



## Water Resources Management of Urban Green Spaces in Zahedan City under Different Development Scenarios

Nasrin Hosseinbor<sup>1</sup>, Mehdi Safdari<sup>2</sup>, Ali Sardar Shahraki<sup>3\*</sup>, Ebrahim Moradi<sup>4</sup>, Neda Ali Ahmadi<sup>5</sup>

1.PhD Student, Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

2.Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

3.Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4.Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

5.PhD in Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

\*Corresponding author, Email: [a.shahraki65@gmail.com](mailto:a.shahraki65@gmail.com)

### Keywords:

Urban green space,  
wastewater management,  
system dynamics, Zahedan  
city.

### Introduction

Today, the concept of cities cannot be compared without effective green space in its various forms. The importance of urban green spaces is such that today the existence of this use is considered as one of the indicators of the development of societies. Therefore, the development of urban green space is bound to meet its water needs, and despite the fact that Iran is located in a hot and dry region and facing a water crisis, the importance of defining and using non-conventional water resources for managers is evident. One of the non-conventional water sources is urban sewage effluent. Due to the lack of rainfall throughout the year, the water situation in Zahedan city is such that the supply of water needed by the green space sector faces a serious challenge. Considering the low per capita green space in Zahedan city, which is approximately 4 square meters per person, and the distance between this per capita and the country's is 12 square meters.

### Methodology

In this study, we decided to use non-conventional water to replace conventional water to irrigate urban green spaces by analyzing the dynamics of the system and considering the water crisis in Zahedan and the importance of green spaces with the management of urban sewage effluents. Therefore, modeling steps are presented in system dynamics analysis.

- Identification of similar boundaries
- Introduction of system subsystems
- The following modeling is similar to water resources
- Enter variables such as population
- Entering variables such as urban sewage treatment
- Green space water consumption modeling
- Similar to resources and consumption of Zahedan city in VENSIM
- Similar validation

(1) Borders like: The borders created are considered to be similar to Zahedan city in terms of location and for the horizon of 1415 in terms of time. The input data is from 1385 to 1402. In the created simulation, it has been tried to consider all the beneficiaries of water resources, including domestic, green, industrial, agricultural and environmental consumers, and the effects can be taken and presented for each of them.

(2) Introducing the following system clones: Based on the presented conceptual model, four sub-models including underground water resources, population, wastewater treatment and urban green space are considered. In the following, brief explanations will be given about each of these similarities.

(3) Validation similar to: In order to verify the validity, the behavior repetition test is used. This test focuses on checking similar outputs. In such a way that the data produced

### Received:

10/Nov/2024

### Revised:

27/Dec/2024

### Accepted:

01/Mar /2025



by the simulator should be compared with the historical data, in order to find out how well the trend of the data produced by the simulator corresponds with the historical data. For comparison, the variables of underground water volume, water demand of Zahedan city, water demand of Zahedan green area, lack of available resources and needs of users are used and the statistical tools of coefficient of explanation and average in the absolute limit of error are used in order to check the similar behavior.

In this research, based on the information obtained and the data collected during the years 2006 to 2023, the scenarios of 2023 to 1415 were predicted. It has been predicted and estimated with the help of Vensim software. The initial scenarios include 1- increasing the efficiency of the water supply line and establishing the Hirmand water supply from 80% to 95%, 2- increasing the irrigation efficiency from 35% to 75%, and 3- reducing the cultivated area in Zahedan city to 50%.

### Findings

In the basic scenario of the water resources system, the water balance in 2036 will decrease to 39685 million cubic meters per year, and water shortage will occur in the city. Under the wastewater treatment system, purified water increases by 7055.07 million cubic meters per year. Under the system of green space, urban green space in Zahedan city increases by 19194 square meters per year.

The results of the application of the scenario of increasing the efficiency of the water supply line (S1) by 95%, in the sub-system of water resources, the water balance in the years 2023 and 2036 at the rate of -408.88 and -37391 million cubic meters per year, which compared to the base scenario is about It has increased by 2000 million cubic meters per year and water shortage has decreased as a result. Wastewater treatment in 2023 and 2036 has increased by 278.19 and 15605 million cubic meters per year compared to the basic conditions. Also, the water demand of urban green spaces has decreased by 316.56 and 18142 million cubic meters per year in 2023 and 2036.

The results of the estimation of the scenario of 75% increase in irrigation efficiency (S2) show that in the sub-system of water resources, the water balance in the years 2023 and 2036 was -52.380 and -17175 million cubic meters per year, which compared to the base scenario has increased by about 22,000 million cubic meters per year, and water scarcity has decreased accordingly. Wastewater treatment in 2023 and 2036 was 141.68 and 8717 million cubic meters per year, which has increased compared to the basic conditions. Also, the water demand of urban green space has decreased by 300.64 and 10078 million cubic meters per year in 2023 and 2036. The results of the implementation of the 50% reduction scenario of the total cultivated area (S3) show that in the sub-system of water resources, the water balance in the years 2023 and 2036 was -334.05 and -6410 million cubic meters per year, which Compared to the base scenario, it has increased by about 33,000 million cubic meters per year, and as a result, the water shortage has decreased to a great extent. Wastewater treatment in 2023 and 2036 was 99.159 and 1919 million cubic meters per year, which has decreased compared to the basic conditions. Also, the water demand of urban green spaces has decreased by 237.97 and 5036 million cubic meters per year in 2023 and 2036.

### Discussion and Conclusion

Approximately 70 to 90% of the water consumed in every community becomes wastewater, so the management of wastewater production is equal to the management of water consumption. The results of the simulation of the scenarios show that if Zahedan continues under the current conditions of water resources management, it will witness an imbalance and shortage of water and an increase in the demand for green space, but by applying the other three scenarios, it will witness an increase in the balance in water resources and consequently Reducing water shortage, increasing wastewater treatment, and increasing the production of wastewater for consumption, as well as reducing the demand of green space from water sources will be conventional. Wastewater production management can be considered as the most logical and least expensive way to manage wastewater. In fact, neglecting this part will undoubtedly cause a waste of resources and facilities. The collection and transfer of wastewater should be considered according to several factors, including economic considerations, the possibility of reusing wastewater at its production site, and other issues. Collecting and transporting wastewater is one of the pillars of wastewater management.

#### How to cite this article:

Hosseinbor, N., Safdari, M., Sardar Shahraki, A., Moradi, E., & Ali Ahmadi, N. (2025) Water Resources Management of Urban Green Spaces in Zahedan City under Different Development Scenarios. *Green Development Management Studies*, 4(2), 279-298. <https://doi.org/10.22077/jgdms.2024.8403.1215>





## مدیریت منابع آب فضای سبز شهری شهرستان زاهدان تحت سناریوهای مختلف توسعه

نسرين حسين بر<sup>۱</sup>، مهدی صفدری<sup>۲</sup>، علی سردار شهرکی<sup>۳\*</sup>، ابراهيم مرادی<sup>۴</sup>، ندا علی احمدی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

<sup>۵</sup> دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: [a.shahraki65@gmail.com](mailto:a.shahraki65@gmail.com)

### واژگان کلیدی:

فضای سبز شهری، مدیریت فاضلاب، پویایی سیستم، شهر زاهدان.

### چکیده

تصفیه فاضلاب شهری و فرآیندهایی که سعی در حذف مواد آلاینده موجود در پساب محیط‌های مسکونی و تجاری دارند، تأثیر بسیار زیادی بر حفاظت از محیط‌زیست خواهند داشت. به عبارت دیگر، پشت سر گذاشتن و طی کردن مراحل تصفیه فاضلاب شهری (تصفیه فاضلاب بهداشتی و انسانی) منجر به بالا بردن کیفیت فاضلاب می‌گردد. به طوریکه می‌توان این فاضلاب را برای مصارف کشاورزی و باغبانی و بدون نگرانی بابت وجود آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی در آنها مورد استفاده قرار داد. شهر زاهدان به دلیل موقعیت جغرافیایی و واقع شدن در منطقه گرم و خشک همواره با کمبود آب روبه‌رو بوده است و در سال‌های اخیر با توجه به گسترش شهرنشینی و افزایش مهاجرت نیاز مبرم به توسعه فضای سبز شهری به وجود آمده است که نیاز به تعریف منابع آبی غیر متعارف، جهت رفع کمبود آب مورد تقاضای فضای سبز شهری به وجود آمده است. در این پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی رفتاری و بکارگیری پویایی سیستم و استفاده از نرم افزار Vensim، سناریوهای قابل اجرا اعمال و شبیه‌سازی شد. سناریوهایی شامل ۱- افزایش راندمان خط آبرسانی و برقراری آورد هیرمند از ۸۰ درصد به ۹۵ درصد ۲- افزایش راندمان آبیاری از ۳۵ درصد به ۷۵ درصد و ۳- کاهش سطح زیر کشت اراضی در زاهدان به ۵۰ درصد برای یک افق ۱۲ ساله ارائه شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوها نشان می‌دهد که اگر زاهدان تحت شرایط فعلی مدیریت منابع آب پیش رود شاهد عدم تعادل و کمبود آب و افزایش تقاضا برای فضای سبز خواهد بود اما با اعمال سه سناریوی دیگر شاهد افزایش تعادل در منابع آبی و به تبع آن کاهش کمبود آب، افزایش تصفیه فاضلاب و افزایش میزان تولید پساب فاضلاب جهت مصرف و همچنین کاهش تقاضای فضای سبز از منابع آبی متعارف خواهد بود. لذا در بعد مدیریتی پیشنهاد می‌گردد سیاست‌گذاری نسبت به جمع‌آوری و انتقال فاضلاب می‌بایست با توجه به موارد متعددی از جمله ملاحظات اقتصادی، امکان استفاده دوباره از فاضلاب در محل تولید آن و موارد دیگر مورد توجه قرار گیرد. جمع‌آوری و انتقال فاضلاب یکی از ارکان مدیریت فاضلاب محسوب می‌شود.

