

تخصیص منابع آب با در نظر گرفتن فاضلاب تصفیه شده به عنوان منبع جدید آب در شهر تهران

عابده عبدالغفوریان*؛ مسعود تجربیسی[†]؛ احمد ابریشمی[‡]

چکیده

شهر تهران نظیر بسیاری از کلان شهر های دنیا با افزایش تقاضا برای آب شیرین و محدودیت منابع مواجه است. موقعیت جغرافیایی شهر تهران و رشد بی رویه تقاضای آب برای مصارف جدید، علی رغم استفاده از منابع آب حوزه-های مجاور شهر، تأمین نیاز آب شهری را مخصوصاً در سال های کم بارش با شرایطی دشوار مواجه نموده است. در این مقاله باز یافت فاضلاب و استفاده مجدد از پساب به عنوان یکی از راه حل های مناسب برای حل مشکلات تأمین آب و دفع فاضلاب شهر تهران مطرح و اثرات اقتصادی و زیست محیطی آن به عنوان نتیجه بیان خواهد شد. در ابتدا پس از شناخت مصرف کنندگان عمده آب در شهر تهران، به بررسی کمیت و کیفیت آب مورد نیاز آنها پرداخته می شود و سپس منابع تأمین آب موجود شامل شبکه آبرسانی شهری (انتقالی از سدهای مجاور شهر)، چاه های عمیق و نیمه عمیق، روان آبهای سطحی و فاضلاب تصفیه شده مورد تحلیل قرار می گیرد. در انتها با توسعه یک مدل بهینه سازی خطی با هدف کمینه کردن هزینه ها، نحوه ی تأمین آب هر مصرف کننده (محل تأمین و کمیت) تعیین شده و در نهایت آثار اقتصادی و زیست محیطی این راه حل مورد بررسی قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: ۱- تخصیص منابع آب ۲- فاضلاب تصفیه شده ۳- شهر تهران ۴- بهینه سازی خطی

مقدمه

در قرن اخیر، رشد سریع جمعیت و شهر سازی مشکلات زیاد زیست محیطی به دنبال داشته است. از جمله مهمترین این مسائل، مشکل کمبود آب و آلودگی های آن می باشد. هم اکنون، بسیاری از کشورهای دنیا با چالش کمبود آب و آلودگی آن مواجه هستند و این مشکلات روز به روز وخیم تر می گردد. [۱]

سالهاست که در جوامع پیشرفته دنیا به فاضلاب که در واقع همان آب با کیفیت پایین تر است به عنوان یک منبع ارزشمند آب از لحاظ کمی نگاه می شود و سعی شده است کیفیت فاضلاب تولید شده پس از طی مراحل مختلف تصفیه به حدی رسانده شود که همچون دیگر منابع آب، برای مصارف کشاورزی، صنعتی و حتی شهری قابل استفاده باشد و به این طریق راه حل عملی برای مبارزه با مشکل کمبود آب پیدا کرده اند. [۱] مناطق شهری می توانند با استفاده مجدد از آب و باز یافت فاضلاب علاوه بر کاهش آلودگی، بر هزینه های بالای تأمین آب از منابع جدید و محدودیت های تخلیه فاضلاب در آب های روان غلبه کنند.

شهر تهران با جمعیتی بالغ بر ۷.۵ میلیون نفر یکی از پر جمعیت ترین شهر های دنیا محسوب می شود. متوسط بارندگی در این شهر حدود ۲۵۰ میلیمتر در سال می باشد که اکثر آن در دو فصل بهار و زمستان واقع می شود. مهمترین منابع آبی تهران عبارتند از: سدهای کرج، لار، لتیان و طالقان که آب های تنظیم شده آب رودخانه های فوق توسط سد های مخزنی تنظیم شده از طریق خط لوله، کانال و تونل به پنج تصفیه خانه شهر هدایت می شود. تهران علاوه بر استفاده از آبهای سطحی از منابع آب زیرزمینی برای جبران کمبود آب مصرفی کمک می گیرد، به طوری که بیش از ۲۶۰ حلقه چاه احداث شده است که از طریق آنها، سالانه حداقل ۲۵۰ میلیون متر مکعب آب وارد شبکه آب تهران می شود. قبل از سال ۱۳۴۵ برداشت آب از سفره های زیرزمینی ناچیز بوده ولی سهم این منبع روز به روز افزایش یافته است. [۲]

در جدول ۱، جمعیت شهر تهران، مصرف روزانه هر نفر و در نتیجه مصرف سالانه شهر ارائه شده است. همان طور که از

* : دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست و دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف،

abedeh_abd@civil.sharif.edu

† : دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، tajrishy@sharif.edu

‡ : استاد دانشکده مهندسی عمران، دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، abrisham@sharif.edu



این جدول مشاهده می شود مصرف سرانه آب طی ۳۰ سال حدود ۴ برابر و میزان مصرف سالانه بیش از ۸ برابر شده است. نکته قابل توجه این است که بر خلاف رشد حدود ۳.۵ درصدی جمعیت شهر تهران در این دوره، مصرف آب با رشد سالانه تقریباً ۸ درصد همراه بوده است. [۲] هم اکنون سرانه مصرف آب در شهر تهران تا ۳۶۰ لیتر در روز به ازای هر نفر می رسد که این مقدار دو برابر استاندارد های جهانی می باشد.

