های محققان در کشورهای اروپایی توصیه می‌شود که زمان تأخیر ۵۰ تا ۶۰ روز و اگر ممکن باشد تا یک سال برای حفاظت آب چاه‌ها از ویروس‌ها و باکتری‌های پاتوژنی در نظر گرفته شود. زمان ۵۰ روز به این معنی است که ۵۰ روز طول می‌کشد که باکتری رها شده در داخل زمین قبل از مردن، از یک نقطه در اطراف به چاه آب برسد (علیزاده، ۱۳۶۹).

ویروس‌ها در آب سطحی بیشتر از آب زیرزمینی یافت می‌شوند. این موجودات نیز مانند اکثر موجودات زنده ذره بینی و مواد شیمیایی می‌توانند در روی زمین مسافتی را طی کرده، سرانجام با پیوستن به آب‌های زیرزمینی آن‌ها را آلوده سازند. آزمایش‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که در زمین آلوده بیشترین آلودگی در سطح زمین و در بالاترین لایه خاک دیده می‌شود. حداکثر حرکت عمودی ویروس‌ها در زمین، ۶۰ تا ۶۷ متر، حرکت افقی آن‌ها در مسیری به طول ۴۰۸ متر توسط برخی از محققان گزارش شده است [۱، ۱۷]. از طرفی، باکتری‌های کلی فرم^{۱۱} به عنوان شاخص آلودگی میکروبی فاضلاب شهری به حساب می‌آیند. یک انسان بالغ روزانه به طور متوسط ۱۰۰ تا ۱۵۰ گرم مدفوع دفع می‌کند [۲۰، ۲۱]. تعداد کلی فرم‌های دفع شده در هر گرم مدفوع، بیش از ۱۰^{۱۲} عدد باکتری گزارش شده است (قنادی، ۱۳۸۰). این باکتری‌ها که به‌طور طبیعی در روده انسان وجود دارند (EPA, 1988). پس از مدت کمتر از ۸ روز به میزان ۹۹/۹ درصد حذف می‌شوند، در صورتی که ای کلی^{۱۲} به پنجاه روز نیاز دارد تا به همان میزان حذف شود (فاستر و اسکینر، ۱۹۸۵).

11 Coli forms

12 Escherichia Colie

مواد و روش

دو فاکتور مهم در مدل‌های جریان عبارتند از : ۱- جریان در اثر پتانسیل شیب هیدرولیکی^{۱۳} و ۲- کاهش یا افزایش منبع آب از طریق تغذیه و تخلیه^{۱۴}، که شامل تغذیه یا تخلیه طبیعی، چاه‌های پمپاژ یا تزریق است.

معادلات ریاضی جریان آب‌های زیرزمینی بر اساس اصل بقای جرم و حرکت، پایه‌گذاری شده است. بقای جرم به وسیله معادله پیوستگی بیان می‌شود. مدل‌های انتقال آلاینده، مدل‌هایی کامل تر و توسعه یافته تر از مدل‌های جریان سیال هستند. انتقال مواد شیمیایی و همچنین، عوامل بیولوژیک از قبیل باکتری‌ها و ویروس‌ها، بستگی به میزان جریان سیال دارد. علاوه بر جریان سیال، انتقال آلاینده‌ها در آب زیرزمینی تحت تأثیر فرآیندهای بسیار متنوع و پیچیده است. همچنین، وجود موجودات زنده و فعالیت آنها نیز می‌تواند نقش مهمی در تغییر کیفیت آب‌های زیر زمینی داشته باشد (علیزاده، ۱۳۶۹).