### تاریخ دریافت:

۲۰ آبان ۱۴۰۳

### تاریخ بازنگری:

۷ دی ۱۴۰۳

### تاریخ پذیرش:

۱۱ اسفند ۱۴۰۳



## مقدمه

فضای سبز، کمتر از نیم قرن است که در فرهنگ ادبیات شهرسازی جهان جایگاه خاصی یافته است. عبارت فضای سبز، معانی و مفاهیم متعدد و وسیعی را در بر می گیرد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۹۵؛ نوریان و همکاران، ۱۳۹۷، ۹۷). به بخشی از فضای باز شهری گفته می شود که فرصت های مناسبی را برای تفریح و گذران اوقات فراغت جامعه فراهم می آورد (رو<sup>۱</sup>، ۱۹۶۲). فضای سبز عنصری کلیدی و مؤثر برای بهبود کیفیت زندگی شهری است که موجبات رفاه انسان را با ارائه اکوسیستمی برای تنظیم آب و هوا و ضبط آلاینده ها فراهم می کند و موجب شکل گیری محلی مناسب برای سلامت شهروندان می شود (اسکندری ثانی و همکاران، ۱۴۰۲، ۸۸). افزایش جمعیت شهرهای بزرگ، تغییرات اقلیمی معمول و غیرمعمول اخیر، شدت گرفتن فرایند صنعتی شدن و پیامدهای آن، لزوم دقت و صحت بیشتر در طرح های مدیریت شهری را ایجاب می کند (رهنما<sup>۲</sup>، ۱۴۰۰). یکی از معیارهای ارزیابی کیفیت محیط هر شهر، وجود فضاهای سبز عمومی است؛ فضاهایی که شهروندان بتوانند با ایمنی و آسایش خاطر با هم به گفتگو بپردازند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۹۵). کیفیت شهرنشینی مفهومی چند وجهی است که جنبه های مختلفی از جمله جمعیت، اقتصاد، جامعه، فرهنگ و محیط را در بر می گیرد (جین<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۱۲). تأثیرات مثبت شهرنشینی بر رشد اقتصادی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و به عنوان یک کاتالیزور<sup>۴</sup> حیاتی برای پیشرفت اجتماعی در نظر گرفته شده است (کوینسون<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۰۵). در تحلیل مسائل شهری توجه صرف به ساختار شهری کار درستی نیست، زیرا شهر موجودی زنده است دارای متابولیسم است، تولید می کند، مصرف دارد و با مناطق اطراف خود کنش و واکنش دارد (براتی<sup>۶</sup>، ۱۴۰۱، ۹۰). یک اکوسیستم<sup>۷</sup> شهری سالم به یک محیط طبیعی سالم متکی است. توسعه شهری با چالش دستیابی به تعادل پویا بین توسعه اجتماعی و حفاظت از محیط زیست مواجه است. علاوه بر این، شهرنشینی سریع، رشد جمعیت، کاهش منابع و ناامنی غذایی، باعث تشدید تقاضا برای پایداری توسعه شهری و خدمات زیست محیطی می شود (وانگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۰۲۴۵۸). امروزه، شهرنشینی متعهد به دنبال کردن مسیر توسعه سبز با رشد «کم مصرف، کم انتشار، کارآمد و منظم» است (کوینسون و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۰۵). پدیده طبیعی مانند مدیریت آب ممکن است توسط چندین شاخه از علم مانند هیدرولوژی<sup>۹</sup>، هیدرولیک، فیزیک، شیمی، اقتصاد و جامعه شناسی ارزیابی شود (فخیمی حسینزاد و همکاران، ۱۴۰۲، ۶۵).

آب با ارزش ترین منبع طبیعی روی زمین است که نقش مهمی در توسعه اجتماعی-اقتصادی انسان ها در سراسر جهان ایفا می کند. آب برای اهداف مختلفی از جمله، اما نه محدود به، نوشیدن، تفریح، آبیاری و تولید برق آبی استفاده می شود (احمد<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۴۰۷۱۵). در کشوری مثل ایران که بیشتر مناطق آن در کمربند خشک جهان واقع شده، شهرها برای مقابله با آلودگی های صوتی و هوا، همچنین کاهش استرس های محیطی بیشتر از هر نقطه دیگری به فضای سبز نیاز دارند و فضای سبز به عنوان جزئی از بافت شهرها و بخشی از خدمات شهری ضرورت یافته و نمی توان آن را جدا از نیازهای جامعه شهری دانست (رهنما<sup>۱۱</sup>، ۱۴۰۰، ۲). تلاش برای افزایش کارایی مصرف آب در مناطق خشک و نیمه خشک منجر به توسعه مدل های تخصیص بهینه

---

1 - Row

2 - Jin et al

3 - Catalyst

4 - Coisson et al

5 - Ecosystem

6 - Wang et al

7 - Hydrology

8 - Ahmed et al



منابع آب شده است (پن<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۳۱۶۴۰، ۲۰۲۴). اکوسیستم‌ها و حفاظت از تنوع زیستی طبیعی در سه دهه گذشته تغییرات اقلیمی که در دهه ۱۹۹۰ توسط پروتکل کیوتو<sup>۲</sup> به رسمیت شناخته و ثابت شد، یک تهدید کلی را نشان می‌دهد که تنوع اکولوژیکی<sup>۳</sup>، حاصلخیزی خاک، امنیت غذایی، در دسترس بودن آب و وجود انسان را به چالش می‌کشد (حامد<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۴، ۴۱۵). از دیدگاه توسعه پایدار تضاد بین رشد اقتصادی و حفظ و بهبود وضعیت محیط‌زیست وجود ندارد، در واقع تحقق اهداف توسعه پایدار با نهادینه نمودن نگاه خردمندانه و پایدار به فعالیت‌ها در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی از جمله توجه به پایداری برنامه‌ریزی در بخش محیط‌زیست در پرتو مصرف بهینه منابع و حفاظت محیط‌زیست واقعیت می‌یابد (الله یاری و همکاران، ۱۴۰۲، ۷). توسعه و شکوفایی کشورها در گرو دسترسی به آب با کمیت و کیفیت مورد نیاز برای پاسخ‌گویی به نیازهای بخش‌های مختلف است. توزیع مکانی و زمانی منابع آب جهان به اقلیم و توپوگرافی<sup>۵</sup> منطقه بستگی دارد. ارزیابی مناسب کمیت و کیفیت کل منابع آب معمولی و غیر متعارف و میزان مصرف برای برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب مهم است (لیاقت<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۳، ۱). افزایش عرضه آب ممکن است از طریق نوآوری‌های تکنولوژیکی<sup>۷</sup>، مانند افزایش استفاده از منابع آب غیر متعارف، مانند آب شیرین شده دریا و فاضلاب شهری تصفیه‌شده یا با افزایش احتباس آب در خاک با اجرا به دست آید (ایخوت<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۰۸۱۸). برای جوامعی که با مشکل کمبود آب مواجه هستند، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده از نکات کلیدی مدیریتی است. معمولاً تخمین پتانسیل‌های استفاده مجدد به دلیل نبود اطلاعات و دانش کافی مشکل است. سال‌هاست که مدل‌های مدیریتی به‌عنوان اساسی‌ترین راه‌حل برای ارزیابی و بهینه‌سازی تصفیه و استفاده دوباره از فاضلاب و تخصیص منابع آب به کار می‌روند (رونقی، ۱۳۹۵، ۳). گسترش مناطق شهری در جهان باعث افزایش تقاضای مصرف خانگی آب شده است و به تبع آن پساب افزایش می‌یابد و استفاده از آن می‌تواند یک منبع بالقوه برای برای مصارف کشاورزی باشد و با استفاده از پساب می‌توان استخراج از منابع آب زیرزمینی را کاهش داد و از فشار وارد بر منابع کاست. (کریمی‌سه‌قلعه و همکاران، ۱۳۹۴، ۲) وضعیت آبی در شهرستان زاهدان، به‌گونه‌ای است که تأمین آب مورد نیاز بخش فضای سبز با نگرانی جدی مواجه است. با توجه به سرانه کم فضای سبز در شهر زاهدان که تقریباً ۴ مترمربع به‌ازای هر نفر است و فاصله زیاد این سرانه با حدود استاندارد کشوری که ۱۲ متر مربع است، باید در راستای تأمین آب پایدار و دائمی مورد نیاز فضای سبز، برنامه‌ریزی‌های بلند مدت انجام شود. یافتن راه حلی که علاوه بر کاهش مشکلات محیط‌زیستی از نظر اقتصادی نیز مفید باشد، ضروری است (دری و همکاران، ۱۳۹۸، ۳). با توجه به اینکه زاهدان شهری است که از نظر منابع آبی همواره با بحران کم آبی مواجه بوده است و همچنین با توسعه شهرنشینی نیاز مبرم به وجود فضای سبز شهری چه از لحاظ زیبا شناختی و سیمای شهری و چه از لحاظ تأثیرات روانی و توسعه پایدار شهری، نیاز هست تا منابع غیر متعارفی جهت تأمین آب مورد نیاز فضای سبز تعریف شود. لذا با توجه به وجود فاضلاب‌های شهری و تصفیه‌خانه زاهدان، می‌توان با تصفیه فاضلاب شهری از پساب تصفیه‌شده جهت آبیاری فضای سبز استفاده نمود. در این مطالعه سعی بر آن شده است تا از طریق شبیه‌سازی تأثیر مدیریت و پویایی تمام ابعاد سیستم پساب‌های تصفیه‌شده فاضلاب شهری شامل تمام ابعاد سیستم پساب‌های تصفیه‌شده فاضلاب شهری شامل ابعاد اجتماعی،

<sup>1</sup> - Pan et al

<sup>2</sup> - Kyoto Protocol

<sup>3</sup> - Ecology

<sup>4</sup> - Hamed et al

<sup>5</sup> - Topography

<sup>6</sup> - Liaqat et al

<sup>7</sup> - Technological

<sup>8</sup> - Eekhout et al



اقتصادی، فنی و محیط‌زیستی و حاکمیتی پرداخت. مدل پیشنهادی به دنبال توسعه شناخت تصمیم‌گیران از فرآیندهای پویایی سیستم پساب شهری جهت آبیاری و توسعه فضای سبز است تا درباره تصمیم‌گیری‌های خود حساسیت بیشتر داشته باشند و تمام جوانب را بسنجند.

