امین علیزاده، غلامحسین حق نیا، شهناز دانش*
دانشگاه مشهد

نقش چاههای فاضلاب در آلوده کردن آبهای زیرزمینی در شرایط مشهد و تعیین حریم چاههای آب شرب

کلیات

در حال حاضر تقریباً در تمامی نقاط ایران فاضلابهای خانگی بدون آن که عملیات تصفیه روی آنها صورت گیرد مستقیماً توسط چاههای جاذب به داخل زمین تزریق و دفع می شوند. در این روش چاههای عمودی در لایه آبرفتی تا بالای سطح ایستابی حفر و فاضلاب پس از وارد شدن به داخل آن تا اندازه‌ای رقیق و سپس بتدریج در جدار چاه نفوذ و از آن‌جا تحت شیب هیدرولیکی و یا پتانسیل ثقلی به نقاط دیگر انتقال پیدا می‌کند.

گرچه این روش تا به‌حال پاسخگوی دور ساختن فاضلاب از محیط زیست انسانی بوده ولی هیچ وقت روش مناسبی به‌شمار نرفته است. بخصوص در زمان حاضر که جمعیتهای شهری به‌سرعت افزایش می یابد. این مسأله در مشهد از ویژگی خاصی برخوردار است.

جمعیت شهر مشهد در حال حاضر حدود ۱/۷ میلیون نفر برآورد می شود. نتایج سرشماریهای عمومی سالهای قبل نشان می دهد که متوسط رشد جمعیت از سال ۵۵ تا ۶۵

* اعضاء هیات علمی دانشگاه فردوسی مشهد

معادل ۷/۲ درصد بوده است. به‌طوری که جمعیت از سال ۱۳۵۵ از ۷۱۶/۴۰۰ نفر به ۱/۲۶۶/۰۰۰ نفر در سال ۱۳۶۵ افزایش یافته است. چنانچه رشد جمعیت را بین ۵/۵ تا ۶/۵ درصد فرض کنیم پیش‌بینی جمعیت شهر مشهد در سالهای ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ مطابق جدول به‌ترتیب تا مرز ۲، ۳/۷۷ و ۶/۷۵ میلیون نفر نیز خواهد رسید.

جدول ۱ـ پیش‌بینی رشد جمعیت در مشهد

درصد رشد	سال*		
	۱۳۷۰	۱۳۸۰	۱۳۹۰
۵/۵	۱/۹۱	۳/۷	۵/۵
۵/۷	۱/۹۳	۳/۳۷	۵/۷۵
۶/۱	۱/۹۷	۳/۵۶	۶/۲۰
۶/۵	۲/۰۰	۳/۷۷	۶/۷۵

* ارقام جدول برحسب میلیون نفر می‌باشد.

از طرف دیگر وجود مرقد مطهر حضرت رضا(ع) و دیگر شرایط اجتماعی- اقتصادی باعث شده است که این شهر همه‌ساله پذیرای تعداد کثیری از زائرین باشد. جمعیت زائرین در طی سالهای گذشته به‌صورت زیر گزارش شده است.

سال	۱۳۶۰	۱۳۶۱	۱۳۶۲
تعداد زوار	۶/۴۴۰/۱۲۱	۷/۷۶۹/۹۸۴	۷/۸۰۵/۴۸۷

هرچند پیش‌بینی رشد سالانه جمعیت زوار مشکل است اما با فرض ۵ درصد رشد، تعداد زوار در سال ۱۳۹۰ معادل ۲ میلیون نفر خواهد بود که اگر هر زائر بین ۵ تا ۱۰ روز توقف داشته باشد می‌بایست برای این شهر جمعیت غیر ساکن ۰/۵ میلیون نفر را نیز در نظر گرفت.

مشکلات ناشی از دفع فاضلاب به روش چاههای جاذب

مشکلات ناشی از دفع فاضلاب به روش سنتی را می توان عملاً در دو موضوع جستجو کرد:

- بالا آمدن غیر اصولی سطح ایستابی
- آلوده کردن منابع آب زیرزمینی

علاوه بر موارد بالا می بایست جنبه ها و مسایل بهداشتی محیط را نیز درنظر گرفت که این موضوع خارج از بحث است.

الف- بالا آمدن سطح ایستابی:

در حال حاضر علاوه بر آب چاههای آهکی کارده که در سال ۱۳۶۷ وارد شبکه توزیع شده است، آب آشامیدنی شهر مشهد توسط بیش از ۸۵ حلقه چاه که ۵۲ حلقه آن در محدوده شهر قرار دارد تأمین می شود.

چنانچه مصرف آب شهر مشهد را در حال حاضر سالانه ۱۰۰ میلیون متر مکعب درنظر بگیریم و ضریب تبدیل آب به فاضلاب ۷۵ درصد فرض شود، سالانه حدود ۷۵ میلیون متر مکعب فاضلاب توسط چاههای جاذب به زمین نفوذ می‌کنند، حال آن که برداشت از چاههای داخل محدوده شهر رقمی معادل ۵۵ میلیون مترمکعب را نشان می دهد. بنابراین مشاهده می شود که هرساله مقدار قابل توجهی فاضلاب به سفرهٔ آب زیرزمینی محدوده شهر افزوده می شود. این رقم در سالهای آتی به مراتب افزایش خواهد یافت، زیرا متناسب با افزایش مصرف، محل مناسبی از نظر کیفی برای حفر چاه جدید در محدوده شهر وجود نخواهد داشت و آب مورد نیاز باید از منابع دیگر تأمین شود. با توجه به این که سرعت حرکت آبهای زیرزمینی در سفره های آبرفتی نسبةً کند است و نمی تواند با سرعت زیاد فاضلابهای وارده به زمین برابری کند، لذا سطح آب زیرزمینی داخل محدوده شهر، در چند سال گذشته نه تنها نسبت به مناطق خارج شهر، افت نکرده، بلکه در برخی قسمتهای شهر بالا هم آمده است.

هم اکنون سطح ایستایی در قسمتهای شمال و شمال شرقی شهر بین ۱۰ تا ۲۰ متر بوده و به طور یقین در سالهای بعد با افزایش جمعیت شهرنشین، مناطق وسیعی از شهر مشهد در

نواحی مذکور با خطر جدی بالا آمدن سطح ایستایی روبرو خواهند بود که این امر علاوه بر پیامدهای مشابه آنچه که در جنوب تهران رخ داده است، (نشست پیها و خرابی ساختمانها) مشکلات حاد دفع فاضلاب را نیز به دنبال خواهد داشت. در این مناطق فاضلاب بدون آن که از محیط متخلخل غیر اشباع گذر کرده و تا اندازه‌ای تصفیه شود، به طور مستقیم وارد آبهای زیرزمینی شده و باعث آلوده شدن آن خواهد شد.

ب- آلوده شدن آبهای زیرزمینی:

تقریباً تمامی منابع آب زیرزمینی قابل استحصال دشت مشهد که در شرایط کنونی در حدود ۱۲/٤ بیلیون متر مکعب برآورد شده است، عمدةً توسط جریانهای سطحی و تخلیه فاضلابهای شهری تغذیه می شود. بنابراین کیفیت آبهای سطحی در منطقه و تأثیر آن در منابع آب زیرزمینی دارای اهمیت زیادی است.

از نظر زمین شناسی، قسمت اعظم منطقه مشهد را لایه های آبرفتی تشکیل می دهد که بر طبق مطالعات انجام شده دانه بندی آن در محدوده شهر دانه درشت و تنها در منطقه شمال شرقی آن دانه ریز است. این امر باعث می شود که فاضلاب چاههای جذبی بسرعت در لایه های زمین نفوذ کند، بخصوص آن که مواد شویندهٔ (دترجنتها) موجود در فاضلاب باعث کاهش ضریب کشش سطحی آب شده و این خود تا حدودی برسرعت نفوذ می افزاید. فاضلاب نفوذی پس از عبور از لایه های غیراشباع رویی به آبهای زیرزمینی رسیده و همراه با آن، مواد شیمیایی محلول در فاضلاب که مهمترین آنها نیترات است، وارد آبهای زیرزمینی می شود. به این مواد انواع شوینده ها و برخی فلزات سنگین را که به وسیلهٔ برخی واحدهای صنعتی کوچک موجود در داخل شهر دفع می شوند را نیز باید اضافه کرد.

کاربرد آبهای آلوده زیرزمینی در کشاورزی

اولین سؤالی که به ذهن می رسد این است که حال که در بخش وسیعی از سطح شهر مشهد با حجم نسبةً عظیمی از آبهای زیرزمینی نسبةً آلوده سر و کار داریم چرا از آن برای مصارف کشاورزی، که ظاهراً کم خطرترین روش مصرف آبهای آلوده است، استفاده

نکنیم. باید به این نکته توجه کنیم که در استفاده از آبهای آلوده برای آبیاری باید به جنبه های زراعی آن- یعنی اثراتی که روی خاک و گیاه خواهد داشت- توجه زیادی مبذول شود. مهمترین ترکیب نامناسب در آبهای آلودهٔ زیرزمینی نیترات است که مقدار آن در این آبها معمولاً بیشتر از دامنه مجاز ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر است. به بیان دیگر ۳۰ میلی‌گرم نیترات در لیتر معادل ۳۰۰ کیلوگرم نیترات در هر هکتار- متر است. بنابراین اگر در شرایط آب و هوایی خشک مانند مشهد سالانه ۲ متر آبیاری با چنین آبی صورت گیرد مقدار ازتی که از این طریق به خاک داده می شود به مراتب بیشتر از نیاز گیاه که رقمی بین ۵۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار است خواهد بود. نیاز گیاهان زراعتی به ازت و سایر عناصر مهم غذایی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- نیاز گیاهان زراعتی به ازت، فسفر و پتاس

نوع گیاه	مقدار جذب (کیلوگرم در هکتار در سال)		
	ازت	فسفر	پتاس
گندم	۹۰-۵۵	۱۵	۵۰-۲۰
جو	۷۰	۱۵	۲۰
یونجه	۵۰۰-۲۰۰	۳۰-۲۰	۲۰۰-۱۷۰
ذرت	۱۹۰-۱۷۰	۳۰-۲۰	۱۰۰
سیب‌زمینی	۲۳۰	۲۰	۳۲۰-۲۴۰
سوژا	۱۴۰-۱۰۰	۲۰-۱۲	۵۰-۳۰

چنانچه مقدار ازت داده شده به خاک بیش از آنچه در جدول آمده باشد، باعث تشدید رشدشاخ و برگ گیاه و کم شدن یا کوچک شدن میوه خواهد شد. علاوه بر این ازت باعث دیررس شدن محصول و کاهش درصد قند و نشاسته می شود. مثلاً در مورد پنبه افزایش ازت در خاک موجب دیر باز شدن غوزه ها، کوتاه شدن طول الیاف و ریزش گلها و غنچه ها می شود. در مورد چغندر قند که از مهمترین محصولها در استان خراسان به شمار می رود افزایش ازت به مقدار بیش از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث بزرگ شدن غده ها و کاهش عیار آنها می شود. و با توجه به این که پرداخت بهاء چغندر براساس درصد عیار است لذا درآمد نهایی زارع از این

بابت تقلیل می یابد. در زراعت چغندر می بایست کودازته را در ابتدای رشد گیاه به زمین داد و بتدریج که گیاه مراحل تکاملی رشد خود را می‌گذراند مقدار ازت را باید کم کرد. آبیاری با آبی که محتوی مقدار زیادی ازت است در انتهای فصل رشد چغندر به هیچ وجه توصیه نمی شود.

در زراعت سیب زمینی چنانچه مقدار ازت خاک بیش از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باشد باعث کوچک شدن غده‌ها و کاهش درصد نشاسته و تقلیل خصوصیات کیفی آن می شود. افزایش ازت در زراعت غلات موجب ورس شدن محصول می شود مگر آن که واریته های پاکوتاه و مقاوم کشت شده باشند.

استفاده از آبهای نیتراته در باغات میوه از حساسیت بیشتری برخوردار است. مثلاً در مورد هلو میزان ازت نباید از ۰/۳ کیلوگرم به ازاء هر کیلوگرم میوه در هکتار کمتر و از ۰/۷ بیشتر باشد چه در غیر این صورت میزان محصول شدیداً کاهش می یابد. افزایش ازت در بیشتر باغات میوه‌های هسته دار مانند زردآلو، بادام، شلیل، گوجه و غیره موجب دیررس شدن محصول می شود. دیررس شدن محصول به میزان حتی یک تا دو هفته می تواند خسارت زیادی به باغداران وارد سازد. در مورد سیب لبنانی قرمز وجود ازت زیاد در آب موجب تغییر رنگ و بد منظر شدن آن می شود در حالی‌که این ویژگیها از معیارهای مهم میوه‌های صادراتی است. نکته دیگری که در مورد غالب گیاهان صادق است تجمع ازت در داخل بافتهای گیاهی در هنگام افزایش ازت در خاک می باشد. مصرف سبزیجات و میوه‌هایی که در آنها ازت تجمع یافته باعث بیماری سیانوز و متهموگلوبین در کودکان می شود. چنین بیماری هایی در دامهایی که از چنین علوفه هایی استفاده می‌کنند نیز بروز می‌کند.

مشکل عمده دیگر ناشی از کاربرد آبهای آلوده زیرزمینی اثرات آنها بر خاک است. چنانچه میزان سدیم در این آبها نسبت به یونهای کلسیم و منیزیم فزونی داشته باشد و اگر مقدار کل نمکهای محلول در آب کم باشد ساختمان خاک تخریب شده و چنین خاکی حاصلخیزی خود را برای زراعت از دست خواهد داد. البته این حالت معمولاً در خاکهای رسی سنگین رخ می دهد و چون مقدار نمکهای محلول در آبهای آلوده زیرزمینی بندرت کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر است لذا ذرات رس در اثر استفاده از این آبها معمولاً پراکنده نخواهد شد.

بنابراین قبل از استفاده از آبهای آلوده برای مصارف زراعی و هرگونه تصمیم نسبت به

کاربرد آنها در آبیاری می بایست با توجه به شرایط آب و هوایی و نوع محصولاتی که در محل معمول است آزمایشاتی تحقیقی به منظور شناخت اثرات مثبت و منفی آن صورت گرفته و حتی المقدور تمهیدات لازم از نظر کاهش میزان ازت در آب به عمل آید. برای کاهش ازت در آب روشهای مختلفی- هرچند مشکل و پرهزینه- وجود دارد.

کاربرد آبهای آلوده برای مصارف شرب

در منطقه مشهد به‌علت شرایط جغرافیایی و اقلیمی باید یک واقعیت را پذیرفت و آن کمبود آب نسبت به مقدار نیاز است. پتانسیلهای آب در این منطقه محدود و در حال حاضر تقریباً به‌طور کامل مورد استفاده قرار می‌گیرند و اگر گاهگاهی پروژه‌های آبی کوچکی مانند احداث سد یا مهار آبهای سطحی و انتقال آب مطرح می شود در واقع نوعی جابجایی در مصرف آب است. مسلماً پتانسیلهای آبی موجود پاسخگوی نیاز در حال افزایش جمعیت شهر مشهد، که گاهی صحبت از رشد حتی ۱۴ درصد آن مطرح می شود، نیست. بزرگترین منبع آب نزدیک به مشهد که می توان آن را جهت مصارف عمومی و شرب انتقال داد آب رودخانه هریرود از سمت سرخس است که در استفاده از آن باید به سه نکته بسیار با اهمیت توجه شود. اول آن که بخش اعظم آب این رودخانه که مقدار آن در سرخس حدود یک میلیارد متر مکعب در سال است و با احداث سد در محل پل خاتون می توان ۶۵۰ تا ۷۰۰ میلیون متر مکعب آن را مهار کرد از ارتفاعات داخل افغانستان سرچشمه می‌گیرد و هیچ گونه اطمینانی وجود ندارد که این آب به‌طور دایم در اختیار باشد. احداث پروژه‌های آبی در افغانستان روی این رودخانه- که انجام آن محتمل است- می تواند باعث خشک شدن آن شود. ثانیاً سرخس منطقه‌ای است با آب و هوا و خاک مساعد جهت کشاورزی و انتقال ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلیون متر مکعب در سال برای تأمین آب مورد نیاز جمعیت مشهد در حقیقت نوعی جابجایی در مصرف است. هرچند در حال حاضر این آب در محل سرخس از مرز خارج شده و وارد خاک شوروی می شود،(۷۰٪ آب هریرود مال شوروی است). اما احداث سد ساده‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روش برای استفاده از آب هریرود برای کشاورزی و دامداری سرخس است. موضوع سوم هزینه بسیار سنگینی است که می بایست به دلیل وجود ارتفاعات مزداوند(مزدوران) برای انتقال آب به مشهد متحمل شد.

منبع آبی دیگری که بدون صرف هزینه‌های سنگینی در اختیار می باشد آبهای

زیرزمینی داخل شهر است که بعضاً به دلیل وجود فاضلابها ممکن است دچار آلودگی های شیمیایی و حتی میکربی نیز شده باشند. اصولاً استخراج آبهای زیرزمینی داخل شهر نه تنها از نظر تأمین آب شرب اهمیّت دارد بلکه از نظر بهداشتی و ایمنی ساختمانها نیز قابل توصیه است. ولی آنچه در بهره برداری از این آبها می بایست درنظر گرفت، عدم آلوده شدن آنها به آلایندها است. برای آن که از آلوده شدن میکربی چاهها اطمینان حاصل شود باید چاه در محدوده حفاظت شده‌ای از مواد آلوده و فاضلابها که به آن حریم چاه گفته می شود حفر شود. حریم بیولوژیکی چاه عدد ثابتی نیست که بتوان به صورت قراردادی اطراف چاه را تا شعاع مشخصی محصور کرد بلکه تابعی از شرایط هیدرودینامیک سفره آب زیرزمینی و مشخصات پمپاژ چاه است. آنچه در این مقاله ذکر شده ارائه یک مدل ساده شده کامپیوتری برای مشخص کردن حریم چاه است.

حریم بیولوژیکی و نحوه محاسبه آن

حریم بیولوژیکی مکان هندسی نقاطی است که مواد آلاینده میکربی برای رسیدن از آن نقاط به چاه مدت ۵۰ روز وقت لازم داشته باشند. ثابت شده است که حرکت میکروارگانیسمها به مدت ۵۰ روز در یک محیط متخلخل باعث از بین رفتن آنها می شود. طول مدت حرکت به فاکتورهای زیادی از جمله عوامل زیر بستگی دارد:

۱ ـ قابلیت انتقال سفره (T)

۲ ـ ضریب ذخیره سفره (S)

۳ ـ ضریب آبگذری سفره (KF)

٤ ـ تخلخل مفید لایه آبدار (NE)

۵ ـ تعداد چاههایی که در محل قرار دارند (NW)

٦ ـ دبی هر کدام از چاهها (Q)

۷ ـ سرعت عمومی جریان آب زیرزمینی (V)

بنابراین اگر بخواهیم حریم بیولوژیکی یک چاه معین را مشخص کنیم لازم است ابتدا با آزمایش پمپاژ مشخصات چاه واکیفر را تعیین و سپس با استفاده از قوانین حرکت سیالات و انتقال مواد، مکان هندسی نقاط مورد نظر را محاسبه کنیم. در روش کامپیوتری که لیست برنامه آن تهیه شده است برای حل معادلات انتقال مواد از روش

Dispersion - free approx. استفاده شده است. برنامه به صورت سؤال و جواب به نحوی که در مثال مشخص شده است حریم بیولوژکی را در اطراف چاه ترسیم می‌کند. داده‌های مورد نیاز مرکب از ۵ بلوک به شرح زیر است:

پارامترهای اکیفر AP

قابلیت انتقال سفره $T, m^2/s$

ضریب ذخیره سفره S

ضریب آبگذری $KF, m/s$

تخلخل مؤثر NE

سرعت جریان V

- درجهت افقی $V\times(m/s)$

- درجهت عمودی $Vy(m/s)$

ضریب استهلاک جریان RD=1

برای ساده شدن عملیات می توانید سرعت عمودی جریان را صفر و ضریب استهلاک را یک در نظر بگیرید.

مشخصات چاه Bs

تعداد چاهها (Nw)

مختصات چاه

-(طول و عرض) Xw, Yw

دبی چاه $Q(m^3/s)$

مدت زمانی که چاه از شروع تا بحال مشغول پمپاژ بوده است.

مختصات نقطه شروع برای رسم حریم شامل

- تنظیم برنامه گرافیکی برای رسم و مشخص کردن محل چاه و کادربندی محورهای مختصات (PLOT)

- رسم نقاط ایزو- کرون ۵۰ روزه در اطراف چاه (MOVE)

کاربرد این روش درمثالی که در انتهای لیست برنامه آمده روشن شده است.*

* کسانی که مایل به استفاده از برنامه کامپیوتری فوق هستند می توانند با آدرس مجله مکاتبه کنند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1 - Ames, W. F., 1965. Nonlinear partial differential equations in engineering. Academic Press, New York.

2 - Bear, J., 1972. Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier, New York.

3 - Bear, J., 1979. Hydraulics of groundwater. McGraw Hill Book Co. New York.

4 - Bredehoeft, J. D., Pindor,G. F., 1973. Mass transport in flowing ground water. Water Res. Research, 9(1).

5 - Chaudhari, N. M., 1971. An improved numerical technique for solving multidimensional miscible displacement equations. Soc. Pet. Eng. J., 11(3).

6 - Connor,J. J., Brebbia, C. A., 1976. Finite element techniques fof fluid flow. Butterwoth, London.

7 - Buguid, J. O., Reeves, M., 1976. Material transport through porous media: A finite element Galerkin model. Oak Ridge National Lab. Report ORNL-4928.

8 - Fried, J., 1975. Groundwater pollution, Developments in Water Science, vol. 4. Elsevier Scientific Publishing Co., New York.

9 - Henery,T. F., Foree, E. G., 1979. Dispersion modelling in time and two dimensions. Proc. of ASCE, JASCE, 105, EE6.

10- Sauty, J. P., 1980. An analysis of hydrodispersive transfer in aqufers. Water Resou. Res., 16(1).

11- Uffink, G. J. M., 1983. A random Walk method for simulation of macrodispersion oin stratified aquifer. Proc. IUGG General Assembly, Hamurg 1983.

12- Verruijt, A., 1981. Some BASIC programs for finite element analysis. Adv. Eng. Software. vol. 3,(1).

۱۳ ـ سازمان آب منطقه‌ای خراسان (گزارشات فنی)

۱۴ ـ شرکت خدمات مهندسی مهاب قدس (گزارشات فنی)

۱۵ ـ شرکت خدمات مهندسی طوس‌آب (گزارشات فنی)