جدول ۱: جمعیت تهران و مصرف سرانه آب طی سال های ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۵/۲

سال	جمعیت (۱۰۰۰ نفر)	مصرف سالانه آب (میلیون مترمکعب)	مصرف سرانه (لیتر در روز)
1345	2720	98	99
1355	4530	346	209
1359	5454	443	222
1365	6042	542	244
1370	6475	681	288
1375	6759	780	352

رشد صنایع مختلف در داخل و اطراف این کلان شهر، فضای سبز مورد نیاز و از همه مهمتر رشد بی رویه جمعیت در مقابل کاهش نزولات جوی در سال های اخیر، مسئله تأمین آب را به مشکل جدی تبدیل کرده است. در صورتی که مصرف سالانه آب، روندی شبیه آنچه در ۴۰ سال اخیر روی داده، داشته باشد انتظار می رود تا سال ۱۴۰۰، مصرف سالانه آب به ۱۳۵۰ میلیون مترمکعب برسد، که با فرض استفاده از حداکثر ظرفیت سد های کرج (۳۳۰ میلیون متر مکعب در سال)، لار (۱۵۰ میلیون متر مکعب در سال)، لتیان (۱۸۰ میلیون متر مکعب در سال)، ماملو (۹۰ میلیون متر مکعب در سال) و طالقان (۱۵۰ میلیون متر مکعب در سال) در سال های پر آبی نیازمند برداشت بیش از ۴۵۰ میلیون متر مکعب آب از سفره های آب زیرزمینی هستیم.

با نگاهی به برنامه های مدیریتی برخی کشورها که با مشکل تأمین آب مواجه هستند از جمله استرالیا به دلیل کمبود نزولات جوی در کنار تبخیر زیاد، ژاپن به دلیل تقاضای بالای آب به دلیل جمعیت زیاد و یا آلمان و فرانسه به دلیل محدودیت های اقتصادی و زیست محیطی، استفاده مجدد آب و بازیافت فاضلاب راه حل مناسب و اقتصادی ارزیابی می شود که مسلماً تاثیرات سوء دفع غیر اصولی فاضلاب و برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی را نیز کاهش می دهد. [۳]

مناطق خشک همچون تهران، برای آبیاری محصولات کشاورزی، فضای سبز و پارک ها با مشکل کمبود آب مواجه هستند. در شهر تهران بیش از ۲۰ کیلومتر مربع از پارکها با آب خام آبیاری می شوند که بسیاری از این پارک ها در کنار تصفیه خانه های فاضلابی هستند که پساب خود را به داخل کانال های داخل شهر تخلیه می کنند فاضلاب تصفیه شده علاوه بر آبیاری فضای سبز، جهت تغذیه آب زیرزمینی بویژه در غرب و شرق تهران که با افت شدید آبهای زیرزمینی مواجه می باشند (حدود سالانه یک متر) کاربرد دارد. از دیگر موارد کاربرد پساب تصفیه شده صنعت می باشد. فاضلاب شهری پس از تصفیه شدن قابلیت استفاده در خنک کننده ها و بسیاری از فرایندهای صنعتی را دارد. به عنوان مثال پالایشگاه تهران بزرگترین مرکز صنعتی در تهران است که بخش قابل توجهی از آب مصرفی آن قابل جایگزینی با پساب تصفیه شده (تصفیه خانه جنوب) می باشد. [۲]

بنابراین در این پژوهش پس از شناخت مصرف کنندگان عمده شهر، به بررسی کمیت و کیفیت آب مورد نیاز آنها پرداخته و سپس منابع تأمین آب موجود شامل شبکه آبرسانی انتقالی از سدهای مجاور شهر تهران، چاه های عمیق و نیمه عمیق، روان رواناب های سطحی و فاضلاب تصفیه شده مورد تحلیل قرار می گیرد و با توسعه و استفاده از یک مدل بهینه سازی خطی، نحوه ی تأمین آب هر مصرف کننده (محل تأمین و کمیت) تعیین می شود.

روش کار

برای جوامعی که با مشکل تأمین آب روبه رو هستند، استفاده از فاضلاب تصفیه شده از نکات کلیدی مدیریتی می باشد. معمولاً تخمین پتانسیل های استفاده مجدد به دلیل نبود اطلاعات و دانش کافی مشکل می باشد. توسعه و کاربرد کامپیوتر، امکان مقایسه عددی سناریوهای موجود در ارتباط با مسائل آب شهری و تحلیل و درک بهتر آن را میسر کرده است. سالهاست که مدل های مدیریتی به عنوان اساسی ترین راه حل برای ارزیابی و بهینه سازی تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب و تخصیص منابع آب به کار می روند.