بیش از نیمی از جمعیت کل جهان و بیشترین مصرف منابع را شامل می‌شوند. شهرها از یک بخش جزئی در اقتصاد جهانی در یک‌صد سال پیش، به موتور محرکه‌ی رشد اقتصادی و مکان سکونت اکثر جمعیت انسانی تبدیل شده‌اند (براتی و صابری، ۱۴۰۱، ۸۱). روند سریع شهرنشینی فشار زیادی بر محیط‌زیست شهرها وارد کرده است. در نتیجه، دستیابی به توسعه سبز در طول شهرنشینی به عنوان نقطه کانونی جدید مطرح شده است (پن و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۳۱۶۴۰). مشکلاتی همچون افزایش جمعیت، ترافیک، شهرسازی، تأسیس کارخانه‌ها، گسترش صنایع و افزایش حجم زباله، با اثرات نامطلوب از جمله تولید ضایعات، گازهای سمی و مواد شیمیایی، نابودی درختان و فضای سبز را به دنبال خواهد داشت (دیانتی و همکاران، ۱۴۰۳، ۷۳). هدف توسعه پایدار ۶ (SDG<sup>1</sup>) (آب پاک و بهداشت) نشان می‌دهد که کشورها با چالش‌های فزاینده‌ای مرتبط با آب، از جمله کمبود آب ناشی از تغییرات آب و هوایی، آلودگی منابع آب شیرین، و تخریب اکوسیستم مواجه هستند (زائو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳، ۱۱۰۸۷۴). تأثیر تغییرپذیری آب و هوا همراه با افزایش سریع جمعیت و اقتصاد، و همچنین مؤلفه‌های انسانی مانند شهرنشینی و مدیریت ضعیف آب، منجر به کاهش منابع آب و کاهش کیفیت آنها شده است (ایخوت و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۰۸۸۱۸). برای جلوگیری از کمبود آب در اتحادیه اروپا، پارلمان اروپا مقررات 2020/741 (EU<sup>3</sup>) مورخ ۲۵ مه ۲۰۲۰ در مورد حداقل الزامات برای استفاده دوباره از آب را تصویب کرده است (زاوزکی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۳، ۱۱۲۹۲۸). یک راهکار امیدوارکننده نتیجه بخش برای کمبود آب، استفاده از فاضلاب خانگی و صنعتی تصفیه شده، عمدتاً برای آبیاری کشاورزی است، در نتیجه سهمیه‌های بیشتری از آب با کیفیت بالا برای تقاضای عمومی، عمدتاً برای مصارف شرب، آزاد می‌شود (ارن<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۸۰). کمبود آب شیرین برای کشاورزی منجر به افزایش استفاده از پساب تصفیه شده (TWW<sup>6</sup>) شده و آن را به عنوان منبع قابل توجه و قابل اعتماد آب آبیاری معرفی کرده است (یالین<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۳، ۱). ایران به ازای هر نفر ۷ تا ۱۲ متر مربع فضای سبز دارد، در حالی که نیاز سازمان ملل ۲۰ تا ۲۵ متر مربع است. وسعت فضای سبز در شهر زاهدان ۲۲۰ هکتار بوده که سرانه فضای سبز به ازای هر نفر با توجه به این آمار ۳/۹ مترمربع خواهد بود. لذا با توجه به سرانه فضای سبز استاندارد کشوری که بین ۱۱-۱۲ متر مربع به ازای هر نفر می‌باشد فاصله چشمگیری وجود داشته و در این بین عوامل محیطی و اقلیمی به عنوان محدودیت در روند این مسئله تأثیرگذار بوده‌اند که به عنوان مهم‌ترین عامل بازدارنده می‌توان به بحران و کمبود آب مورد نیاز جهت آبیاری فضای سبز در این بخش اشاره نمود. با توجه رشد جمعیت، افزایش مصرف آب و وقوع دوره‌های خشک‌سالی، نیاز به فضای سبز شهری و نیاز آبی آن، فشار فزاینده‌ای به تأسیسات آبی وارد می‌نماید. بنابراین در این مطالعه سعی می‌شود از شبیه‌سازی با رویکرد پویایی سیستم در فضای سبز شهری زاهدان با تأکید بر اهمیت نقش پساب فاضلاب شهری به عنوان منبع جایگزین در کاهش بحران آبی و توسعه آن در آینده استفاده گردد.

<sup>1</sup> - Sustainable Development Goals

<sup>2</sup> - Zhou et al

<sup>3</sup> - European Union

<sup>4</sup> - Zawadzki et al

<sup>5</sup> - Oron et al

<sup>6</sup> - Treated Wastewater

<sup>7</sup> - Yalin et al



جهت بررسی بیشتر در ادامه به پژوهش‌های پیشین درباره توسعه فضای سبز و استفاده از پساب فاضلاب پرداخته شده‌است. آقایی روزبهانی و سیفی (۱۴۰۱) سیستم منابع آب قم را به‌وسیله پویاشناسی سیستمی مورد تحلیل و مدل‌سازی قرار دادند در این مدل‌سازی بازه ۱۳ ساله از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۲ در نظر گرفته شده‌است. نتایج این مدل‌سازی نشان داد سناریوهای انتقال آب و تصفیه فاضلاب تأثیری بر روند هدر رفت منابع آب زیرزمینی ندارد و تنها اصلاح روش‌های آبیاری کشاورزی می‌تواند در حفظ و بازسازی منابع زیرزمینی مؤثر باشد. عنابستانی و همکاران (۱۴۰۲) جهت بررسی پراکنش فضای سبز شهر اصفهان با تکیه بر رهیافت عدالت محیط‌زیستی از طریق پرسش‌نامه و مدل فرآیند تحلیل شبکه، به تحلیل داده‌ها پرداختند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که شهر اصفهان به‌منظور رسیدن به توسعه همه جانبه درباره فضای سبز نیازمند توجه کارا به عوامل اجتماعی است، چراکه بیشترین اثرگذاری را نسبت به عوامل اقتصادی در ایجاد فضای سبز بر اساس عدالت محیط‌زیستی را دارند. فخمی‌حسین‌زاد و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای مدیریت یکپارچه دارایی‌های سیستم‌های شبکه‌های توزیع آب و جمع‌آوری فاضلاب شهر تبریز را با استفاده از مدل‌سازی دینامیکی در نرم‌افزار ونسیم شبیه‌سازی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که چارچوب یکپارچه، شرکت را قادر می‌سازد تا به دلیل یکپارچه‌سازی منابع مالی آب و فاضلاب، تأمین مالی برای کارهای سرمایه‌ای و عملیاتی را تسریع بخشد و سطح خدمات یکپارچه را بهبود بخشد. ریس- پیک و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) به تعیین و مقایسه میزان مصرف آب آبیاری فضاهای سبز و باغ‌های مسکونی در کلان شهرهای سانتیاگو، شیلی با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی مصرف آب ماهانه از پایگاه داده کنتورهای آب آشامیدنی اراده شده توسط شرکت آب پرداختند. دریافتند که میزان آبیاری فضاهای عمومی کمتر از فضاهای خصوصی و نزدیک‌تر است به تقاضای مدل شده و همچنین محوطه‌سازی بر اساس سطوح وسیع چمن، محرک اصلی آبیاری بیش از اندازه می‌باشد. رامیا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۲) از فاضلاب تصفیه‌شده برای فضای سبز شهری پانجا استفاده کردند داده‌های جمع‌آوری شده به‌صورت میدانی از طریق تحلیل هزینه- فایده بررسی شده و نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده استخراج آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد. میزان تبخیر و تعرق کاهش یافته و همچنین نتایج نشان‌دهنده افزایش رشد پوشش گیاهی و افزایش نرخ جذب کربن نیز می‌باشد. زائو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی شاخص‌های قرار گرفتن در معرض فضای سبز در سننن پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض فضای سبز پویا تحت تأثیر رفتارهای استفاده از فضای سبز افراد و ترجیحات زمان سفر قرار می‌گیرد. هی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای یک شبکه چند منظوره کوچک فضای سبز شهری برای عدالت فضای سبز در منطقه شهری هاربین چین ترتیب دادند. که در این پژوهش از فرایندهای تحلیل سلسله مراتبی جهت دسته بندی عرضه و تقاضای فضای سبز استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد عدم تعادل قابل توجهی در عرضه و تقاضای فضای سبز مناطق با عدم تطابق شدید و متوسط به ترتیب ۳۰-۱۷ درصد و ۴۸-۵۰ درصد وجود دارد.

با توجه به پژوهش‌های داخلی و خارجی مطالعه شده درباره فضای سبز و مدیریت فاضلاب شهری، وجود فضای سبز شهری که یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی شهرها محسوب می‌گردد و آثار آن در سلامتی و رفاه اجتماعی مشاهده گردیده‌است، مورد اهمیت واقع گردیده‌است. همچنین با توجه به نیاز آبی فضای سبز شهری و اهمیت منابع آب در بحران آبی چه در داخل ایران و چه در خارج به اهمیت استفاده از منابع غیر متعارف جهت آبیاری فضای سبز تأکید شده‌است. لذا بحث سلامتی با توجه به وجود رسوبات پساب فاضلاب مورد ارزیابی قرار گرفته است که مانعی جهت استفاده از پساب فاضلاب وجود ندارد.

<sup>1</sup> Reyes- paecke et al

<sup>2</sup> hRamaia et al

<sup>3</sup> Zhou et al

<sup>4</sup> He et al



اما آنچه در مبحث استفاده از پساب فاضلاب شهری دارای اهمیت است اثرات متقابل سیستم فاضلاب و سایر بخش‌ها می‌باشد که در مطالعات صورت گرفته در داخل و خارج کمتر به این مبحث پرداخته شده است از این رو در این مطالعه با توجه به اهمیت وجود فضای سبز و بحث آبیاری آن و بحران آبی در استان سیستان و بلوچستان به صورت خاص شهر زاهدان و همچنین گستردگی اثرات استفاده از پساب فاضلاب در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و... سعی شده است با استفاده از تکنیک پویایی سیستم، رفتار سیستم و تأثیر آن را بر تکامل سیستم در آینده شبیه‌سازی کنیم و سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد و بهترین سناریو انتخاب و شبیه‌سازی گردد.