مدل‌سازی دقیق آلاینده‌ها، نیازمند ترکیب معادلات انتقال به وسیله پراکندگی است. متأسفانه در اغلب موارد، کاربرد توأم این معادلات نمی‌تواند میزان پراکندگی آلاینده‌ها را در مقیاس صحرائی به طور دقیق پیش‌بینی نماید (US. EPA, 1993). بنابراین، در اکثر مدل‌های انتقال آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی، ترجیحاً از معادله انتقال به تنهایی استفاده می‌شود. اگر چه، راه حل‌های تحلیلی برای بعضی مدل‌های نسبتاً ساده پذیرفته شده است، ولی بیشتر مدل‌های پیچیده آب زیرزمینی ترکیبی از روش‌های حل عددی تفاضل‌های محدود یا عناصر محدود توسط معادلات حاکم بر دیفرانسیل جزئی هستند (قنادی، ۱۳۸۰).

در تحقیق حاضر برای تعیین حریم بیولوژیک چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد، از روش محاسباتی و مدلی که کین زل باخ در سال ۱۹۸۶ ارایه نمود (کینزل بک، ۱۹۸۶). استفاده شده است که بر اساس معادلات انتقال و حرکت مواد آلاینده است. ناحیه حفاظتی

13 Hydraulic potential gradients

14 Sinks and sources

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۱۷

به صورت منطقه‌ای در آبخوان تعریف می‌شود، که آب آشامیدنی در زمان کمتر یا مساوی ۵۰ روز به چاه می‌رسد، آلودگی میکروبی ندارد. در این تعریف، از حرکت در ناحیه غیر اشباع از سطح زمین به سفره آب و همچنین پراکنندگی، صرف نظر شده است. تعیین این منطقه به محاسبه خطوط همزمان رسیدن به چاه (ایزوکرون)^{۱۵} نیازمند است. بنابراین، متوسط زمان رسیدن آلودگی از یک نقطه (X_0, Y_0) به چاه در مکان (X_w, Y_w) به صورت معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\tau = \int_{x_0}^{x_w} \frac{R}{u_x} dx = \int_{y_0}^{y_w} \frac{R}{u_y} dy$$

τ : متوسط زمان رسیدن آلودگی

$U_{x,y}$: سرعت متوسط آب در محیط متخلخل در جهات X, Y

R : ضریب تاخیر

X_w, Y_w : مختصات چاه

داده‌های ورودی به مدل

۱ - پارامترهای آکیفر (آبخوان):

- نوع آبخوان:

مدل‌های تهیه شده سال ۱۳۶۷ و ۱۳۷۲ دشت مشهد و همچنین در گزارش بیلان سال ۱۳۷۱ دشت مشهد (سازمان آب خراسان، ۱۳۷۱). و گزارش بیلان سال ۱۳۷۸ دشت مشهد، آبخوان مشهد تک لایه و آزاد معرفی شده است. بنابراین، آبخوان شهر مشهد آبخوانی آزاد در نظر گرفته می‌شود.

- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان:

برای تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان باید تعداد زیادی آزمایش پمپاژ انجام شود. با مطالعه لوگ‌ها و انتخاب محل‌های شاخص و همچنین، نظر کارشناسان شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، ۲۵ لوگ در نظر گرفته شد که پس از تعیین دانه‌بندی و

ضخامت آبخوان، نفوذپذیری و ضریب ذخیره را با نمودارها و جدول‌های موجود تخمین زده شد و ضریب انتقال به دست آمد. سپس با توجه به منطقه‌بندی انجام شده این ضرایب برای ۱۷۴ چاه آشامیدنی توزیع شده است.

- سرعت داریسی^{۱۶}

سرعت جریان بر اساس فرمول داریسی معمولاً در دو بعد طول و عرض تعیین و بر حسب متر در روز وارد مدل می‌شود. در این تحقیق، برای شهر مشهد سرعت به صورت یک بعدی و میزان آن یک متر در روز است.

- ضریب استهلاک^{۱۷} RD

ضریب استهلاک در حرکت آلودگی در آب زیرزمینی ناشی از مکانیزم جذب است که باعث کاهش حرکت آلاینده شده، این عمل هم برای ذرات آلی و هم برای ذرات غیر آلی صورت می‌پذیرد. در این مطالعه این ضریب، یک در نظر گرفته شده است.

۲- پارامترهای چاه :

- تعداد چاه‌ها؛

- مختصات چاه‌ها؛

- آبدهی چاه‌ها: بر حسب متر مکعب بر ثانیه؛

- زمان از شروع پمپاژ چاه. که در مدل ۳۶۵ روز در نظر گرفته شده است.

۳- پارامترهای زمانی :

- مدت زمان زنده ماندن باکتری‌ها که ۵۰ روز در نظر گرفته شده است.

۴- خروجی مدل :

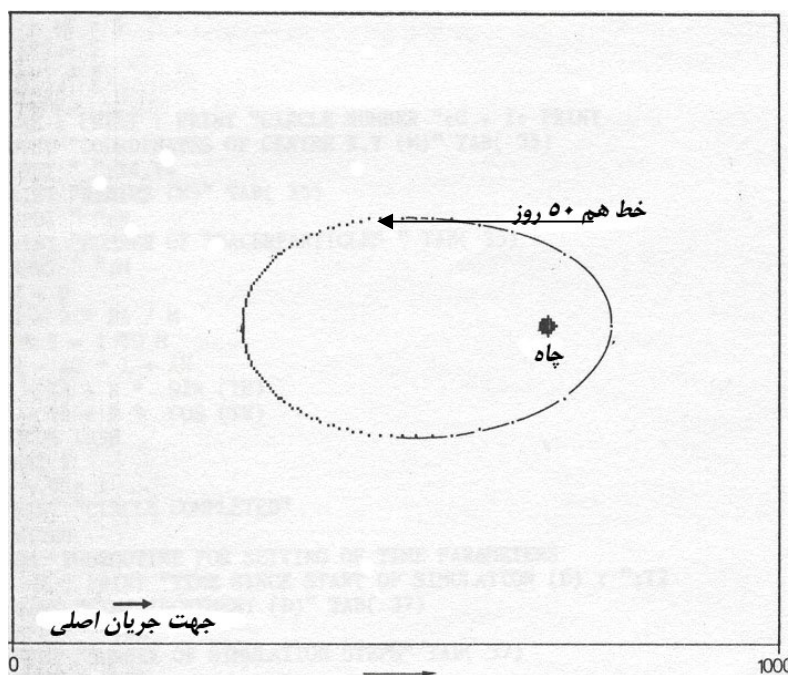
رسم خطوط ایزوکرون ۵۰ روز برای هر چاه (شکل ۱)، خروجی مدل است؛ بطوری که هر ذره آلودگی که در خارج این خط قرار گرفته باشد، از بین رفته، دیگر خطر آلودگی

16 Darcy velocity

17 Retardation factor

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۱۹

میکروبی برای چاه آب آشامیدنی وجود نخواهد داشت. بنابراین، با توجه به آنکه حرکت ذره و پمپاژ چاه را عکس در نظر گرفته، در کمتر از این محدوده یا برابر آن به علت آلودگی میکروبی، نباید چاه آبی مورد بهره برداری قرار گیرد.



شکل ۱- خروجی مدل حریم بهداشتی چاه (خط همزمان ۵۰ روز)

نتیجه گیری

با توجه به شکل (۱) که نمونه‌ای از خروجی مدل برای یک چاه آشامیدنی است، به دلیل همگون بودن آبخوان، حریم اطراف چاه یک دایره کامل نبوده، بلکه بیشتر شبیه بیضی است. که برای اطمینان بیشترین فاصله چاه تا محیط این بیضی، به عنوان حریم در نظر گرفته شده است. این فاصله، برای تمام چاه‌های داخل شهر محاسبه و نتایج در جدول (۱) ارائه گردیده است. سپس، با استفاده از این فواصل با استفاده از نرم افزار Surfer و به روش Kriging پهنه‌بندی مورد نظر برای چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد انجام گردیده است (شکل ۲).

جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد

حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه	حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه
	X	Y			X	Y	
280	724050	4027900	اراضی امامیه	350	722750	4029200	قاسم آباد ۴
330	723500	4028000	اراضی امامیه	310	723150	4024525	قاسم آباد ۶
340	722950	4028050	اراضی امامیه	350	722200	4025650	قاسم آباد ۸
330	724500	4028150	اراضی امامیه	280	729683	4020994	هاشمی نژاد
310	723250	4028500	اراضی امامیه	280	737850	4020461	میدان حجاب
280	723600	4028800	اراضی امامیه	280	723661	4023406	بلوار وکیل آباد
280	724400	4027700	اراضی امامیه ۲	280	721447	4023483	شهرک قائم
300	727880	4026979	شهرک راه آهن	280	724588	4027029	شهرک شهربانی
330	719350	4030950	امامیه ۱۱	340	721263	4023295	شهرک لادن
310	723275	4028275	امامیه ۶	330	724843	4027194	شهید رجائی ۱
350	723550	4028150	امامیه ۷	280	739650	4016600	شهید رجائی ۲
310	722950	4028050	امامیه ۸	330	740475	4017314	شهید رجائی ۳
280	721700	4029900	امامیه ۹	300	739177	4016265	شهید رجائی ۴
280	718325	4032400	امامیه ۱۵	350	739808	4015682	شهید رجائی ۵
330	724400	4027700	امامیه ۲	310	741117	4016809	شهید رجائی ۶
280	725955	4028716	اندیشه ۲	280	743950	4014650	باهنر ۱
330	725665	4029118	اندیشه ۳	340	731154	4018522	ناسیونال
280	728382	4027439	امام هادی ۱	350	739350	4015350	صد متری بلال
280	728961	4026753	امام هادی ۲	270	735256	4023726	صدف
350	728776	4022270	مسلم	350	732494	4021409	محیط زیست
340	732087	4025112	بحر آباد	280	726100	4023794	بلوار معلم
350	734472	4023544	شهرک رازی	280	737087	4017546	زندان

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۲۱

ادامه جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد							
حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه	حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه
	X	Y			X	Y	
280	737679	4023630	درمانگاه حجتی	280	734308	4018307	فرهنگیان ۱
350	725250	4028150	آماده سازی قاسم آباد ۱	340	724840	4023481	فرهنگیان ۲
280	735844	4016509	کارمندان ۲	280	723405	4026928	مجد
300	728184	4022315	سیدی ۲	280	737356	4020708	عدل خمینی ۱۷
280	726316	4025194	آماده سازی قاسم آباد ۲	340	725664	4024030	فرهنگیان ۳
280	725400	4025250	آماده سازی قاسم آباد ۳	300	725058	4024489	۳۰متری فرهنگیان
310	721666	4026914	جاهد شهر	280	719800	4034800	منظریه ۱
330	739610	4017491	خدمات قاسم آباد ۱	300	723947	4023544	منظریه ۲
280	724200	4026600	خدمات قاسم آباد ۲	330	727900	4028134	پردیس
350	738117	4015661	شهرک اتوبوسرانی	280	732614	4017115	غرب پارک ملت
280	740458	4022875	التیمور ۱	300	736627	4023148	درآبد خزانه ۲
270	734031	4020995	پارک کودک	270	737110	4021644	درآبد خزانه ۱
280	726835	4022782	ایرج میرزا ۵	280	732420	4024851	سید جلال ۴
300	721971	4023539	شهرک لشکر ۲	330	728127	4024443	سید جلال ۱
280	736520	4016520	کوی وحدت	270	736987	4025231	یغفور
340	738523	4025016	کشف رود ۹	300	736052	4021963	مطهری ۱
280	733139	4025784	میدان تلگرد	300	726133	4030121	مطهری ۳
270	730923	4019579	طلاب ۱	280	726898	4030121	مطهری ۴
270	737065	4020169	طلاب ۲	280	727671	4029858	مطهری ۵
280	730488	4025287	کوی کارگران - نخربسی	330	734450	4022800	مطهری ۲
270	732809	4020436	میدان ضد	300	735630	4025495	چمران ۱

