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

A. Alizade, phd
S. Afshin
Sh. Danesh, phd
E.mail: sara_afshin@yahoo.com

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 به‌وجود 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، اتلاف سرمایه را به دنبال خواهد داشت. در این تحقیق، برای محاسبه حریم بهداشتی ۱۷۴ حلقه چاه آب آشامیدنی شهر مشهد از مدل ریاضی انتقال میکروارگانیسم‌ها 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[1] 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 میکروارگانیسم

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

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 می گردند.

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 می گردد. 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 ارگانیسم‌های 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 به‌طرف چاه حرکت می‌کنند، لازم است تا اطمینان حاصل گردد که عوامل بیماری زا 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 تأثیرعوامل مختلف مؤثر درکیفیت آبخوان را پیش‌بینی نماید. در این راستا به کمک ابزاری مانند شبیه سازها و یا مدل‌ها، می‌توان با دقت قابل قبولی شرایطی را مشابه با آنچه در طبیعت است، به‌وجود آورده، به نتایج رضایت بخشی دست یافت. مدل ریاضی انتقال میکروارگانیسم‌ها (نظیر باکتری و ویروس) در به‌کارگیری 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 دایمی 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 سر چاهی[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

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[5] 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[6] و پالاینده باعث کاهش حرکت آلاینده‌ها و مکانیزم پخش[7] 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 حالی‌که 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 بیماری زا 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 بیماری زا 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[8] (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 درآب‌های زیرزمینی است (فاستر و اسکینر، ۱۹۸۵).[9] 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، همهٔ 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 بیماری زا، 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).[10]

---

8 - Bulter
9 - Foster & Skinner
10 -Gebra & Yates

تحقیقات اخیر نشان داده است که بر خلاف تصور رایج که تعیین فاصله چاه توالت 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 توالت 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[11] 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[12] ۱۰ 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[12] به پنجاه روز نیاز دارد تا به همان میزان حذف شود (فاستر و اسکینر، ۱۹۸۵).

---

11 Coli forms
12 Escherichia Collie

مواد و روش

دو فاکتور مهم در مدل‌های جریان عبارتند از : ۱- جریان در اثر پتانسیل شیب هیدرولیکی[13] و ۲- کاهش یا افزایش منبع آب از طریق تغذیه و تخلیه[14]، 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 صحرایی به طور دقیق پیش‌بینی نماید (US. EPA,1993). بنابراین، در اکثر مدل‌های انتقال آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی، ترجیحا از معادله انتقال به تنهایی استفاده می‌شود. اگر چه، راه حل‌های تحلیلی برای بعضی مدل‌های نسبتاً ساده پذیرفته شده است، ولی بیشتر مدل‌های پیچیدهٔ آب زیرزمینی ترکیبی از روش‌های حل عددی تفاضل‌های محدود یا عناصر محدود توسط معادلات حاکم بر دیفرانسیل جزیی 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

به‌صورت 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 پراکندگی، صرف نظر شده است.تعیین این منطقه به محاسبه خطوط همزمان رسیدن به چاه (ایزوکرون)[15] نیازمند است. بنابراین، متوسط زمان رسیدن آلودگی از یک نقطه (x_0,y_0) به چاه در مکان (x_w, y_w) به‌صورت معادله زیر محاسبه می شود.

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

τ: متوسط زمان رسیدن آلودگی

$U_{x,y}$: سرعت متوسط اب 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

15- Isochrones

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 دارسی [۱۶]

سرعت جریان بر اساس فرمول دارسی معمولا در دو بعد طول و عرض تعیین و بر حسب متر در روز وارد مدل می‌شود. در این تحقیق، برای شهر مشهد سرعت به‌صورت 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 استکه 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 :