## مواد و روش‌ها

شهر زاهدان مرکز استان سیستان و بلوچستان و همچنین مرکز شهرستان زاهدان در جنوب شرق ایران واقع شده است. شهر زاهدان از نظر تقسیم بندی اقلیمی در منطقه بیابانی با اقلیم گرم و خشک در حاشیه فلات مرکزی ایران واقع شده است دمای هوا در روزهای گرم تابستان به ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در شب‌ها به ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱، ۸). جمعیت گسترده شهری طبق آخرین آمار ۱۴۰۰، ۱۶۶۳۴۷۴ نفر می‌باشد که از این جمعیت، ۱۵۸۶۷۰۷ نفر تحت پوشش تأسیسات آب شهری می‌باشد. و همچنین ۳۸۰۲۱۹ نفر تحت پوشش تأسیسات فاضلاب شهری می‌باشد. ظرفیت اسمی (کنونی) تصفیه خانه فاضلاب معادل ۹۲/۳۴ هزار متر مکعب در شبانه‌روز می‌باشد (تارنمای آب و فاضلاب زاهدان، ۱۴۰۲). منابع آب زیرزمینی شهرستان زاهدان ۱۵۷۰ منبع می‌باشد که شامل ۲۷۴ حلقه چاه عمیق، ۷۴۲ حلقه چاه نیمه عمیق، ۳۶۹ رشته قنات و ۱۸۵ دهنه چشمه با مجموع تخلیه حدود ۲۱۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بیش از ۷۳ درصد از چاه‌های منطقه را چاه‌های نیمه عمیق تشکیل می‌دهند که دلیل آن جوان بودن تشکیلات زمین شناسی منطقه، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و عدم تشکیل آبخوان عمیق و غنی است. از این مقدار منابع آب زیرزمینی حدود ۲۱/۳ میلیون متر مکعب (۱/۰۲ درصد) برای مصارف شرب، ۱/۴۷ میلیون متر مکعب (۷ درصد) جهت مصارف صنعتی و ۱۸۶/۷ میلیون متر مکعب (۸۹/۱ درصد) باقیمانده برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود (محمودی و همکاران، ۱۳۸۷، ۶). با توجه به کمبود بارندگی در طول سال، وضعیت آبی در شهرستان زاهدان به گونه‌ای است که تأمین آب مورد نیاز بخش فضای سبز با نگرانی جدی مواجه است. با توجه به سرانه کم فضای سبز در شهر زاهدان که تقریباً ۴ متر مربع به ازای هر نفر است و فاصله این سرانه با حدود کشوری که ۱۲ متر مربع است. باید در راستای تأمین آب پایدار دائمی مورد نیاز فضای سبز، برنامه ریزی‌های بلند مدت انجام شود (دری و همکاران، ۱۳۹۸، ۳). در این مطالعه بر آن شدیم تا با تحلیل پویایی سیستم و با توجه به بحران آب موجود در زاهدان و اهمیت فضای سبز با مدیریت پساب ناشی از فاضلاب شهری از آب‌های غیر متعارف جهت جایگزین آب متعارف برای آبیاری فضای سبز شهری استفاده شود. لذا مراحل مدل سازی در تحلیل پویایی سیستم ارائه می‌گردد.

❖ شناسایی مرزهای شبیه

❖ معرفی زیر سیستم‌های سامانه

❖ مدل سازی زیر شبیه منابع آب

❖ وارد کردن متغیرهایی مثل جمعیت

❖ وارد کردن متغیرهایی مثل تصفیه فاضلاب شهری

❖ مدل سازی مصرف آب فضای سبز

❖ شبیه منابع و مصارف شهر زاهدان در VENSIM

❖ صحت سنجی شبیه



## ۱) مرزهای شبیه

مرزهای شبیه ساخته شده از لحاظ مکانی به شهر زاهدان و از لحاظ زمانی برای افق ۱۴۱۵ در نظر گرفته شده است. داده‌های ورودی به شبیه از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ می‌باشد. در شبیه ساخته شده سعی شده است کلیه سود بران منابع آب شامل مصرف کنندگان خانگی، فضای سبز، صنعتی، کشاورزی و زیست محیطی در نظر گرفته شده و اثرات برای هر کدام قابل برداشت و ارائه باشد.

## ۲) معرفی زیر شبیه‌های سامانه

بر اساس شبیه مفهومی اراده شده شش زیر شبیه شامل مخازن آب زیرزمینی، جمعیت، نیاز آبی، تراز آب، تصفیه آب و فضای سبز شهری در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه به اختصار درباره هر کدام از این زیر شبیه‌ها توضیح‌هایی ارائه می‌شود. شبیه منابع و مصارف شهر زاهدان در VENSIM با استفاده از نمودارهای علی معلولی، شبیهی در نرم افزار VENSIM ساخته می‌شود.

## ۳) صحت سنجی شبیه

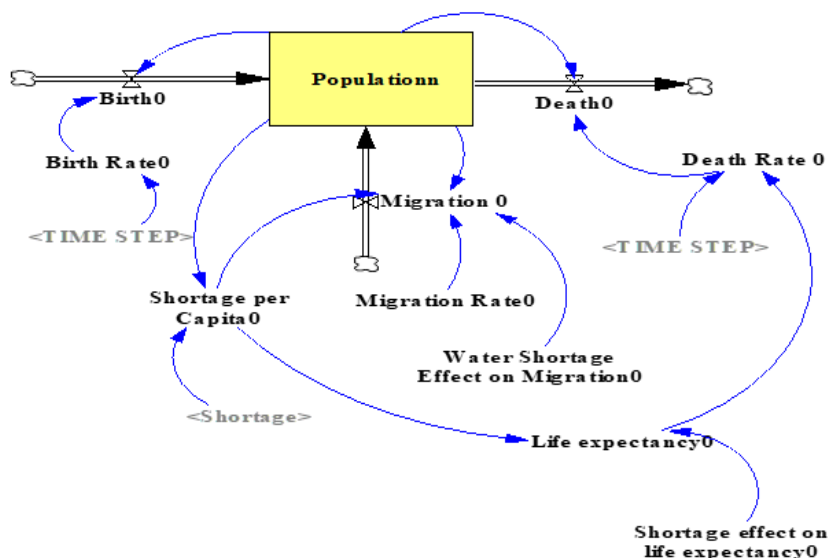
به منظور صحت سنجی از آزمون تکرار رفتار استفاده می‌شود. این آزمون به بررسی خروجی‌های شبیه توجه دارد. بدین صورت که داده‌های تولیدی به وسیله شبیه می‌باید با داده‌های تاریخی مقایسه گردد، تا معلوم شود روند داده‌های تولید شده به وسیله شبیه با داده‌های تاریخی چقدر مطابقت دارد. برای مقایسه از متغیرهای حجم آب زیرزمینی، نیاز آبی شهر زاهدان، نیاز آبی فضای سبز زاهدان، کمبود منابع موجود و نیازهای بهره‌برندگان استفاده می‌شود و ابزارهای آماری ضریب تبیین و میانگین در حد مطلق خطا به منظور بررسی رفتار شبیه به کار گرفته می‌شود.

## یافته‌های تحقیق

### مدل سیستم جامع مدیریت فاضلاب شهری زاهدان

مدل جامع مدیریت سیستم جامع مدیریت فاضلاب شهری زاهدان با رویکرد یکپارچه‌سازی بر مبنای تئوری دینامیک سیستم‌ها توسعه یافته است. مدل مفهومی توسعه یافته برای مسائل مربوط به مدیریت تأمین محور منابع آب در شهرستان زاهدان از زیرسیستم‌های جمعیت، منابع آب، تصفیه فاضلاب و فضای سبز شهری تشکیل شده است. هر زیرسیستم شامل شاخه‌هایی متفاوت از توسعه سیستم منابع آب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. دیدگاه جامع از سیستم منابع آب زمانی حاصل می‌شود که درک صحیحی از روابط متقابل ترکیبی بین این چهار زیرسیستم وجود داشته باشد.

جمعیت یکی از عوامل اصلی محرک است که بر میزان تأمین و نیازی آب اثر می‌گذارد و این به طور مستقیم نیازی آب شرب در منطقه مورد مطالعه را تعیین می‌کند. که منطقه مورد مطالعه آب شرب منطقه سیستم و شهرستان زاهدان را تأمین می‌کند. در این راستا، سه شاخص، جمعیت کل، زاد و ولد، مهاجرت و مرگ و میر انتخاب شده‌اند تا منعکس کننده مقیاس و رشد جمعیت باشند. در همین حال، نرخ رشد زاد و ولد، مهاجرت و مرگ و میر شاخص‌های عمده است که نشان دهنده میزان رشد و مقیاسی از جمعیت است.



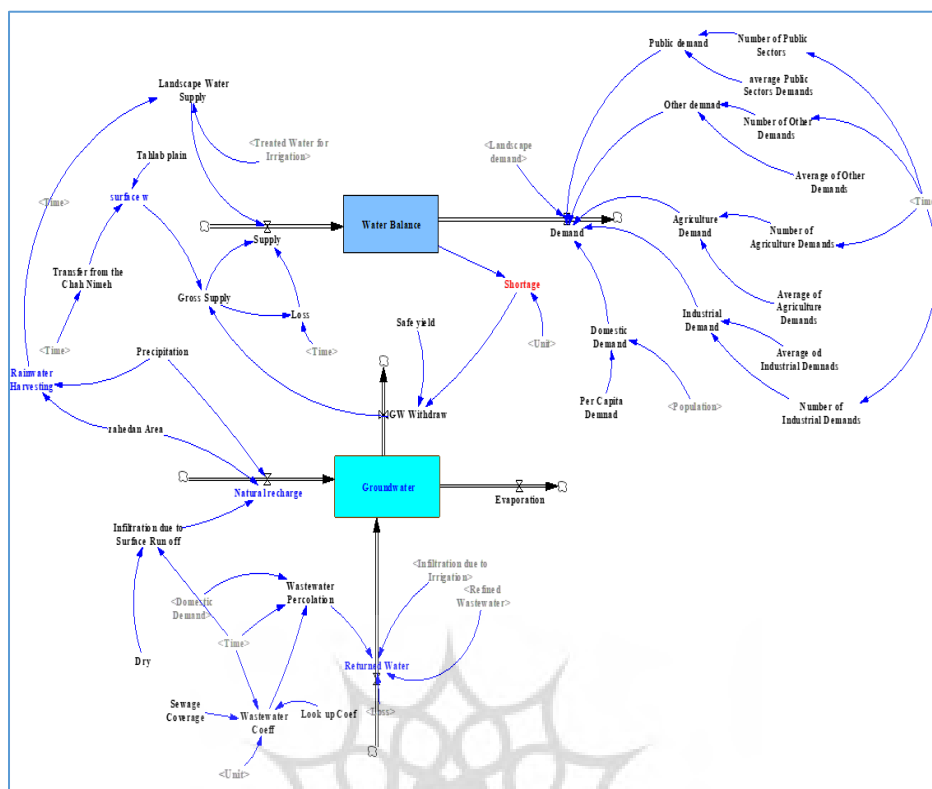
شکل ۱- نمودار حالت و جریان زیرسیستم جمعیت

