# مدیریت آب شهری با لحاظ پساب و رواناب به‌عنوان منابع جدید آب (مطالعه موردی شهر تهران)

عابده عبدالغفوریان[1]  مسعود تجریشی[2]  احمد ابریشمچی[3]

(دریافت ۸۹/۹/۷  آخرین اصلاحات دریافتی ۹۰/۵/۱۹  پذیرش ۹۰/۵/۲۰)

## چکیده

**شهر تهران مثل بسیاری از کلان شهرهای دنیا با افزایش تقاضا برای آب شیرین و محدودیت منابع آب مواجه است. در این مقاله بازیافت و استفاده مجدد از پساب به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های مناسب و دارای تجارب موفق در زمینه مدیریت آب شهری در شهرهای مختلف دنیا، برای حل مشکل تأمین آب و دفع فاضلاب شهر تهران مطرح و اثرات اقتصادی و محیط زیستی آن به‌عنوان نتیجه بیان شد. در ابتدا پس از شناخت مصرف‌کنندگان عمده آب در شهر تهران، به بررسی کمیّت و کیفیت آب مورد نیاز آنها بر اساس استانداردهای موجود برای کاربری‌های متفاوت پرداخته شد و سپس منابع تأمین آب موجود شامل شبکه آبرسانی شهری (آب انتقالی از سدهای مجاور شهر)، آب زیرزمینی، روانابهای سطحی واقع در مسیل‌های اصلی داخل شهر و پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، از لحاظ کمّی و کیفی مورد تحلیل قرارگرفت. پس از تعریف شبکه مصرف کننده- تولیدکننده برای شهر تهران، در مرحله اول امکان انتقال آب از یک تولید کننده به یک مصرف کننده از لحاظ کیفی در سه وضعیت ۱- موجود، ۲- بهبود یافته و ۳- ایده‌آل مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله دوم با توسعه یک مدل بهینه‌سازی خطی با هدف کمینه کردن هزینه‌ها، نحوه تأمین و تخصیص آب هر مصرف‌کننده (محل تأمین و میزان آبدهی) تعیین شد. با اجرای مدل می‌توان نتیجه گرفت که ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و کنترل کیفی روانابهای سطحی به‌منظور جایگزینی این دو منبع با آبهای زیرزمینی و آب انتقالی از سدهای اطراف، در مورد مصارفی که قابلیت استفاده از پساب تصفیه شده را دارند از جمله آبیاری پارکهای جنگلی و فضای سبز داخل شهر و همچنین صنایع، اثرات اقتصادی و محیط زیستی مثبتی به‌همراه خواهد داشت.**

**واژه‌های کلیدی:** تخصیص آب، استفاده مجدد از پساب، شهر تهران، بهینه‌سازی خطی

# Urban Water Management Considering Reclaimed Wastewater and Runoff as a New Water Resource for City of Tehran, Iran

*Abedeh Abdolghafoorian [1]*  *Masoud Tajrishy [2]*  *Ahmad Abrishamchi [3]*

*(Received Nov. 28, 2010  Revised Aug. 10, 2011  Accepted Aug. 11, 2011)*

## Abstract

Tehran, the capital of Iran, like many megacities in the world is faced with increasing freshwater demand and water resources limitation due to the rapid growth of population. In this paper, water reuse and wastewater recycling are considered as a sustainable solution for water supply and wastewater management of Tehran. A linear programming optimization model with the object of cost minimization is used to allocate water between users and resources, concerning the water quantity and quality of each one. Ultimately the economic and environmental effects of this strategy will be presented as the conclusion of this study.

According to this study, improving wastewater treatment plants and control of water quality in canals and streams in order to substitute these two new resource for freshwater and groundwater have positive environmental and economic effects. The examples of environmental benefits are reducing pollution loads to receiving streams, adjusting increasing water demand and preventing groundwater level drawdown especially in the period of drought. In addition to the environmental benefits, although improving wastewater treatment plants and control of water quality in canals and streams need considerable investments, long usage of these two new recourses is more worthwhile.

***Keywords***: Water Allocation, Reclaimed Wastewater, Tehran, Linear Programming Optimization.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست و کارشناس ارشد دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، تهران (نویسنده مسئول ۶۶۱۶۴۰۲۶ (۰۲۱) tajrishy@sharif.edu)

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

1. Grad. Student, Dept. of Civil Eng., Sharif University of Technology, Tehran, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Civil Eng., Sharif University of Technology, Tehran, (Corresponding Author) (+98 21) 66164026 tajrishy@sharif.edu
3. Prof., Dept. of Civil Eng., Sharif University of Technology, Tehran

## ۱- مقدمه

شهر تهران با جمعیتی بالغ بر ۷/۵ میلیون نفر یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای دنیا است. متوسط بارندگی این شهر حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است. مهم‌ترین منابع آبی- سطحی شهر تهران عبارت‌اند از: سدهای کرج، لار، لتیان، ماملو و طالقان.آبهای تنظیم شده رودخانه‌های مزبور از طریق لوله، کانال و تونل به پنج تصفیه‌خانه شهر هدایت می‌شود. تهران علاوه بر استفاده از آبهای سطحی از منابع آب زیرزمینی برای جبران کمبود آب استفاده می‌کند، به‌طوری که بیش از ۲۶۰ حلقه چاه احداث شده است که از طریق آنها، سالانه حداقل ۲۵۰ میلیون مترمکعب آب وارد شبکه آب تهران می‌شود. تا قبل از سال ۱۳۴۵ برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی ناچیز بوده ولی سهم این منبع روز به روز افزایش یافته است[۱].

همچنین میزان مصرف سالانه آب طی سالهای ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۵ بیش از ۱۱ برابر شده است، در حالی که جمعیت کمتر از ۳ برابر شده است[۲].

براساس آخرین آمار دریافتی از شرکت آبفای تهران، سرانه تولید آب شهر تهران ۳۷۸ لیتر در روز است. بر این اساس کل آب خالص مصرفی تهران تا افق ۱۴۰۵، ۱۲۹۰ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود[۲].

علاوه بر نیاز شرب و بهداشتی، رشد صنایع مختلف در داخل و اطراف این کلان شهر و نیاز آبی فضای سبز با وسعت بیش از ۱۳۰ هکتار، در مقابل کاهش نزولات جوی در سالهای اخیر، مسئله تأمین آب را به مشکل جدی تبدیل کرده است. مصرف آب صنایع در دشت تهران- کرج در حدود ۱۶۰ میلیون مترمکعب در سال است که ۱۲۵ میلیون مترمکعب آن از آب زیرزمینی و بقیه از آب سطحی تأمین می‌گردد. به‌منظور آبیاری فضای سبز، شهرداری سالانه به بیش از ۱۳۰ میلیون مترمکعب آب نیاز دارد که اکثر آن از آب زیرزمینی تأمین می‌گردد[۳]. این در حالی است که بسیاری از پارکها در کنار تصفیه‌خانه‌های فاضلابی قرار دارند که پساب خود را به داخل کانال‌های داخل شهر تخلیه می‌کنند.

در شهر تهران ۹ تصفیه‌خانه فاضلاب تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب تهران و ۱۸ تصفیه‌خانه فاضلاب خارج از پوشش این شرکت وجود دارد که سالانه ظرفیت تصفیه بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب فاضلاب را دارند که این رقم با اتمام طرح فاضلاب تهران (فاز اول) به بیش از ۲۵۰ میلیون مترمکعب در سال رسیده است. با توجه به نیاز آبی این شهر و کاربری‌های متفاوت، فاضلاب تصفیه شده علاوه بر آبیاری فضای سبز، به‌منظور تغذیه آب زیرزمینی به‌ویژه در غرب و شرق تهران که با افت شدید آبهای زیرزمینی مواجه است، کاربرد دارد. از دیگر موارد کاربرد پساب تصفیه شده، استفاده از آن در صنعت است. فاضلاب شهری پس از تصفیه شدن قابلیت استفاده در خنک کننده‌ها و بسیاری از فرایندهای صنعتی را دارد. برای مثال پالایشگاه تهران بزرگ‌ترین مرکز صنعتی در جنوب تهران است که بخش قابل توجهی از آب مصرفی آن قابل جایگزینی با پساب تصفیه شده در تصفیه‌خانه جنوب است. همچنین در داخل شهر تهران کانال‌هایی وجود دارند که به دو مسیل اصلی شهر یعنی مسیل کن و مسیل دربند می‌پیوندند و در مجموع قابلیت انتقال و آبدهی بیش از ۴۰۰ میلیون مترمکعب آب در سال را دارند. البته آب عبوری از این مسیل‌ها به دلایل مختلف از جمله تخلیه فاضلاب برخی شهرکهای مسکونی و مراکز صنعتی به داخل کانال‌ها از کیفیت مناسبی برخوردار نیست که با کنترل سازمان محیط زیست و همچنین تصفیه رواناب عبوری می‌توان از این منبع آب نیز بهترین استفاده را نمود.

در این تحقیق پس از شناخت مصرف کنندگان عمده شهر تهران مانند صنایع و فضاهای سبز که امکان استفاده از فاضلاب تصفیه شده را دارند و همچنین دارای نیاز آبی حداقل ۳۰۰ هزار مترمکعب در سال هستند، به بررسی کمّیت و کیفیت آب مورد نیاز آنها پرداخته شد و سپس منابع تأمین آب موجود شامل آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های آب، چاههای عمیق و نیمه عمیق، روانابهای سطحی و پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد تحلیل قرار گرفت. پس از تعیین مسیرهای ممکن انتقال آب با توجه به کیفیت آب مورد نیاز مصرف کنندگان و کیفیت آب هر منبع تولید آب، با توسعه یک مدل بهینه‌سازی تخصیص، با هدف کمینه کردن هزینه‌های سیستم تأمین آب و همچنین کمینه کردن استفاده از آب خام، نحوه تأمین آب مورد نیاز هر مصرف کننده (محل تأمین و کمّیت) تعیین شد.

## ۲- روش شناسی

برای جوامعی که با مشکل کمبود منابع آب روبرو هستند، استفاده از فاضلاب تصفیه شده از نکات کلیدی مدیریتی است. معمولاً تخمین پتانسیل‌های استفاده مجدد به‌دلیل نبود اطلاعات و دانش کافی مشکل است. سالهاست که مدل‌های مدیریتی به‌عنوان اساسی‌ترین راه‌حل برای ارزیابی و بهینه‌سازی تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب و تخصیص منابع آب به‌کار می‌روند.