ادامه جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد							
حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه	حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه
	X	Y			X	Y	
280	733573	4016914	میدان عدل خمینی	280	735321	4024702	چمران ۲
310	734977	4016464	انبار مرکزی (نخریسی)	280	734947	4025351	چمران ۳
300	735468	4016457	چهار راه گاراژدارها	280	735169	4026049	چمران ۴
280	735169	4026049	سیدی ۹	310	723650	4027625	میدان سعدآباد
270	735515	4015838	چمن ۱ سیدی ۸	310	738114	4019832	گنبد سبز
310	721050	4030150	کارمندان ۱	280	733825	4018934	لشکر ۱
310	734107	4014906	سیدی ۷	270	730702	4022073	گرمابه مصطفی
270	731797	4021395	کوی امیرالمومنین	330	726265	4031248	مطهری شمالی
270	733067	4024319	ابوطالب ۴	280	732844	4022977	ابوطالب ۱
280	734623	4022000	رده ۱	280	722701	4024029	شهرک خواجه ربیع
280	738527	4021755	رده ۲	300	730869	4020047	سی متری گاز
350	739949	4022223	رده ۳	270	736129	4016106	سیمانشهر ۱
350	739680	4021588	رده ۵	270	736591	4024342	سیمانشهر ۲
330	739679	4021039	رده ۴	300	736532	4021864	انصارالمهدی
270	738856	4022405	رسالت ۱۹	300	736532	4021864	انصارالمهدی
270	736609	4021374	رستمی	270	727050	4025276	وحدت ۱
330	727672	4023701	فتاح	300	736373	4025062	وحدت ۲
330	734604	4015838	بلوار فرودگاه	270	738358	4022032	بلوار طبرسی
270	736867	4017075	بلوار مصلی	300	725100	4026400	خیرآباد
280	729408	4023135	چهارراه بهار	270	728729	4023199	بلوار فردوسی
270	734010	4016521	چهار راه گیتی	270	722900	4026050	شهرک ارشاد
280	739276	4023390	التیمور ۲	300	736358	4023276	درآبد خزانه ۳

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۳۳

ادامه جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد							
حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه	حریم چاه (متر)	کد مختصاتی		نام چاه
	X	Y			X	Y	
310	739346	4024349	التیمور ۵	330	738128	4023033	درآبد خزانه ۵
280	739575	4023899	التیمور ۴	300	736308	4022884	فردوسی قرایی
300	733254	4023548	ابوطالب ۲	310	733575	4023831	ابوطالب
280	736509	4023599	ایرج میرزا ۸	280	740482	4022336	التیمور ۶
280	726231	4022798	ایرج میرزا ۹	280	724091	4024402	مهر آباد ۱
280	727658	4023949	آزاد شهر ۱	280	739106	4018786	مهر آباد ۲
280	727314	4024574	آزاد شهر ۲	350	727109	4023692	گلشاد ۱
280	726580	4024717	آزاد شهر ۳	280	735931	4025354	گلشهر ۱
330	730277	4021651	بلوار سجاد	270	739579	4019918	گلشهر ۱۰
270	732825	4017728	میدان قائم	300	739964	4019534	گلشهر ۳
270	729024	4023588	بند (ج) ۱	280	740313	4020439	گلشهر ۴
270	729024	4024415	بند (ج) ۲	280	739804	4020206	گلشهر ۵
310	722540	4023855	مرجان	330	739277	4019598	گلشهر ۶
300	726194	4024739	سپاد ۲	270	740502	4020277	گلشهر ۷
350	717600	4031200	نسترن	280	740489	4019323	گلشهر ۸
330	729390	4025495	میدان گوشه ای	280	739625	4020546	گلشهر ۲
270	732529	4023923	میدان بار سپاد	280	740333	4019619	گلشور ۱
280	724182	4023721	شهرک شیرین	280	737164	4023961	سی متری اول رضا
280	729223	4021331	بلوار خیام	280	723820	4024001	طالقانی
280	725672	4024651	فلمن	310	738869	4022825	کلاهدوز
270	730166	4019742	بلوار تلویزیون	310	738670	4018075	موسوی قوچانی
270	734844	4023022	ششصد دستگاه	280	737164	4023961	سی متری اول رضا

بررسی‌هایی که از چاه‌های آب آشامیدنی شهرهای مختلف به عمل آمده است، نشان می‌دهد که چاه‌های آب آشامیدنی، اغلب به دلیل نزدیکی آنها با چاه‌های فاضلاب و یا مخازن دفع زباله و اماکن و یا از طریق آلاینده‌های کشاورزی مثل مصرف کودهای شیمیایی آلوده شده است. منابع آب آشامیدنی، بویژه در روستاها و شهرهای کوچک در نزدیک شهر واقع شده‌اند. بتدریج که شهر یا روستا توسعه می‌یابد، چاه‌ها در محدوده داخل شهر واقع می‌شود و چون چاه‌های دفع فاضلاب خانگی در حریم چاه‌های آب آشامیدنی قرار می‌گیرند، طبیعی است که سبب آلوده شدن آنها می‌شوند. این قبیل آلودگی‌ها که ناشی از حفر چاه‌های فاضلاب در حریم یا شعاع تأثیر چاه‌های آب آشامیدنی است، می‌تواند بسیار خطرناک باشد. به منظور جلوگیری از این آلودگی‌ها باید نخست منطقه‌ای را برای تأمین آب آشامیدنی در نظر گرفت و سپس حریمی برای آن منطقه، چه از نظر فنی و چه از نظر آلودگی قایل شد، تا منبع آب آشامیدنی از نظر بهداشتی محفوظ بماند (ولایتی، ۱۳۷۱).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که حریم بیولوژیک در مناطق مرکزی شهر (اطراف حرم مطهر به سمت میدان شهدا و راه آهن) به علت خصوصیات آبخوان در حدود ۲۷۰ متر است که کوچکتر از منطقه غربی شهر (از ۲۷۰ تا ۳۰۰ متر) است و به سمت شمال غربی شهر مشهد به علت تأثیر شبکه فاضلاب، دارای حریم بزرگتری است (۳۲۰ تا ۳۵۰ متر).

همان طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، بتدریج دامنه حریم از غرب و شمال غربی به سمت شرق مشهد به طور نسبی کاهش می‌یابد. محدوده حریم بیولوژیک شهر مشهد از ۲۷۰ متر تا ۳۵۰ متر تعیین شده است که نقاط آسیب پذیر میکروبی عبارتند از: اطراف حرم تا میدان شهدا و راه آهن، میدان امام حسین، گلشهر، میدان ۱۷ شهریور، میدان ملک آباد، منطقه جنوبی شهرک ارشاد و شهرک راه آهن که برای رفاه ساکنان این مناطق باید تدابیر جدی اندیشیده شود.

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۲۵

با توجه به پهنه بندی صورت گرفته، تأثیر شبکه فاضلاب پرکند آباد (در شمال غرب شهر) بر روی حریم‌ها که ۳۳۰ تا ۳۵۰ متر است، تکمیل هرچه سریع‌تر طرح شبکه جمع آوری و انتقال فاضلاب ضروری است.

اقداماتی که برای حفظ منابع زیرزمینی و همچنین کاهش تأثیرات منفی مصرف بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و کنترل آلودگی آبخوان شهر مشهد، علاوه بر تعیین حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی می‌توان انجام داد، به شرح زیر است :

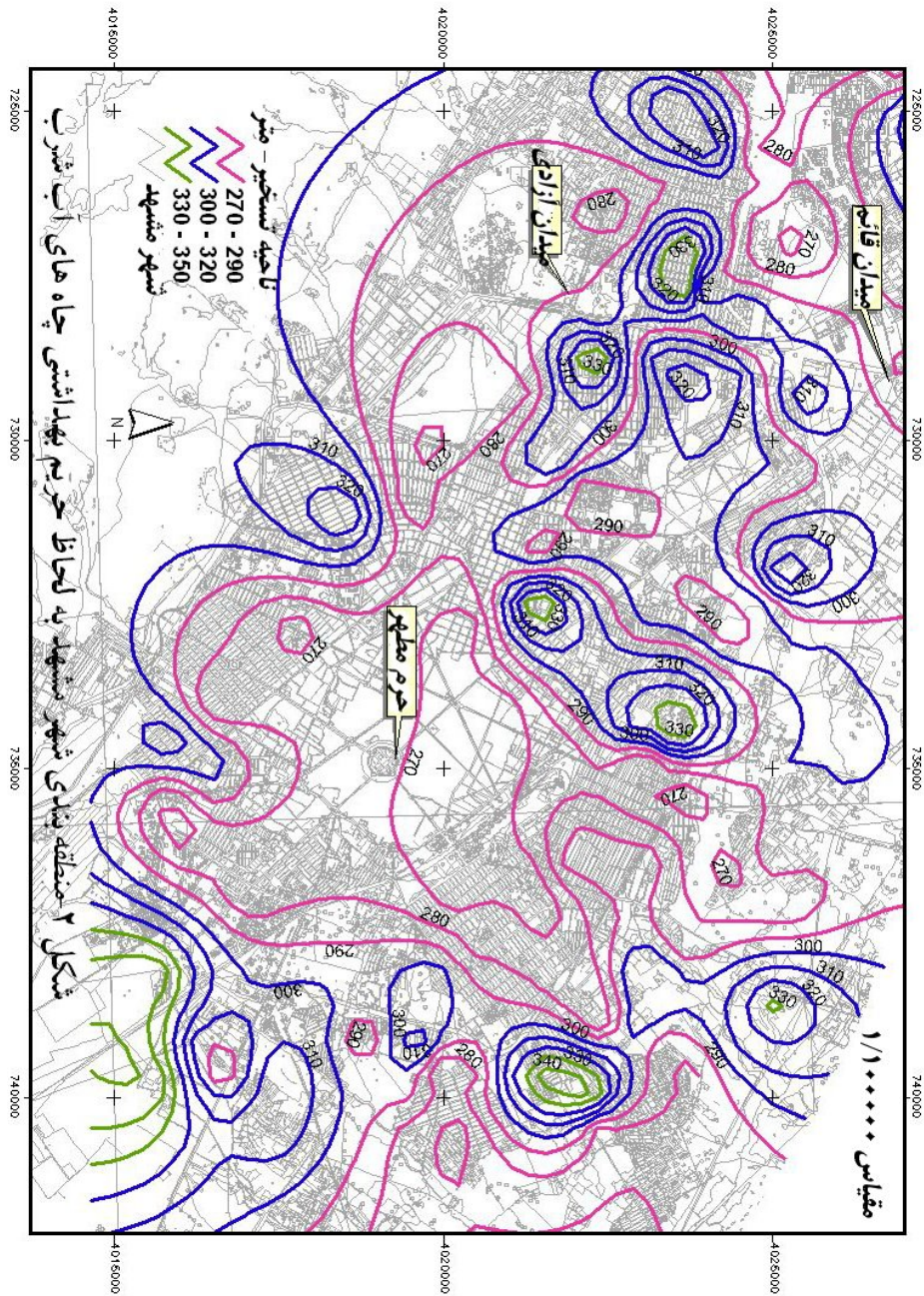
۱- احداث تصفیه خانه فاضلاب صنعتی اختصاصی و شهری؛

۲ - ذخیره سازی مصنوعی آبخوان؛

۳- آموزش مردم در خصوص طرز استفاده از آب برای مصارف گوناگون و همچنین، بهره برداری بیش از حد آن؛

۴ - تدوین قوانین و مقررات خاص حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی از طریق مدیریت صحیح این منابع الزامی است؛

۵ - تلاش در جهت ارتقای دانش فنی و به کارگیری فن آوری‌های نوین صنعتی مبتنی بر مصرف آب کمتر و در نتیجه، تولید کمتر فاضلاب و بهره گیری از سیستم‌های باز چرخشی آب.



شکل ۲- منطقه پندی شهر مشهد به لحاظ حریم بهداشتی چاه های آب شرب

تعیین و پهنه بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد ۱۲۷

منابع و مأخذ

- ۱- حسینی چشمه، م. (آبان ۱۳۷۴). «ویروس‌ها در آب و فاضلاب»، *مجله آب و محیط زیست*، شماره ۴.
- ۲- خلاصه گزارش بازنگری طرح جامع آب رسانی مشهد. (۱۳۷۵). دفتر فنی شرکت آب و فاضلاب مشهد.
- ۳- خلاصه وضعیت منابع آب شهر مشهد. (۱۳۷۶). واحد مطالعات سازمان آب منطقه‌ای خراسان.
- ۴- سیادت‌ی مقدم، ج. (۱۳۸۳). *مدل کیفی آب زیرزمینی مشهد*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- ۵- طرح جامع آب رسانی مشهد، گزارش زمین شناسی و آب‌های زیرزمینی. (۱۳۷۰). شرکت خدمات مهندسی توس آب.
- ۶- علیزاده، ا. (۱۳۶۹). نقش چاه‌های جذبی فاضلاب در آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی در شرایط مشهد، طرح پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد
- ۷- قنادی، م. (۱۳۸۳). «برآورد حریم بهداشتی چاه‌های آب شرب»، *مجله آب و محیط زیست*، شماره ۵۹.
- ۸- قنادی، م. (۱۳۸۰). «معیارها و رهنمودهای تحلیل کیفیت میکروبی آب آشامیدنی» *مجله آب و محیط زیست*، شماره ۴۸ و ۴۹.
- ۹- واحد مطالعات سازمان آب منطقه‌ای خراسان، گزارش بیان دشت نمونه مشهد، دی‌ماه ۱۳۷۱.
- ۱۰- ولایتی، س. (۱۳۷۱). *حریم منابع آب و کاربرد آن در برنامه‌ریزی ناحیه‌ای*، انتشارات خراسان.
- ۱۱- ولایتی، س. (۱۳۷۱)؛ توسلی، س. (۱۳۷۰). *منابع و مسائل آب استان خراسان*، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ اول.
- 12-Bulter , Orlob, Mcguhy. (1954) , *Underground Movement of Bacterial and Chemical Pollutants* , J.American.Water Works Association.
- 13-Environmental Protection Agency (EPA). (1988) , *Selection Criteria for Mathematical Models Used in Exposure Assessment* ,Ground – Water Models , EPA 600/80/75.
- 14-Environmental Protection Agency (EPA) Office of Ground Water Protection , (1986), *Safe Drinking Water ACT (SDWA)*, Washington , D. C.
- 15-Environmental Protection Agency (US EPA), (1993), *Guide lines for Delineation of Wellhead Protection Areas*, Report NO. EPA 440/5-93-001.
- 16-Gebra, C. P. Yates, M. V. and Yates, S. R. (1991), *Quantization of Factors Controlling Viral and Bacterial Transport in the Subsurface* , In Modeling the Environmental Fate of Microorganisms. 77-87. ed.G. J. Hurst. Washington. D.C :American Society of Microbiology.
- 17-Kewick, B. H. and C. P. Gerba, (1980) , *Viruses in Ground Water* , Environmental Science and Technology, VOL. 14, pp:1240-1297.
- 18-Kinzelbach, W., Wolf Gang. (1986), *Developments in Water Science, Ground Water Modeling , An Introduction wit Sample Programs in Basic*, Elsevier Science Publisher.B. V.
- 19-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, West Germany
- 20-World Health Organization (WHO), (1984) , *Guidelines for Drinking Water Quality* , VOL. 1, WHO, Geneva, pp:130.
- 21-World Health Organization (WHO), (1989) , *Health Guidelines for the Use of Waste Water in Agriculture and Aquaculture*, Technical Report , NO. 778, WHO, Geneva, pp: 74.