### زیرسیستم منابع آب

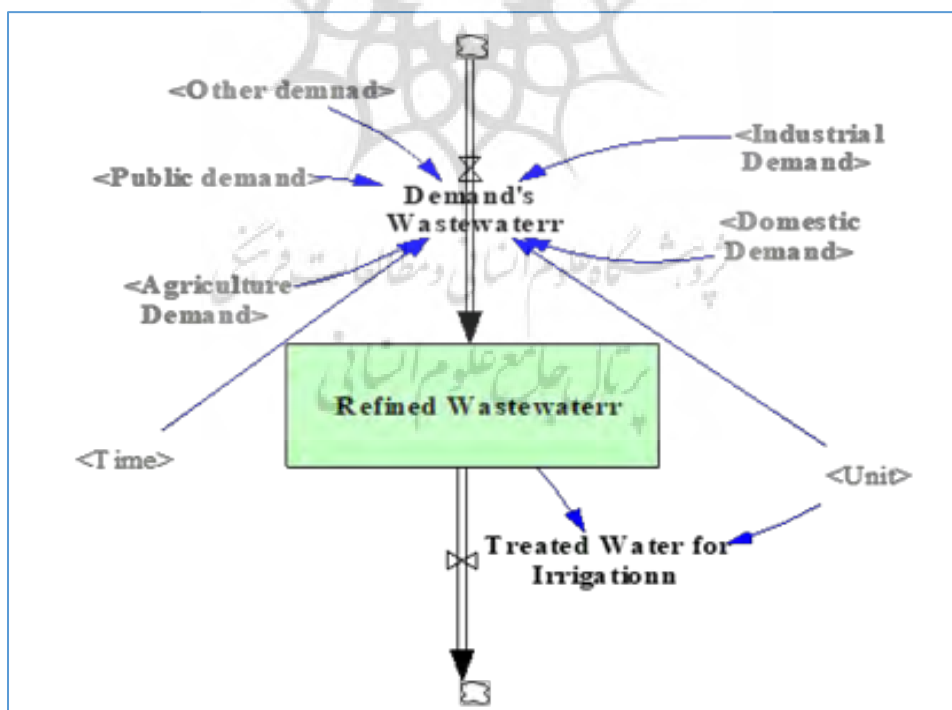
نمودار حالت و جریان زیرسیستم عرضه و تقاضا آب، متغیرهای چرخه عرضه و تقاضا آب، تأمین آب و سیستم تصفیه فاضلاب و تقاضای فضای سبز را نشان می‌دهد. طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، روابط متقابل آب‌های سطحی، زیرزمینی، تصفیه‌شده، هیدرولوژی منطقه و تأمین آب در منطقه اجزای اصلی این زیر سیستم را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، ویژگی‌های اقلیمی و عرضه و تقاضای آب منطقه از قبیل بارندگی، تبخیر در حوضه آبریز می‌باشند. در نمودار حلقه علی و معلولی، دینامیک بین این اجزا با استفاده از پیکان‌های علامت‌دار نشان داده شده‌است. علاوه بر این نمودار حلقه علی و معلولی، مداخلات انسانی که به منظور تأمین آب صورت می‌گیرد (انتقال آب بین حوضه‌ای) را نشان می‌دهد که این امر سبب افزایش قابلیت دسترسی به آب به منظور تأمین نیاز شرب، صنعت، کشاورزی و در نهایت فضای سبز در نظر گرفته شده‌است. نیاز به آب در این بخش‌ها با توجه به حجم بسیار ناچیز آب‌های زیرزمینی در منطقه سیستان از آب‌های سطحی تأمین می‌گردد.

### سیستم تصفیه فاضلاب

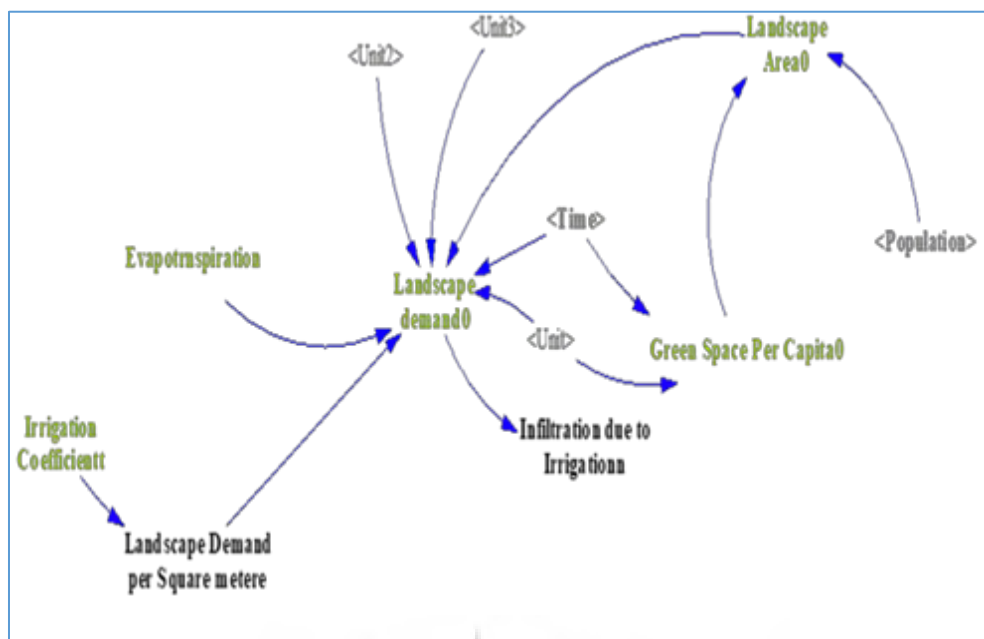
تصفیه فاضلاب شامل تقاضای آب در بخش کشاورزی، عمومی، صنعت، شرب و دیگر تقاضاها می‌شود که بر تصفیه فاضلاب شهری اثرگذار است.



شکل ۲- نمودار حالت و جریان زیر سیستم منابع آب



شکل ۳- نمودار حالت و جریان زیر سیستم تصفیه فاضلاب



شکل ۴- نمودار حالت و جریان زیرسیستم فضای سبز شهری

### سیستم فضای سبز شهری

در نمودار حالت و جریان سیستم فضای سبز، فضای سبز و تقاضای آب برای فضای سبز، از جمله متغیرهای مهم در این سیستم هستند، متغیرهای تبخیر، ضریب آبیاری، سرانه فضای سبز می‌باشد که در مقدار سطح فضای سبز شهرستان زاهدان و تقاضای آب آن مؤثر می‌باشد. در جدول (۱)، مقادیر مهم متغیرهای سیستم فاضلاب شهری شهرستان زاهدان ارائه شده‌است.

جدول ۱- شناسایی مقادیر مهم متغیرهای مهم سیستم فاضلاب شهری شهرستان زاهدان

| متغیرها     | مقادیر اولیه مورد استفاده | واحد                   | منبع                        |
|-------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|
| متغیر ذخیره | کل جمعیت                  | ۹۴۵۶۷ نفر              | سازمان مدیریت و برنامه ریزی |
|             | منابع آب سطحی             | ۱۰۱۴۵ میلیون مترمکعب   | شرکت آب منطقه استان         |
|             | منابع آب زیر زمینی        | ۱۲۰۹۱۴ میلیون مترمکعب  | آمارنامه جهادکشاورزی        |
| متغیر ثابت  | سرانه مصرف آب شرب         | ۱۷۱/۸۷ مترمکعب         | شرکت آبفا                   |
|             | سرانه مصرف فضای سبز       | ۷/۱۶۹۱ مترمربع / جمعیت | شرکت آبفا                   |

ابزار انجام این مدل‌سازی نرم افزار Vensim و بازه زمانی مورد مطالعه از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۴۰۲ با گام‌های زمانی ماهانه در نظر گرفته شده‌است. زیرسیستم‌ها و جزئیات مدل توسعه داده شده که با یافتن نقاط پیوند بین اجزاء هر سیستم و تبدیل و یکسان سازی واحدها، یکپارچه سازی انجام شده‌است.

### سناریوها

در این پژوهش براساس اطلاعات به‌دست آمده و داده‌های جمع‌آوری شده طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲، پیش‌بینی سناریوهای ۱۴۰۳ تا ۱۴۱۵ انجام گردید که در ابتدا سناریوی پایه (BAU) تشریح شده‌است و سپس ۳ سناریوی اولیه را با کمک نرم‌افزار ونسیم، پیش‌بینی و تخمین زده شده‌است.



### اول، سناریو BAU

سناریوی پایه، شرایط فعلی را بدون هیچ تغییری نشان می‌دهد و ادامه شرایط موجود در منطقه مورد پژوهش می‌باشد. بدین معنا که اگر هیچ فعالیت مدیریتی یا تغییری در روند فعلی انجام نگیرد، از لحاظ جمعیتی، منابع آب، کمبود، تصفیه فاضلاب و فضای سبز، در آینده در منطقه مورد مطالعه چه وضعیتی پیش می‌آید.

### دوم، سناریوهای اولیه

در این پژوهش سه سناریو به عنوان سناریوهای اولیه شامل ۱- افزایش راندمان خط آبرسانی و برقراری آورد هیرمند از ۸۰ درصد به ۹۵ درصد ۲- افزایش راندمان آبیاری از ۳۵ درصد به ۷۵ درصد و ۳- کاهش سطح زیر کشت اراضی در شهرستان زاهدان به ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است.

مطابق جدول (۲) برای ارزیابی بهتر عملکرد مدل، کل سری زمانی به دو مجموعه داده تقسیم می‌گردد. بخش اول، شامل داده‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۰ که برای مدل کالیبره‌سازی استفاده می‌شود و یک مجموعه داده دیگر در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۶ برای اعتبارسنجی مدل استفاده می‌شود.