یکی از اولین فعالیتها در این زمینه مدلسازی انجام شده توسط مولویهیل[1] و دراکپ[2] در سال ۱۹۷۴ است که با هدف کمینه کردن هزینه‌های تأمین آب بین چند منبع تولید آب صورت گرفته است[۳]. یکی از محدودیتهای مدلسازی انجام شده توسط این محققان، مدل کردن کلیه مصرف کننده‌ها به‌عنوان یک مصرف کننده

[1] Mulvihill
[2] Dracup

بزرگ بوده است. در دهه ۸۰ میلادی مدل‌های پیچیده‌تر بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب مطرح شد. شوارتز[1] و میز[2] در سال ۱۹۸۴ و لیجکلما[3] و ویرا[4] درسال ۱۹۸۹، با طراحی یک مدل دینامیک، تشخیص بهینه‌ترین محل و اندازه یک تصفیه‌خانه فاضلاب را با توجه به مکان مصرف کننده‌های پساب امکان‌پذیر کرده‌اند[۴ و ۵].

در دو دهه اخیر، مسائل بهداشتی و محیط زیستی در ارتباط با استفاده مجدد از فاضلاب مطرح شده و مطالعات زیادی در این رابطه صورت گرفته است. ارن[5] در سال ۱۹۹۶میلادی با نگرشی جامع بر اساس ملاحظات مهندسی مثل مراحل مختلف تصفیه و کنترل کیفیت پساب، منابع و مصارف آب و دیگر فاکتورهای محیطی، به مسئله بازیافت و تصفیه فاضلاب پرداخت و مسائل شهر بیر- شوا[6] در فلسطین را با کمینه کردن تابع هدف هزینه‌ها مورد بررسی قرار داده است[۶]. ککلر[7] در سال ۱۹۹۸ در قالب روش شبکه‌ای، مسیرهای ممکن برای انتقال جریان آب بین تولید کننده و مصرف کننده را بر اساس کیفیت آب، تعیین و بهترین تخصیص آب را با در نظر گرفتن هزینه‌های تصفیه و حمل و نقل مشخص کرده است. همچنین چو و همکاران[8] در سال ۲۰۰۳ میلادی، پتانسیل استفاده مجدد در چین را در چارچوب روابط ریاضی، با یک مدل بهینه‌سازی خطی با محدودیتهای موجود اقتصادی و فیزیکی به‌دست آورده‌اند[۷].

در ایران تحقیقاتی که در زمینه استفاده مجدد از فاضلاب به‌ویژه مراحل مختلف تصفیه انجام شده است بیشتر به بررسی فنی مسئله پرداخته و کمتر به جنبه‌های مدیریتی توجه داشته است. همچنین تحقیقات زیادی پیرامون تأثیر آبیاری با پساب بر کیفیت محصولات کشاورزی انجام شده است. محمدنژاد و تجریشی در سال ۱۳۷۵به ارزیابی فنی- اقتصادی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های شهرکهای تهران برای آبیاری پارکهای جنگلی پرداخته و با یک تحلیل سود و زیان از میان گزینه‌های مختلف، انتقال پساب تصفیه‌خانه شهرکهای غرب و آتی‌ساز به پارک چیتگر را مورد مطالعه قرار داده و این پروژه را اقتصادی ارزیابی نموده‌اند[۸].

در سال ۱۳۸۱ وضعیت صنایع فلزی و کانی غیر فلزی مستقر در تهران بزرگ و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری بر اساس روشها و شرایط استاندارد از نظر بهداشتی، توسط ناصری بررسی و مطالعه شده است. بر اساس این تحقیق میزان پساب تولیدی صنایع، پتانسیل تأمین آب مورد نیاز حدود ۱۴۲۵ هکتار از اراضی کشاورزی منطقه را دارد[۹].

همچنین تحقیق دیگری در سال ۱۳۸۲ توسط ترابیان و مطلبی با هدف بررسی امکان استفاده مجدد از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اکباتان بر اساس طرح مدیریتی برای پارک چیتگر انجام گرفته است. در این تحقیق با تحلیل سود- هزینه، استفاده از پساب تصفیه‌خانه اکباتان برای آبیاری پارک چیتگر اقتصادی ارزیابی شده است[۱۰].

در پژوهشی که توسط ایزانلو و همکاران در سال ۱۳۸۲ صورت گرفته، وضعیت دو گروه بزرگ صنایع آلوده‌ساز یعنی شیمیایی و الکترونیک تهران از نظر فاضلاب تولیدی و همچنین امکان استفاده مجدد از آنها در داخل صنعت و نیز بخش کشاورزی مورد مطالعه قرار گرفته است. البته اکثر مطالعات انجام شده در ایران به امکان سنجی کیفی فاضلاب تصفیه شده به‌منظور کاربردهای مختلف به‌ویژه آبیاری پرداخته‌اند[۱۱].

نتایج تحقیق صلوی تبار و همکاران در سال ۱۳۸۵ نشان می‌دهد که جابه‌جایی تخصیص آب کشاورزی و فضای سبز از پساب تصفیه شده فاضلاب به‌جای آب چاهها ضروری بوده و در صورتی که این جابه‌جایی انجام نشود، سیستم با کاهش ذخیره آبخوان و ناپایداری آن مواجه خواهد شد[۱۲].

تا به حال هیچ یک از شهرهای ایران به‌عنوان یک شبکه کامل با در نظرگیری کلیه منابع آب (آب خام، رواناب و پساب) مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند. همچنین هیچ‌گونه بهینه‌سازی در زمینه تخصیص منابع آب شهری با در نظر گرفتن منابع مختلف آن انجام نشده است. بهینه‌سازی با هدف کمینه کردن هزینه‌های سیستم انتقال آب در کنار کمینه کردن مصرف آب خام (آب مخزن سدها و آبهای زیرزمینی) فرصت مناسبی برای درک الزام تغییر الگوی مصرف بسیاری از مصرف کنندگان عمده شهر از جمله پارکهای جنگلی و صنایع شهری و عملیاتی نمودن استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های شهری در آبیاری فضاهای سبز، پارکها و فضای سبز اتوبان و بزرگراههای شهری است.

مدل توسعه یافته در این مطالعه تحت عنوان مدل "بازیافت و استفاده مجدد از پساب و رواناب" دو مرحله زیر را برای رسیدن به جواب طی می‌کند: ۱- امکان سنجی: به معنی بررسی امکان انتقال آب از یک تولید کننده به یک مصرف کننده با توجه به کیفیت آب مورد نیاز مصرف کننده و کیفیت آب تولیدی هر تولیدکننده، ۲- تخصیص بهینه: به معنی تعیین مسیر و میزان انتقال آب در شبکه با هدف کمینه کردن هزینه‌ها.

در تهران، شرکت آب و فاضلاب مسئول تأمین آب (انتقال،

---

[1] Schwartz
[2] Mays
[3] Lijklema
[4] Viera
[5] Oron
[6] Beer-Sheva
[7] Keckler
[8] Chu et al.

تصفیه و توزیع) و مدیریت فاضلاب (جمع‌آوری، انتقال و تصفیه) است. هدف از بهینه‌سازی شبکه تخصیص آب در این تحقیق کمینه کردن هزینه‌های این شرکت، شامل هزینه خرید آب(PC)، هزینه‌های جاری انتقال آب(OC)، هزینه احداث مسیر انتقال آب(TC) و در مقابل سود حاصل از فروش آب به مصرف کنندگان (B) است.

ساختار ریاضی مدل تخصیص بهینه منابع آب که در این مطالعه استفاده شد به‌صورت رابطه۱ است

(۱)

$$\text{Minimize}Z = \sum_{j}\sum_{i}((PC_{i,j} + OC_{i,j} _ B_{i,j}) \times X_{i,j} + TC_{i,j})$$

که در این رابطه

Z تابع هدف (تومان در سال)، i شمارشگر تولید کننده آب در شبکه، j شمارشگر 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 به‌ازای هر مترمکعب) بر اساس تعرفه آب تحویلی از سدها، $OC_{i,j}$ هزینه جاری انتقال هر واحد آب از تولید کننده i به مصرف کننده j ( تومان به‌ازای هر مترمکعب) بر اساس بخشنامه شماره ۵۰۰۹/۱۰۰ ، نظرات کارشناسان شرکت آب و فاضلاب کشور و همچنین مراجعه به پروژه‌های مشابه در دیگر شهرهای دنیا، $B_{i,j}$ سود حاصل از فروش آب از تولید کننده i به مصرف کننده j(تومان به‌ازای هر مترمکعب) بر اساس تعرفه آب بهای کاربری های غیر خانگی و $TC_{i,j}$ 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 و قیمت لوله‌های چدنی و پلی‌اتیلن بازار تهران در سال ۱۳۸۸ است[۱۳- ۱۵].

از آنجا که هر مصرف کننده به میزان مشخصی آب در هر سال نیاز دارد، در نتیجه مجموع آب ورودی از کلیه تولید کنندگان به مصرف کننده j برابر با نیاز آبی این مصرف کننده است. 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 می‌گردد. دیگر محدودیت موجود در مدل نامنفی بودن متغیر $X_{i,j}$ است که این محدودیت نیز به‌صورت رابطه ۴ در مدل وارد می‌گردد

$$\sum_{i} X_{i,j} = Q_{in}(j) \qquad (۲)$$

$$\sum_{i} X_{i,j} \le Q_{out}(i) \qquad (۳)$$

$$0 \le X_{i,j} \qquad (۴)$$

که در این روابط

$Q_{in}(j)$ نیاز آبی مصرف کننده j (مترمکعب در سال) و $Q_{out}(i)$ حداکثر ظرفیت تولیدکننده i (مترمکعب در سال) است. در نتیجه مدل تخصیص بهینه منابع آب با چهار رابطه ذکر شده به‌صورت یک مدل بهینه‌سازی خطی تعریف می‌گردد. برای حل مدل تخصیص با سه محدودیت ذکر شده، از زبان برنامه‌نویسی GAMS22.1 استفاده شد.همان‌گونه که گفته شد، هزینه‌ها از مهم‌ترین پارامترهای تعیین کننده مدل سیستم تخصیص آب هستند. هزینه‌های در نظر گرفته شده بری مدلسازی به‌طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. این پارامترها به‌صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

### ۲-۱- هزینه خرید آب (PC)

با توجه به اینکه مسئول تأمین آب در ایران شرکتهای آب منطقه‌ای هستند، شرکت آبفا به‌منظور خرید آب به شرکت آب منطقه‌ای تهران هزینه‌ای پرداخت می‌کند. این هزینه برای منابع مختلف آب در جدول ۱ آورده شده است. در حال حاضر هزینه‌ای برای خرید فاضلاب خام و برداشت از روانابهای جاری در مسیل‌های شهر در نظر گرفته نشده است.

### ۲-۲- هزینه جاری انتقال (OC)

این هزینه شامل کلیه هزینه‌های جاری تهیه آب با کیفیت مورد نظر از جمله انتقال، تصفیه و توزیع است. برای منابع مختلف آب این هزینه متفاوت است. هزینه‌های جاری برای تصفیه‌خانه‌های آب شهر تهران شامل هزینه انتقال آب از سد به تصفیه‌خانه، تصفیه آب، توزیع و انتقال آب به مصرف کننده است.

با توجه به گزارش شرکت آب و فاضلاب شهر تهران، به‌طور متوسط هزینه‌های جاری برای تصفیه‌خانه‌های شهر تهران ۲۵۰ تومان به‌ازای هر مترمکعب است. هزینه‌های جاری برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر تهران شامل هزینه جمع‌آوری فاضلاب، انتقال به تصفیه‌خانه، تصفیه فاضلاب و هزینه برق برای پمپاژ پساب و انتقال به مصرف کننده‌ها است. طبق صورت وضعیت مالی موجود برای تصفیه‌خانه‌های استان تهران، به‌طور متوسط ۸۰ تومان صرف جمع‌آوری، انتقال و تصفیه به‌ازای هر مترمکعب می‌گردد. در این مدلسازی هزینه تصفیه فاضلاب در وضعیت موجود تصفیه‌خانه‌های شهر تهران ۸۰ تومان به‌ازای هر مترمکعب در نظر گرفته شد. با بررسی تصفیه‌خانه‌های در حال بهره‌برداری (داخلی و خارجی) با تولید پساب با کیفیت مناسب، این رقم در وضعیتی که تصفیه‌خانه‌ها به‌دلیل بهبود فرایند تصفیه، پسابی تولید کنند که قابلیت استفاده برای آبیاری پارکهای جنگلی را داشته باشد، ۱۵۰ تومان و برای وضعیتی که تکنولوژی تصفیه به حدی رسد که پساب تولیدی قابلیت مصرف در بخش صنعت و آبیاری

**جدول ۱**- هزینه‌های سیستم انتقال آب (برحسب ریال)

| هزینه | اجزاء هزینه | تصفیه‌خانه جلالیه وکن | تصفیه‌خانه تهرانپارس | تصفیه‌خانه ۵ | چاهها | رواناب مسیل‌ها | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **هزینه خرید آب(PC)** | هزینه خرید اب (PC) | ۱۸۲ | ۲۶۰ | ۲۶۰ | ۳۱ | ۰ | ۰ |
| **هزینه‌های جاری(OC)** | هزینه انتقال به تصفیه‌خانه | | | | | کیفیت پساب - پائین ۸۰ متوسط ۱۵۰ - بالا ۲۰۰ | کیفیت پساب - پائین ۸۰ متوسط ۱۵۰- - بالا ۲۰۰ |
| | تصفیه | | | | | | |
| | توزیع(پمپاژ ) (قیمت واحد انرژی) | | | | ۷۲۸۶ | ۷۲۸۶ | ۷۲۸۶ |
| | جمع | ۲۵۰۰ | ۲۵۰۰ | ۲۵۰۰ | * | * | * |
| **هزینه اولیه انتقال(TC)** | قیمت واحد لوله | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ** | ** |
| | هزینه واحد اجرای مسیر انتقال آب | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | *** | *** |
| | جمع | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | * | * |
| **سود فروش آب(B)** | سود فروش آب (B) | **** | **** | **** | **** | ***** | ***** |

* با توجه به مسافت بین تولید کننده و مصرف کننده متغیر است. ** با توجه به سرعت مجاز در لوله، جنس و قطر انتخاب و قیمت لوله بر اساس قیمت لوله در بازار تهران تعیین می‌گردد. *** با توجه به نوع لوله بر اساس فهرست بها تعیین می‌گردد.**** فضای سبز ۷۰۷، پالایشگاه ۱۱۶۷ و صنعتی ۱۹۴۵ ریال،**** وضعیت فعلی ۶۰ درصد، وضعیت بهبود ۷۰ درصد و وضعیت ایده‌آل ۸۰ درصد قیمت آب پشت سدها است.

بوستان‌ها را داشته باشد ۲۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.

بخش دیگری از هزینه‌های جاری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، شامل هزینه جمع‌آوری فاضلاب از سطح شهر و انتقال آن به تصفیه‌خانه است. شرکت آبفا از مشترکان آب با توجه به میزان آب مصرفی (متناسب با فاضلاب تولیدی) هزینه‌ای دریافت می‌کند که تقریباً برابر با هزینه جمع‌آوری و انتقال فاضلاب است. علاوه بر هزینه‌های جمع‌آوری، انتقال به تصفیه‌خانه و تصفیه فاضلاب، تأمین برق لازم برای پمپاژ پساب و انتقال آن از تصفیه‌خانه تا مصرف کننده نیز شامل هزینه است. در نتیجه باید توان لازم برای پمپاژ پساب محاسبه شود. رابطه ۵ میزان برق مصرفی به‌منظور انتقال پساب تحت فشار را از نقطه‌ای (محل تولید کننده) به نقطه‌ای دیگر (محل مصرف کننده) نشان می‌دهد

$$\mu W_P = \frac{\Delta P}{\rho} + g\Delta z + \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2}\right) + 4f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2} \quad (۵)$$

که در این رابطه

$\mu$ بازده پمپ، $W_P$ انرژی پمپاژ برحسب ژول بر کیلوگرم، $\Delta P$ اختلاف فشار برحسب پاسکال، $\rho$ چگالی آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، g شتاب گرانش زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه، $\Delta Z$ اختلاف ارتفاع بین دو نقطه برحسب متر، $V_i$ سرعت در نقطه i برحسب متر بر ثانیه، f ضریب اصطکاک، L طول لوله یا مسافت بین دو نقطه برحسب متر، D قطر لوله برحسب متر و V سرعت متوسط در طول لوله برحسب متر بر ثانیه است.

با فرض اینکه در طول مسیر انتقال آب از یک تولیدکننده به یک مصرف کننده، قطر لوله تغییر نکند، سرعت $V_1 = V_2 = V$ و $\Delta P$ برابر صفر است. بازده پمپ $\mu$ برابر ۶۰ درصد است و جنس لوله با توجه به سرعت مجاز از جنس پلی‌اتیلن (f برابر ۰/۰۱۱) یا چدن (f برابر ۰/۰۱۳) انتخاب می‌شود. طول لوله با فرض بیشترین مسافت به‌منظور احتساب تقریبی افتهای موضعی با استفاده از رابطه $L=|x_j-x_i|+|y_j-y_i|$ به‌دست می‌آید. سرعت مجاز در لوله‌های پلی‌اتیلن ۲ متر در ثانیه و در لوله‌های چدنی ۱۰ متر در ثانیه است. قطر لوله مناسب (D) بر اساس سرعت مجاز در لوله‌ها تعیین می‌گردد. با این فرضیات، رابطه ۵ به رابطه ۶ خلاصه می‌شود

$$0.6\times W_P = 9.81\times\Delta z + 4f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2} \quad (۶)$$

همان‌گونه که از رابطه ۶ بر می‌آید، توان لازم وابسته به اختلاف ارتفاع و طول مسیر است. با استفاده از نرم افزار ArcGIS فاصله بین هر دو نقطه محاسبه شد. همچنین با استفاده از مدل تغییرات ارتفاعی[1] تهران، رقوم ارتفاعی هر یک از تولیدکننده‌ها و مصرف کننده‌ها مشخص شد.

برای چاهها این هزینه شامل هزینه پمپاژ آب از چاه، گندزدایی و هزینه برق به‌منظور پمپاژ و انتقال به مصرف کننده است. هزینه پمپاژ آب از چاه و گندزدایی با توجه به اظهارات کارشناسان شرکت آبفا به‌ازای هر مترمکعب ۲۵۰ تومان است. هزینه پمپاژ برق برای

[1] Digital Elevation Map (DEM)

انتقال آب و انتقال به مصرف کننده نیز طبق رابطه ۶ محاسبه شد. هزینه برداشت از مسیل‌ها شامل برداشت آب از مسیل و انتقال به تصفیه‌خانه، تصفیه و در نهایت انتقال آن از تصفیه‌خانه به مصرف کننده است. این هزینه همانند هزینه جاری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب محاسبه شد.

**۲-۳- هزینه اولیه انتقال (TC)**

هزینه اولیه انتقال عبارت است از هزینه اولیه برای ایجاد مسیر انتقال آب از تولید کننده به مصرف کننده که شامل هزینه خرید لوله، حفاری و لوله‌گذاری است. این هزینه وابسته به طول مسیر بین دو نقطه، جنس لوله و قطر لوله است. جنس لوله و قطر لوله با توجه به سرعت مجاز در لوله‌ها تعیین شد. قیمت لوله به تفکیک جنس بر حسب قطر با استعلام از کارخانجات ساخت لوله تعیین گردید. هزینه اجرای کار بر طبق "فهرست بهای واحد پایه رشته شبکه توزیع آب" محاسبه شد. در نهایت پس از محاسبه هزینه اولیه احداث مسیر انتقال آب، با نظر به اینکه تأسیسات انتقال آب معمولاً پس از ۲۰ سال مستهلک می‌شوند و با توجه به نرخ تورم ۱۵ درصد، هزینه اولیه احداث طبق رابطه ۷ به هزینه سالانه تبدیل شد

$$TC = TTC \times [\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}] \qquad (۷)$$

که در این رابطه

TC هزینه انتقال آب در هر سال، TTC کل هزینه اولیه ایجاد مسیر انتقال آب، n مدت استهلاک تأسیسات و r نرخ تورم سالانه است. به‌دلیل وجود شبکه آبرسانی در شهر تهران، هزینه انتقال(TC) برای انتقال آب از تصفیه‌خانه‌های آب و مخازن نگهداری آب به مصرف کنندگان برابر صفر در نظر گرفته شد.

**۲-۴- سود حاصل از فروش آب (B)**

هزینه‌ای که هر مصرف کننده بابت آب پرداخت می‌کند بسته به کیفیت آب دریافتی و نوع کاربری متغیر است. در مورد تصفیه‌خانه‌های آب و چاهها، شرکت آبفا با توجه به تعرفه وزارت نیرو در هر استان به تفکیک کاربری، وجهی بابت تحویل آب از مصرف کننده‌ها دریافت می‌کند. این هزینه در استان تهران برای مصارف فضای سبز ۷۰۷، پالایشگاه ۱۱۶۷ و برای صنعت ۱۹۴۵ ریال به‌ازای هر مترمکعب است که ضریب ۱/۱ مربوط به طرح آبرسانی بزرگ نیز به آن اعمال می‌شود [۱۲]. طی مذاکرات انجام شده با کارشناسان شرکت آبفای تهران مشخص شد که پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بسته به کیفیت آن با قیمت توافقی بین این شرکت و هر یک از مصرف کننده‌ها به فروش می‌رسد. در این مدلسازی قیمت فروش پساب و رواناب تصفیه شده در وضعیت فعلی تصفیه‌خانه‌ها ۶۰ درصد، در سیستم بهبود یافته ۷۰ درصد و در حالت ایده‌آل ۸۰ درصد قیمت فروش آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های آب و استخراجی از چاهها در نظر گرفته شد.

## ۳- داده‌ها

در این تحقیق شهر تهران به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد. اجزای تشکیل دهنده شبکه تخصیص آب، مصرف کننده‌ها و تولید کننده‌های عمده این شهر بودند که به‌صورت اجزای نقطه‌ای به مدل معرفی شدند. آب شهری به مصرف سه بخش مهم خانگی (شرب و بهداشتی)، صنعت و فضای سبز می‌رسد. کیفیت آب مورد نیاز خانگی بسیار بالا است و لذا با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی این پژوهش بررسی امکان‌سنجی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان منبع جدید آب در شهر تهران بود و تکنولوژی به‌کار رفته در تأسیسات تصفیه‌خانه‌های شهر تهران قادر به تولید پساب با کیفیت بالا نیستند، از وارد نمودن مصرف کننده‌های خانگی در شبکه صرف نظر شد. از میان دیگر مصرف کنندگان، آن دسته از مصرف کنندگانی که دارای مصرف بیش از ۳۰۰ هزار مترمکعب در سال بودند انتخاب و به مدل معرفی شدند. جدول ۲ فهرست کلیه مصرف کنندگانی که در شبکه تعریف شده‌اند به‌همراه محل و میزان مصرف سالانه آنها نشان داده شده است.

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

۱- تصفیه‌خانه آب (WTP): در تهران پنج تصفیه‌خانه آب واقع در چهار نقطه شهر وجود دارد که آب سدهای اطراف تهران به این تصفیه‌خانه‌ها انتقال می‌یابد (شکل ۱ و جدول ۳).

۲- آب زیرزمینی (چاههای عمیق و نیمه‌عمیق): بیش از ۲۶۰ حلقه چاه در سطح شهر وجود دارد که بر حسب مکان و تجمع آنها به‌صورت منطقه‌ای به ۲۰ گروه تقسیم شده‌اند (شکل ۱ و جدول ۳).

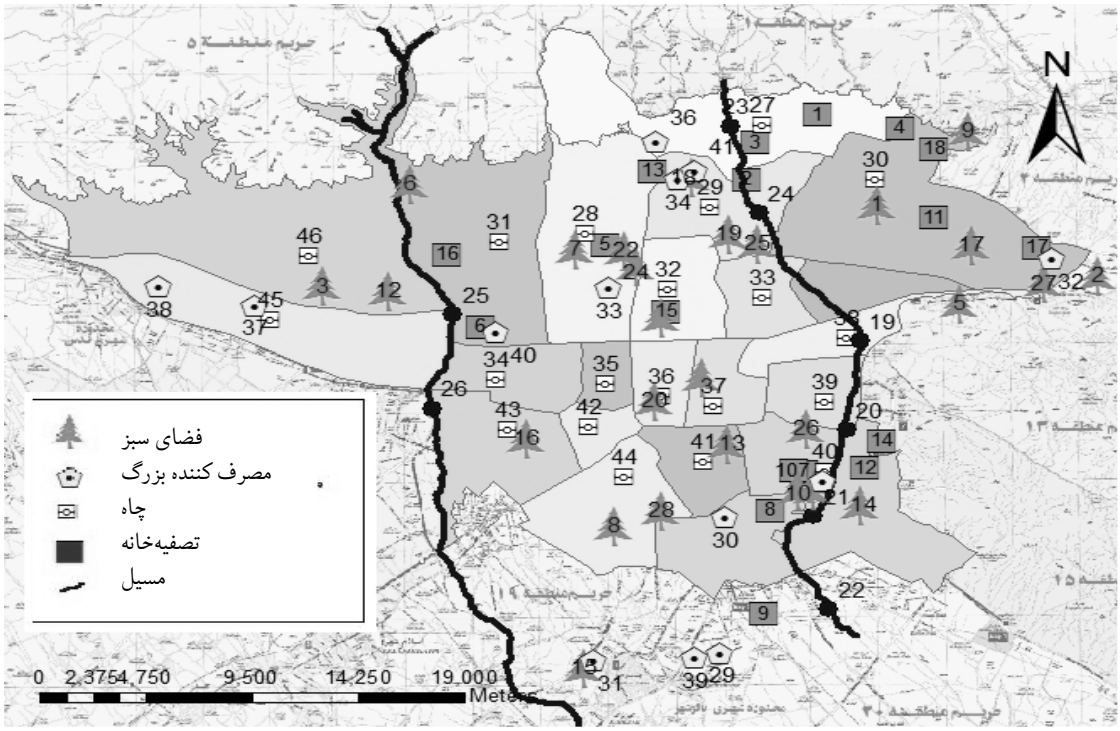
۳- تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (WWTP): در این تحقیق ۱۴ تصفیه‌خانه بزرگ موجود در سطح شهر به‌عنوان منابع تولید کننده آب به مدل معرفی شد (شکل ۱ و جدول ۳).

۴- مسیل‌های اصلی داخل شهر: با توجه به تعداد زیاد کانال‌های کوچک و بزرگ در سطح شهر، برای ساده‌سازی مدل و با توجه به اینکه بسیاری از کانال‌های کوچک در اکثر ماههای سال دبی ناچیزی از خود عبور می‌دهند، تنها دو مسیل اصلی شهر یعنی کن و دربند به‌عنوان منبع آب در نظر گرفته شدند. همچنین به‌دلیل اینکه آب در مسیل‌ها به‌صورت پیوسته جریان دارد، در مسیر هر مسیل چند نقطه که پارامترهای کیفی و کمّی آنها در دسترس بود، به‌عنوان منابع آب نقطه‌ای در این مطالعه مورد توجه قرار گرفت (شکل ۱ و جدول ۳).

در شکل ۱ کلیه مصرف کنندگان و منابع تولید آب با توجه به کدگذاری انجام شده در جدولهای ۲ و ۳ نمایش داده شده‌اند.

**جدول۲**- مشخصات مصرف کنندگان اصلی و بزرگ شبکه تولیدکننده- مصرف کننده (سال ۱۳۸۸)

| کد | تولید کننده | ظرفیت ($m^3$/year) | تراز (m) | کد | تولید کننده | ظرفیت ($m^3$/year) | تراز (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | پارک جنگلی لویزان | ۲۶ ۸۲۷ ۵۰۰ | ۱۵۶۲ | ۲۲ | پارک نصر | ۴۹۸ ۲۲۵ | ۱۴۲۲ |
| ۲ | پارک جنگلی غزال | ۲۲ ۹۹۵ ۰۰۰ | ۱۵۶۵ | ۲۳ | پارک شهر | ۳۱۹ ۳۷۵ | ۱۱۵۵ |
| ۳ | پارک جنگلی چیتگر | ۲۲ ۷۰۷ ۵۶۳ | ۱۲۵۸ | ۲۴ | پارک گفتگو | ۲۹۳ ۸۲۵ | ۱۳۵۳ |
| ۴ | پارک جنگلی خجیر | ۱۷ ۲۴۶ ۲۵۰ | ۱۳۳۷ | ۲۵ | پارک بهشت مادران | ۳۵۸ ۳۳۹ | ۱۳۵۹ |
| ۵ | پارک جنگلی سرخه حصار | ۱۶ ۲۹۱ ۹۵۸ | ۱۳۶۲ | ۲۶ | پارک فدائیان اسلام | ۲۲۴ ۶۹۹ | ۱۱۴۱ |
| ۶ | پارک جنگلی کوهسار | ۱۱ ۴۹۷ ۵۰۰ | ۱۵۱۰ | ۲۷ | پارک جنگلی ساحل | ۲۲۱ ۱۰۸ | ۱۴۵۷ |
| ۷ | پارک جنگلی پردیسان | ۵ ۷۴۸ ۷۵۰ | ۱۴۱۲ | ۲۸ | پارک شقایق فاز۱و۲و۳ | ۲۲۰ ۴۶۶ | ۱۰۸۴ |
| ۸ | پارک جنگلی افرا | ۳ ۸۶۵ ۰۷۶ | ۱۰۹۰ | ۲۹ | شرکت ملی نفت ایران | ۶ ۰۰۰ ۰۰۰ | ۱۰۳۱ |
| ۹ | پارک جنگلی سوهانک | ۳ ۸۳۲ ۵۰۰ | ۱۸۹۳ | ۳۰ | سازمان آب تهران آبفا | ۲ ۰۰۰ ۰۰۰ | ۱۰۸۰ |
| ۱۰ | پارک جنگلی توسکا | ۲ ۱۹۰ ۲۷۴ | ۱۱۰۴ | ۳۱ | مرقد مطهرحضرت امام خمینی (ره) | ۶۰۰ ۰۰۰ | ۱۰۳۰ |
| ۱۱ | پارک آزادگان | ۱ ۶۲۸ ۸۱۳ | ۱۱۰۳ | ۳۲ | شرکت عمران و توسعه گران پیشگام | ۷۰۰ ۰۰۰ | ۱۵۲۵ |
| ۱۲ | پارک جنگلی خرگوش دره | ۱ ۵۳۳ ۰۰۰ | ۱۲۷۴ | ۳۳ | تفریحات سالم | ۵۰۰ ۰۰۰ | ۱۲۹۸ |
| ۱۳ | پارک بعثت | ۱ ۰۲۵ ۱۹۴ | ۱۱۱۷ | ۳۴ | مجموعه ورزشی انقلاب | ۵۰۰ ۰۰۰ | ۱۵۶۴ |
| ۱۴ | پارک خلیج فارس(مشیریه) | ۹۹۶ ۴۵۰ | ۱۱۶۰ | ۳۵ | سازمان پارک‌ها و شهرداری تهران | ۴۵۰ ۰۰۰ | ۱۱۰۸ |
| ۱۵ | پارک جنگلی یادبود | ۹۵۸ ۱۲۵ | ۱۰۲۸ | ۳۶ | دانشگاه شهید بهشتی | ۳۰۰ ۰۰۰ | ۱۷۲۹ |
| ۱۶ | پارک قائم | ۹۰۰ ۶۳۸ | ۱۱۳۰ | ۳۷ | صنایع منطقه ۲۱(۱) | ۵ ۰۰۰ ۰۰۰ | ۱۲۱۶ |
| ۱۷ | پارک پلیس | ۸۰۴ ۸۲۵ | ۱۴۴۳ | ۳۸ | صنایع منطقه ۲۱(۲) | ۵ ۰۰۰ ۰۰۰ | ۱۲۲۱ |
| ۱۸ | پارک ملت | ۶۵۱ ۵۲۵ | ۱۵۶۸ | ۳۹ | شرکت تولید و تصفیه روغن اسو | ۳۰۰ ۰۰۰ | ۱۰۲۶ |
| ۱۹ | پارک جنگلی طالقانی | ۵۹۷ ۸۷۰ | ۱۴۰۸ | ۴۰ | مجتمع ورزشی راه آهن جمهوری اسلامی | ۳۵۰ ۰۰۰ | ۱۲۲۰ |
| ۲۰ | مجتمع رازی | ۵۷۴ ۸۷۵ | ۱۱۳۰ | ۴۱ | صداوسیما | ۳۵۰ ۰۰۰ | ۱۵۶۷ |
| ۲۱ | پارک لاله | ۵۱۹ ۷۷۵ | ۱۲۸۴ | | | | |




**شکل۱**- شبکه مصرف کننده-تولیدکننده در شهر تهران

**جدول۳**- مشخصات منابع تولید آب در شبکه تولیدکننده- مصرف کننده (سال ۱۳۸۸)

| کد | تولید کننده | ظرفیت ($m^3$/year) | تراز (m) | کد | تولید کننده | ظرفیت ($m^3$/year) | تراز (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | تصفیه‌خانه فاضلاب صاحبقرانیه | ۲۸۰ ۸۰۰ | ۱۶۷۸ | ۲۴ | مقصود بیک شریعتی تقاطع خیابان نهم با رودبار شرقی | ۴۷ ۳۰۴ ۰۰۰ | ۱۴۰۳ |
| ۲ | تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده | ۳ ۲۴۰ ۰۰۰ | ۱۴۷۲ | ۲۵ | رودخانه کن، زیر پل رودخانه | ۳۴ ۶۸۹ ۶۰۰ | ۱۲۴۳ |
| ۳ | تصفیه‌خانه فاضلاب قیطریه | ۱ ۲۱۱ ۷۶۰ | ۱۵۶۲ | ۲۶ | رودخانه کن | ۲۶ ۸۰۵ ۶۰۰ | ۱۱۶۰ |
| ۴ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک محلاتی | ۲ ۷۸۶ ۴۰۰ | ۱۷۳۱ | ۲۷ | چاه مجازی منطقه ۱ | ۳ ۲۳۹ ۴۶۰ | ۱۵۵۹ |
| ۵ | تصفیه‌خانه فاضلاب غرب | ۹ ۴۸۶ ۷۲۰ | ۱۴۱۲ | ۲۸ | چاه مجازی منطقه ۲ | ۱۶ ۷۲۷ ۸۹۱ | ۱۴۳۲ |
| ۶ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان | ۶ ۴۸۰ ۰۰۰ | ۱۲۲۴ | ۲۹ | چاه مجازی منطقه ۳ | ۱ ۲۷۱ ۷۲۱ | ۱۴۴۸ |
| ۷ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک شوش | ۴ ۴۰۶ ۴۰۰ | ۱۱۱۰ | ۳۰ | چاه مجازی منطقه ۴ | ۲ ۳۷۰ ۵۸۲ | ۱۵۴۳ |
| ۸ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک دولت‌آباد | ۴ ۹۵۷ ۲۰۰ | ۱۰۹۳ | ۳۱ | چاه مجازی منطقه ۵ | ۲۲ ۶۵۸ ۲۱۶ | ۱۳۹۲ |
| ۹ | تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب | ۶۶۷۵۶۹۶۰ | ۱۰۳۷ | ۳۲ | چاه مجازی منطقه ۶ | ۸ ۹۶۸ ۰۷۹ | ۱۳۰۴ |
| ۱۰ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک جمهوری اسلامی | ۹۷۲۰۰۰ | ۱۱۱۶ | ۳۳ | چاه مجازی منطقه ۷ | ۲ ۹۷۹ ۵۰۴ | ۱۲۶۸ |
| ۱۱ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک امید | ۹۷۲۰۰۰ | ۱۴۸۱ | ۳۴ | چاه مجازی منطقه ۹ | ۷ ۲۳۰ ۸۲۲ | ۱۱۸۱ |
| ۱۲ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک قدس | ۵۵۰۸۰۰۰ | ۱۴۱۹ | ۳۵ | چاه مجازی منطقه ۱۰ | ۶۷ ۰۹۰ | ۱۱۵۴ |
| ۱۳ | تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک آتی ساز | ۹۷۲۰۰۰ | ۱۵۶۹ | ۳۶ | چاه مجازی منطقه ۱۱ | ۱۳ ۴۲۵ ۲۴۲ | ۱۱۳۳ |
| ۱۴ | تصفیه‌خانه فاضلاب مجتمع مسکونی قصر۲ | ۱۶۲۰۰۰۰ | ۱۱۸۹ | ۳۷ | چاه مجازی منطقه ۱۲ | ۲۰ ۵۹۶ ۷۴۵ | ۱۱۳۶ |
| ۱۵ | تصفیه‌خانه آب شماره یک (جلالیه) | ۲۲۷ ۰۵۹ ۲۰۰ | ۱۲۶۳ | ۳۸ | چاه مجازی منطقه ۱۳ | ۱ ۵۸۷ ۰۸۰ | ۱۲۲۶ |
| ۱۶ | تصفیه‌خانه آب شماره دو (کن) | ۲۵۲ ۲۸۸ ۰۰۰ | ۱۲۰۴ | ۳۹ | چاه مجازی منطقه ۱۴ | ۱۹ ۰۸۴ ۵۳۳ | ۱۱۶۱ |
| ۱۷ | تصفیه‌خانه آب شماره ۳ و ۴ (تهرانپارس) | ۲۵۲ ۲۸۸ ۰۰۰ | ۱۵۲۶ | ۴۰ | چاه مجازی منطقه ۱۵ | ۲۳ ۴۹۴ ۰۱۰ | ۱۱۱۰ |
| ۱۸ | تصفیه‌خانه آب شماره پنج (مینی سیتی) | ۱۷۹ ۷۵۵ ۲۰۰ | ۱۷۲۹ | ۴۱ | چاه مجازی منطقه ۱۶ | ۵ ۲۲۴ ۳۲۵ | ۱۱۰۸ |
| ۱۹ | کانال ابوذر (منوچهری) ابتدای پیروزی | ۱۰۰ ۹۱۵ ۲۰۰ | ۱۲۰۱ | ۴۲ | چاه مجازی منطقه ۱۷ | ۲ ۳۸۴ ۶۱۸ | ۱۱۲۵ |
| ۲۰ | کانال ابوذر خیابان ابوذر تقاطع ولیعصر | ۱۷۳ ۴۴۸ ۰۰۰ | ۱۱۳۱ | ۴۳ | چاه مجازی منطقه ۱۸ | ۱ ۳۰۶ ۹۴۱ | ۱۱۳۰ |
| ۲۱ | کانال باروت کوبی | ۲۹۶ ۴۳۸ ۴۰۰ | ۱۰۹۴ | ۴۴ | چاه مجازی منطقه ۱۹ | ۴۱۰ ۸۰۱ | ۱۱۰۷ |
| ۲۲ | کانال باروت کوبی | ۳۶۲ ۶۶۴ ۰۰۰ | ۱۰۳۴ | ۴۵ | چاه مجازی منطقه ۲۱ | ۱۶ ۱۸۱ ۹۸۰ | ۱۲۰۹ |
| ۲۳ | میدان تجریش تلاقی گلابدره و دربند | ۱۸ ۹۲۱ ۶۰۰ | ۱۶۲۰ | ۴۶ | چاه مجازی منطقه ۲۲ | ۱۳ ۴۴۴ ۱۶۰ | ۱۲۶۵ |

## ۴- نتایج و بحث

اولین مرحله اجرای مدل، بررسی امکان انتقال آب از یک تولید کننده به یک مصرف کننده است. به همین منظور کیفیت آب منابع تولید کننده تعیین و سپس با توجه به کیفیت آب مورد نیاز هر مصرف کننده بر اساس استانداردهای موجود به تفکیک نوع کاربری هر مصرف کننده، مسیرهای ممکن برای انتقال آب در شبکه تعیین شد. با توجه به اینکه کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و همچنین رواناب دو مسیل اصلی در تهران در حال حاضر در حدی نیست که در هر زمان بتوان برای مصارف صنعتی و آبیاری فضای سبز از آن استفاده کرد، در این تحقیق سه وضعیت مورد بررسی قرار گرفت:

### ۴-۱- 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 میکربی (کلیفرم کل و کلیفرم گوارشی) دارای محدودیت استفاده مجدد است. در این وضعیت مصرف کننده‌ها تنها امکان تهیه آب از تصفیه‌خانه‌های آب (WTP) و چاهها (well) را دارند و تخصیص منابع آب به‌گونه‌ای است که آب مورد نیاز مصرف کنندگان شبکه به میزان ۵۱/۷ میلیون مترمکعب در سال از آب پشت سدها و به میزان ۱۱۵/۸ میلیون مترمکعب در سال از آب زیرزمینی تأمین می‌شود و از دو منبع دیگر (پساب تصفیه شده و رواناب مسیل‌ها) به‌دلیل نداشتن کیفیت لازم استفاده‌ای نمی‌گردد.

### ۴-۲- وضعیت بهبود

در این مرحله فرض می‌شود با اقداماتی ساده از جمله افزودن مرحله گندزدایی، کاهش بار ورودی، اضافه نمودن فرایندهایی از قبیل فیلتراسیون و همچنین جلوگیری از تخلیه فاضلابهای محلی و صنعتی به داخل مسیل‌ها، بتوان کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و روانابها و آبهای جاری در مسیل‌ها را به‌نحوی بهبود داد که پساب یا رواناب، برای پارکهای جنگلی (pj) که به‌دلیل محدودیت تماس انسان و آبیاری در روزهای خاص نیازی به کیفیت بسیار بالا ندارند، قابل استفاده باشد کیفیت خروجی در این

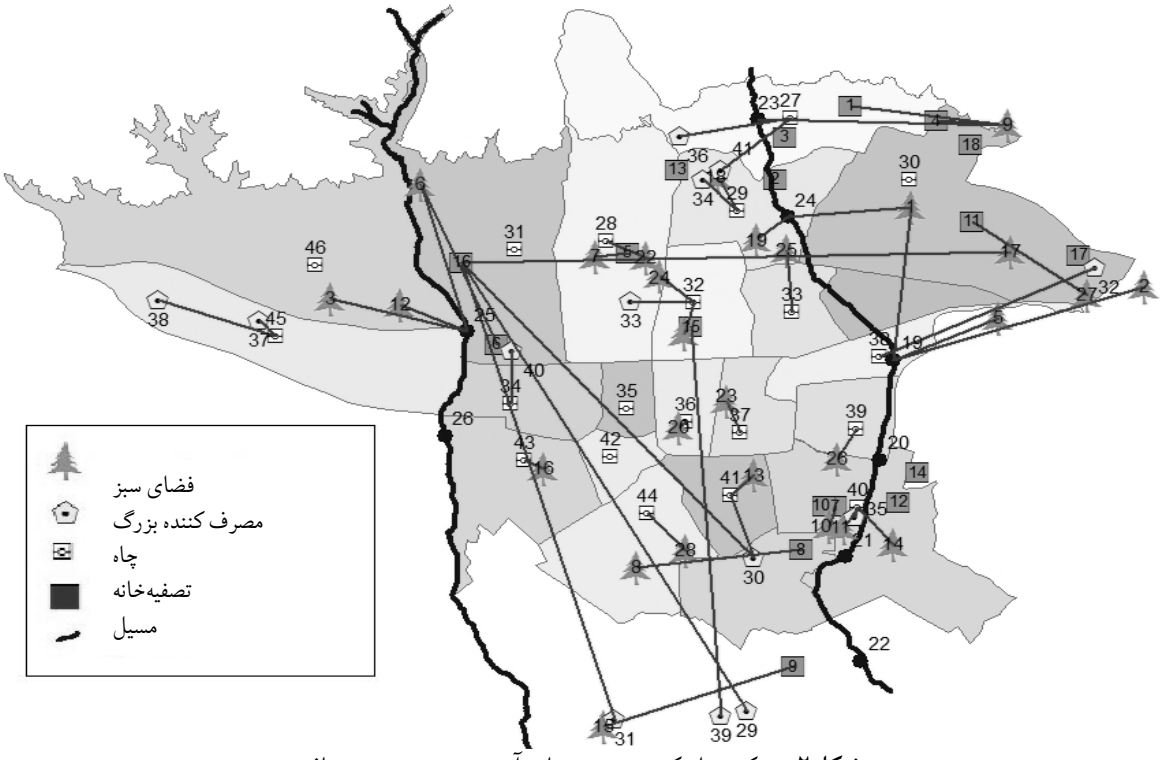
شرایط در حد BOD کمتر از ۳۰ و TSS کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و همچنین کلیفرم گوارشی آن کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر است. لازم به‌ذکر است که در این وضعیت مراکز صنعتی و بوستان‌ها به‌علت تماس مستقیم انسان در کلیه روزها، به کیفیت بالای آب نیاز دارند، لذا امکان استفاده از این پسابها را ندارند. در نتیجه در این وضعیت تصفیه‌خانه‌های آب و چاهها امکان آبرسانی به همه مصرف کنندگان را دارند و پساب تصفیه‌خانه‌ها و رواناب تصفیه شده تنها به مصارف شهری با دسترسی محدود انسان می‌رسند. شکل ۲ نحوه تخصیص آب در شبکه در وضعیت بهبود را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد.

در این وضعیت تخصیص منابع آب به‌گونه‌ای است که آب مورد نیاز مصرف کنندگان شبکه به میزان سالانه ۷/۷ میلیون مترمکعب از آب پشت سدها، ۲۳/۴ میلیون مترمکعب از آب زیرزمینی، ۱۱۵ میلیون مترمکعب از روانابهای سطحی و ۲۱/۵ میلیون مترمکعب از پساب تصفیه شده تأمین می‌شود. بهبود کیفی دو منبع فاضلاب تصفیه شده و روانابهای سطحی تا حدی که قابل استفاده برای پارکهای جنگلی (به‌عنوان پر مصرف کننده‌ترین شبکه) باشد، استفاده از آب پشت سدها را ۸۵ درصد یعنی ۴۴ میلیون مترمکعب در سال و استفاده از آب زیرزمینی را ۷۹ درصد یعنی ۹۲/۴ میلیون مترمکعب در سال کاهش می‌دهد.

### ۴-۳- وضعیت ایده‌آل

در این حالت فرض می‌شود با سرمایه‌گذاری‌های لازم، تکنولوژی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به حدی می‌رسد 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 تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، چاهها و مسیل‌ها دارای کیفیت مناسب بوده به‌طوری که کلیه مصرف کننده‌ها غیر از آب شرب بهداشتی، متناسب با کیفیت آب مورد نیاز خود قابلیت استفاده از آب آنها را دارند یعنی شرایطی که کیفیت خروجی در حد BOD کمتر از ۱۰میلی‌گرم و کدورت کمتر از NTU ۲ باشد و هیچ کلیفرم گوارشی در آن نباشد. نتایج تخصیص آب بین مصرف کنندگان و تولیدکنندگان شبکه در این وضعیت در جدول ۴ آورده شده است و شکل ۳ نحوه تخصیص شبکه در وضعیت ایده‌آل را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد.

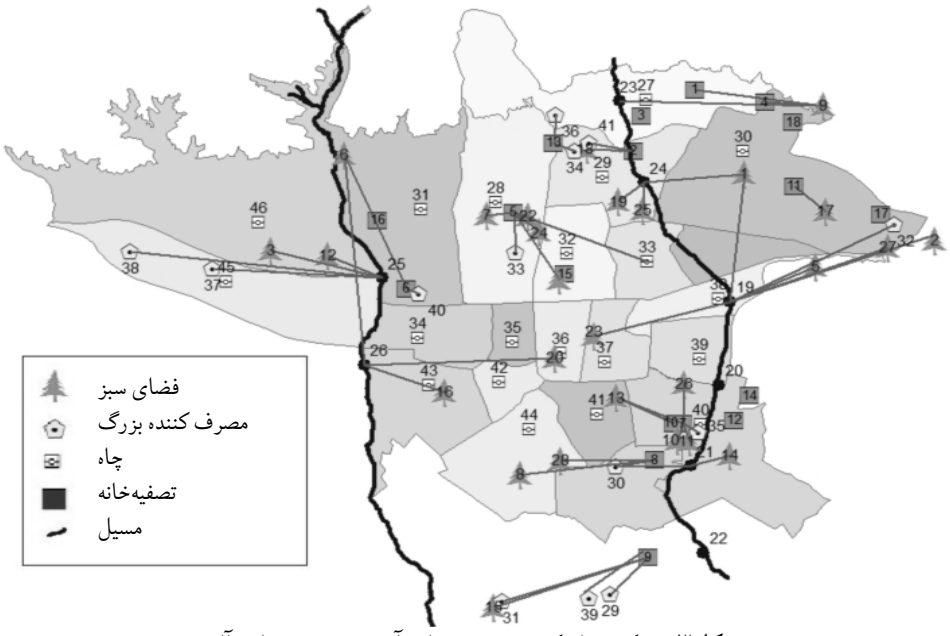
در این وضعیت تخصیص منابع آب به‌گونه‌ای است که آب سالانه مورد نیاز مصرف کنندگان شبکه به میزان ۱۲۹/۷ میلیون مترمکعب از روانابهای سطحی و به میزان ۳۷/۸ میلیون مترمکعب از پساب تصفیه شده تأمین می‌شود. به‌دلیل هزینه‌های کمتر بهبود کیفیت رواناب نسبت به هزینه بازیافت و تصفیه فاضلاب، میزان استفاده از منبع رواناب سطحی بیشتر از پساب تصفیه شده است.




**شکل ۲**- شبکه شماتیک تخصیص منابع آب در وضعیت بهبود یافته

**جدول۴**- نتایج تخصیص آب در وضعیت ایده‌آل با هدف کمینه کردن هزینه‌های سیستم (هزار مترمکعب در سال)

| کد مصرف کننده / کد تولید کننده | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۵ | – | – | – | – | – | – | ۵۷۴۸ | – |
| ۸ | – | – | – | – | – | – | – | ۳۸۶۵ |
| ۶ | – | – | – | – | – | ۶۱۳۰ | – | – |
| ۱۹ | ۲۰۴۶۱ | ۲۲۹۹۵ | – | ۱۷۲۴۶ | ۱۶۲۹۱ | – | – | – |
| ۲۴ | ۶۳۶۵ | – | – | – | – | – | – | – |
| ۲۵ | – | – | ۲۲۷۰۷ | – | – | – | – | – |
| ۲۶ | – | – | – | – | – | ۵۳۶۷ | – | – |
| **کد مصرف کننده / کد تولید کننده** | **۹** | **۱۰** | **۱۱** | **۱۲** | **۱۳** | **۱۴** | **۱۵** | **۱۶** |
| ۷ | – | ۲۱۹۰ | ۱۴۸۸ | – | ۵۳ | – | – | – |
| ۹ | – | – | – | – | – | – | ۹۵۸ | – |
| ۱۰ | – | – | – | – | ۹۷۲ | – | – | – |
| ۴ | ۲۷۹۶ | – | – | – | – | – | – | – |
| ۱ | ۲۸۱ | – | – | – | – | – | – | – |
| ۲۱ | – | – | ۱۴۰ | – | – | ۹۹۶ | – | – |
| ۲۳ | ۷۶۵ | – | – | – | – | – | – | – |
| ۲۵ | – | – | – | ۱۵۳۳ | – | – | – | – |
| ۲۶ | – | – | – | – | – | – | – | ۹۰۰ |
| **کد مصرف کننده / کد تولید کننده** | **۱۷** | **۱۸** | **۱۹** | **۲۰** | **۲۱** | **۲۲** | **۲۳** | **۲۴** |
| ۲ | – | ۶۵۱ | – | – | – | – | – | – |
| ۵ | – | – | – | – | ۵۱۹ | ۴۹۸ | – | ۲۹۳ |
| ۱۱ | ۸۰۴ | – | – | – | – | – | – | – |
| ۱۹ | – | – | – | – | – | – | ۳۱۹ | – |
| ۲۴ | – | - | ۵۹۷ | – | – | – | – | – |
| ۲۶ | – | – | – | ۵۷۴ | – | – | – | – |
| **کد مصرف کننده / کد تولید کننده** | **۲۵** | **۲۶** | **۲۷** | **۲۸** | **۲۹** | **۳۰** | **۳۱** | **۳۲** |
| ۷ | – | ۲۲۴ | – | – | – | – | – | – |
| ۸ | – | – | – | ۲۲۰ | – | ۸۷۱ | – | – |
| ۱۰ | – | – | – | – | ۶۰۰۰ | – | ۶۰۰ | – |
| ۱۹ | – | – | ۲۲۱ | – | – | – | – | ۷۰۰ |
| ۲۱ | – | – | – | – | – | ۱۱۲۸ | – | – |
| ۲۴ | ۳۵۸ | – | – | – | – | – | – | – |
| **کد مصرف کننده / کد تولید کننده** | **۳۳** | **۳۴** | **۳۵** | **۳۶** | **۳۷** | **۳۸** | **۳۹** | **۴۰** |
| ۵ | ۵۰۰ | – | – | – | – | – | – | – |
| ۶ | – | – | – | – | – | – | – | ۳۵۰ |
| ۷ | – | – | ۴۵۰ | – | – | – | – | – |
| ۹ | – | – | – | – | – | – | ۳۰۰ | – |
| ۱۳ | – | ۵۰۰ | – | ۳۰۰ | – | – | – | – |
| ۲۵ | – | – | – | – | ۵۰۰۰ | ۵۰۰۰ | – | – |
| **مصرف کننده / تولید کننده** | **۴۱** | – | – | – | – | – | – | – |
| ۲ | ۳۵۰ | – | – | – | – | – | – | – |




**شکل۳**- شبکه شماتیک تخصیص منابع آب در وضعیت ایده‌آل

در جدول ۵ سه وضعیت موجود، بهبود و ایده‌آل از نظر اقتصادی و محیط زیستی با هم مقایسه شده‌اند. یکی از اهداف محیط زیستی، ارتقای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و بهبود کیفیت پساب خروجی از آنها، جایگزینی پساب تصفیه شده با آب انتقالی از سدها و کاهش برداشت از آبخوان شهر تهران و در نتیجه جبران کمبود آب ناشی از خشکسالی‌های سالهای اخیر و جلوگیری از افت شدید سطح آبهای زیرزمینی است. همان‌گونه که از جدول ۵ بر می‌آید، با ارتقای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و بهبود کیفیت پساب خروجی از آنها و کنترل کیفی روانابهای سطحی، درصد استفاده از آب انتقالی از سدها و آب زیرزمینی کاهش یافته و استفاده از پساب تصفیه شده و یا رواناب توجیه‌پذیر می‌شود.

به این ترتیب، وضعیت محیط زیستی شهر بهبود یافته و پایدار خواهد شد. زیرا از یک سو با افزایش استفاده از پساب تولید شده، آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از انتقال پساب به جنوب شهر کاهش می‌یابد و از سوی دیگر با کاهش مصرف آب پشت سدها و آب زیرزمینی می‌توان نیاز روز افزون به آب شرب در شهر تهران را تعدیل و از افت شدید سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرد. همان‌طور که انتظار می‌رود، هزینه سیستم انتقال و توزیع آب در وضعیت ایده‌آل نسبت به وضعیت بهبود بیشتر است که دلیل آن هزینه‌های بالای تصفیه فاضلاب به‌منظور تولید پساب با کیفیت بهتر است. از طرفی هزینه‌های سیستم موجود به‌دلیل هزینه‌های بهره‌برداری، خرید و انتقال آب از سد به شهر و یا پمپاژ آب چاه نسبت به دو سیستم دیگر بیشتر است که این اختلاف هزینه، مشوق مسئولان به‌منظور ارتقای سطح کیفی پساب و کنترل کیفی آبهای سطحی (مسیل‌ها و کانال‌های سطح شهر) است. به‌عبارت دیگر با ارتقای راندمان تصفیه‌خانه‌ها می‌توان امید داشت چه از بعد محیط زیستی و چه از بعد اقتصادی، فشار کمتری به شرکت آبفا برای سیستم انتقال و توزیع وارد آید.

### ۴-۴- تحلیل حساسیت

در این قسمت تأثیر تغییر پارامترهای مدل یعنی قیمتها بر نتیجه تخصیص شبکه ارزیابی می‌شود.

#### ۴-۴-۱- تغییر در هزینه‌های بهره‌برداری (OC)

بخش عمده هزینه‌های سیستم انتقال آب را هزینه‌های بهره‌برداری (OC) در بر می‌گیرد و در نتیجه بیشترین تأثیر را روی هزینه کل شبکه و تخصیص منابع آب دارد. مهم‌ترین بخش هزینه‌های بهره‌برداری صرف تصفیه می‌شود. جدول ۶ نتایج تغییر در پارامتر هزینه تصفیه فاضلاب و رواناب را بر تخصیصها نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در وضعیت موجود از لحاظ کیفی امکان انتقال آب بین تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مسیل‌های سطح شهر به مصرف کنندگان شبکه در نظر گرفته نشده است، تغییر در هزینه تصفیه فاضلاب و رواناب تأثیری بر نتایج شبکه نخواهد داشت. با توجه به اینکه فرض بر آن است که با کنترل ورود فاضلابهای خام مراکز و پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، کیفیت روانابهای موجود در مسیل‌ها تا حد خوبی بهبود می‌یابد و نیاز به تصفیه در حد بالا وجود ندارد، هزینه تصفیه رواناب کمتر از تصفیه فاضلاب در نظر گرفته شد.

**جدول ۵**- مقایسه وضعیت موجود با وضعیت ارتقای تصفیه‌خانه‌ها با توجه به ابعاد محیط زیستی و اقتصادی (میلیون مترمکعب در سال)

| | مصرف آب پشت سدها | مصرف آب سطحی (رواناب مسیل) | مصرف آب زیرزمینی | مصرف پساب تصفیه‌خانه فاضلاب | هزینه کل (میلیارد تومان) |
|---|---|---|---|---|---|
| وضعیت موجود | ۵۱/۷ | ۰ | ۱۱۵/۸ | ۰ | ۳۰/۶ |
| وضعیت بهبود | ۷/۷ | ۱۱۵ | ۲۳/۴ | ۲۱/۵ | ۱۹/۰ |
| وضعیت ایده‌آل | ۰ | ۱۲۹/۷ | ۰ | ۳۷/۸ | ۲۳/۹ |

**جدول ۶**- تأثیر هزینه تصفیه فاضلاب و رواناب بر تخصیص آب شبکه

| وضعیت | هزینه تصفیه فاضلاب (تومان/مترمکعب) | هزینه تصفیه رواناب (تومان/مترمکعب) | درصد مصرف آب پشت سدها | درصد مصرف رواناب مسیل‌ها | درصد مصرف آب زیرزمینی | درصد مصرف پساب تصفیه‌خانه فاضلاب | هزینه کل (میلیارد تومان) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بهبود | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۵ | ۷۰ | ۱۴ | ۱۱ | ۱۹/۰ |
| | ۱۷۰ | ۱۵۰ | ۵ | ۸۱ | ۱۴ | ۰ | ۱۹/۰ |
| | ۲۰۰ | ۱۷۰ | ۵ | ۸۱ | ۱۴ | ۰ | ۲۱/۸ |
| | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۵ | ۷۰ | ۱۴ | ۱۱ | ۲۵/۷ |
| ایده‌آل | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۰ | ۸۳ | ۰ | ۱۷ | ۲۳/۹ |
| | ۲۵۰ | ۲۳۰ | ۴ | ۸۴ | ۱۲ | ۰ | ۲۸/۷ |
| | ۳۰۰ | ۲۳۰ | ۴ | ۶۸ | ۲۸ | ۰ | ۲۹/۳ |
| | ۴۰۰ | ۳۰۰ | ۳۱ | ۰ | ۶۹ | ۰ | ۳۰/۴ |

همان‌گونه که از جدول ۶ مشخص است، در صورتی که هزینه تصفیه فاضلاب و رواناب به‌علت برداشتن یارانه مواد مصرفی یا انرژی مورد نیاز و غیره بیش از رقم پیش‌بینی شده برای مراحل مختلف تصفیه شود، نتایج شبکه تخصیص تغییر می‌کند، به‌گونه‌ای که تا زمانی که هزینه تصفیه فاضلاب از هزینه تصفیه روانابهای سطحی بیشتر باشد، با توجه به اینکه دیگر هزینه‌های مربوط به استفاده آب از این دو منبع تقریبا یکسان است، استفاده از رواناب به‌جای پساب تصفیه‌خانه توجیه‌پذیر است. از این موضوع می‌توان چنان برداشت کرد که سرمایه‌گذاری به‌منظور بهبود روانابهای سطحی تا رساندن به حد بالای کیفیت مورد نیاز برخی مصرف کنندگان از جمله برخی صنایع و سرمایه‌گذاری کمتر به‌منظور بهبود پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حدی که قابل استفاده برای مصرف کنندگانی که نیاز به کیفیت بسیار بالا ندارند از جمله پارکهای جنگلی، بهترین راه‌حل موجود برای کاهش هزینه‌ها و همچنین تخصیص بهینه چه از لحاظ کیفی و چه از لحاظ اقتصادی است. همچنین در صورتی که هزینه تصفیه فاضلاب و رواناب بسیار بالاتر از هزینه‌های تهیه آب از دو منبع آب پشت سدها و آب زیرزمینی باشد (ردیف آخر جدول ۶)، تأمین آب از دو منبع آب زیرزمینی و آب پشت سدها به صرفه‌تر از تأمین آب از دو منبع دیگر است.

**۴-۴-۲- تغییر قیمت فروش پساب (B)**

جدول ۷ تأثیر قیمت فروش پساب بر نحوه تخصیص را در دو وضعیت بهبود و ایده‌آل نشان می‌دهد. از آنجا که هدف بهینه‌سازی در این تحقیق کمینه کردن هزینه‌های شرکت آبفا به‌عنوان عامل توزیع و انتقال آب در شهر تهران بود، کاهش قیمت فروش پساب که به‌دنبال خود کاهش سود شرکت را در پی دارد، باعث می‌شود نتیجه تخصیص به‌گونه‌ای شود که درصد مصرف آب پشت سدها و آب زیرزمینی افزایش و درصد مصرف پساب تصفیه شده و آب سطحی کاهش یابد.

**۴-۴-۳- تغییر قیمت خرید آب (PC)**

از دیگر بخشهای هزینه‌بر سیستم انتقال آب هزینه خرید آب است. این قیمت طبق "تعرفه آب تحویلی از سدها و سایر منابع آب و حق‌النظاره برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی" از طرف وزارت نیرو به شرکتهای آب و فاضلاب کل کشور ابلاغ می‌گردد. در صورتی که قیمت آب تحویلی به شرکت آبفا بنا به سیاست‌های جدید دولت افزایش یابد، این تغییر بر روی تخصیص شبکه بی‌تأثیر نخواهد بود، گرچه هزینه خرید آب بخش اندکی از کل هزینه‌های سیستم انتقال آب را شامل می‌شود.

در جدول ۸ نتیجه تغییر قیمت خرید آب از سدهای اطراف تهران بر روی نحوه تخصیصها نشان داده شده است. به‌منظور بررسی تغییرات قیمت خرید آب، قیمت کنونی خرید آب به‌عنوان قیمت پایه در نظر گرفته شد و تغییر قیمت با ضریب دادن به قیمتها افزایش یافت (جدول ۱).

**جدول ۷**- تأثیر قیمت فروش پساب (**B**) بر تخصیص آب شبکه

| وضعیت | نسبت قیمت فروش پساب به قیمت فروش آب پشت سدها | درصد مصرف آب پشت سدها | درصد مصرف آب سطحی | درصد مصرف آب زیرزمینی | در صد مصرف پساب تصفیه‌خانه فاضلاب |
|---|---|---|---|---|---|
| بهبود | ۳ | ۴/۶ | ۷۳/۱ | ۱۳/۹ | ۸/۴ |
| | ۱ | ۴/۶ | ۷۰/۴ | ۱۳/۹ | ۱۱/۱ |
| | ۰/۳ | ۴/۶ | ۷۰/۴ | ۱۳/۹ | ۱۱/۱ |
| ایده‌آل | ۳ | ۰ | ۸۲/۹ | ۰ | ۱۷/۱ |
| | ۱ | ۰ | ۸۲/۹ | ۰ | ۱۷/۱ |
| | ۰/۳ | ۱۶/۷ | ۴۰/۶ | ۳۹/۴ | ۳/۳ |

**جدول ۸**- تأثیر تغییر قیمت خرید آب بر تخصیص آب شبکه

| وضعیت | نسبت قیمت خرید آب به قیمت فعلی | درصد مصرف پشت سدها | درصد مصرف رواناب مسیل‌ها | درصد مصرف آب زیرزمینی | درصد مصرف پساب تصفیه‌خانه فاضلاب |
|---|---|---|---|---|---|
| بهبود | ۱ | ۵ | ۷۰ | ۱۴ | ۱۱ |
| | ۱/۵ | ۰/۲ | ۷۰ | ۱۷/۸ | ۱۲ |
| | ۲ | ۰/۲ | ۷۰ | ۱۶/۸ | ۱۳ |
| | ۴ | ۰ | ۶۶/۸ | ۱۸/۵ | ۱۴/۶ |

## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق استفاده مجدد از فاضلاب به‌عنوان منبع جدید آب در شهر تهران مورد ارزیابی اقتصادی و محیط زیستی قرار گرفت. در حال حاضر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر تهران قابلیت تصفیه بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب را دارند و همچنین با کنترل مناسب مسیل‌ها و کانال‌های داخل شهر، که به محلی برای انتقال پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و فاضلاب خام مراکز اطرافشان تبدیل شده‌اند، امکان برداشت سالانه تقریباً ۴۰۰ میلیون مترمکعب را دارند. در نتیجه با نگاه کلی این طور به نظر می‌رسد که ایدهٔ استفاده از فاضلاب و رواناب تصفیه شده در مصارف شهری که نیازمند آب با کیفیت بالا نیستند، امکان‌پذیر و موفق خواهد بود و استفاده این دو منبع جدید آب می‌تواند بسیاری از مشکلات از جمله هزینه‌های اقتصادی و محیط زیستی شهر تهران را بر طرف کند. با تحلیل نتایج این طور می‌توان نتیجه گرفت که ارتقاء عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و کنترل کیفی رواناب‌های سطحی به‌منظور جایگزینی این دو منبع با آبهای زیرزمینی و آب انتقالی از سدهای اطراف در مورد مصارفی که قابلیت استفاده از پساب تصفیه شده را دارند از جمله آبیاری پارکهای جنگلی و فضای سبز داخل شهر و همچنین صنایع، اثرات اقتصادی و محیط زیستی مثبتی به‌همراه خواهد داشت. از جمله اثرات محیط زیستی قابل ذکر کاهش استفاده از آبهای زیرزمینی و آب پشت سدها و در نتیجه کاهش افت شدید آبهای زیرزمینی به‌ویژه در مناطق غربی شهر تهران و همچنین جبران کمبود آب در سالهای آتی و دوران خشکسالی است.

همچنین استفاده از پساب تصفیه شده در محل تصفیه‌خانه و جلوگیری از تخلیه آن به کانال‌ها و مسیل‌های سطح شهر علاوه بر کاهش آلودگی حین انتقال پساب، از بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و آلودگی آن در مناطق جنوبی جلوگیری می‌کند. همچنین ارتقاء راندمان تصفیه‌خانه‌ها و کنترل کیفیت روانابهای سطحی گرچه در نظر اول نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالایی دارد، ولی اثرات طولانی مدت استفاده از آن باعث می‌شود تا از نظر اقتصادی وضعیت بهبود یافته و ایده‌آل به صرفه‌تر باشند.

از دیگر نکات قابل برداشت از نتیجه مدلسازی می‌توان به این موضوع اشاره کرد که تغییر در قیمتها باعث تغییر در نتیجه تخصیص شبکه آب می‌گردد به‌طوری که با افزایش قیمت تصفیه فاضلاب و رواناب (OC)، به‌دلیل بالا رفتن هزینه‌های تمام شده، استفاده از دو منبع آب زیرزمینی و آب پشت سدها بیشتر می‌شود. همچنین افزایش قیمت خرید آب خام (PC) باعث می‌گردد تمایل به استفاده فاضلاب و رواناب افزایش یابد و هزینه‌های لازم به‌منظور تصفیه فاضلاب و کنترل کیفی رواناب برای ایجاد منابع با کیفیت مناسب توجیه‌پذیر می‌گردد. افزایش قیمت فروش فاضلاب تصفیه شده نسبت به آب پشت سدها و آب زیرزمینی باعث می‌گردد تمایل به خرید و استفاده مصرف کنندگان کاهش یابد ولی از آنجا که در این تحقیق هدف کمینه کردن هزینه‌های کل شرکت آبفا به‌عنوان عامل تأمین آب شهر تهران است، این تغییر باعث می‌شود شرکت متمایل به تأمین آب از منبع فاضلاب تصفیه شده و رواناب شود. البته افزایش قیمت فروش فاضلاب و رواناب باعث می‌گردد تا هزینه‌های تصفیه و رساندن به کیفیت مطلوب فاضلاب و رواناب از این طریق تأمین شود.

## ۶- قدردانی

از مسئولان و کارشناسان محترم شرکت آب و فاضلاب تهران و شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور به‌ویژه جناب آقای مهندس علی اصغر قانع که در تهیه داده‌ها و اطلاعات کمک فراوان نمودند، قدردانی می‌گردد.

## ۷- مراجع

1- Tajrishy, M., and Abrishamchi, A. (2005). "Integrated approach to water and wastewater management for Tehran, Iran, Water Conservation, Reuse, and Recycling." *Proceedings of the Iranian-American Workshop*, National Academies Press, Iran. (In Persian)

2- Ministry of Energy. (2008). *South Tehran stormwater rehabilitation study*, TWM/PCR-A-02, Iran. (In Persian).

3- Mulvihill, M.E., and Dracup, J.A. (1974). "Optimal timing and sizing of a conjunctive urban water supply and wastewater system with nonlinear programming." *J. of Water Resour. Res*., 10(2), 171-175.

4- Schwartz, M., and Mays, L. (1983). "Models for water reuse and wastewater planning." *J. of Environ. Eng.*, 109(5), 1128-1147.

5- Vieira, J., and Lijklema, L. (1989). "Development and application of a model for regional water quality management." *J. of Water Resources*, 23(6), 767-777.

6- Oron, G. (1996). "Management modeling of integrative wastewater treatment and reuse systems." *J. of Water Sci Tech.*, 33(10-11), 95-105.

7- Chu, J., Chen, J., Wang, C., and Fu, P. (2004). "Wastewater reuse potential analysis: Implications for China's water resources management." *J. of Water Research*, 38, 2746-2756.

8- Mohammadnegad, S., and Tajrishy, M. (1997). "Technical and economic evaluation of Tehran's wastwater treatment effluent for landscape irrigation." *Proceedings of the 2nd International Civil Engineering Conference*, Sharif University of Technology, Iran. (In Persian)

9- Nasseri, S., and Mesdaghinia, A.R. (1992). "Feasibility of reclamation and reuse of effluent from metal and non metal industry in Tehran." *Hakim*, 5(3), 195-200. (In Persian)

10- Torabian, A., and Motallebi, M. (2003). "Management plan for wastewater reuse- case study: Ekbatan district." *J. of Environmental Studies*, 32, 57-62. (In Persian)

11- Mahvi, A.H., and Izanlou, H. (2004). "Feasibility of using electrical and chemical industrial wastewater effluent in Tehran." *J. of Hormozgan Medical*, 31, 151-156. (In Persian)

12- Ministry of Energy. (2008). *Water tariff for non household uses*, Tehran (In Persian)

13- Ministry of Energy. (2008). *Water tariff-delivered from the Dam Water*, No. 48790/100, Tehran. (In Persian)

14- Ministry of Energy. (2008). *Increasing energy price*, Code: 2, No. 5009/100, Tehran. (In Persian)

15- Planning and Monitoring Organization. (2009). *List of based unit cost of water distribution network*, No. 72860/100 Tehran. (In Persian)