Journal of Water and Wastewater, Vol. 32, No. 4, pp: 122-135

# Sustainable Management of Water Resources Reusing Municipal Wastewater in the Toll Land Approach

*S. Ghafoori[1], H. Hassanpour Darvishi[2], H. Mohammdvali Samani[3]*

1. PhD Student of Water Resources, Dept. of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) hhassanpour87@gmail.com
3. Prof., Dept. of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*(Received March 19, 2021 Accepted June 10, 2021)*

**To cite this article:**
Ghafoori, S., Hassanpour Darvishi, H., Mohammdvali Samani, H. 2021. "Sustainable management of water resources reusing municipal wastewater in the toll land approach" Journal of Water and Wastewater, 32(4), 122-135. Doi: 10.22093/wwj.2021.277964.3125. (In Persian)

## Abstract

Reuse of treated wastewater is becoming a common source of extra renewable water source in regions and countries with water-scarcity. The expansion of the urban population and the increase in the sewage networks will increase the amount of municipal wastewater. The produced wastewater can become a source of renewable water that can be used for various non-potable reuse, specifically. In the current research study, the newly established Pardis city has been selected as a case study for using recycled water (reuse of treated wastewater) for sustainable water resources management. To accomplish the overall objective of the study, Geo-land method for water reuse is employed. For this study the use of regional wastewater facility instead of centralized wastewater treatment facility as well as the related capital cost savings, job opportunities, and environmental benefits were evaluated. Statistical analyses were performed based on multiple factors and classification indicators. The results showed that the highest amount of savings and financial surplus income, 36.17% and 31.25%, respectively, of the overall savings and income as the main priority and recommendation in place of water source will occur in the study area. On the other hand, savings and financial surplus for the group that does not need to use treated wastewater is only for 1.15% of the total study area which stands as the last priority.Results obtained from this study revealed that prioritization of decentralized use of wastewater for urban areas was a highly efficient plan for a significant part of residential areas, while reducing water consumption along with economic savings and increasing regional income happened. The proposed study can also be used as a sustainable water resources management decision-making tool for Pardis city officials.

***Keywords:*** Wastewater Treatment, Reuse, Clustering, Water Resource Management.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۲، شماره ۴، صفحه: ۱۳۵-۱۲۲

# مدیریت پایدار منابع آب با استفاده مجدد از پساب شهری در رهیافت زمین عوارضی

سعید غفوری[۱]، حسین حسن‌پور درویشی[۲]، حسین محمدولی سامانی[۳]

۱- دانشجوی دکترای منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران
۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران
(نویسنده مسئول) hhassanpour87@gmail.com
۳- استاد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران

(دریافت ۹۹/۱۲/۲۹ پذیرش ۱۴۰۰/۳/۲۰)

**برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:**
غفوری، س.، حسن‌پور درویشی، ح.، محمدولی سامانی، ح.، ۱۴۰۰، "مدیریت پایدار منابع آب با استفاده مجدد از پساب شهری در رهیافت زمین عوارضی"
مجله آب و فاضلاب، ۳۲(۴)، ۱۳۵-۱۲۲. Doi: 10.22093/wwj.2021.277964.3125

## چکیده

**گسترش جمعیت شهری و افزایش پوشش شبکه‌های آب‌رسانی داخلی و شبکه‌های فاضلاب باعث افزایش مقدار بیشتری از فاضلاب‌های شهری می‌شود که می‌تواند به منبع آبی جدید، به‌ویژه برای مصارف غیرشرب استفاده شود. در این پژوهش، شهر جدید پردیس به‌عنوان اولین مطالعه موردی برای طرح‌ریزی سامانه استفاده مجدد از پساب و بازچرخانی به‌عنوان حلقه مهم مدیریت پایدار منابع آب، انتخاب شد. برای پیشبرد اهداف این پژوهش، تدوین و به‌کارگیری روش زمین عوارضی در بازچرخانی پساب در نظر گرفته شد. در این خصوص به‌منظور امکان بررسی اقتصادی استفاده از پساب منطقه‌ای به جای تصفیه متمرکز (در تصفیه‌خانه مرکزی شهر) و نیز مواردی از قبیل صرفه‌جویی هزینه‌ها، افزایش درآمد محلی ساکنان، هزینه‌های محیط‌زیستی و نیز شاخص‌های مرتبط در استفاده از پساب تعیین و ارزیابی شد. روش طبقه‌بندی شاخص‌ها نیز با استفاده از تحلیل‌های آماری برای امکان ارزیابی استفاده از پساب استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان صرفه‌جویی و اضافه درآمد مالی، به‌ترتیب ۳۶/۱۷ و ۳۱/۲۵ درصد، از مجموع کل صرفه‌جویی و درآمد به‌عنوان اولویت اصلی و توصیه به‌عنوان منبع جایگزین در محدوده مطالعه اتفاق خواهد افتاد. از طرفی سطح، صرفه‌جویی و اضافه درآمد مالی برای گروهی که نیازی به استفاده از پساب ندارد، صرفاً برای ۱/۱۵درصد سطح کل محدوده مطالعه در اولویت آخر قرار گرفت. اولویت‌بندی استفاده غیرمتمرکز از پساب برای مناطق شهری، نشان داد که این طرح برای بخش قابل‌توجهی از مناطق مسکونی (ضمن کاهش مصارف آب در کنار صرفه‌جویی اقتصادی و افزایش درآمد منطقه‌ای) دارای اولویت گروه اول (بالا) است. در ضمن این طرح می‌تواند ارائه راهکاری برای مسئولان در تصمیم‌گیری منابع آبی شهر پردیس و راه‌حل پایدار آن باشد.**

***واژه‌های کلیدی***: پساب، استفاده مجدد، خوشه‌بندی، مدیریت منابع آب

## ۱- مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت، مشکل تأمین آب برای برطرف کردن احتیاجات بشر مانع و محدودیتی مهم در پیشرفت نواحی مختلف و جوامع ساکن در آن توسعه پایدار محسوب می‌شود (Aggeli et al., 2009, Al-Jayyousi, 2003, Aoki et al., 2005).

با روند فعلی افزایش جمعیت در ایران پیش‌بینی می‌شود تا ۲۰

dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.277964.3125

سال آینده تنها ۷۰ درصد از آب موردنیاز در دسترس باشد. با توجه به اینکه یافتن منابع آبی جدید و یا اضافه برداشت از منابع موجود امکان‌پذیر نیست، یک راهکار مؤثر و امکان‌پذیر، تعدیل اضافه برداشت ها از منابع در پیک مصرف، استفاده مجدد و بازچرخانی پساب برای کاهش مصرف مستقیم آب شرب در مصارف غیرشرب به‌منظور امکان تأمین پایدار آب شرب است (Kayhanian and Tchobanoglous, 2018a, Kayhanian and Tchobanoglous, 2018b, Kayhanian and Tchobanoglous, 2018c).

اکثر مدل های اقتصادی هنوز بر روی خدمات حیاتی تأمین شده توسط اکوسیستم‌های آب شیرین حساب می‌کنند، در حالی که این گزینه اغلب منجر به استفاده ناپایدار منابع آبی و تخریب اکوسیستم‌های آبی می‌شود (Asano and Bahri, 2011, Aziz and Farissi, 2014, Aggeli et al., 2009).

استفاده مجدد از آب، در حال تبدیل به یک منبع عمومی برای آب اضافی در برخی از مناطق و کشورهای کم‌آب است که در برنامه‌ریزی آبی خود، پساب را برحسب تصفیه غیرپیشرفته و یا پیشرفته برای مصارف غیرشرب و یا شرب استفاده می‌کنند. استفاده مجدد از آب می‌تواند به چند طریق به تأمین منابع آبی کمک کند: ۱) پایین آوردن سطح تقاضا برای آب شیرین از منابع موجود برای کاربری غیرشرب، ۲) افزایش منبع آب شیرین برای شرب و ۳) کاهش آلاینده‌ها برای حفظ سلامتی انسان و محیط‌زیست که ممکن است از طریق فاضلاب تصفیه نشده وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی شود. در نتیجه، استفاده مجدد آب، استخراج آب تازه را کاهش می‌دهد و در نتیجه چرخه مداوم آب در یک محیط شهری را فعال می‌کند (Bozdogan and Sogut, 2013, Hochstrat et al., 2008, Aggeli et al., 2009).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، رویکرد مناسب برای حل مشکلات آب می تواند از طریق برنامه‌ریزی آب و استفاده مجدد آب از طریق فعالیت‌های بسیار کوچکتر برنامه‌ریزی شود (Zhang and Shen, 2019, Qadir and Sato, 2016, Eslamian et al., 2016).

برای رسیدن به این هدف ویژه، این پژوهش به‌منظور طراحی یک رویکرد بهینه در بازچرخانی پساب برای مدیریت پایدار آب در مطالعه موردی ارائه شد. ابعاد کاربردی در مقایسه با پژوهش‌های انجام شده، با توجه به تدوین و به‌کارگیری روش تلفیقی زمین عوارضی کم‌مصرف در بازچرخانی پساب، به‌عنوان وجوه نوآوری در پژوهش کم‌نظیر است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مرور سوابق

در طول دهه ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰، منافع استفاده از فاضلاب در زمین در نیمکره غربی به‌عنوان فناوری تصفیه فاضلاب پیشرفته و کیفیت آبراهه‌های تصفیه شده به‌طور مداوم بهبود یافت (Al-Shreideh, 2001).

فاضلاب در کشاورزی برای قرن ها به‌عنوان وسیله‌ای برای دفع زباله در شهرها مانند برلین، لندن، میلان و پاریس بازیافت شده است. در چین، هند و ویتنام، از فاضلاب برای تأمین مواد مغذی و بهبود کیفیت خاک استفاده شده است (Al-Balawenah et al., 2011).

در ایالات متحده، استفاده مجدد از آب شهری در سال ۲۰۰۰ به میزان ۱/۵ درصد از میزان کل آب مصرفی بود. در فلسطین اشغالی، تا سال ۲۰۱۰، ۲۰درصد از منابع آبی موردنیاز، از فاضلاب اختصاص داده شده است(Zimmo and Imseih, 2010).

دلایل متعددی حاکی از آن است که فاضلاب باید به‌عنوان جایگزین منبع اضافی آب شناخته شود، این دلایل عبارت‌اند از:

اول، حفظ کیفیت آب، آب شیرین گران برای با ارزش ترین اهداف در درجه اول آشامیدن است (Bastian and Murray, 2012, Al-Shreideh, 2001).

دوم، تصفیه و استفاده مجدد آب، نه تنها از منابع با ارزش آب شیرین حفاظت می‌کند، بلکه می‌تواند از طریق تغذیه سفره آب زیرزمینی، منابع آب شیرین را نیز تأمین کند (Nitivattananon and Sa-nguanduan, 2016, Pintilie et al., 2016).

سوم، در صورت مدیریت صحیح، فاضلاب تصفیه شده می تواند بعضی وقت‌ها نسبت به منابع آب شیرین، منبع برتری برای کشاورزی باشد (Fatta-Kassinos et al., 2016, Reznik et al., 2017).

در ایران پیش‌بینی شده است که پتانسیل تولید فاضلاب در همه مناطق شهری و روستایی کشور تا سال ۲۰۲۱ با توجه به رشد جمعیت و افزایش سطح زیرپوشش شبکه های فاضلاب به ۵۹۰۰ میلیون مترمکعب در سال افزایش یابد که این ارقام تنها مربوط به

فاضلاب خانگی است و فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی در آن منظور نشده است (Bahri, 2001, Eslamian et al., 2016, Izadpanah and Sarrafzadeh, 2020, Khakpour et al., 2018, Agua, 2015).

ارزیابی جامع چند معیاره، که معمولاً در منابع آبی استفاده می‌شود، روشی است که ویژگی‌های یک منطقه را در ارتباط با فشار بر برداشت منابع آب در نظر گرفته و صرفه اقتصادی برای استفاده مجدد از فاضلاب / پساب را نیز لحاظ می‌کند (Durrant et al., 2007, Hajkowicz and Collins, 2007, Sikder, 2010, Aggeli et al., 2009).

در پژوهشی با هدف مقایسه بین نتایج تجزیه‌وتحلیل و آخرین استانداردهای جهان در سطح کشور و بین‌المللی، کیفیت فاضلاب تصفیه شده شهر قم در ایران برای اهداف کشاورزی و آبیاری بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده از شهر مبدأ برای اهداف کشاورزی و آبیاری، نیاز ضروری به بازنگری و نظارت با استفاده از یک برنامه مدیریتی منابع آب با هدف جلوگیری از خطرات محیط‌زیستی و بهداشتی دارد (Rahimi et al., 2018).

در بررسی نتایج جامع ۴۵ پژوهش در رابطه با WWT[1] و LCA[2] و تجزیه‌وتحلیل پژوهش‌ها نشان داد که در محدودیت استانداردهای ISO، تعریف واحد عملکردی و مرزهای سیستم، انتخاب روش ارزیابی تأثیر و روشی که برای تفسیر نتایج به وجود آمده بود، متغیر بود (Pintilie et al., 2016, De Faria et al., 2015).

نتایج بررسی سوابق نشان داد که در سیستم‌های متمرکز، پساب تولید شده با استفاده از شبکه جمع آوری فاضلاب جمع آوری شده و به تصفیه‌خانه مرکزی منتقل می‌شود. بعد از مراحل تصفیه، به مراکز مصرف مجدد منتقل می‌شود. برای کاهش هزینه استفاده از این سامانه سعی می‌شود که مراکز مصرف در پایین‌دست تصفیه‌خانه قرار گیرد تا نیاز به مصرف انرژی برای انتقال پساب نباشد. در عین حال در بیشتر موارد پراکندگی مراکز استفاده مجدد از پساب استفاده از انرژی برای تأمین فشار لازم در انتقال به مراکز مصرف را ناگزیر می‌سازد. در کنار نیاز به تأمین انرژی، ضمن تحت تأثیر قرار گرفتن محیط‌زیست و تأثیرات بلندمدت سوخت های فسیلی، شاخص هزینه را در محاسبات توجیه اقتصادی استفاده مجدد از پساب تحت تأثیر افزایشی قرار می‌دهد. این در حالی است که به نظر می‌رسد روش های غیرمتمرکز (توزیع متناسب با تولید پساب و میزان و نوع مصارف با توجه به توزیع مراکز جمعیتی و عرصه‌های مصرف مجدد پساب)، نیز لازم است بررسی شده و فواید آن نسبت به روش متمرکز ارزیابی شود. همچنین بررسی سوابق نشان داد که درطرح‌های استفاده مجدد از پساب، جدای از ایجاد یک سامانه متمرکز یا غیرمتمرکز، به استفاده مجدد تأکید شده است و امکان بازچرخانی برای چندین نوبت استفاده مجدد (با رعایت الزامات مصرف، بهداشت، محیط‌زیست، زیرساخت ها و توجیه اقتصادی) در حد کمتری مدنظر سامانه قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش، شهر جدید پردیس به عنوان اولین مطالعه موردی برای طرح ریزی سامانه استفاده مجدد از پساب و بازچرخانی به عنوان حلقه مهم مدیریت پایدار منابع آب، انتخاب شد. از خصوصیات در نظر گرفته شده برای بررسی و طراحی اولیه سامانه استفاده مجدد از پساب در این طرح پیشنهادی می‌توان طراحی سامانه بر اساس عوارض زمین در محدوده شهری برای حداکثر استفاده از اختلاف توپوگرافی و پراکنش مراکز جمعیتی، طراحی سامانه با بازچرخانی پساب (نوبت‌های متوالی استفاده مجدد) از پساب، به عنوان بهینه سازی سامانه بر اساس شرایط ژئوفیزیکی، طراحی سامانه با کمینه مصرف انرژی (دوستدار محیط‌زیست) را نام برد.

## ۲-۲- محدوده مطالعات

به منظور جذب جمعیت سرریز شهر تهران و ساماندهی جمعیت مهاجر این شهر، ۵ نقطه شهری برای احداث شهر جدید از جمله شهر پردیس در نظر گرفته شد (شکل ۱). با مصوبه شورای عالی شهرسازی و معماری در تاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۲۷ جمعیت افق شهر به ۴۰۲۰۰۰ نفر افزایش پیدا کرد که پس از آن نیز با اضافه شدن طرح مسکن ملی این جمعیت در افق طرح به ۵۳۸۰۰۰ نفر افزایش یافته است. اجرای سیاست مسکن مهر و طرح مسکن ملی، در شهر جدید پردیس باعث افزایش جمعیت افق طرح به حدود بیش از ۲ برابر جمعیت افق بازنگری طرح جامع خواهد شد. در حال حاضر آب مصرفی شهر جدید پردیس برای جمعیت اولیه شهر، از سد لتیان با مجموع مجوز ۱۰۰۰ لیتر در ثانیه و از چاه‌های فلمن با برداشت

[1] Waste Water Treatment (WWT)
[2] Life Cycle Assessment (LCA)

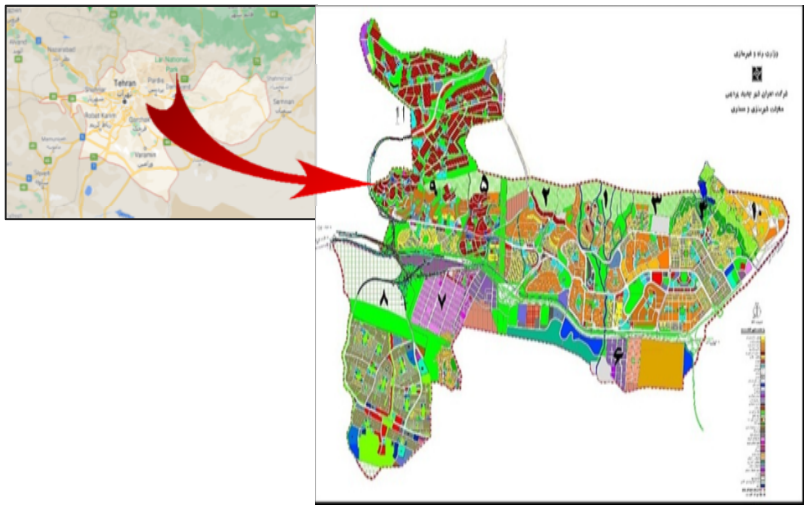

**Fig. 1.** Location of Pardis city within the division of Tehran provinces and residential areas

**شکل ۱**- موقعیت شهر پردیس در تقسیم‌بندی استان تهران و محدوده و مناطق مسکونی

عملی ۷۰۰ لیتر در ثانیه (شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، ۱۳۹۶) تأمین می‌شود که البته تأمین کسری آب به میزان ۲۳۰ لیتر در ثانیه از آب‌گیری سد لتیان یا مازاد آب طرح کلان انجام می شود. برای تأمین نیاز آب شرب جمعیت یاد شده نیاز شهر به تأمین آب به ۲ تا ۳ برابر وضعیت کنونی افزایش خواهد یافت. در حال حاضر مسئله اصلی این است که تأمین آب شرب مشترکین شهر پردیس در زمان های پیک مصرف با دشواری و فشار بر منابع آبی تخصیص یافته تأمین می شود و در کنار آن تأمین نیاز آب شرب و آب موردنیاز فضای سبز و سایر مصارف عمومی شهری شهر پردیس در شرایط بارگذاری جمعیتی کامل (افق طرح) در مخاطره جدی است.

مطابق آخرین گزارش شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران که متصدی امور آب و فاضلاب شهر پردیس است، مصرف سرانه ۲۱۳ لیتر در شبانه‌روز و برآورد مصرف سرانه با لحاظ کردن مدیریت مصرف ۲۰۰ لیتر در شبانه‌روز برای سال ۱۴۲۵ شمسی خواهد بود. با توجه به اینکه یافتن منابع آبی جدید و یا اضافه برداشت از منابع موجود امکان‌پذیر نیست، در کنار روش‌های معمول مدیریت منابع آبی و مدیریت مصرف، یک راهکار مؤثر و امکان‌پذیر، تعدیل اضافه برداشت‌ها از منابع در پیک مصرف، استفاده مجدد و بازچرخانی پساب برای کاهش مصرف مستقیم آب شرب در مصارف غیرشرب به منظور امکان تأمین پایدار آب شرب است. به منظور پایداری درازمدت منابع آبی و پاسخ به سایر نیازهای شهر و مصارف عمومی از جمله، آبیاری فضای سبز، استفاده از آب شرب غیرمنطقی و غیرقابل‌توجیه بوده و پساب تولیدی شهری برای کاهش فشار بر منابع آبی و کمک به تأمین آب در فصول پرمصرف، به‌عنوان یک منبع جایگزین سایر استفاده‌های شهری می‌تواند موردتوجه قرار گیرد.

## ۳- روش اجرای پژوهش

در مرحله جمع آوری سوابق و اطلاعات کلیه طرح های مرتبط از قبیل مطالعات جامع طرح احداث شهر پردیس و همچنین مطالعات تخصصی منابع آب، تصفیه فاضلاب و ارزیابی محیط زیستی آنها با تمرکز بر پارامترهای محیطی و اقلیمی، جغرافیایی، جمعیتی، اقتصادی و شهری استخراج شدند. روند بارگزاری جمعیتی، تخصیص و میزان مصارف آب شرب و کاربرد آن (در حال حاضر و آینده بدون طرح جایگزینی با پساب)، میزان و کیفیت تولیدات پساب در این شرایط و پیش‌بینی آن در افق طرح بارگزاری جمعیتی شهر، کاربری های مختلف در جامعه شهری و هم‌جوار آن، محدوده ها و میزان مصارف و کیفیت آب موردنیاز، موردتفکیک و پیش بینی شد. زیرساخت های ایجاد شده و نیز طراحی شده برای توزیع آب شرب، جمع آوری فاضلاب و تصفیه نیز بررسی شدند. مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب و جمع‌آوری فاضلاب، با استفاده از نرم‌افزارهای WaterGEMs و Sewer GEMs انجام شد.

### ۳-۱- مراحل انجام پژوهش

در رونـد ایـن پـژوهش، بـه‌ترتیـب گـردآوری داده‌هـا و اطلاعـات موردنیـاز، ایجـاد مـدل هیـدرولیکی شـبکه جمـع‌آوری و تصـفیه فاضلاب، ارزیـابی اولیـه طـرح اقتصـادی و مؤلفـه‌هـای هزینـه‌ای و درآمدی طرح‌های استفاده مجدد از پساب در حالـت‌هـای متمرکـز و غیرمتمرکز، مکان‌یابی پتانسیل استفاده مجدد از پسـاب بـا توجـه بـه نوع کاربری، حجم و هزینه های تصفیه فاضلاب به صـورت متمرکـز و غیرمتمرکز، خوشه‌بندی استفاده مجـدد از پسـاب در کـاربری‌هـای مختلف در محلات بـه‌صـورت غیرمتمرکـز و در نهایـت مکـان‌یـابی پتانسیل استفاده مجدد از پساب بـا توجـه بـه نـوع کـاربری، حجـم و هزینه‌های تصفیه فاضلاب به‌صـورت متمرکـز و غیرمتمرکـز، انجـام شد. روش پیشنهادی برای پهنه‌بندی استفاده مجدد از آب مبتنـی بـر توسعه یک سیستم شاخص و رویکـرد تحلیـل خوشـه ای پـس از آن است. چهـار مرحلـه اصـلی در ایـن پهنـه‌بنـدی شـامل: ۱) شناسـایی منطقه، ۲) توسعه سیستم بر مبنای مصرف و جمع آوری داده هـا، ۳) درجـه‌بنـدی و وزن شـاخص و ۴) ادغـام فهرسـت و تجزیـه‌وتحلیـل خوشه‌ای است.

### ۳-۱-۱- شناسایی منطقه

در این مرحله مقیاس جغرافیایی پهنه‌بندی شـهری مشـخص شـد کـه تابع دو عامل اسـت: یکـی در دسـترس بـودن داده‌هـای تحـت تـأثیر سیستم جمع آوری داده‌هـا و دیگـری سـاختار سیسـتم مـدیریت آب شهری.

مؤلفه‌هـای هزینـه‌ای و پـردازش هزینـه‌هـای بـرای واحـد حجـم پساب با توجه به هدف‌گذاری این پژوهش برای ارزیابی مقایسـه‌ای روش استفاده مجدد آب به‌صورت غیرمتمرکز و متمرکز، مؤلفـه‌هـای هزینه و فایـده اسـتفاده هـر کـدام از ایـن روش هـا بـرای مقایسـه در پردازش با سایر عوامل اجرایی و کاربردی بر اساس سـوابق بررسـی شـد و نیـز قضـاوت مهندسـی از نتـایج مـذاکره حضـوری بـا دسـت‌انـدرکاران متخصـص در محـدوده و نیـز امکـان دسترسـی بـه مسـتندات مربوطـه اسـتخراج شـد. بـا توجـه بـه مبـانی اقتصـاد آب (جایگزین شده)، کاهش هزینه‌های محیط زیستی آبخـوان، انتقـال و تصـفیه آب خـام، آب، انتقـال و تصـفیه متمرکـز، تصـفیه فاضـلاب غیرمتمرکز، بهره‌برداری تصفیه فاضلاب، دفـع (مجمـوع) فاضـلاب درمحیط‌زیست در نظر گرفته شدند. سپس مؤلفه‌های هزینه‌ای طـرح با توجه به زمان مفیـد قابـل‌اسـتفاده طـرح (۱۰ سـال ممتـد)، هزینـه احداث تأسیسات موردنیاز، هزینـه‌هـای انـرژی‌بـری و بهـره‌بـرداری سالیانه (در طول زمان طرح) تبدیل بـه ارزش حـال (گـزارش تـورم دهه‌ها، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، یـک‌سـال اول طـرح) شده و مقایسه روش‌های متمرکز و غیرمتمرکز بر ایـن اسـاس انجـام شد. جدول ۱، نشان‌دهنده مؤلفه‌های هزینه‌ای است.

### ۳-۱-۲- تعیین شاخص توسعه سیستم

به‌منظور ارزیابی ضرورت و امکـان اسـتفاده مجـدد از پسـاب تولیـد شده از فاضلاب شهری، یک سیستم شـاخص تحـت اصـل سـادگی، مقایسه، اندازه‌گیری و استقلال تهیه شد (جدول۲). سیستم شـاخص در دو سطح مختلف طراحی شد. در سـطح اول، سـه شـاخص جـامع: ۱) درجه شدید کمبود منابع آب، ۲) میزان معقـول اسـتفاده از آب و ۳) مقرون‌به‌صرفه اقتصادی بـرای اسـتفاده مجـدد از پسـاب در نظـر گرفته شد.

در مورد استفاده مجدد از پساب تولید شـده از فاضـلاب شـهری در یـک منطقـه خـاص، از دو شـاخص اول و دوم بـرای ارزیـابی ضرورت استفاده می شود، در حالی که مورد سوم برای تعیین کمیـت امکان‌سنجی اقتصادی و سطح قیمـت‌گـذاری بـالقوه پسـاب اسـتفاده خواهد شد. به‌منظور محاسبه شـاخص، ۷ نمایـه بـرای بیـان نمایـه‌هـا به عنوان سطح دوم کـل سیسـتم شـاخص انتخـاب شـدند. در نتیجـه، سامانه شاخص (نمایه‌های گروه n) برای ارزیابی در نظر گرفته شدند که عبارتند از:

۱) میزان تولید فاضلاب بر مبنای مصارف آب برای جمعیت محلـی و کاربری اراضی.

۲) کارایی مصرف فعلی آب از تولید مصـارف غیرخـانگی منطقـه و مصـرف خـانگی. اگـر مقـدار شـاخص $n_2$ بیشـتر باشـد، پتانسـیل صرفه‌جویی در مصرف آب کمتر خواهد بود و بنابراین تقاضـا بـرای منبع آب جدید در استفاده‌هـای غیرخـانگی ماننـد اسـتفاده مجـدد از پساب‌ها بیشتر خواهد بود.

۳) نمایه اقتصادی در دسترس بودن اقتصادی از طریق ارزش افزوده تولید محلی و درآمد ساکن. اگر مقدار شاخص $n_3$ بیشتر باشد، امکان توسعه مجدد از پساب با مصرف محلی بیشـتر خواهـد بـود. در غیـر این صورت به افزایش استفاده از آب شرب نیاز خواهد بود (جـدول ۲).

جدول ۱- مؤلفه‌های هزینه‌ای

**Table 1.** Cost components

| Row | Component | Price (1000 IRR* /$m^3$) |
|---|---|---|
| 1 | Costs of transmitting and treatment of raw water from controlled water resources | 6210 |
| 2 | Water price (tariff) | 36183 |
| 3 | Installation and operation of local wastewater treatment facility | 23425 |
| 4 | Environmental costs of wastewater disposal | 53 |
| 5 | Social and business income | 2404 |
| 6 | Costs of installation and operation of decentralized wastewater treatment facilities | 0.055 |
| 7 | Savings occurred through replaced treated wastewater (million IRRs per year per 1000 cubic meters) | 66592 |
| 8 | Financial savings for household and replaced water for landscape irrigation (million IRRs per year per 1000 cubic meter) | 65871 |

*IRR=Islamic Republic Rial

جدول ۲- سامانه شاخص مکان‌یابی استفاده از منابع آب محلی

**Table 2.** System index for local water resources

| Application index | First group (n) | Second group (m) |
|---|---|---|
| Essential for water reuse | Severe degree of water consumption, n1 | • Annual average drinking water consumption, m1<br>• Annual average landscape water consumption, m2 |
| | Moderate degree of water consumption, n2 | • Annual average water consumption based on labor productivity and value of product produced, m3<br>• Annual average of recycling non-household wastewater effluent, m4<br>• Annual average financial savings from replaced treated wastewater effluent, m5 |
| Economical for water reuse | Economic priority for local use of treated wastewater effluent, n3 | • Annual average personal income, m6<br>• Annual average wastewater produced locally, m7 |

### ۳-۱-۳- درجه‌بندی و وزن‌دهی شاخص

برای ارزیابی میزان تاب‌آوری منابع آب شرب، حد مجاز نسبی مصرف فعلی آب و امکان‌سنجی اقتصادی، ارزش هر شاخص در ۵ درجه قرار گرفت. مرزهای درجه‌بندی با روش‌های مختلفی از جمله مراجعه به استانداردهای پذیرفته شده بین‌المللی (سازمان ملل ۱۹۹۷) و ارزیابی کارشناسی تعیین شدند. روش پهنه بندی راهبردی محلی در شکل ۲ نشان داده شده است. در مرحله اول، با توجه به مرزهای درجه بندی شاخص، مقدار هر شاخص که در جدول ۳ تعیین شده است، به ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. هرچه مقدار بیشتر باشد، برای استفاده مجدد از پساب شهری در منطقه مطلوب‌تر است. با توجه به دستیابی به شاخص ارزیابی، می‌توان تعریف اولیه هر خوشه را طراحی کرد ( جدول ۳ ). تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. هر منطقه با یک الگوی توسعه استفاده مجدد از پساب شهری بر اساس تعریف خوشه مربوطه همراه خواهد بود.

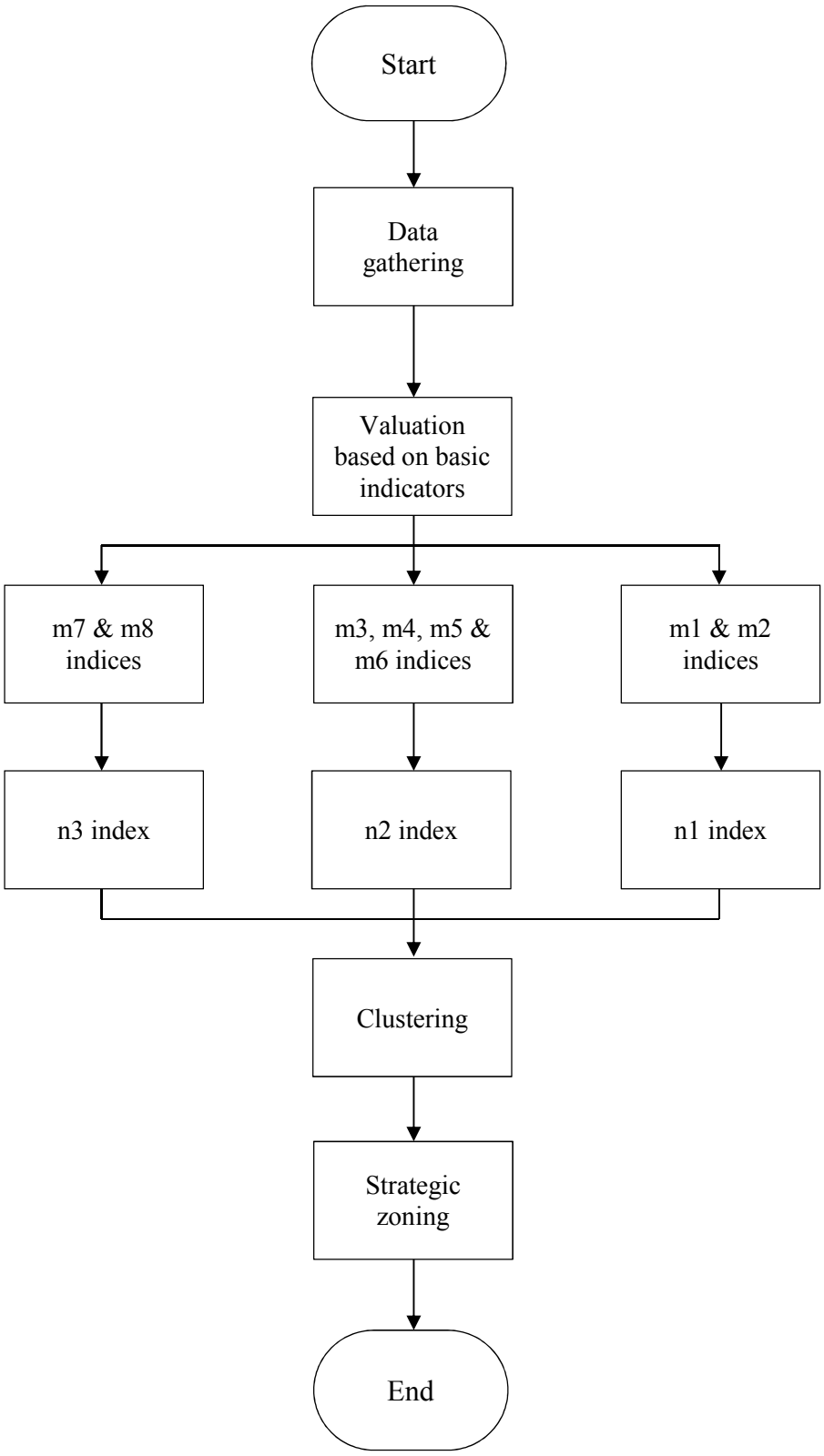


**Fig. 2.** Strategic process for zoning calculation

**شکل ۲**- روش محاسبه منطقه‌بندی راهبردی

جدول ۳- تعریف و توضیح خوشه‌های دسته‌بندی

**Table 3.** Definition of clusters

| Needed level for water reuse | Level of economic feasibility for water reuse | Definition and explanation of clusters |
|---|---|---|
| High | High | Cluster I: Due to the severe local conditions and economic need, the use of water reuse is recommended for implementation as a priority. To this end, special emphasis and executive actions are necessary by the city administration. |
| High | Low | Cluster II: Due to the specific water shortage, the use of water reuse is recommended. However, local economic conditions are not supportive of the required infrastructure. |
| Medium | High | Cluster III: Water shortage is not severe and the local economy is in good shape. The use of water reuse is an option that can be used toward sustainable urban water management. |
| Medium | Low | Cluster IV: Urban water shortage is not a limiting factor and local economic conditions are not suitable, hence the use of water reuse under these conditions is not considered. |
| Low | Low/High | Cluster V: The required water resources are fully available, therefore, even under a weak economic conditionin the use of wastewater is not required. |

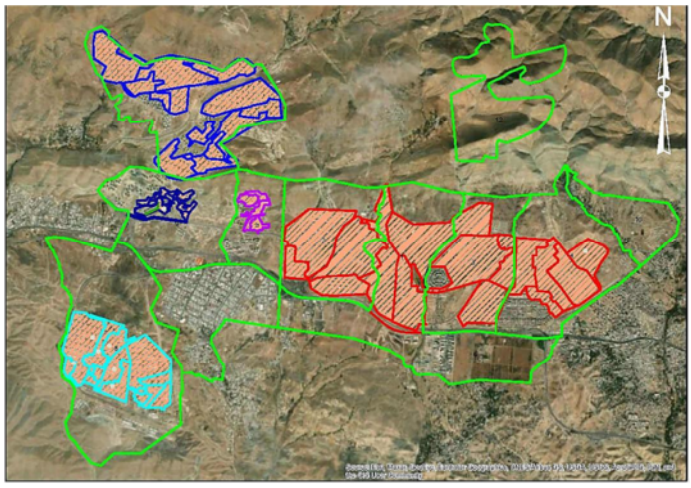


**Fig. 3.** Boundary (zoning) of the study area influenced by the water reuse data processing

**شکل ۳**- مرزبندی (منطقه‌بندی) تحت تأثیر مطالعه برای پردازش داده‌های استفاده مجدد از آب

## ۴- نتایج

### ۴-۱- محله‌بندی محدوده مطالعه

با توجه به نقاط تمرکز مجتمع‌های مسکونی، شیب (حداکثر و حداکثر ارتفاع سامانه فاضلاب در هر گروه مجتمع‌های مسکونی و معابر مربوطه)، محدوده تحت بررسی، به تعداد ۶۱ محله مجزا قابل‌پردازش از نقطه نظر تعیین حجم پساب ورودی و خروجی و نیز دسترسی به معابر و اماکن و فضاهای موردنیاز برای تأسیسات پیشنهادی، مرزبندی شد (شکل ۳). جدول ۴ خلاصه اطلاعات مربوط به این محلات را نشان می‌دهد.

**جدول ۴**- خلاصه اطلاعات مرزبندی محدوده‌های تحت بررسی

**Table 4.** Summary of data used for the study areas

| Data description | Unit | Value |
|---|---|---|
| Number of areas | -- | 61 |
| Total discharge | L/s | 3657 |
| Very low and low residential density | Ha | 506.09 |
| Medium to very high density residential | Ha | 475.03 |
| Park and landscape | Ha | 250.21 |
| Other land uses | Ha | 844.18 |

**جدول ۵**- خلاصه مقدار آماری مرتبط با شاخص‌ها

**Table 5.** Statistical summary of index values

| Statistical parameter | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | m6 | m7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Number of observations | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| Minimum | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Maximum | 8109845.971 | 395950.757 | 684284.000 | 1.00 | 85004346.000 | 82815229.000 | 5640868.000 |
| 1st Quartile | 94272.818 | 1393.752 | 17376.000 | 0.176 | 2628459.000 | 1814851.000 | 32847.000 |
| Median | 226740.041 | 11342.333 | 45018.000 | 0.229 | 5474447.000 | 3947471.000 | 175104.000 |
| Mean | 461884.360 | 33705.526 | 94526.016 | 0.745 | 8550638.230 | 6330421.525 | 329364.377 |

### ۴-۲- میزان مصارف پساب در هر کاربری

در این مرحله میزان تولید فاضلاب هر منطقه محاسبه و دبی فاضلاب خروجی از پایین‌ترین نقطه خط اصلی انتقال فاضلاب هر منطقه استخراج شد. سپس، مؤلفه‌های مقدار اصلی برای رده‌بندی در جدول شاخص‌های پایه (نمایه‌های m) محاسبه شد. جدول ۵ خلاصه آماری توزیع مقدار محاسبه شده مرتبط با هر شاخص را نشان می‌دهد.

### ۴-۳- تعیین مقدار شاخص نرمال و رده‌بندی شاخص‌ها

مقدار استخراج شده مرتبط با شاخص‌های ۷ گانه، به‌منظور امکان مقایسه بر مبنای یک شاخص واحد در هر گروه، به نسبت مقدار کل (برای مناطق) در نمایه‌های m1، m2، m3 و m7 و نسبت به مقدار بیشینه در گروه شاخص‌های m4، m5 و m6، نرمال‌سازی شدند. بر مبنای حدود تغییرات وحد مؤثر استخراجی در هر کدام از شاخص‌های ۷ گانه، ۵رده تغییرات شاخصی شناسایی و شاخص‌های نرمال برای هر کدام از مناطق در مقایسه با رده های ۵گانه شاخصی، استخراج شدند. جدول ۶ نشان‌دهنده حدود تغییرات و رده شاخص‌ها در رده‌بندی شاخص‌های نرمال شده برای مناطق در شاخص‌های ۷گانه است.

### ۴-۴- نتایج و بحث

با توجه به روش در نظر گرفته شده برای طبقه‌بندی شاخص استفاده از پساب، رده اول بر مبنای توصیه‌های کاربردی محلات محدوده مطالعه در ۵ خوشه (طبقه)تقسیم‌بندی شدند. خلاصه نتایج طبقه‌بندی مناطق در استفاده از پساب در جدول ۷ درج و به شرح زیر ارائه شده است. بر اساس پهنه‌بندی اولویت‌های استفاده از پساب (شکل ۴) و خلاصه وضعیت مناطق بر مبنای اولویت‌بندی انجام شده از نظر مساحت، صرفه جویی مالی و نیز اضافه درآمد منطقه‌ای (جدول ۸) مشاهده می‌شود که در خوشه I، نیاز و امکان اقتصادی بالا برای استفاده از پساب، بیشترین میزان صرفه‌جویی و اضافه درآمد مالی به‌ترتیب ۳۶/۱۷ و ۳۱/۲۵ درصد، از مجموع کل صرفه‌جویی و درآمد در همه مناطق اتفاق می‌افتد. در حالی که سطح توسعه و پوشش تأسیسات استفاده از پساب، در این طبقه حدود ۱۶درصد سطح کل محدوده تحت بررسی است. از طرفی

**جدول ۶**- رده‌بندی مقدار نرمال در شاخص‌های ۷گانه

**Table 6.** Classification of normal values for seven indices

| Category | Grade | Index | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | m6 | m7 |
| High | 5 | 0-3 | >45 | >30 | >7 | >30 | >9 | <=1 |
| Medium to high | 4 | 3-5 | 30-45 | 20-30 | 5-7 | 20-30 | 7-9 | 1-2 |
| Medium | 3 | 5-7 | 15-30 | 10-20 | 3-5 | 10-20 | 5-7 | 2-3 |
| Low to medium | 2 | 7-9 | 1-15 | 1-10 | 1-3 | 1-10 | 3-5 | 3-4 |
| Low | 1 | >9 | 1< | 1< | 1< | 1< | 3< | >4 |

**جدول ۷**- خلاصه نتایج استفاده پساب برای مناطق ۶۱گانه محدوده مطالعه بر اساس ۵ اولویت‌بندی

**Table 7.** Summary results for water reuse application within 61 study areas under five different classifications

| Statistical data based on different priorities | Priorities | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V |
| Number of districts located on this priority | 21 | 14 | 16 | 6 | 4 |
| Variance | 1.85 | 4.68 | 1.99 | 3.70 | 7.92 |
| Minimum distance from the center of the priority | 0.73 | 1.14 | 0.71 | 1.32 | 1.52 |
| Average distance from the center of the priority | 1.25 | 2.01 | 1.30 | 1.76 | 2.31 |
| Maximum distance from the center of the priority | 2.37 | 2.78 | 2.03 | 2.26 | 3.44 |

**Fig. 4.** Zoning of the study areas for water reuse priorities

**شکل ۴**- پهنه‌بندی اولویت‌های استفاده مجدد از آب در مناطق تحت بررسی

**جدول ۸**- خلاصه نتایج استفاده مجدد از پساب بر اساس پنج اولویت‌بندی

**Table 8.** Summary results for water reuse application based on five different priorities

| Priority | Number of districts | % | Area | | Financial savings | Extra income | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $m^2$ | % | $10^6$ IRR/year | $10^6$ IRR/year | % |
| I | 21 | 15.59 | 2,822,667 | 36.17 | 904,160 | 221,148 | 31.25 |
| II | 14 | 69.72 | 12,626,404 | 23.93 | 598,225 | 221,086 | 31.24 |
| III | 16 | 3.93 | 712,021 | 24.24 | 605,871 | 176,896 | 25.00 |
| IV | 6 | 9.62 | 1,742,015 | 8.71 | 217,843 | 44,246 | 6.25 |
| V | 4 | 1.15 | 207,686 | 6.94 | 173,535 | 44,229 | 6.25 |

سطح، صرفه‌جویی و اضافه درآمد مالی برای طبقه V، نیاز و امکان اقتصادی استفاده از پساب پایین، صرفاً برای ۱/۱۵درصد سطح کل در اولویت آخر قرار گرفته است. به‌طور خلاصه این پژوهش، در راستای اهداف پژوهش، نتایج زیر را به‌دست آورد. بیشترین میزان فواید استفاده از پساب به‌صورت غیرمتمرکز در مقایسه با شرایط متمرکز، در بخش ارزش افزوده اقتصادی برای جوامع ساکن محلی به‌دست آمد.

طبقه (خوشه) اول با کمترین مساحت بیشترین میزان صرفه‌جویی مالی (هزینه‌های تأمین، توزیع و انتقال آب در مقایسه با تأسیسات و هزینه‌های پساب) را داشت.

در مجموع استفاده از پساب به‌صورت غیرمتمرکز علاوه بر کاهش اثرات تنش آبی در جوامع، نسبت به گزینه متمرکز (با هزینه بیشتر و امکان کاربری‌های کمتر)، برتری محسوسی نشان داد.

بنابراین اولویت‌بندی مناطق تحت بررسی علاوه بر لحاظ شرایط اجتماعی، محیط‌زیستی موارد مالی (هزینه و درآمد) و به‌طور کلی اقتصاد اجتماعی را نیز لحاظ کرده است. این درحالی است که امکان‌پذیر بودن گزینه غیرمتمرکز استفاده از پساب در مقایسه با گزینه متمرکز و تأمین هم‌زمان و متناسب مصارف کاربری‌های متعدد در نظر گرفته شده، از نتایج متمایز این پژوهش است و برتری اقتصادی گزینه طرح شده، در راستای نتایج پژوهش‌های قبلی نیز مجدداً تأیید شد.

مدیران برنامه‌ریزی خدمات شهری می‌توانند با در نظر گرفتن اولویت‌های توصیه شده برای مناطق در استفاده مجدد از پساب نسبت به تدوین برنامه بلندمدت برای حصول به حداکثر فواید اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی را فراهم کرده و از اتلاف سرمایه و زمان جلوگیری کند.

## ۵- نتیجه‌گیری

بررسی سوابق نشان داد که چند پژوهش محدود در ابعاد وسیع استانی و یا گستره‌ای از یک کشور در خصوص ارزیابی استفاده پساب در کاربری‌های چندگانه انجام شده است. همچنین پژوهش‌های مرتبط در داخل و خارج از ایران به‌طور معمول با هدف استفاده از پساب در کاربردهای محدود و موردی مانند آبیاری فضای سبز، تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی، استفاده در صنایع کوچک انجام شده‌اند.

بررسی‌ها نشان داد که تاکنون پژوهش جامعی که بتواند استفاده از پساب در جوامع مسکونی (یک شهر) برای کلیه کاربردهای آن شبیه‌سازی کند و هم‌زمان مقایسه راهکار تصفیه و توزیع استفاده از پساب را ارزیابی نکرده است.

برای رسیدن به هدف پژوهش سازوکار دسته‌بندی داده‌ها، پردازش در قالب بانک داده ها و اطلاعات نیز طراحی شد. در این خصوص به‌منظور امکان بررسی اقتصادی استفاده از پساب منطقه‌ای به جای تصفیه متمرکز در تصفیه خانه مرکزی شهر و نیز مواردی از قبیل صرفه‌جویی هزینه‌ها، افزایش درآمد محلی ساکنان، هزینه‌های محیط زیستی و نیز شاخص‌های مرتبط در استفاده از پساب تعیین و ارزیابی شد.

روش طبقه‌بندی شاخص‌ها نیز با استفاده از تحلیل‌های آماری برای امکان ارزیابی استفاده از پساب استفاده شد. در راستای اهداف

نتایج پژوهش‌های انجام شده، ارزیابی امکان استفاده از پساب به‌صورت غیرمتمرکز در همه مناطق تحت بررسی نشان داد که در همه مناطق این گزینه نسبت به گزینه تصفیه متمرکز دارای برتری و اولویت اقتصادی و ایجاد ارزش افزوده است.

اولویت بندی استفاده غیرمتمرکز از پساب برای مناطق شهری، نشان داد که این طرح برای بخش قابل‌توجهی از مناطق مسکونی (ضمن کاهش مصارف آب در کنار صرفه جویی اقتصادی و افزایش درآمد منطقه ای) دارای اولویت گروه اول (بالا) است. این امر می‌تواند نسبت به پایه‌ریزی یک برنامه جامع برای اولویت‌بندی استفاده غیرمتمرکز از پساب در شهر پردیس مورد توجه برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

## ۶- قدردانی

نویسندگان، از کلیه پژوهشگران ایرانی که امکان استناد به نتایج کاربردی پژوهش‌های آنها به واسطه انتشار نتایج یاد شده، در این پژوهش فراهم شده است، تقدیر و تشکر می‌کنند.

## References

Aggeli, K., Kalavrouziotis, I. K. & Bezergianni, S. 2009. A proposal of a treated wastewater reuse design system in urban areas. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18**,** 1295-1301.

Agua, M. C. C. N. D. 2015. Water Statistics. Mexico City: National Water Commission.

Al-Balawenah, A., AL-Karadsheh, E. & Qadir, M. 2011. *Community-based reuse of greywater in home farming*. In Food security and climate change in dry areas: Proceedings of an International Conference, Amman, Jordan.

Al-Jayyousi, O. R. 2003. Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156**,** 181-192.

Al-Shreideh, B. 2001. *Reuse of Treated Waste Water in Irrigation and Agriculture as a non-Conventional Resource in Jordan*. In Advanced Short Course: Water Saving and Increasing Water Productivity: Challenges and Options*,* Amman, Jordan.

Aoki, C., Memon, M. & Mabuchi, H. 2005. Water and wastewater reuse: an environmentally sound approach for sustainable urban water management. *United Nations Environmental Program*, Global Environment Center Foundation, Osaka, Japan.

Asano, T. & Bahri, A. 2011. Global challenges to wastewater reclamation and reuse. *On Water Front*, 2**,** 64-72.

Aziz, F. & Farissi, M. 2014. Reuse of treated wastewater in agriculture: solving water deficit problems in arid areas. *Annales of West University of Timisoara. Series of Biology*, 17**,** 95-110.

Bahri, A. 2001. Water reuse in Tunisia: stakes and prospects. *In Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation*, Cirad-IRD-Cemagref, Tunisia.

Bastian, R. & Murray, D. 2012. *Guidelines for Water Reuse. US EPA Office of Research and Development:* Washington*,* DC. USA.

Bozdogan, E. & Sogut, Z. 2013. Determination of reuse potential of treated wastewater at urban green area. *Journal of Selcuk University Natural and Applied Science*, 835-845. Nevsehir, Turkey.

De Faria, A. B., Spérandio, M., Ahmadi, A. & Tiruta-Barna, L. 2015. Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA). *Water Research*, 84**,** 99-111.

Durrant, S., Nurse, L. & Stoddard, A. 2007. Monitoring the effect of below average precipitation on water resources in Paget Farm, Bequia, Grenadines. MSc Research report submitted to Center for Resource Management and Environmental Studies, University of the West Indies, Faculty of Pure and Applied Sciences, Cave Hill Campus, Barbados.

Eslamian, S., Okhravi, S. & Reyhani, M. N. 2016. *Urban water reuse: future policies and outlooks*. *In Urban Water Reuse Handbook*. CRC Press. 1143-1151. New York, USA.

Fatta-Kassinos, D., Dionysiou, D. D. & Kümmerer, K. 2016. *Advanced treatment technologies for urban wastewater reuse*, Springer International Publishing, Switzerland.

Hajkowicz, S. & Collins, K. 2007. A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management*, 21**,** 1553-1566.

Hochstrat, R., Wintgens, T. & Melin, T. 2008. Development of integrated water reuse strategies. *Desalination*, 218**,** 208-217.

Izadpanah, M. & Sarrafzadeh, M. H. 2020. Investigating the potential of swimming pools sullage reuse for landscape irrigation, case study: Tehran city. *Journal of Water and Wastewater*, 31(1)**,** 99-110. (In Persian)

Kayhanian, M. & Tchobanoglous, G. 2018a. Potential application of reclaimed water for potable reuse: part I-introduction to potable reuse. *Journal of Water and Wastewater*, 29(4)**,** 3-22. (In Persian)

Kayhanian, M. & Tchobanoglous, G. 2018b. Potential application of reclaimed water for potable reuse: part II-technical and regulatory issues. *Journal of Water and Wastewater*, 29(4)**,** 23-60. (In Persian)

Kayhanian, M. & Tchobanoglous, G. 2018c. Potential application of reclaimed water for potable reuse: part III-the path forward and implementation challenges. *Journal of Water and Wastewater*, 29(4)**,** 61-74. (In Persian)

Khakpour, A., Mehrdadi, N., Torabian, A., Golbabaei Kootenaei, F. & Pazoki, A. 2018. Developing linear models to minimize water consumption and effluent generation in copper industries (case study: Khatoon Abad copper refinery plant). *Journal of Water and Wastewater*, 29(1)**,** 70-80. (In Persian)

Nitivattananon, V. & Sa-Nguanduan, N. 2016. *Urbanization and Water Reuse. In Urban Water Reuse Handbook*, CRC Press. 51-62. New York, USA.

Pintilie, L., Torres, C. M., Teodosiu, C. & Castells, F. 2016. Urban wastewater reclamation for industrial reuse: an LCA case study. *Journal of Cleaner Production*, 139**,** 1-14.

Qadir, M. & Sato, T. 2016. *Water Reuse in Arid Zones*. Eslamian, S. (ed.) Urban Water Reuse Handbook. CRC Press. New York, USA.

Rahimi, M., Kalantari, N., Sharifidoost, M. & Kazemi, M. 2018. Quality assessment of treated wastewater to be reused in agriculture. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4**,** 217-230.

Reznik, A., Feinerman, E., Finkelshtain, I., Fisher, F., Huber-lee, A., Joyce, B. & Kan, I. 2017. Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: a statewide long-term perspective. *Ecological Economics*, 135**,** 222-233.

Sikder, A. H. M. K. 2010. Participatory multi-criteria evaluation of alternative options for water supply in a cyclone prone area. MSc. Thesis, Institute of Water and Flood Management. Bangladesh University of Engineering and Technology. Bangladesh.

Zhang, Y. & Shen, Y. 2019. Wastewater irrigation: past, present, and future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6**,** e1234.

Zimmo, O. & Imseih, N. 2010. Overview of wastewater management practices in the Mediterranean region. *Wastewater Treatment and Reuse in the Mediterranean Region*, 155-181. Springer Heidelberg, Berlin, Germany.