جدول ۲- آزمون‌های مدل پارامترهای آماری

| متغیر                      | کالیبراسیون |      |      |       |       |      |      |       |      |      |      |      | اعتبارسنجی |
|----------------------------|-------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------------|
|                            | سال         | ۸۶   | ۸۸   | ۹۰    | ۹۲    | ۹۴   | ۹۶   | $R^2$ | ۹۷   | ۹۹   | ۱۴۰۰ | ۱۴۰۱ | ۱۴۰۲       |
| جمعیت                      | NSE         | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹  | ۰/۹۲  | ۱/۲  | ۰/۹۹ | ۰/۷۴  | ۰/۶۲ | ۱/۶  | ۱/۲۸ | ۱/۳۶ | ۱/۵۷       |
|                            | RMSE        | ۰/۲۸ | ۰/۲۸ | ۰/۲۸  | ۰/۱۲  | ۰/۳۱ | ۰/۲۸ | ۰/۲۲  | ۰/۲۲ | ۰/۲۹ | ۰/۳۲ | ۰/۳۳ | ۰/۳۶       |
| منابع آب سطحی              | NSE         | ۰/۵۴ | ۰/۵۵ | ۰/۶۹  | ۰/۲۸  | ۰/۸۹ | ۰/۵۶ | ۰/۷۸  | ۰/۹۳ | ۰/۸۸ | ۰/۷۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۱       |
|                            | RMSE        | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۵  | ۰/۱۵  | ۰/۱۸ | ۰/۲۱ | ۰/۱۶  | ۰/۱۶ | ۰/۱۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۸ | ۰/۲۷       |
| منابع آب زیرزمینی          | NSE         | ۱    | ۰/۳۹ | ۰/۸۲  | ۰/۷۲  | ۰/۱۲ | ۰/۵۴ | ۰/۸۷  | ۰/۹۱ | ۰/۸۸ | ۰/۵۴ | ۰/۵۵ | ۰/۲۹       |
|                            | RMSE        | ۰/۲۸ | ۰/۱۸ | ۰/۰۱۴ | ۰/۲۴  | ۰/۱  | ۰/۲۱ | ۰/۰۹  | ۰/۰۹ | ۰/۰۸ | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۵       |
| مساحت فضای سبز شهری زاهدان | NSE         | ۰/۱۲ | ۰/۵۴ | ۰/۱۱  | ۰/۰۸۹ | ۰/۵۴ | ۰/۵۵ | ۰/۹۳  | ۰/۲۹ | ۰/۲۸ | ۰/۷۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۱       |
|                            | RMSE        | ۰/۱  | ۰/۲۱ | ۰/۰۹  | ۰/۰۸۶ | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۵  | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۸ | ۰/۲۷       |

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج کالیبراسیون، مطابق جدول (۲)، اغلب مقادیر ضریب تعیین بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده تمامی متغیرهای سطح بالاتر از ۵۵ درصد است و معیار نش- ساتکلیف (NSE) نزدیک به ۱ و همچنین مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) کمتر از ۰/۳ می‌باشد که مبنای نسبتاً خوبی برای پیش بینی‌های ساخته شده است و نتایج اعتبارسنجی در اکثر مقادیر مطلوب معیار نش- ساتکلیف (NSE) بیشتر از ۰/۸ و خطای جذر مربعات (RMSE) عددی حدود ۰/۲ و اغلب موارد ضریب تعیین ( $R^2$ ) بیشتر از ۰/۷ (بجز منابع آب سطحی و زیر زمینی حدود ۰/۵) می‌باشد.

آزمون حساسیت مدل نسبت به تغییرات پارامترهای کلیدی یا همان آزمون حساسیت مقادیر مشخصه‌های نگرانی، نسبت به پارامترهایی که در مرحله واسنجی برآورد شدند، انجام شد. بدین ترتیب میزان حساسیت متغیرهای نیاز آب شرب، سطح زیر کشت و تقاضای

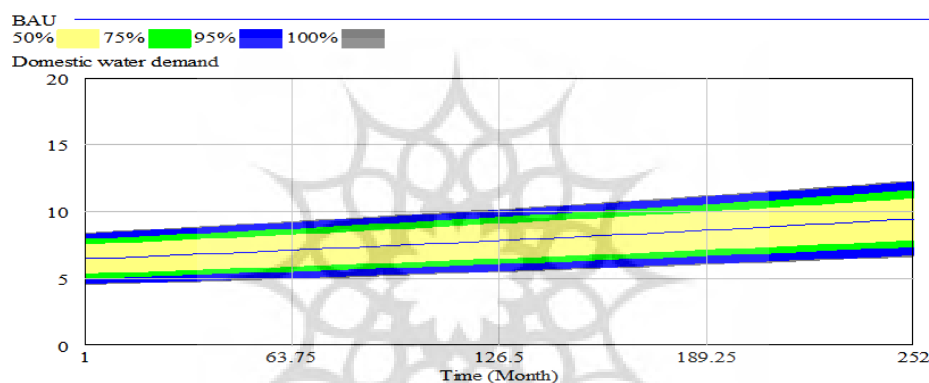


محصولات غذایی در برابر محدوده تغییرات پارامترهای سرانه نیاز آب خانگی در هر روز و راندمان آبیاری مطابق جدول (۳) انجام شد. نتایج به دست آمده در نمودارهای ترسیم شده در شکل‌های (۵) ارائه شده است.

### جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت پارامترها

| پارامتر             | حد بالا | مقدار تخمین زده شده در مرحله کالیبراسیون | حد پایین |
|---------------------|---------|------------------------------------------|----------|
| سرانه مصرف آب خانگی | ۲۱۸     | ۱۵۴                                      | ۱۱۹      |
| راندمان آبیاری      | ۰/۶۰    | ۰/۳۶                                     | ۰/۲۸     |

مطابق شکل (۵)، مشاهده می‌شود پارامتر سرانه نیاز آب شهری و روستایی در هر روز تأثیر به سزایی در تغییرات نیاز آبی خانوارها در تأمین آب شرب در منطقه داشته است. به طوری که با یک افزایش و یا کاهش ۳۰ درصدی در این پارامتر، یک باند تغییر در نیاز آب شرب از حدود ۶ تا حدود ۱۰ میلیون مترمکعب به وجود آورده است. وقوع چنین امری، اهمیت دقت در تخمین پارامترهای ذکر شده، را نشان می‌دهد.



شکل ۵- تغییرات نیاز شرب نسبت به تغییرات سرانه نیاز آب شهری و روستایی در هر روز (۱۴۱۵-۱۳۸۵)

نتایج سناریو پایه (BAU) و سناریوهای اولیه شامل ۱- افزایش راندمان خط آبرسانی و برقراری آورد هیرمند از ۸۰ درصد به ۹۵ درصد ۲- افزایش راندمان آبیاری از ۳۵ درصد به ۷۵ درصد و ۳- کاهش سطح زیر کشت اراضی در زاهدان به ۵۰ درصد در جدول (۳) و نمودارها در پیوست آورده شده است.

سناریو (BAU) ادامه شرایط موجود در شهرستان زاهدان می‌باشد. بدین معناست که اگر هیچ فعالیت مدیریتی انجام نگردد، از لحاظ جمعیتی، کشاورزی، منابع آب، تصفیه آب فاضلاب و فضای سبز در آینده این شهرستان چه وضعیتی را به دنبال خواهد داشت. نتایج شبیه سازی توسعه آینده تحت سناریو BAU در جدول (۳) نشان داده شده است. در زیر سیستم منابع آب، تعادل آب در سال ۱۴۱۵ به ۳۹۶۸۵- میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا می‌کند رسیده است و به همین نسبت کمبود آب در شهرستان به وجود می‌آید. در زیر سیستم تصفیه فاضلاب، آب تصفیه شده به میزان ۷۰۵۵/۰۷ میلیون متر مکعب در سال افزایش پیدا می‌کند. در زیر سیستم فضای سبز، فضای سبز شهری، شهرستان زاهدان در وضعیت فعلی به اندازه ۱۹۱۹۴ مترمربع در سال افزایش پیدا می‌کند.

نتایج حاصل از اعمال سناریو افزایش ۹۵ درصدی راندمان خط آبرسانی (S1)، در زیر سیستم منابع آب، تعادل آب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۵ به میزان ۴۰۸/۸۸- و ۳۷۳۹۱- میلیون مترمکعب در سال که نسبت به سناریو پایه حدود ۲۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال افزایش یافته است و به دنبال آن کمبود آب کاهش یافته است. تصفیه فاضلاب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۵ به میزان ۲۷۸/۱۹ و ۱۵۶۰۵- میلیون مترمکعب در سال که نسبت به شرایط پایه افزایش پیدا کرده است. همچنین تقاضای آب فضای سبز شهری در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۵ به میزان ۳۱۶/۵۶ و ۱۸۱۴۲- میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کرده است.

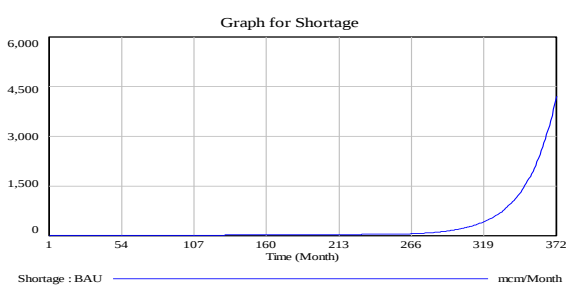
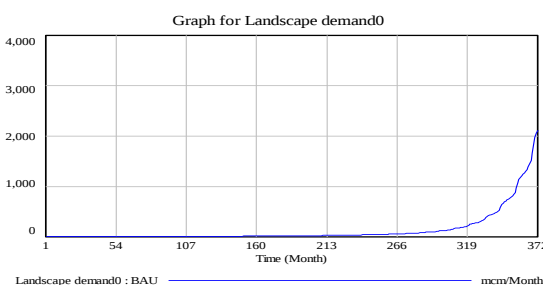
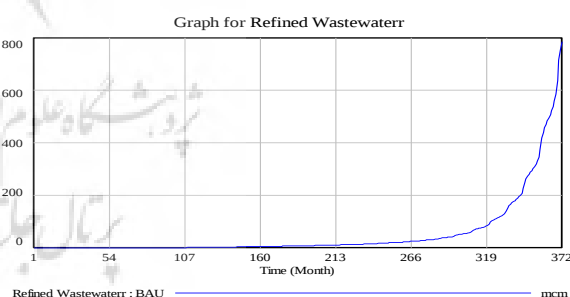
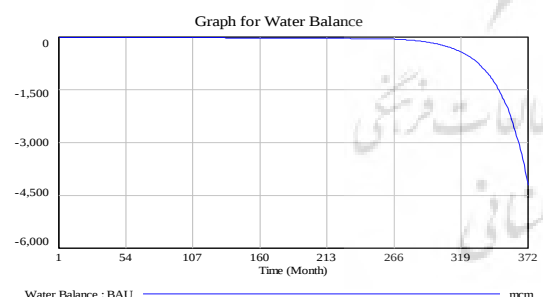


نتایج حاصل از برآورد سناریو افزایش ۷۵ درصدی راندمان آبیاری (S2) نشان می‌دهد که در زیر سیستم منابع آب، تعادل آب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۰ به میزان ۳۸۰/۵۲- و ۱۷۱۷۵- میلیون مترمکعب در سال که نسبت به سناریو پایه حدود ۲۲۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال افزایش یافته است و به دنبال آن کمبود آب کاهش یافته است. تصفیه فاضلاب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۵ به میزان ۱۴۱/۶۸ و ۸۷۱۷ میلیون مترمکعب در سال که نسبت به شرایط پایه افزایش پیدا کرده است. همچنین تقاضای آب فضای سبز شهری در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۵ به میزان ۳۰۰/۶۴ و ۱۰۰۷۸ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کرده است.