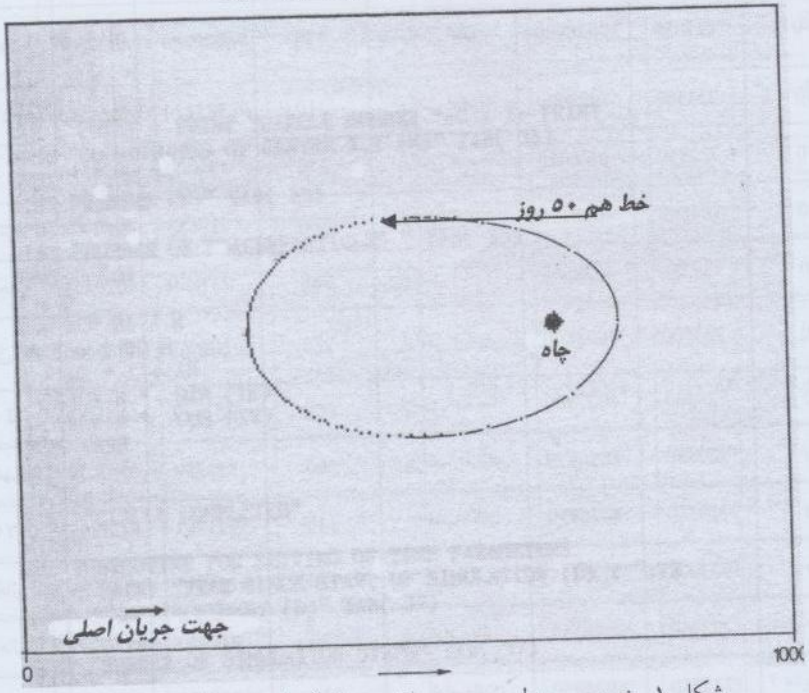
- مدت زمان زنده ماندن باکتری‌ها که ۵۰ روز در نظر گرفته شده است.

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

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) ارایه 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 (شکل۲).

جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد

نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)	نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)
	Y	X			Y	X	
قاسم آباد۴	4029200	722750	350	اراضی امامیه	4027900	724050	280
قاسم آباد۶	4024525	723150	310	اراضی امامیه	4028000	723500	330
قاسم‌آباد ۸	4025650	722200	350	اراضی امامیه	4028050	722950	340
هاشمی نژاد	4020994	729683	280	اراضی امامیه	4028150	724500	330
میدان حجاب	4020461	737850	280	اراضی امامیه	4028500	723250	310
بلوار وکیل آباد	4023406	723661	280	اراضی امامیه	4028800	723600	280
شهرک قائم	4023483	721447	280	اراضی امامیه۲	4027700	724400	280
شهرک شهربانی	4027029	724588	280	شهرک راه آهن	4026979	727880	300
شهرک لادن	4023295	721263	340	امامیه۱۱	4030950	719350	330
شهید رجائی ۱	4027194	724843	330	امامیه۶	4028275	723275	310
شهید رجائی ۲	4016600	739650	280	امامیه۷	4028150	723550	350
شهید رجائی ۳	4017314	740475	330	امامیه۸	4028050	722950	310
شهید رجائی ۴	4016265	739177	300	امامیه۹	4029900	721700	280
شهید رجائی ۵	4015682	739808	350	امامیه۱۵	4032400	718325	280
شهید رجائی ۶	4016809	741117	310	امامیه۲	4027700	724400	330
باهنر ۱	4014650	743950	280	اندیشه ۲	4028716	725955	280
ناسیونال	4018522	731154	340	اندیشه ۳	4029118	725665	330
صد متری بلال	4015350	739350	350	امام هادی ۱	4027439	728382	280
صدف	4023726	735256	270	امام هادی ۲	4026753	728961	280
محیط زیست	4021409	732494	350	مسلم	4022270	728776	350
بلوار معلم	4023794	726100	280	بحر آباد	4025112	732087	340
زندان	4017546	737087	280	شهرک رازی	4023544	734472	350

ادامه جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد						
نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)	نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)
	Y	X			Y	X	
فرهنگیان ۱	4018307	734308	280	درمانگاه حجتی	4023630	737679	280
فرهنگیان ۲	4023481	724840	340	آماده سازی قاسم آباد ۱	4028150	725250	350
مجد	4026928	723405	280	کارمندان ۲	4016509	735844	280
عدل خمینی۱۷	4020708	737356	280	سیدی ۲	4022315	728184	300
فرهنگیان ۳	4024030	725664	340	آماده سازی قاسم آباد ۲	4025194	726316	280
۳۰متری فرهنگیان	4024489	725058	300	آماده سازی قاسم آباد۳	4025250	725400	280
منظریه ۱	4034800	719800	280	جاهد شهر	4026914	721666	310
منظریه ۲	4023544	723947	300	خدمات قاسم آباد ۱	4017491	739610	330
پردیس	4028134	727900	330	خدمات قاسم آباد ۲	4026600	724200	280
غرب پارک ملت	4017115	732614	280	شهرک اتوبوسرانی	4015661	738117	350
درآبد خزانه ۲	4023148	736627	300	التیمور ۱	4022875	740458	280
درآبد خزانه ۱	4021644	737110	270	پارک کودک	4020995	734031	270
سید جلال ۴	4024851	732420	280	ایرج میرزا ۵	4022782	726835	280
سید جلال۱	4024443	728127	330	شهرک لشکر۲	4023539	721971	300
یغفور	4025231	736987	270	کوی وحدت	4016520	736520	280
مطهری ۱	4021963	736052	300	کشف رود ۹	4025016	738523	340
مطهری ۳	4030121	726133	300	میدان تلگرد	4025784	733139	280
مطهری ۴	4030121	726898	280	طلاب ۱	4019579	730923	270
مطهری ۵	4029858	727671	280	طلاب ۲	4020169	737065	270
مطهری۲	4022800	734450	330	کوی کارگران - نخریسی	4025287	730488	280
چمران ۱	4025495	735630	300	میدان ضد	4020436	732809	270

ادامه جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد

نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)	نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)
	Y	X			Y	X	
چمران ۲	4024702	735321	280	میدان عدل خمینی	4016914	733573	280
چمران ۳	4025351	734947	280	انبار مرکزی(نخریسی)	4016464	734977	310
چمران ۴	4026049	735169	280	چهار راه گاراژدارها	4016457	735468	300
میدان سعدآباد	4027625	723650	310	سیدی ۹	4026049	735169	280
گنبد سبز	4019832	738114	310	چمن۱ سیدی۸	4015838	735515	270
لشکر ۱	4018934	733825	280	کارمندان ۱	4030150	721050	310
گرمابه مصطفی	4022073	730702	270	سیدی ۷	4014906	734107	310
مطهری شمالی	4031248	726265	330	کوی امیرالمومنین	4021395	731797	270
ابوطالب ۱	4022977	732844	280	ابوطالب ۴	4024319	733067	270
شهرک خواجه ربیع	4024029	722701	280	رده ۱	4022000	734623	280
سی متری گاز	4020047	730869	300	رده ۲	4021755	738527	280
سیمانشهر ۱	4016106	736129	270	رده ۳	4022223	739949	350
سیمانشهر ۲	4024342	736591	270	رده ۵	4021588	739680	350
انصارالمهدی	4021864	736532	300	رده۴	4021039	739679	330
انصارالمهدی	4021864	736532	300	رسالت ۱۹	4022405	738856	270
وحدت ۱	4025276	727050	270	رستمی	4021374	736609	270
وحدت ۲	4025062	736373	300	فتاح	4023701	727672	330
بلوار طبرسی	4022032	738358	270	بلوار فرودگاه	4015838	734604	330
خیر آباد	4026400	725100	300	بلوار مصلی	4017075	736867	270
بلوار فردوسی	4023199	728729	270	چهارراه بهار	4023135	729408	280
شهرک ارشاد	4026050	722900	270	چهار راه گیتی	4016521	734010	270
درآبد خزانه ۳	4023276	736358	300	التیمور ۲	4023390	739276	280

ادامه جدول ۱ حریم بهداشتی چاه‌های آب آشامیدنی شهر مشهد

نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)	نام چاه	کد مختصاتی		حریم چاه (متر)
	Y	X			Y	X	
درآبد خزانه ۵	4023033	738128	330	التیمور ۵	4024349	739346	310
فردوسی قرایی	4022884	736308	300	التیمور۴	4023899	739575	280
ابوطالب	4023831	733575	310	ابوطالب۲	4023548	733254	300
التیمور۶	4022336	740482	280	ایرج میرزا ۸	4023599	736509	280
مهر آباد ۱	4024402	724091	280	ایرج میرزا ۹	4022798	726231	280
مهر آباد ۲	4018786	739106	280	آزاد شهر ۱	4023949	727658	280
گلشاد ۱	4023692	727109	350	آزاد شهر ۲	4024574	727314	280
گلشهر ۱	4025354	735931	280	آزاد شهر ۳	4024717	726580	280
گلشهر ۱۰	4019918	739579	270	بلوار سجاد	4021651	730277	330
گلشهر ۳	4019534	739964	300	میدان قائم	4017728	732825	270
گلشهر ۴	4020439	740313	280	بند (ج)۱	4023588	729024	270
گلشهر ۵	4020206	739804	280	بند (ج)۲	4024415	729024	270
گلشهر ۶	4019598	739277	330	مرجان	4023855	722540	310
گلشهر ۷	4020277	740502	270	سپاد ۲	4024739	726194	300
گلشهر ۸	4019323	740489	280	نسترن	4031200	717600	350
گلشهر۲	4020546	739625	280	میدان گوشه ای	4025495	729390	330
گلشور ۱	4019619	740333	280	میدان بار سپاد	4023923	732529	270
سی متری اول رضا	4023961	737164	280	شهرک شیرین	4023721	724182	280
طالقانی	4024001	723820	280	بلوار خیام	4021331	729223	280
کلاهدوز	4022825	738869	310	فلمن	4024651	725672	280
موسوی قوچانی	4018075	738670	310	بلوار تلویزیون	4019742	730166	270
سی متری اول رضا	4023961	737164	280	ششصد دستگاه	4023022	734844	270

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 فنّی 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 استکه کوچکتر از منطقه غربی شهر (از ۲۷۰ تا ۳۰۰ متر) است و به سمت شمال غربی شهر مشهد به علت تاثیر 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 به‌طور 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.

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 سریعترطرح 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 :

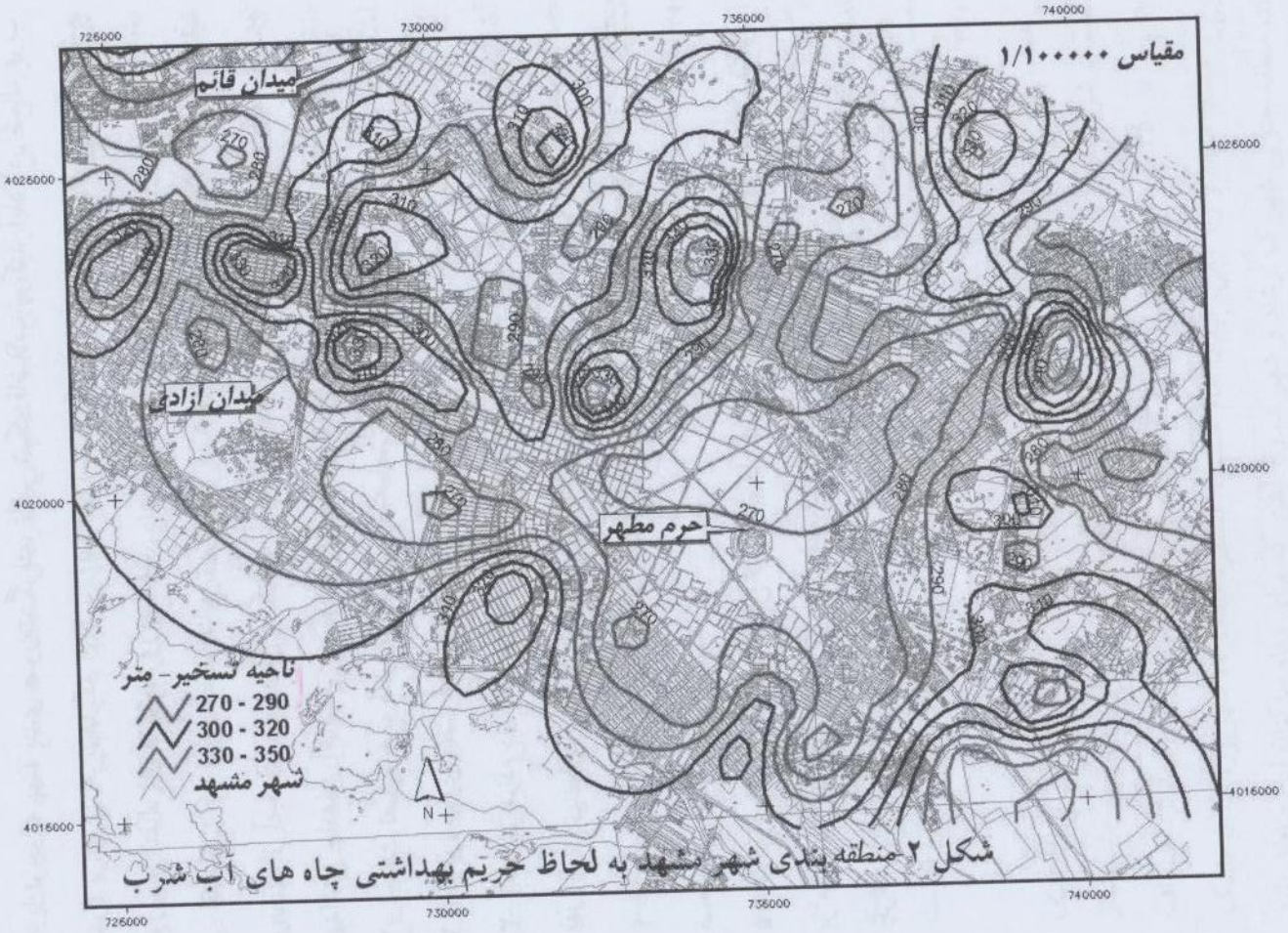
۱- احداث تصفیه خانه فاضلاب صنعتی اختصاصی و شهری؛

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 به‌کارگیری فن آوری‌ها ی نوین صنعتی مبتنی بر مصرف آب کمتر و در نتیجه، تولید کمتر فاضلاب و بهره گیری از سیستم‌های باز چرخشی آب.



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

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 ییلان 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.