یکی از اولین کارهای انجام شده مدل سازی انجام شده توسط *Mulvihill* و *Dracup* در سال ۱۹۷۴ می باشد که

با هدف کمینه کردن هزینه های تأمین آب بین چند منبع تولید آب صورت گرفت [۴]. یکی از معایب مدل سازی انجام شده توسط ایت محققین، مدل کردن کلیه مصرف کننده ها به عنوان یک مصرف کننده بزرگ بود. در دهه ی ۸۰ میلادی مدل های پیچیده تر بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب مطرح شد. *Schwartz* و *Mays* در سال ۱۹۸۴ و *Lijklema* و *Vieira* در سال ۱۹۸۹، با طراحی مدل دینامیک توانایی تشخیص بهینه ترین محل و اندازه یک تصفیه خانه فاضلاب را با توجه به مکان مصرف کننده های پساب امکان پذیر کردند. [۶ و ۵]

در دو دهه ی اخیر، مسائل بهداشتی و زیست محیطی در ارتباط با استفاده مجدد از فاضلاب مطرح و مطالعات زیادی در این رابطه صورت گرفت. *Oron* در سال ۱۹۹۶ میلادی با نگرشی جامع بر اساس ملاحظات مهندسی مثل مراحل مختلف تصفیه و کنترل کیفیت پساب، منابع و مصارف آب، حمل و نقل، ذخیره سازی آب، آلودگی زیست محیطی و دیگر فاکتورهای محیطی، به مسئله ی بازیافت و تصفیه فاضلاب پرداخت و مسائل شهر *Beer-Sheva* در فلسطین اشغالی را با کمینه کردن تابع هدف هزینه ها مورد بررسی قرار داد [۷]. *Keckler* در سال ۱۹۹۸ در قالب روش شبکه ای مسیره های ممکن برای انتقال جریان آب بین تولید کننده و مصرف کننده را براساس کیفیت آب تعیین و بهترین تخصیص آب را با در نظر گرفتن هزینه های تصفیه و حمل و نقل مشخص کرد. همچنین در سال ۲۰۰۳ میلادی، *Chu* و همکارانش پتانسیل استفاده مجدد در چین را در چهارچوب روابط ریاضی، با یک مدل بهینه سازی خطی با محدودیت های موجود اقتصادی و فیزیکی به دست آوردند. [۳]

در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه ی استفاده مجدد از فاضلاب و به ویژه مراحل مختلف تصفیه انجام شده است که به بررسی فنی مسئله می پردازد و کمتر به جنبه های مدیریتی توجه دارد. همچنین تحقیقات زیادی روی تاثیر آبیاری با پساب بر کیفیت محصولات کشاورزی انجام گرفته است. در سال ۱۳۷۵، محمدنژاد و تجریشی به ارزیابی فنی-اقتصادی استفاده از پساب تصفیه خانه های شهرک های تهران برای آبیاری پارک های جنگلی پرداخته و با یک تحلیل سود و زیان از میان گزینه های مختلف، انتقال پساب تصفیه خانه شهرک های غرب و آتی ساز به پارک چیتگر را مورد مطالعه و این پروژه را اقتصادی ارزیابی نمودند. [۸] همچنین تحقیق دیگری در سال ۱۳۸۲ توسط ترابیان و مطلبی با هدف بررسی امکان استفاده مجدد از پساب تصفیه خانه فاضلاب اکباتان بر اساس طرح مدیریتی برای پارک چیتگر انجام گرفت. در این تحقیق با تحلیل سود- هزینه با در نظر گیری هزینه انتقال پساب به پارک چیتگر و همچنین منافع زیست محیطی حاصل از حفظ یک پارک جنگلی، استفاده از پساب تصفیه خانه اکباتان برای آبیاری پارک چیتگر اقتصادی ارزیابی شده است. [۹]

ولی تا به حال هیچ یک از شهرهای ایران به عنوان یک شبکه کامل با در نظرگیری کلیه منابع آب مورد مطالعه قرار نگرفته اند. همچنین هیچ گونه بهینه سازی در زمینه تخصیص منابع آب شهری با در نظر گرفتن منابع مختلف آن انجام نگرفته است. بهینه سازی با هدف کمینه کردن هزینه های سیستم انتقال آب در کنار کمینه کردن مصرف آب خام (آب پشت سد و آب زیرزمینی) فرصت مناسبی است برای درک الزام تغییر الگوی مصرف بسیاری از مصرف کنندگان عمده شهر از جمله پارک های جنگلی و صنایع شهری و عملیاتی نمودن استفاده از پساب تصفیه خانه های شهری در آبیاری فضاهای سبز، پارک ها و فضای سبز اتوبان و بزرگراه های شهری. مدل توسعه یافته در این مطالعه تحت عنوان مدل "بازیافت فاضلاب و استفاده مجدد از پساب" دو مرحله زیر را برای رسیدن به جواب طی می کند:

- ۱- امکان سنجی: بررسی امکان انتقال آب از یک تولید کننده به یک مصرف کننده با توجه به کیفیت آب مورد نیاز مصرف کننده و کیفیت آب تولید کننده
- ۲- تخصیص بهینه: تعیین مسیر و میزان انتقال آب در شبکه با هدف کمینه کردن هزینه ها

شرکت های آب و فاضلاب متولی تأمین آب (انتقال، تصفیه و توزیع) و مدیریت فاضلاب (جمع آوری، انتقال و تصفیه) در ایران می باشد. هدف از بهینه سازی شبکه تخصیص آب در این تحقیق کمینه کردن هزینه های این شرکت، شامل هزینه خرید آب (*PC*)، هزینه های جاری انتقال آب (*OC*)، هزینه احداث مسیر انتقال آب (*TC*) و در مقابل سود حاصل از فروش آب به مصرف کنندگان (*B*)، می باشد.

ساختار ریاضی مدل تخصیص بهینه منابع آب که در این مطالعه استفاده شده است به صورت رابطه (۱) می باشد.

$$\text{Minimize } Z = \sum_j \sum_i ((PC_{i,j} + OC_{i,j} - B_{i,j}) \times X_{i,j} + TC_{i,j}) \quad (1)$$

به طوریکه:

Z : پارامتر هدف (تومان در سال)،

i : تولید کننده آب در شبکه،

Z : مصرف کننده آب در شبکه،

$X_{i,j}$: میزان آب انتقال یافته از تولید کننده i به مصرف کننده j (مترمکعب در سال)،
 $PC_{i,j}$: قیمت خرید هر واحد آب از تولید کننده i برای مصرف کننده j (تومان به ازای هر مترمکعب) (بر اساس تعرفه آب تحویلی از سدها و سایر منابع آب و حق النظاره برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط شرکت های آب و فاضلاب شهری ابلاغی از طرف وزارت نیرو سال ۱۳۸۷)،

$OC_{i,j}$: هزینه جاری انتقال هر واحد آب از تولید کننده i به مصرف کننده j (تومان به ازای هر مترمکعب) (بر اساس بخشنامه شماره ۵۰۰۹/۱۰۰ مورخ ۱۳۸۷/۷/۷ در خصوص افزایش بهای انرژی، وزارت نیرو، تعرفه شماره ۲، کد ۵-۲، نظرات کارشناسان شرکت آب و فاضلاب کشور و همچنین مراجعه به پروژه های مشابه در دیگر شهرهای دنیا)،

$B_{i,j}$: سود حاصل از فروش آب از تولید کننده i به مصرف کننده j (تومان به ازای هر مترمکعب) (بر اساس تعرفه آب بهای کاربری های غیر خانگی ابلاغی از طرف وزارت نیرو سال ۱۳۸۷)،

$TC_{i,j}$: هزینه اولیه احداث مسیر انتقال آب از تولید کننده i به مصرف کننده j (تومان در سال) (بر اساس فهرست بهای واحد پایه رشته شبکه توزیع آب سال ۱۳۸۷، معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی، شماره ۱۰۰/۷۲۸۶۰ و قیمت لوله های چدنی و پلی اتیلن بازار تهران) می باشد.

هر مصرف کننده به میزان مشخص آب در هر سال نیاز دارد. در نتیجه مجموع آب ورودی از کلیه تولید کنندگان به مصرف کننده Z برابر با نیاز آبی این مصرف کننده می باشد. این محدودیت در رابطه (۲) آورده شده است. همچنین مجموع آب خروجی از یک تولید کننده نباید از حداکثر ظرفیت تولید آن منبع بیشتر باشد؛ این محدودیت طی رابطه (۳) به مدل اعمال می گردد. دیگر محدودیت موجود در مدل مثبت بودن پارامتر $X_{i,j}$ می باشد که این محدودیت نیز به صورت رابطه (۴) به مدل وارد می گردد.

$$\sum_j X_{i,j} = Q_{in}(i) \quad (2)$$

$$\sum_j X_{i,j} \leq Q_{out}(i) \quad (3)$$

$$0 \leq X_{i,j} \quad (4)$$

$Q_{in}(i)$: نیاز آبی مصرف کننده i (مترمکعب در سال)

$Q_{out}(i)$: حداکثر ظرفیت تولید کننده i (مترمکعب در سال)

در نتیجه مدل تخصیص بهینه منابع آب با چهار رابطه ذکر شده به صورت یک مدل بهینه سازی خطی تعریف می گردد. برای حل مدل تخصیص با سه محدودیت ذکر شده، از زبان برنامه نویسی *GAMS22.1* استفاده شده است.

داده ها

در این تحقیق شهر تهران به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. اجزای تشکیل دهنده این شبکه تخصیص آب، مصرف کننده ها و تولید کننده های عمده این شهر می باشند که به صورت اجزای نقطه ای به مدل معرفی می شوند. آب شهری به مصرف سه بخش مهم خانگی، صنعت و فضای سبز می رسد. کیفیت آب مورد نیاز خانگی بسیار بالا می باشد و با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی از انجام این پروژه بررسی امکان سنجی استفاده از پساب تصفیه خانه های فاضلاب به عنوان منبع جدید آب در شهر تهران می باشد و تکنولوژی به کار رفته در تاسیسات تصفیه خانه های شهر تهران قادر به تولید پساب با کیفیت بالا را ندارند، از وارد نمودن مصرف کننده های خانگی در شبکه صرف نظر شده است. از میان دیگر مصرف کنندگان به دلیل محدود بودن برنامه در تعداد المان های شبکه، آن دسته از مصرف کنندگانی که دارای مصرف بیش از ۳۰۰ هزار مترمکعب در سال هستند انتخاب و به مدل معرفی شده است. جدول ۲ فهرست کلیه مصرف کنندگانی که در شبکه تعریف شده اند به همراه محل و میزان مصرف سالانه آنها نشان داده شده است.

منابع تولید آب در شهر تهران به چهار دسته کلی تقسیم می شوند:

۱- تصفیه خانه آب (WTP): در تهران پنج تصفیه خانه آب وجود دارد (در چهار نقطه شهر) که آب

سدهای اطراف تهران به این تصفیه خانه ها انتقال می یابد. (جدول ۳، شکل ۱)



- ۲- آب زیرزمینی (چاه‌های عمیق و نیمه عمیق): بیش از ۲۶۰ حلقه چاه در سطح شهر وجود دارد که با توجه به محدودیت برنامه در تعداد المان‌ها ورودی بر حسب مکان و تجمع آنها به صورت منطقه ای به ۲۰ گروه تقسیم شده‌اند. (جدول ۳، شکل ۱)
- ۳- تصفیه خانه های فاضلاب (WWTP): در این تحقیق ۱۴ تصفیه‌خانه بزرگ موجود در سطح شهر به عنوان منابع تولیدکننده آب به مدل معرفی شده‌اند. (جدول ۳، شکل ۱)
- ۴- مسیل های اصلی داخل شهر: با توجه به تعداد زیاد کانال های کوچک و بزرگ در سطح شهر، برای ساده سازی مدل و با توجه به اینکه بسیاری از کانال های کوچک در اکثر ماه‌های سال دبی ناچیزی از خود عبور می دهند، تنها دو مسیل اصلی شهر (کن و دربند) به عنوان منبع آب به دلیل اینکه آب جاری در این دو مسیل مسیل به صورت پیوسته جریان دارد، انتخاب و در مسیر هر مسیل چند نقطه که پارامتر های کیفی و کمی آنها در دسترس می باشد به عنوان منابع آب نقطه ای مورد مطالعه قرار می گیرند. (جدول ۳، شکل ۱)
- در شکل ۱ کلیه مصرف کنندگان و منابع تولید آب با توجه به کدگذاری انجام شده در جداول ۲ و ۳ نمایش داده شده اند.

نتایج و بحث

همانگونه که در بخش روش کار توضیح داده شد، اولین مرحله اجرای مدل، بررسی امکان انتقال آب از یک تولید کننده به یک مصرف کننده می باشد. به همین منظور کیفیت آب منابع تولید کننده تعیین و سپس با توجه به نوع کاربری هر یک از مصرف کننده ها مسیرهای ممکن برای انتقال آب در شبکه تعیین می گردد. با توجه به این که کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب در تهران در حال حاضر در حدی نیست که بتوان برای مصارف صنعتی و آبیاری استفاده کرد در این تحقیق دو وضعیت مورد بررسی قرار می گیرد:

- وضعیت موجود

در این حالت کیفیت آب کلیه منابع تولید آب با واقعیت موجود همخوانی دارد. در حال حاضر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر تهران در وضعیت مناسبی قرار ندارند و پساب آنها از لحاظ شاخص‌های بهداشتی و آلودگی میکروبی (کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی) دارای محدودیت استفاده مجدد است. در این وضعیت مصرف‌کننده‌ها تنها امکان تهیه آب از تصفیه خانه های آب (wtp) و چاه‌ها (well) را دارند. نتایج این وضعیت در جدول ۴ آورده شده است.

- وضعیت ایده ال

در این حالت فرض می شود با سرمایه‌گذاری های لازم، تکنولوژی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به حدی می رسد که فاضلاب و رواناب تصفیه شده قابل استفاده برای آبیاری و فرایندهای صنعتی باشد. در نتیجه در این حالت فرض بر آن است که کلیه منابع تولید کننده آب اعم از تصفیه‌خانه های آب و فاضلاب، چاه‌ها و مسیل ها دارای کیفیت مناسب بوده به طوری که کلیه مصرف کننده ها متناسب با کیفیت آب مورد نیاز خود قابلیت استفاده از آب آنها را دارند. نتایج این وضعیت در جدول ۵ آورده شده است.

در جدول ۶ دو حالت تحلیل شده از نظر اقتصادی و زیست محیطی (میزان مصرف آب خام و آب زیرزمینی) با هم مقایسه شده اند، همانگونه که مشخص است در وضعیت موجود به دلیل کیفیت نامناسب پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب، کلیه آب مورد نیاز مصرف کنندگان از آب خام و آب زیرزمینی تأمین می شود؛ ولی در وضعیت فرضی بهبود یافته از پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب و رواناب‌های سطحی تأمین می شود. در نتیجه می توان از آب خام و آب زیرزمینی ذخیره شده برای مصارف دیگر از جمله آب شرب و بهداشتی در آینده و شرایط بحرانی استفاده و مشکل کمبود آب وافت سطح آب های زیرزمینی را جبران کرد. علاوه بر مزایای زیست محیطی بیان شده در اثر اجرای این طرح، از نظر اقتصادی نیز بهبود تصفیه خانه ها و جایگزینی پساب تصفیه شده با آب خام یا آب زیرزمینی بسیار به صرفه بوده و می توان از سود حاصل جهت بهره برداری صحیح و راه اندازی واحد های پیشرفته در تصفیه خانه ها استفاده کرد.



جدول ۲: مشخصات مصرف‌کنندگان شبکه تولیدکننده-مصرف‌کننده

کد	مصرف‌کننده	علامت اختصاری	ظرفیت (m ³ /year)	تراز (m)	X UTM (m)	Y UTM (m)
1	پارک جنگلی لویزان	pj_lavizan1	26,827,500	1562	545403	3958489
2	پارک جنگلی غزال	pj_ghazal	22,995,000	1565	555347	3954629
3	پارک جنگلی چیتگر	pj_chitgar	22,707,563	1258	520548	3954065
4	پارک جنگلی خجیر	pj_khojir	17,246,250	1337	565954	3947308
5	پارک جنگلی سرخه حصار	pj_sorkhehesar	16,291,958	1362	549106	3953112
6	پارک جنگلی کوهسار	pj_koohsar	11,497,500	1510	524444	3959614
7	پارک جنگلی پردیسان	pj_pardisan	5,748,750	1412	531904	3956071
8	پارک جنگلی افرا	pj_afra	3,865,076	1090	533632	3941007
9	پارک جنگلی سوهانک	pj_sohanak	3,832,500	1893	549503	3962475
10	پارک جنگلی توسکا	pj_tooska	2,190,274	1104	541889	3943005
11	پارک آزادگان	p_azadegan	1,628,813	1103	542549	3942967
12	پارک جنگلی خرگوش دره	pj_khargooshdareh	1,533,000	1274	523436	3953242
13	پارک بعثت	p_besat	1,025,194	1117	538689	3945495
14	پارک خلیج فارس (مشیریه)	p_khalijefars	996,450	1160	544647	3942143
15	پارک جنگلی یادبود	pj_yadbood	958,125	1028	532229	3933306
16	پارک قائم	p_ghaem	900,638	1130	529698	3945812
17	پارک پلیس	p_polis	804,825	1443	549627	3956303
18	پارک ملت	p_melat	651,525	1568	537143	3959959
19	پارک جنگلی طالقانی	pj_taleghani	597,870	1408	538776	3956877
20	مجتمع رازی	p_razi	574,875	1130	535473	3947809
21	پارک لاله	p_laleh	519,775	1284	535712	3952348
22	پارک نصر	p_nasr	498,225	1422	534060	3956020
23	پارک شهر	p_parkshahr	319,375	1155	537524	3949099
24	پارک گفتگو	p_goftegoo	293,825	1353	534611	3955137
25	پارک بهشت‌مادران	p_beheshtmadaran	358,339	1359	540045	3956395
26	پارک فدائیان اسلام	p_fadaianeslam	224,699	1141	542242	3946297
27	پارک جنگلی ساحل	pj_sahel	221,108	1457	552891	3954222
28	پارک شقایق فاز ۱ و ۲ و ۳	p_shaghayegh	220,466	1084	535755	3941830
29	شرکت ملی نفت ایران	bu_sherkatenaft	6,000,000	1031	538385	3934090
30	سازمان آب تهران ابفا	bu_abfa	2,000,000	1080	538647	3941470
31	مرقد مطهر حضرت امام خمینی ره	bu_marghademam	600,000	1030	532732	3933676
32	شرکت عمران و توسعه گران پیشگام	bu_sherkateomran	700,000	1525	553296	3955557
33	تفریحات سالم	bu_tafrihatesalem	500,000	1298	533413	3953925
34	مجموعه ورزشی انقلاب	bu_varzeshienghelab	500,000	1564	536516	3959834
35	سازمان پارکها و شهرداری تهران	bu_sazmaneparkha_shahrdari	450,000	1108	543013	3943578
36	دانشگاه شهید بهشتی	bu_unibeheshti	300,000	1729	535529	3961910
37	صنایع منطقه (۱)۲۱	bu_sanaye21-1	5,000,000	1216	517505	3952995
38	صنایع منطقه (۲)۲۱	bu_sanaye21-2	5,000,000	1221	513231	3954003
39	شرکت تولید و تصفیه روغن اسو	bu_roghan_osve	300,000	1026	537244	3933817
40	مجتمع ورزشی راه آهن جمهوری	bu_varzeshi_rahahan	350,000	1220	528341	3951532
41	صداوسیما	bu_sedasima	350,000	1567	537264	3960319



جدول ۳: مشخصات منابع تولید آب در شبکه تولیدکننده-مصرف کننده

Y UTM (m)	X UTM (m)	تراز (m)	ظرفیت (m ³ /year)	علامت اختصاری	تولید کننده	کد
3963393	542789	1678	۲۸۰,۸۰۰	wwtp_sahebgharanieh	تصفیه خانه فاضلاب صاحبقرانیه	1
3959854	539593	1472	3,240,000	wwtp_zargandeh	تصفیه خانه فاضلاب زرگنده	2
3961880	539991	1562	۱,۲۱۱,۷۶۰	wwtp_gheitarieh	تصفیه خانه فاضلاب قیطریه	3
3962660	546471	1731	۲,۷۸۶,۴۰۰	wwtp_mahalati	تصفیه خانه فاضلاب شهرک محلاتی	4
3956287	533269	1412	۹,۴۸۶,۷۲۰	wwtp_ghods	تصفیه خانه فاضلاب شهرک قدس	5
3951472	527933	1224	۶,۴۸۰,۰۰۰	wwtp_ekbatan	تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان	6
3943991	542155	1110	۴,۴۰۶,۴۰۰	wwtp_shoosh	تصفیه خانه فاضلاب شهرک شوش	7
3941885	540695	1093	۴,۹۵۷,۲۰۰	wwtp_dolatabad	تصفیه خانه فاضلاب شهرک دولت آباد	8
3936224	540333	1037	۶۶,۷۵۶,۹۶۰	wwtp_jonoob	تصفیه خانه فاضلاب جنوب	9
3944016	541734	1116	۹۷۲,۰۰۰	wwtp_shahrakjomhoori	تصفیه خانه فاضلاب شهرک جمهوری اسلامی	10
3957793	547991	1481	۹۷۲,۰۰۰	wwtp_shahrakomid	تصفیه خانه فاضلاب شهرک امید	11
3957095	526484	1419	۵,۵۰۸,۰۰۰	wwtp_shahrakghods	تصفیه خانه فاضلاب شهرک قدس	12
3960319	535378	1569	۹۷۲,۰۰۰	wwtp_atisaz	تصفیه خانه فاضلاب شهرک آتی ساز	13
3945627	545685	1189	۱,۶۲۰,۰۰۰	wwtp_ghasr2	تصفیه خانه فاضلاب مجتمع مسکونی قصر ۲	14
3952680	535983	1263	227,059,200	wtp_jalalieh	تصفیه خانه آب شماره یک (جلالیه)	15
3952592	515717	1204	252,288,000	wtp_kan	تصفیه خانه آب شماره دو (کن)	16
3956166	552569	1526	252,288,000	wtp_tehranpars	تصفیه خانه آب شماره ۳ و ۴ (تهرانپارس)	17
3961509	547978	1729	179,755,200	wtp_5	تصفیه خانه آب شماره پنج (مینی سیتی)	18
3951087	544771	1201	100,915,200	darband_132	کانال ابودر (منوچه‌ری) ابتدای پیروزی	19
3945130	543950	1131	173,448,000	darband_153	کانال ابودر خیابان ابودر تقاطع ولیعصر	20
3941521	542555	1094	296,438,400	darband_170	کانال باروت کوبی	21
3936475	543248	1034	362,664,000	darband_200	کانال باروت کوبی	22
3962748	538869	1620	18,921,600	darband_220	میدان تجریش تلاقی گلابدره و دربند	23
3958014	539984	1403	47,304,000	darband_239	مقصود بیک شریعتی تقاطع خیابان نهم با رودبار	24
3952500	526500	1243	34,689,600	kan_555	رودخانه کن زیر پل رودخانه	25
3952486	526437	1160	26,805,600	kan_576	رودخانه کن	26
3947378	525560	1559	3,239,460	well_1	چاه مجازی منطقه ۱	27
3956371	531988	1432	16,727,891	well_2	چاه مجازی منطقه ۲	28
3958326	537971	1448	1,271,721	well_3	چاه مجازی منطقه ۳	29
3959831	545320	1543	2,370,582	well_4	چاه مجازی منطقه ۴	30
3956464	528471	1392	22,658,216	well_5	چاه مجازی منطقه ۵	31
3953857	536070	1304	8,968,079	well_6	چاه مجازی منطقه ۶	32
3953393	540309	1268	2,979,504	well_7	چاه مجازی منطقه ۷	33
3948989	528300	1181	7,230,822	well_9	چاه مجازی منطقه ۹	34
3948742	533238	1154	67,090	well_10	چاه مجازی منطقه ۱۰	35
3947944	535629	1133	13,425,242	well_11	چاه مجازی منطقه ۱۱	36
3947551	538058	1136	20,596,745	well_12	چاه مجازی منطقه ۱۲	37
3951087	544771	1226	1,587,080	well_13	چاه مجازی منطقه ۱۳	38
3947733	543056	1161	19,084,533	well_14	چاه مجازی منطقه ۱۴	39
3943692	542898	1110	23,494,010	well_15	چاه مجازی منطقه ۱۵	40
3944525	537664	1108	5,224,325	well_16	چاه مجازی منطقه ۱۶	41
3946373	532510	1125	2,384,618	well_17	چاه مجازی منطقه ۱۷	42
3946226	528853	1130	1,306,941	well_18	چاه مجازی منطقه ۱۸	43
3943675	534110	1107	410,801	well_19	چاه مجازی منطقه ۱۹	44
3952224	518239	1209	16,181,980	well_21	چاه مجازی منطقه ۲۱	45
3955652	519912	1265	13,444,160	well_22	چاه مجازی منطقه ۲۲	46



جدول ۴: ماتریس نتایج تخصیص آب در وضعیت موجود با هدف کمینه کردن هزینه های سیستم (میلیون متر مکعب در سال)

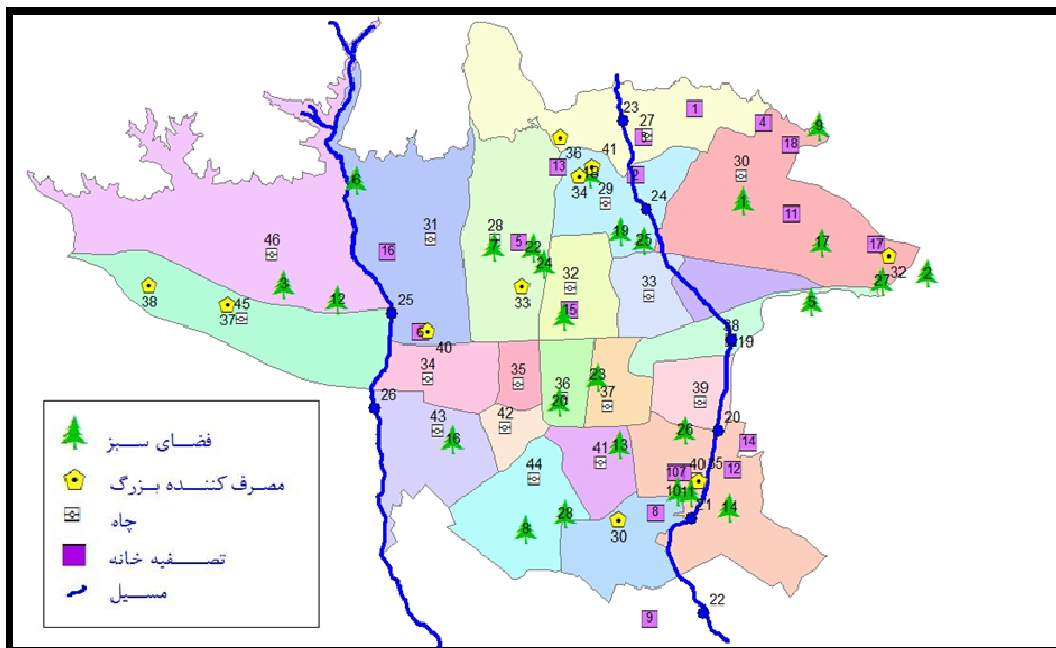
39	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	کدمصرف کننده کدتولیدکننده
0.3																		4.8	3.8	15
			0.8		1.0						3.8			11.5		17.2				16
													5.7							28
		0.7																		29
																			2.4	30
																	4.6		18.0	31
	0.6																			33
														16.3					2.6	39
						1.0			1.6	2.2									18.2	40
							1.0													41
																				43
				0.9																45
										1.5									4.6	46
																			13.4	46
41	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	کدمصرف کننده کدتولیدکننده
								0.6	1.7	6.0		0.2								16
0.35			0.3																	27
																	0.5			28
					0.5															29
						0.5														32
														0.3				0.5		33
														0.4						36
																			0.6	37
																	0.3			38
								0.7												39
													0.2							40
				0.5																41
									0.3											44
											0.2									45
	5.0	5.0																		45

جدول ۵: نتایج ماتریسی شبکه تخصیص آب در وضعیت ایده‌آل با هدف کمینه کردن هزینه های سیستم (میلیون متر مکعب در سال)

21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	کدمصرف کننده کدتولیدکننده
			0.7																		2
0.5														5.7							5
								0.1	1.5	2.2											7
													3.9								8
						1.0															9
								1.0													10
				0.8																	11
																16.3	17.2	23.0	20.5		19
							1.0		0.1												21
												3.8									23
		0.6																		6.4	24
									1.5												25
																			22.7		26
	0.6				0.9										11.5						26
41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	کدمصرف کننده کدتولیدکننده	
0.35																					2
									0.5									0.29	0.5		5
	0.35																				6
						0.45										0.22					7
											0.87		0.22								8
			0.3							0.6		6.0									9
					0.3		0.5														13
									0.7						0.22				0.32		19
											1.13										21
																	0.36				24
				5.0	5.0																25

جدول ۶: مقایسه وضعیت موجود با وضعیت ارتقا تصفیه‌خانه‌ها با توجه به ابعاد زیست محیطی و اقتصادی

هزینه کل (میلیون تومان)	میزان مصرف پساب تصفیه خانه فاضلاب (میلیون مترمکعب در سال)	میزان مصرف آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب در سال)	میزان مصرف آب سطحی (میلیون مترمکعب در سال)	میزان مصرف آب خام (میلیون مترمکعب در سال)	وضعیت موجود
30,555	0	115.8	0	51.7	وضعیت موجود
23,917	167.6	0	28.7	0	وضعیت ایده‌ال



شکل ۱: شبکه مصرف‌کننده-تولیدکننده در شهر تهران

تقدیر و تشکر

با تشکر از کارشناسان و مسئولان شرکت آب و فاضلاب تهران، شرکت آب و فاضلاب کشور به ویژه آقای مهندس قانع که در جمع آوری داده‌ها کمک فراوان نمودند.

مراجع

- [1] Cedo, M.; Guibert, J. A. T.; "Frontiers in Urban Water Management, Deadlock or Hope", IWA publishing, 2001
- [2] Tajrishy, M.; Abrishamchi, A.; "Integrated Approach to Water and Wastewater Management for Tehran, Iran", Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of the Iranian-American Workshop, National Academies Press, 2005
- [3] Chu, J.; Chen, J.; Wang, C.; Fu, P.; "Wastewater reuse potential analysis: implications for China's water resources management", Water Research, 38, 2004, 2746-2756
- [4] Mulvihill, M. E.; Dracup, J. A.; "Optimal Timing and Sizing of a Conjunctive Urban Water Supply and Wastewater System with Nonlinear Programming", Water Resour. Res., Vol. 10 (2), pp.171-175, 1974
- [5] Schwartz, M.; Mays, L.; "Models for Water Reuse and Wastewater Planning", Journal of Environmental Engineering (ASCE), Vol. 109 (5), pp.1128-1147, 1983
- [6] Vieira, J.; Lijklema, L.; "Development and Application of a Model for Regional Water Quality Management", Water Resources, Vol. 23 (6), pp.767-777, 1989
- [7] Oron, G.; "Management modeling of integrative wastewater treatment and reuse systems", Water Sci Technol, Vol. 33(10-11), pp.95-105, 1996

[۸]: محمدنژاد، شاهین؛ تجریشی، مسعود؛ "ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهرک های تهران در آبیاری فضای سبز"، دومین کنفرانس بین المللی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۶

[۹]: ترابیان، علی؛ مطلبی، مهنوش؛ "طرح مدیریتی استفاده مجدد از پساب تصفیه شده (مطالعه موردی: شهرک اکباتان)"، مجله محیط شناسی، شماره ۲۲، صفحه ۵۷-۶۲، زمستان ۱۳۸۲