نتایج حاصل از اجرای سناریو کاهش ۵۰ درصد از سطح زیر کشت کل (S3) نشان می‌دهد که در زیر سیستم منابع آب، تعادل آب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۰ به میزان ۳۳۴/۰۵- و ۶۴۱۰- میلیون مترمکعب در سال که نسبت به سناریو پایه حدود ۳۳۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال افزایش یافته است و به دنبال آن کمبود آب به میزان بسیار زیادی کاهش یافته است. تصفیه فاضلاب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۰ به میزان ۹۹/۱۵۹ و ۱۹۱۹ میلیون مترمکعب در سال که نسبت به شرایط پایه کاهش پیدا کرده است. همچنین تقاضای آب فضای سبز شهری در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۱۰ به میزان ۲۳۷/۹۷ و ۵۰۳۶ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کرده است.

### جدول ۳- مقادیر شبیه سازی متغیرهای کلیدی در سناریو پایه و سایر سناریوها

| ۱۴۱۵ (بر حسب متر مکعب) |                   |                   |                     | ۱۴۰۲ (بر حسب متر مکعب) |                   |                   |                     | مقایسه شرایط فعلی با           |
|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|
| (S <sub>3</sub> )      | (S <sub>2</sub> ) | (S <sub>1</sub> ) | (S <sub>BAU</sub> ) | (S <sub>3</sub> )      | (S <sub>2</sub> ) | (S <sub>1</sub> ) | (S <sub>BAU</sub> ) |                                |
| -۳۹۶۸۵                 | -۳۹۶۸۵            | -۳۹۶۸۵            | -۳۹۶۸۵              | -۴۰۸/۸۸                | -۴۰۸/۸۸           | -۴۰۸/۸۸           | -۴۰۸/۸۸             | تعادل آب (سناریوها شرایط فعلی) |
| -۶۴۱۰                  | -۱۷۱۷۵            | -۳۷۳۹۱            | -                   | -۳۳۴/۰۵                | -۳۸۰/۵۲           | -۴۰۸/۸۸           | -                   | تعادل آب (تحت سناریو)          |
| -۳۹۶۸۵                 | ۳۹۶۸۵             | ۳۹۶۸۵             | -۳۹۶۸۵              | ۴۰۸/۸۸                 | ۴۰۸/۸۸            | ۴۰۸/۸۸            | -۴۰۸/۸۸             | کمبود آب (شرایط فعلی)          |
| ۶۴۱۰                   | ۱۷۱۷۵             | ۳۷۳۹۱             | -                   | ۳۳۴/۰۵                 | ۴۰۸/۸۸            | ۴۰۸/۸۸            | -                   | کمبود آب (تحت سناریو)          |
| ۷۰۵۵/۰۷                | ۷۰۵۵/۰۷           | ۷۰۵۵/۰۷           | ۷۰۵۵/۰۷             | ۱۱۳/۸۰۲                | ۱۱۳/۸۰۲           | ۱۱۳/۸۰۲           | ۱۱۳/۸۰۲             | تصفیه فاضلاب (شرایط فعلی)      |
| ۱۹۱۹                   | ۸۷۱۷              | ۱۵۶۰۵             | -                   | ۹۹/۱۵۹                 | ۱۴۱/۶۸            | ۲۷۸/۱۹            | -                   | تصفیه فاضلاب (تحت سناریو)      |
| ۱۹۱۹۴                  | ۱۹۱۹۴             | ۱۹۱۹۴             | ۱۹۱۹۴               | ۳۱۶/۵۶                 | ۳۱۶/۵۶            | ۳۱۶/۵۶            | ۳۱۶/۵۶              | تقاضای فضای سبز (شرایط فعلی)   |
| ۵۰۳۶                   | ۱۰۰۷۸             | ۱۸۱۴۲             | -                   | ۲۳۷/۹۷                 | ۳۰۰/۶۴            | ۳۱۶/۵۶            | -                   | تقاضای فضای سبز (تحت سناریو)   |



شکل ۶- نمودار تعادل آب، تصفیه فاضلاب، کمبود آب و فضای سبز در وضعیت فعلی



## بحث و نتیجه‌گیری

براساس مطالعات، حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد آب مصرفی در هر اجتماعی تبدیل به فاضلاب می‌شود لذا مدیریت تولید فاضلاب به عبارتی مساوی با مدیریت مصرف آب می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوها نشان می‌دهد که اگر زاهدان تحت شرایط فعلی مدیریت منابع آب پیش رود شاهد عدم تعادل و کمبود آب و افزایش تقاضا برای فضای سبز خواهد بود اما با اعمال سه سناریوی دیگر شاهد افزایش تعادل در منابع آبی و به تبع آن کاهش کمبود آب، افزایش تصفیه فاضلاب و افزایش میزان تولید پساب فاضلاب جهت مصرف و همچنین کاهش تقاضای فضای سبز از منابع آبی متعارف خواهد بود. مدیریت تولید فاضلاب می‌تواند به عنوان منطقی‌ترین و کم هزینه‌ترین راه جهت مدیریت فاضلاب مطرح باشد. در واقع بی‌توجهی به این بخش بی‌گمان موجب هدر رفت منابع و امکانات خواهد بود. جمع‌آوری و انتقال فاضلاب می‌بایست با توجه به موارد متعددی از جمله ملاحظات اقتصادی، امکان استفاده دوباره از فاضلاب در محل تولید آن و موارد دیگر مورد توجه قرار گیرد. جمع‌آوری و انتقال فاضلاب یکی از ارکان مدیریت فاضلاب محسوب می‌شود. لذا با توجه به نتایج منتج شده از این پژوهش پیشنهاد می‌گردد با توجه به کمبود آب در شرایط فعلی نسبت به کاهش سطح زیر کشت محصولات آب‌بر اقدام نموده و افزون بر این با تجهیز نمودن آبیاری فضای سبز به تکنولوژی مدرن چون قطره‌ای سبب صرفه‌جویی قابل توجهی در شهرستان مورد مطالعه می‌گردد و همچنین نسبت به مدیریت فاضلاب تصفیه‌شده و سرمایه‌گذاری جهت تکمیل و تجهیز تصفیه خانه دوم زاهدان مبادرت ورزند و همچنین نسبت به آگاه‌سازی عموم جهت دفع بهداشتی فاضلاب خانگی و پیوستن به شبکه فاضلاب شهری نسبت به دفع و تصفیه فاضلاب اقدام شود. در ادامه پیشنهاد می‌گردد محققان متغیرهایی مانند ویژگی‌های جمعیتی، مالی و فنی، ویژگی‌های تصادفی داده‌های هیدرولوژیکی و پارامترهای محیطی چون ضرایب تغذیه سفره و... را در مدل وارد نمایند و مورد ارزیابی قرار دهند.

## منابع

- آقابری‌روزپهانی، امین، سیفی، عباس. (۱۴۰۱). پویایی شناسی از پساب فاضلاب شهری و هزینه کنترل آلودگی در آبیاری فضای سبز شهر زاهدان. آب و فاضلاب، ۳۰ (۵ (مسلسل ۱۲۳))، ۹۹-۱۱۱. <https://sid.ir/paper/103726/fa>
- ابراهیم زاده، عیسی، سرائانی، اعظم، و عرفانی، محمد. (۱۳۹۱). تحلیلی بر توزیع فضایی - مکانی کاربری فضای سبز و مکان یابی بهینه آن در منطقه یک شهر زاهدان. آمایش محیط، ۵ (۱۷)، ۱۳۱-۱۵۱. <https://sid.ir/paper/130469/fa>
- اسکندری ثانی، محمد، علیزاده هی هی، مهدیه، رضائی‌نسب، آزاده. (۱۴۰۲). واکاوی اثرات اجتماعی توسعه‌ی فضای سبز شهری مطالعات مدیریت توسعه سبز، ۲ (۲): ۸۸-۱۰۲. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2023.6669.1039>
- براتی، ابراهیم. (۱۴۰۱). تحلیلی بر دیدگاه‌ها و نظریات رویکرد شهرآکولوژیک. مطالعات مدیریت توسعه سبز، ۱۰ (۲): ۷۳-۹۰. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2023.5957.1013>
- براتی، ابراهیم، صابری، حمید. (۱۴۰۱). الگوی نظری مصرف پایدار مواد و انرژی در شهرهای اکولوژیک، مطالعات مدیریت توسعه سبز، ۱ (۱): ۸۱-۹۲. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2022.5657.1005>
- دری، محمد، شهرکی، جواد، و سردار شهرکی، علی. (۱۳۹۸). ارزیابی اقتصادی استفاده. (۱۴۰۱). دانشگاه سبز؛ راهبرد مدیریت منابع و توسعه پایدار دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. مطالعات مدیریت توسعه سبز، ۱ (۱): ۹۳-۱۱۶. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2022.5844.1012>
- دیانتی، سیامک، اسلامی، علی‌رضا، کاویانی، بهزاد، روشنی، محمود، پوررمضان، عیسی. (۱۴۰۳). تحلیل زیباشناسی در انتخاب درختان و درختچه‌های مناسب فضای سبز شهری دیلمان با تأکید بر گونه‌های بومی. مطالعات مدیریت توسعه سبز، ۱۰ (۲): ۷۳-۱۰۱. <https://doi.org/10.22077/jgdms.2024.7446.1108>
- رهنما، امید. (۱۴۰۰). مدیریت شهری و رفع چالش توسعه و گسترش فضای سبز در قوانین و مقررات. کنفرانس بین المللی مدیریت، حسابداری و توسعه اقتصادی. <https://sid.ir/paper/901235/fa>



- رونقی، فریبا. (۱۳۹۵). بحران آب و راهکارهای مصرف بهینه. کنفرانس بین المللی تحقیقات در مهندسی عمران، معماری، دومین همایش بین المللی شهرسازی و محیط زیست پایدار (استانبول). SID. <https://sid.ir/paper/830033/fa>.
- عنابستانی، علی اکبر، عنابستانی، زهرا و موسوی نقلی، فاطمه. (۱۴۰۲). تحلیل عوامل موثر بر پراکنش فضاهای سبز شهری با تکیه بر رهیافت عدالت محیط زیستی (مطالعه موردی: شهر اصفهان). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۴ (۵۳): ۸۳-۱۱۴. <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.373976.0>
- فخیمی حسین زاد، س.، علوی متین، ی.، ایرانزاده، س. (۱۴۰۲). شبیه سازی مدیریت یکپارچه دارایی های سیستم های شبکه های توزیع آب و جمع آوری فاضلاب شهری با استفاده از مدل سازی دینامیکی نرم افزار ونسیم (مطالعه موردی شهر تبریز). مجله آب و فاضلاب، ۳۴ (۵): ۶۵-۷۰. <https://doi.org/10.22093/wwwj.2023.420464.3378>
- کریمی سه قلعه، حسین، پردل نوقابی، رسول، و تاج آبادی، شیمیا. (۱۳۹۴). همایش آب و محیط زیست: مدیریت کاربرد سیستم های فاضلاب. کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. SID. <https://sid.ir/paper/869680/fa>
- الله یاری، الهه، مزاری مقدم، نرجس سادات، ناصح، نگین. (۱۴۰۲). دانشگاه سبز، راهبرد مدیریت منابع و توسعه پایدار دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. مطالعات مدیریت توسعه سبز، ۲ (۳): ۲۵-۷. <https://www.sid.ir/paper/1116537/fa>
- محمودی، پیمان، شکیب، هانیه، سرگلزایی مقدم، فرزانه. (۱۳۸۷). بررسی تأثیر روند افزایش جمعیت بر روی منابع آب زیرزمینی در شهر زاهدان، کنفرانس بین المللی بحران آب. <https://sid.ir/paper/814421/fa>
- ملکی، سعید، سرحانی، فائقه، رفیعی راکی، سحر. (۱۳۹۷). فضای سبز و نقش آن در ارتقای کیفیت محیط شهری، رویکردهای پژوهشی در علوم اجتماعی، ش ۱۳، ۲۰۹-۱۹۵ <http://www.RassJournal.ir>. ISSN: 2476-3675
- نوریان، فرشاد، خاکپور، امین، و کربلایی حسینی غیاثوند، ابوالفضل. (۱۳۹۷). ارزیابی محدوده های پیشنهادی طرح تفصیلی برای کاربری فضای سبز شهری با استفاده از تحلیل شبکه ای (ANP) در (GIS) (مطالعه موردی: ناحیه جوادیه منطقه ۱۶ تهران). پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۹ (۳۵): ۹۷-۱۱۰.
- Aghaei-Ruzbahani, A., & Seifi, A. (2019). Dynamics of urban wastewater effluent and pollution control costs in green space irrigation in Zahedan city. *Water and Wastewater*, 30(5), 99-111. <https://sid.ir/paper/103726/fa>, (In Persian)
- Ahmed, A. A., Sayed, S., Abdoulhalik, A., Moutari, S., & Oyedele, L. (2024). Applications of machine learning to water resources management: A review of present status and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 140715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140715>
- Allahyari, E., Mazari-Moghaddam, N., & Naseh, N. (1402). Green University, Resource Management Strategy and Sustainable Development of Birjand University of Medical Sciences. *Green Development Management Studies*, 2(3), 7-25. <https://www.sid.ir/paper/1116537/fa>. (In Persian)
- Anabastani, A. A., Anabastani, Z., & Mousavi Negli, F. (2023). Analysis of factors affecting the distribution of urban green spaces based on the environmental justice approach (case study: Isfahan city). *Geographical Studies of Arid Regions*, 14(53), 83- 114. <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.373976>. (In Persian)
- Barati, E. (2021). An Analysis of Views and Theories of the Ecological City Approach. *Green Development Management Studies*, 10(2), 73- 90. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2023.5957.1013>. (In Persian)
- Barati, E., & Saberi, H. (2021). A Theoretical Model of Sustainable Consumption of Materials and Energy in Ecological Cities. *Green Development Management Studies*, 1(1), 81-92. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2022.5657.1005>. (In Persian)
- Coison, T., Musson, A., Pene, S. D., & Rousselière, D. (2024). Disentangling public urban green space satisfaction: Exploring individual and contextual factors across European cities. *Cities*, 152, 105154. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105154>
- Dari, M., Shahraki, J., & Sardar Shahraki, A. (2019). Economic evaluation of use. Green University; Resource Management Strategy and Sustainable Development of Birjand University of Medical



- Sciences. *Green Development Management Studies*, 1(1), 93- 116. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2022.5844.1012>. (In Persian)
- Dianti, S., Eslami, A. R., Kaviani, B., Roshani, M., & Pourramazan, I. (2019). Aesthetic analysis in selecting suitable trees and shrubs for urban green spaces in Deylaman with emphasis on native species. *Green Development Management Studies*, 10(2), 73-101. <https://doi.org/10.22077/jgdms.2024.7446.1108>. (In Persian)
- Ebrahimzadeh, I., Sarayani, A., & Erfani, M. (2012). An analysis of the spatial-spatial distribution of green space use and its optimal location in the first district of Zahedan city. *Environmental Planning*, 5(17), 131-151. <https://sid.ir/paper/130469/fa>. (In Persian)
- Eekhout, J. P. C., Delsman, I., Baartman, J. E. M., Van Eupen, M., Van Haren, C., Contreras, S.,... & De Vente, J. (2024). How future changes in irrigation water supply and demand affect water security in a Mediterranean catchment. *Agricultural Water Management*, 297, 108818. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108818>
- Eskandari Sani, M., Alizadeh Hei Hei, M., Rezaei Nasab, A. (2013). Analysis of the social effects of urban green space development. *Green Development Management Studies*, 2(2), 102-88. <https://doi.org/10.22077/jgmd.2023.6669.1039>. (In Persian)
- FakhimiHosseinzad, S., Alawi Matin, Y., & Iranzadeh, S. (2023). Simulation of integrated asset management of urban water distribution and wastewater collection systems using dynamic modeling of Vanisim software (case study: Tabriz city). *Journal of Water and Wastewater*, 34(5), -65. <https://doi.org/10.22093/wwj.2023.420464.3378>. (In Persian)
- HAMED, L. M., Dhaouadi, L., Zehri, F. A. T. M. A., Tiba, S., Besser, H., Karbout, N., & Emara, E. I. (2024). Examining the relationship between the economic growth, energy use, CO2 emissions, and water resources: Evidence from selected MENA countries. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.04.002>
- He, M., Wu, Y., Liu, X., Wu, B., & Fu, H. (2023). Constructing a multi-functional small urban green space network for green space equity in urban built-up areas: A case study of Harbin, China. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21671>
- Jin, Z., Wang, C., Jiao, X., Yu, S., Yang, C., Xie, F., & Miao, Y. (2024). Spatiotemporal pattern and influencing factors of urbanization quality in county areas of Shandong Province, China. *Ecological Indicators*, 163, 112132. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112132>
- Karimi Se-Ghaleh, H., Pardel Noghabi, R., & Tajabadi, S. (2015). Water and Environment Conference: Wastewater System Application Management. National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. <https://sid.ir/paper/869680/fa>. (In Persian)
- Liaqat, M., Sherif, M. U., Baig, F., & Al-Rashed, M. (2023). Water resources availability, sustainability and challenges in the GCC countries: An overview. *Heliyon*. 9(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20543>.
- Mahmoudi, Peyman, Shakiba, Haniyeh, and Sargolzaei Moghadam, Farzaneh. (1387). Investigating the impact of population growth on underground water resources in Zahedan city. International Conference on Water Crisis. SID. <https://sid.ir/paper/814421/fa> (In Persian)
- Malaki, S., Sarhani, F., & Rafiei Raki, S. (2018). Green Space and Its Role in Improving the Quality of the Urban Environment. *Research Approaches in Social Sciences*, 13, 209-195 <http://www.RassJournal.ir>. (In Persian)
- Norian, F., Khakpour, A., & Karbalaee Hosseini Ghiathvand, A. (2018). Evaluation of Proposed Areas of Detailed Plan for Urban Green Space Use Using Analysis Network (ANP) in (GIS) (Case Study: Javadieh District, District 16, Tehran). *Urban Research and Planning*, 9(35), 97-110. <https://sid.ir/paper/220298/fa>. (In Persian)



- Oron, G., Or, Y., Shanni, J., Hadad, E., & Fershtman, E. (2024). Managing the kinetic energy of descending greywater in tall buildings and converting them into a valuable source. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31913>
- Pan, Y., Teng, T., Wang, S., & Wang, T. (2024). Impact and mechanism of urbanization on urban green development in the Yangtze River Economic Belt. *Ecological Indicators*, 158, 111612. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111612>
- Rahnama, O. (2017). Urban management and overcoming the challenge of developing and expanding green space in laws and regulations. International Conference on Management, Accounting and Economic Development. <https://sid.ir/paper/901235/fa>. (In Persian)
- Ramaiah, M., Avtar, R., & Kumar, P. (2022). Treated Wastewater Use for Maintenance of Urban Green Spaces for Enhancing Regulatory Ecosystem Services and Securing Groundwater. *Hydrology*, 9(10), 180. <https://doi.org/10.3390/hydrology9100180>.
- Reyes-Paecke, S., Gironás, J., Melo, O., Vicuna, S., & Herrera, J. (2019). Irrigation of green spaces and residential gardens in a Mediterranean metropolis: Gaps and opportunities for climate change adaptation. *Landscape and Urban Planning*, 182, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.006>.
- Ronaghi, F. (2016). Water crisis and solutions for efficient consumption. International Conference on Research in Civil Engineering, Architecture, Second International Conference on Urban Planning and Sustainable Environment (Istanbul). <https://sid.ir/paper/830033/fa>. (In Persian)
- Row, A. T. (1962). The death and life of great American cities. <https://doi.org/10.2307/794509>
- Wang, X., Yao, W., Luo, Q., & Yun, J. (2024). Spatial relationship between ecosystem health and urbanization in coastal mountain city, Qingdao, China. *Ecological Informatics*, 79, 102458.
- Xie, X., Zhou, H., & Gou, Z. (2023). Dynamic real-time individual green space exposure indices and the relationship with static green space exposure indices: A study in Shenzhen. *Ecological Indicators*, 154, 110557. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110557>
- Yalin, D., Craddock, H. A., Assouline, S., Mordehay, E. B., Ben-Gal, A., Bernstein, N., & Cytryn, E. (2023). Mitigating risks and maximizing sustainability of treated wastewater reuse for irrigation. *Water Research X*, 21, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100203>
- Zawadzki, P., Kończak, B., & Smoliński, A. (2023). Municipal wastewater reclamation: Reclaimed water for hydrogen production by electrolysis—A case study. *Measurement*, 216, 112928. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112928>
- Zhou, F., Zhang, W., Jiang, A., Peng, H., Li, L., Deng, L., & Wang, H. (2023). Spatial-temporal variation characteristics and coupling coordination of the “water resources–water environment–water ecology” carrying capacity in the Three Gorges Reservoir Area. *Ecological Indicators*, 154, 110874. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110874>.



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی