تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال بیستم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳
Volume 20, No. 1, Spring 2024 (IR-WRR)
۱۰۹-۱۲۵

توسعه شاخص ترکیبی به منظور ارزیابی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری

سورنا نادری[۱] و علی مریدی[۲*]

چکیده

در جهان امروز که بیش از نیمی از جمعیّت آن در شهرها سکونت دارند و فعالیّت‌های اقتصادی تا حد زیادی متمرکز بر شهرها است، برخورداری از سطح مطلوبی از زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری پیش‌نیاز رشد و توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی و جلوگیری از وقوع بسیاری از بیماری‌ها و مشکلات بهداشتی بحساب می‌آید. علی‌رغم این موضوع تابحال وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری در ایران مورد ارزیابی جامعی قرار نگرفته و این خلاء باعث شده است تا هم اکنون شناخت دقیقی از وضعیّت این زیرساخت‌ها و جوانب آن‌ها در نواحی مختلف ایران وجود نداشته باشد. در همین راستا در این مطالعه ابتدا با استفاده از یک تعمیم غیرپارامتریک از روش تحلیل پوششی داده اقدام به ساخت شاخص ترکیبی به منظور ارزیابی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری برای تمامی استان‌های ایران در بازه ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۰ شده است و سپس با استفاده از الگوی اثرات تصادفی عوامل مؤثر بر وضعیّت زیرساخت‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج، استان‌های مرکزی ایران نظیر اصفهان، یزد و سمنان اغلب از وضعیّت مطلوبی از حیث زیرساخت‌های مذکور برخوردار هستند و در عوض برخی استان‌های نسبتاً محروم نظیر گلستان و سیستان و بلوچستان در کنار برخی از مراکز اقتصادی و جمعیّتی نظیر خوزستان، بوشهر و فارس از جمله استان‌هایی هستند که وضعیّت نازلی از حیث زیرساخت‌های مذکور دارند. مطابق با نتایج الگوی اثرات تصادفی دو عامل شهرنشینی و عملکرد بودجه عمرانی مهم‌ترین محرّک‌های ارتقاء زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری هستند؛ در حالی که تراکم جمعیّت شهری اصلی‌ترین عامل در تنزل وضعیّت زیرساخت‌های مذکور بحساب می‌آید.

کلمات کلیدی: عرضه آب، فاضلاب، شاخص ترکیبی، مزیّت تردید، اهداف توسعه پایدار.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۸/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱/۶

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۳ امکانپذیر است.

Developing a Composite Index to Evaluate the State of Urban Water Supply and Sewage Infrastructures

S. Naderi[1] and A. Moridi[2]*

Abstract

In today's world, where more than half of the population reside in cities and economic activities are largely concentrated in urban areas, having access to a desirable level of urban water supply and sewage infrastructures is essential for the socioeconomic growth and preventing many diseases and health problems. The condition of urban water supply and sewage infrastructure in Iran has not been comprehensively evaluated so far, and this gap has led to a lack of accurate knowledge of the status of these infrastructures and their different aspects in various regions of Iran. In this study, a non-parametric modification of data envelopment analysis was used to construct a composite index for evaluating the status of urban water and sewage infrastructure for all provinces of Iran between 2011 to 2021 and the factors affecting this tatus were evaluated by using random effects models. Based on the results of this study, central provinces of Iran like Isfahan, Yazd, and Semnan mostly have a favorable situation regarding the mentioned infrastructure. Some relatively deprived provinces such as Golestan and Sistan-Baluchestan along with some economic and population centers namely Khuzestan, Bushehr, and Fars are among the provinces that have a lower status. According to the result of the random effects model, the two factors of urbanization and the actual public expenditures are the most important drivers of improving urban water supply and sewage infrastructures, while urban population density is the main factor in deterioration of this infrastructure status.

Keywords: Water Supply, Sewage, Composite Index, Benefit of Doubt, Sustainable Development Goals.

Received: November 13, 2023

Accepted: March 25, 2024

1- M.Sc. Graduate of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics & Agricultural Development, University of Tehran, Karaj, Iran .

2- Assistant Professor, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, ShahidBeheshti University, Tehran, Iran. Email: a_moridi@sbu.ac.ir

*- Corresponding Author

Doi: 10.22034/IWRR.2024.425044.2716

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

ماهیّت میان بخشی و ویژگی‌های منحصر بفرد آب باعث شده تا امروزه به مهم‌ترین چالش در زمینه دستیابی به توسعه پایدار در کشورهای مختلف- بالاخص کشورهای درحال توسعه- تبدیل بشود و هر نوع سوء مدیریت یا مشکلی در زمینه آن با تبعات اساسی اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی همراه باشد (Chapagain et al., 2022; Mohan et al., 2021). این موضوع باعث شده است تا رهبران ۱۹۳ کشور جهان در هنگام تدوین آرمان‌های توسعه پایدار[1] و اهداف آن، آب را به عنوان یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین اجزاء در دستیابی به توسعه پایدار قلمداد کنند (Rimba and Hirabayashi, 2023). در حال حاضر نیز یکی از بزرگترین چالش‌های کشورهای گوناگون بالاخص کشورهای با درآمد متوسط و پایین فقدان و یا عدم کفایت سطح دسترسی به آب و سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب است تا حدّی که افزایش سطح دسترسی به این عوامل تنها در خلال سال‌های ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۶ میزان مرگ و میرهای ناشی از کمبود آب و یا بیماری‌های آب بُرد[2] را بیش از ۳۰۰ هزار عدد کاهش داده است (Prüss-Ustün et al., 2019). به همین سبب در حال حاضر دسترسی به خدمات پایه‌ی آبرسانی و فاضلاب یکی از اصلی‌ترین پیش نیازهای دستیابی به توسعه پایدار بحساب می‌آید و دسترسی به این خدمات پایه نیز خود وابسته به وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب می‌باشد (Rimba and Hirabayashi, 2023) که اگرچه از اهمیّت بسیار بالایی در ریشه‌کن کردن و یا تقلیل دادن مشکلات مربوط به آب برخوردار هستند (Alzyood et al., 2020; Chaysiri et al., 2024; Ferreira et al., 2021) ولی در حال حاضر هم در کشورهای توسعه‌یافته و هم در کشورهای درحال توسعه با کمبودها و نقصان‌های متعددی روبرو می‌باشند (Grigg, 2019; World Water Assessment Programme, 2015). با توجه به اینکه امروزه بیش از ۵۵ درصد از جمعیّت جهان در نواحی شهری زندگی می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ این رقم به بالغ بر ۶۵ درصد برسد (United Nations, 2018) وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب در نواحی شهری به طور بالقوه جمعیّت کثیری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و به همین سبب از اهمیّت بسیار بالایی برخوردار است.

با توجّه به اهمیّت زیرساخت‌های آب شهری به منظور داشتن جامعه‌ای مترقی و رو به رشد، سرمایه‌گذاری در این زیرساخت‌ها امروزه یک الزام بحساب می‌آید. از آنجایی که سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها عموماً نیاز به صرف سرمایه‌های کلان دارد و در کشورهای درحال توسعه نظیر ایران تأمین منابع مالی با محدودیّت‌های متعددی روبرو است، بنابراین مهم‌ترین پیش‌نیاز به منظور اتخاذ تصمیمات سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها شناسایی و اولویّت‌بندی نقاط ضعف و قوّت مربوط به آن‌ها است تا بدین ترتیب منابع محدود سرمایه‌ای به سوی بالاترین اولویت‌های سرمایه‌گذاری هدایت شوند (OECD, 2015). در همین راستا مطالعات متعددی در داخل و خارج از طریق مصاحبه با کارشناسان و صاحب نظران آب شهری خلاءها و اولویت‌های مربوط به این حیطه و زیرساخت‌های مرتبط به آن را از طریق تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره[3] (MCDM) مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند (Allan et al., 2021; Grimaldi et al., 2020; Noori et al., 2021; Pokhrel et al., 2023; Yekta et al., 2015). در خصوص این مطالعات لازم به ذکر است که هیچکدام به شکلی جامع و یکپارچه معطوف به زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب نبوده‌اند و این دو نوع زیرساخت را در کنار هم بررسی نکرده‌اند و در عوض معطوف به یک نوع زیرساخت خاص نظیر زیرساخت‌های آبرسانی و یا زیرساخت‌های فاضلاب بوده‌اند. علاوه بر آن با توجّه به ماهیّت روش MCDM و سایر روش‌های مبتنی بر مصاحبه با خبرگان این مطالعات عموماً محدود به یک ناحیه خاص نظیر یک شهر و یا یک استان به خصوص هستند و از آنجایی که نظرات کارشناسان در یک زمان جمع‌آوری می‌شود نتایج مطالعات ماهیّت سری‌زمانی ندارند و روند تغییرات رخ داده در وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری را نمی‌توانند در خود منعکس کنند. مضاف بر موارد ذکر شده بکارگیری روش‌های مبتنی بر نظرات کارشناسان و انجام مصاحبه در شرایطی که تعداد معیارهای مرتبط به موضوع مورد مطالعه زیاد هستند می‌تواند به دشوار شدن و یا حتی اریب شدن تحلیل منتهی بشود. به منظور فائق آمدن بر این مشکل بسیاری از مطالعاتی که بر جوانب مختلف آب شهری نظیر زیرساخت‌های آن متمرکز بوده‌اند در سالیان اخیر از رویکرد شاخص ترکیبی استفاده کرده‌اند. مطالعه Khan et al. (2020) با ساخت شاخص ترکیبی اقدام به کمّی‌سازی وضعیّت امنیّت آب شهری در اسلام‌آباد پاکستان نموده و بخشی از شاخص ترکیبی آن نیز مرتبط به زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری بوده است. مطالعه Karimi Alavijeh et al. (2021) جزء معدود مطالعاتی است که روند تغییرات وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری را در ایران مورد بررسی داده است. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی امنیت آب شهری در ایران بود و به این منظور با استفاده از داده‌های با مقیاس ملّی در بازه ۲۰۱۳ الی ۲۰۱۹ اقدام به ساخت شاخص ترکیبی امنیت آب شهری برای کل ایران نموده که زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری را نیز تا حدودی مورد پوشش قرار داده است. با این حال این مطالعه در مقیاس کل کشور انجام شده است و نتایج آن ناهمگنی‌های موجود در میان نواحی مختلف ایران را از حیث وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری نشان نمی‌دهد. بر خلاف مطالعات پیشین مطالعه Jensen and

Khalis (2020) بجای استفاده از داده‌های رسمی از طریق اطلاعات مستخرج از جمع‌آوری پرسشنامه در سال ۲۰۱۸ اقدام به ساخت شاخص ترکیبی به منظور کمّی‌سازی وضعیّت امنیّت آبی در شهر جاکارتا کرده است و زیرساخت‌های آب شهری را نیز مورد تحلیل و بررسی قرار داده است. به طور کلّی می‌توان گفت که در میان مطالعات داخلی و خارجی تقریباً هیچ مطالعه‌ای یافت نشده که به طور جامع به ارزیابی وضعیّت زیرساخت‌های آب و فاضلاب شهری در مقیاس کلان پرداخته باشد. اکثر مطالعاتی که به عنوان هدف اصلی و یا فرعی‌شان به این موضوع پرداخته‌اند نیز محدود به یک شهر و یا یک استان خاص بوده‌اند و نتایج آن‌ها امکان مقایسه میان شهرها و یا استان‌های مختلف را فراهم نمی‌کرده است. علاوه بر آن اغلب این مطالعات نیز فاقد ماهیّت سری زمانی هستند و روند تغییرات در وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری در طول زمان را در خود منعکس نمی‌کنند. این خلاءها در میان مطالعات داخلی و خارجی باعث شده است تا تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در خصوص زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری در مقیاس کلان دارای ابهام باشد و اولویت‌های سرمایه‌گذاری و تخصیص بودجه به این امور با ابهام روبرو شود.

همانطور که مشاهده شد وجه تشابه تعداد زیادی از مطالعاتی که در زمینه ارزیابی زیرساخت‌های آب شهری انجام شده‌اند استفاده آن‌ها از شاخص‌های ترکیبی است. شاخص‌های ترکیبی نماگرهای بدون واحدی هستند که از ترکیب مجموعه‌ای از متغیرهای مختلف بوجود می‌آیند (Freudenberg, 2003; OECD, 2008) و از آنجایی که عملاً همانند یک روش کاهش ابعاد عمل می‌کنند (OECD, 2008) در مطالعاتی که موضوع بررسی‌شان از جوانب متعدد و متغیرهای پرشماری برخوردار است می‌توانند بسیار مؤثر واقع شوند. علی‌رغم کاربرد گسترده شاخص‌های ترکیبی، مطالعاتی نظیر Cherchye et al. (2007) و Greco et al. (2019) ساخت شاخص‌های ترکیبی را با مشکلاتی نظیر حساس بودن نسبت به روش استانداردسازی، حساس بودن نسبت به وجود همبستگی میان متغیرها، برونزا بودن وزن متغیرها و غیر انعطاف‌پذیر بودن وزن‌ها در طول زمان روبرو می‌دانند که هریک از آنها به طور بالقوه می‌تواند منشائی برای اریب شدن شاخص‌های ترکیبی باشد. به منظور فائق آمدن بر این مشکلات و یا کم اثر کردن آن‌ها تا به‌حال روش‌های متعددی به منظور ساخت شاخص‌های ترکیبی پیشنهاد و ارائه شده است که یکی از پرکاربردترین آن‌ها که می‌تواند به شکل قابل توجهی از بروز مشکلات ذکر شده پیشگیری نماید روش موسوم مزیّت تردید[۴] یا به اختصار BOD است که یک روش غیر پارامتریک مبتنی بر روش تحلیل پوششی داده[۵] یا به اختصار DEA است. روش DEA به خودی خود یک روش ساخت شاخص ترکیبی به‌حساب نمی‌آید و کاربرد آن در حیطه ارزیابی کارایی و بهره‌وری است ولی با این حال مطالعه Charnes et al. (1978) برای بار اوّل نشان داد که می‌توان چهارچوب نظری آن را با اعمال مجموعه‌ای از تغییرات در ساخت شاخص‌های ترکیبی نیز به کار گرفت. شاخص‌های ترکیبی ساخته شده به روش BOD اگرچه مشکلاتی که پیشتر در خصوص شاخص‌های ترکیبی ذکر شد را تا حد قابل توجهی بلاموضوع می‌کنند ولی با این حال همانند روش DEA حساسیت زیادی به داده‌های پرت دارند و وجود داده‌های پرت در میان مشاهدات می‌تواند نتایج حاصل از شاخص‌سازی را دچار اریب نماید. در سالیان اخیر به منظور حل این مشکل یک روش غیرپارامتریکِ مبتنی بر DEA توسط مطالعاتی نظیر Daraio and Simar (2007) بر پایه تکنیک بازنمونه‌گیری ارائه شده و توسط مطالعات متعددی نظیر Vidoli et al. (2015) و Vilarinho et al. (2023) در ساخت شاخص ترکیبی نیز بکار گرفته شده است که به آن مزیت تردید مستحکم یا به اختصار RBOD گفته می‌شود. روش RBOD از تمامی مزایای روش BOD برخوردار است ولی مضاف بر آن نسبت به وجود داده‌های پرت نیز مستحکم است و از اریب شدن نتایج شاخص ترکیبی به علّت وجود چنین داده‌هایی تا حد زیادی جلوگیری می‌کند.

برخی پژوهش‌ها علاوه بر ارزیابی وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری به عوامل مؤثر بر آن‌ها نیز اشاره کرده‌اند. نرخ شهرنشینی- به عنوان نسبت جمعیّت شهری به کل جمعیّت- یکی از عواملی است که توسط مطالعات متعددی به عنوان یک عامل اثرگذار بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری قلمداد شده است (McDonald et al., 2014; Montgomery et al., 2003; Sun and Kato, 2021; Tripathi, 2017). مطابق با Montgomery et al. (2003) این اثر مثبت عمدتاً ناشی از افزایش توان مالی نهادهای شهری جهت تجهیز زیرساخت‌های شهری در پی افزایش سطح شهرنشینی است. برخلاف شهرنشینی که انتظار می‌رود اثر مثبتی بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری داشته باشد یافته‌های مطالعه Benito et al. (2019) به طور واضحی نشان‌دهنده اثر منفی افزایش تراکم جمعیّت شهری بر کارایی زیرساخت‌های عرضه‌ی آب شهری است. مطابق با این مطالعه این اثر منفی ناشی از افزایش عواملی نظیر خرابی، شکستگی و آب گرفتگی در شبکه آبرسانی در پی افزایش تراکم جمعیّت است. اثر منفی تمرکز جمعیّت بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری توسط دو پژوهش Tripathi (2017) و Sun and Kato (2021) نیز مشاهده و گزارش شده است. در مطالعه Benito et al. (2019) علاوه بر اثر منفی تمرکز جمعیّت شهری، به اثر منفی درآمد سرانه ساکنین شهرها بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری نیز اشاره شده است. اثر منفی توسعه اقتصادی بر زیرساخت‌های آب شهری توسط مطالعات دیگری نظیر McDonald et al. (2011) نیز مورد اشاره قرار گرفته است. بخشی

از یافته‌های OECD (2016) نیز مؤید یک رابطه تجربی منفی میان برخی جوانب زیرساخت‌های آب شهری نظیر حجم آب بدون درآمد با میزان درآمد شهری است. دلیل اصلی تأثیر منفی افزایش درآمد بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری نیز مطابق با Sun and Kato (2021) می‌تواند ناشی از فشار بالای توسعه اقتصادی بر وضعیّت کمّی و کیفی زیرساخت‌های آب شهری باشد. به طور کلّی می‌توان گفت که مطالعات مختلفی تابحال تلاش کرده‌اند تا برخی از عوامل مؤثر بر وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری را برشمارند ولی تابحال هیچ مطالعه‌ای به طور مشخص با بکارگیری روش‌های آماری تلاش نکرده تا عوامل مختلف اثرگذار بر وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری را مورد شناسایی قرار بدهد و میزان اثرات هریک از آن‌ها را اندازه‌گیری بکند. در نتیجه در حال حاضر شناخت دقیقی نیز در خصوص اینکه چه عواملی باعث می‌شوند تا برخی نقاط از حیث زیرساخت‌های آب شهری برخوردار و برخی نفاط دیگر کمتر برخوردار باشند وجود ندارد.

همانطور که از مرور پیشینه مطالعات مشاهده شد علی‌رغم اهمیّت بالای زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری و نقش مهم آن‌ها در دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی تابحال مطالعات خارجی بسیار اندکی تلاش کرده‌اند تا وضعیّت این زیرساخت‌ها را در مقیاس کلان و در طول زمان مورد تحلیل و بررسی قرار بدهند. در ایران نیز تابحال هیچ مطالعه‌ای به ارزیابی جامع وضعیّت زیرساخت‌های آب و فاضلاب نپرداخته و این حوضه از مطالعات عملا مغفول مانده است. این خلاءهای مطالعاتی باعث شده تا تخصیص بودجه‌های ملّی به زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری و شناسایی اولیّت‌های سرمایه‌گذاری در این زیرساخت‌ها در حال حاضر با ابهام روبرو باشد. از سوی دیگر تابحال هیچ مطالعه‌ای اعم از داخلی و یا خارجی تلاش نکرده تا عوامل اثرگذار بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری را مورد شناسایی و بررسی قرار بدهد و به همین سبب نیز در حال حاضر شناخت دقیقی از علل برخورداری و یا عدم برخورداری شهرها و نواحی مختلف از زیرساخت‌های آب شهری وجود ندارد درحالی که داشتن چنین شناختی به طور بالقوه پیش‌نیاز اتخاذ سیاست‌های جمعیّتی، بودجه‌ای و توسعه شهری است. با هدف رفع خلاءهای مذکور در میان مطالعات پیشین این مطالعه ابتدا اقدام به ساخت شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری می‌کند. به این منظور از روش RBOD استفاده می‌شود که به نوبه خود یکی از اوّلین موارد استفاده از این روش در میان مطالعات مرتبط به آب و زیرساخت‌های آب به‌حساب می‌آید و در ایران نیز یکی از اوّلین موارد بکارگیری از این روش است. نهایتاً نیز تلاش می‌شود تا برای بار اوّل در میان مطالعات اقدام به شناسایی و ارزیابی عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری شود. به این منظور از برآورد الگوهای اثرات تصادفی استفاده می‌شود.

۲- موادّ و روش‌ها

به طور کلّی همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده زیرساخت‌های آب شهری را می‌توان مشتمل بر سه مولفه ۱. زیرساخت‌های عرضه آب، ۲. زیرساخت‌های فاضلاب و ۳. زیرساخت‌های زهکشی و مدیریت سیلاب قلمداد کرد که این سه مؤلفه در کنار یکدیگر وظیفه آبرسانی به مصرف‌کنندگان و سپس جمع‌آوری انواع پساب و رواناب و تصفیه آن را بر عهده دارند (Asghari et al., 2023). از آنجایی که هدف از انجام این مطالعه ارزیابی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری است، زیرساخت‌های زهکشی و مدیریت سیلاب علی‌رغم اهمیّت بالایی که در مدیریت شهری ایفا می‌کنند مورد بحث و بررسی توسط این مطالعه قرار نمی‌گیرند.

نکته دیگری که در شکل ۱ نیز به آن اشاره شده این است که در این مطالعه مؤلفه زیرساخت‌های عرضه خود به دو مؤلفه دیگر شامل ۱. دسترسی و ۲. مدیریّت و پشتیبانی تقسیم می‌شود. این تقسیم‌بندی به منظور افزایش دقّت نتایج حاصل از مطالعه انجام شده است. مؤلفه دسترسی بیانگر آن قسمت از زیرساخت‌های عرضه آب است که به طور مستقیم اسباب دسترسی داشتن جامعه به آب را فراهم می‌آورند و مؤلفه مدیریت و پشتیبانی نیز در برگیرنده آن دسته از زیرساخت‌های عرضه آب است که اگرچه به طور مستقیم باعث افزایش سطح دسترسی افراد جامعه به آب نمی‌شوند ولی از طریق عواملی نظیر افزایش ظرفیت عرضه و کاهش هدرروی به افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌های آبرسانی در برابر پیک‌های تقاضا، کمبودهای مقطعی آب و مواردی از این قبیل منتهی می‌شوند. با توجه به تفاوت‌های ماهوی که این دو گروه از زیرساخت‌های عرضه آب با یکدیگر دارند در این مطالعه از یکدیگر تفکیک شده‌اند و همانطور که در ادامه نیز توضیح داده خواهد شد به شکل منفک از یکدیگر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۱- شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری

همانطور که پیشتر نیز توضیح داده شد در این مطالعه به منظور بررسی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری اقدام به ساخت شاخص ترکیبی می‌شود. به طور مشابه با شکل ۱ شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری (یا به اختصار UWSSI[6]) متشکّل از سه بُعد اصلی ۱. دسترسی، ۲. مدیریت و

پشتیبانی و ۳. فاضلاب است که هریک از این سه بُعد خود شامل چند متغیر است. متغیرهای موجود در هر یک از این سه بُعد به همراه روش محاسبه، واحد اندازه‌گیری، جهت و مأخذ گردآوری در جدول ۱ ارائه شده است.

همانطور که در جدول ۱ مشخص است متغیرهای موجود در بُعد دسترسی عبارت‌اند از ۱. سرانه انشعابات آب شهری (V1)، ۲. سرانه طول خطوط توزیع آب (V2) و ۳. درصد شهرهای دارای دسترسی به تأسیسات آب شرب (V3). به همین منوال متغیرهای موجود در بُعد مدیریت و پشتیبانی نیز عبارت‌اند از ۱. سرانه حجم مخازن آب شهری (V4)، ۲. نسبت آب بدون درآمد به کل آب تولید شده (V5) و ۳. نسبت ظرفیت تأمین آب در ثانیه به حجم آب تولید شده در ثانیه (V6).

در متغیر V4 منظور از مخازن آب شهری مخازنی است که آب شهری پیش از ورود به تصفیه‌خانه‌ها ابتدا در آنها ذخیره‌سازی می‌شود. اهمیّت این مخازن ایجاد تاب‌آوری کوتاه‌مدت نسبت به شوک‌های خارجی در تأمین آب و ایجاد پایداری در شبکه آبرسانی است. در متغیر V5 نیز منظور از آب بدون درآمد حجمی از آب است که با هدف رسیدن به دست مصرف‌کنندگان وارد شبکه آب شهری می‌شود ولی به دلایلی اعم از نشت یا سرقت به دست مصرف‌کنندگان نمی‌رسد و یا درنتیجه خطا یا دستکاری کنتور مورد محاسبه قرار نمی‌گیرد. آب بدون درآمد نه تنها باعث دشوار شدن تأمین تقاضای آب می‌شود بلکه برای نهاد متولّی آب شهری بار مالی نیز در پی دارد؛ زیرا اگرچه هزینه‌های مرتبط به این آب را متحمل شده ولی نمی‌تواند بابت آن پولی از مصرف‌کنندگان دریافت نماید (Frauendorfer and Liemberger, 2010). همانطور که در جدول ۱ اشاره شده به منظور محاسبه این متغیر ابتدا از تقسیم حجم فروش آب به حجم تولید آب[۷] سهم آب درآمدی از کل آب تولید شده محاسبه می‌شود و سپس با کم کردن آن از عدد یک نسبت آب بدون درآمد به کل آب تولید شده بدست می‌آید.

در متغیر V6 نیز حداکثر ظرفیت تأمین آب در ثانیه بیانگر حداکثر مقدار آبی است که تأسیسات آب شهری قادر هستند تا در صورت وجودِ مقدار آب کافی در هر ثانیه عرضه نمایند. اگر مقدار آب تولید شده انعکاسی از آب لازم به منظور تأمین نیازهای شهری باشد آنگاه نسبت ظرفیت تأمین به حجم تولید آب بیانگر ظرفیت تأسیسات آب شهری در تأمین هرچه راحت‌تر تقاضای آب است. با فرض دسترسی به آب کافی هرچه این نسبت بزرگتر باشد یعنی تأسیسات عرضه آب شهری از ظرفیّت بالاتری برای برآورده کردن تقاضای آب بالاخص در دوران پیک تقاضا برخوردارند.

بُعد فاضلاب نیز به موازات دو بُعد دیگر شامل سه متغیر است که به ترتیب عبارت‌اند از: ۱. درصد جمعیت تحت پوشش خدمات جمع‌آوری و دفع فاضلاب شهری (V7)، ۲. درصد شهرهای دارای دسترسی به انشعاب فاضلاب (V8) و ۳. تعداد تصفیه‌خانه فاضلاب به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیّت شهری (V9).

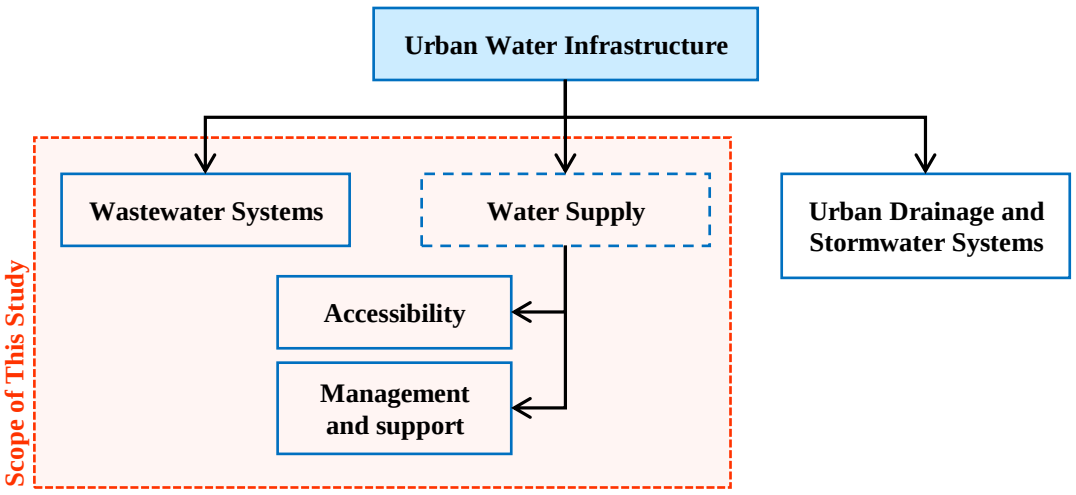

Fig. 1 – Urban water infrastructures and its components (Inspired by Asghari et al. 2023)
شکل ۱- ابعاد زیرساخت‌های آب شهری و مؤلفه‌های آن (برگرفته از مطالعه Asghari et al. (2023))

Table 1– Different dimensions of UWSSI and their variables

جدول ۱- ابعاد گوناگون شاخص UWSSI و متغیرهای هریک از آنها

Dimension	Variables[1] [Calculation method]	Symbol	Unit[2]	Dir[3]
Accessibility	Per capita number of urban potable water branches [Number of water branches divided by urban population].	V1	N/P	+
	Per capita length of urban potable water distribution network [Length of water distribution network divided by urban population].	V2	m/P	+
	Fraction of cities with access to potable water [Number of cities with access to potable water divided by total number of cities].	V3	%	+
Management and support	Per capita volume of urban water reservoirs [Volume of urban water reservoirs divided by urban population].	V4	m^3/P	+
	Ratio of non-revenue water to total produced water [1 - (Sold water/Produced Water)].	V5	%	-
	Ratio of maximum water supply capacity to Total produced water in each second [Maximum water supply capacity divided by total produced water].	V6	Unitless	+
Sewage	Percentage of urban population covered with sewage collection facilities [Directly extracted from Statistical center of Iran's yearbooks]	V7	%	+
	Fraction of cities with access to sewage collection networks [Number of cities with access to sewage collection networks divided by total number of cities].	V8	%	+
	Number of wastewater treatment facilities for each 100000 urban residents [Number of wastewater treatment facilities divided by urban population (Multiplied by 100000)].	V9	N/P	+

1-All variables and the data used to create them are derived from Statistical center of Iran's annual yearbook. 2-N=Number, 3-Positive and negative signs respectively indicate that the more is better and the less is better. P=Person, m=meter.

۱- تمامی متغیرها و اطلاعاتی که برای ایجاد آنها مورد استفاده قرار گرفته شده است از سالنامه‌های مرکز آمار ایران استخراج شده‌اند. ۲- نمادهای N، P و m به ترتیب بیانگر تعداد، نفر و متر هستند. ۳- علامت مثبت و منفی به ترتیب یعنی مقدار بیشتر متغیر بهتر است و مقدار کمتر متغیر بهتر است.

۲-۲- ساخت شاخص ترکیبی

همانطور که پیشتر گفته شد در این مطالعه از روش RBOD به منظور ساخت شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری استفاده می‌شود که حالتی تعمیم یافته از روش DEA است. روش DEA یک روش پارامتریک مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی کارایی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده[8] یا به اختصار DMU بر اساس اطلاعات مقداری ستانده‌ها و نهاده‌هایشان است (Cherchye et al., 2007). با فرض اینکه x و y به ترتیب بیانگر بردار نهاده و ستانده باشند در روش DEA فرض می‌شود که هر DMU درحال ترکیب تعداد p نهاده (یا $x = (x_1, x_2, \dots, x_p) \in \mathbb{R}_+^p$) به منظور تولید تعداد q ستانده (یا $y = (y_1, y_2, \dots, y_p) \in \mathbb{R}_+^q$) در امکان تولید $\psi = \{(x,y) | x \in \mathbb{R}_+^p, y \in \mathbb{R}_+^q\}$ است (Fusco, 2015). با قرار دادن اطلاعات مقدار نهاده‌ها و ستانده‌های هر DMU در یک معادله برنامه‌ریزی خطی مقادیر کارایی مرزی[9] محاسبه می‌شود و کارایی هر DMU بر اساس فاصله آن با کارایی مرزی مورد محاسبه قرار می‌گیرد (Ray, 2004; Shephard, 1970). در این روش کارایی همواره عددی بین ۰ الی ۱ است به طوری که اگر DMU روی کارایی مرزی قرار داشته باشد کارایی‌اش برابر با یک، و هرچه از کارایی مرزی فاصله بگیرد کارایی‌اش کم شده و به صفر نزدیک می‌شود.

حال به منظور ساخت شاخص ترکیبی به روش BOD اگر قصد داشته باشیم n متغیر مختلف را در میان N عدد استان- با فرض اینکه استان‌ها همان DMUها هستند- با یکدیگر ترکیب کنیم کافیست تا این n متغیر را به عنوان ستانده‌های هر استان درنظر بگیریم و سپس برای تمامی استان‌ها تنها یک نهاده که همواره برابر با ۱ است را قرار بدهیم (Cherchye et al., 2007; Fusco, 2015; OECD, 2008). در نتیجه‌ی اینکار امکان تولیدی مشابه با $\psi = \{(1,y) | y \in \mathbb{R}_+^q\}$ خواهیم داشت و بردار شاخص ترکیبی از حل معادله برنامه‌ریزی خطی موجود در رابطه ۱ برای هریک از استان‌ها مورد محاسبه قرار می‌گیرد (Rogge et al., 2017):

$$CI_k = \max_{w_{k,1},\dots,w_k,q} \sum_{p=1}^{P} y_{k,i} w_{k,i} \qquad (۱)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^{q} y_{j,i} w_{k,i} \le 1 \qquad w_{k,i} \ge 0$$

در رابطه ۱، CI_k مقدار شاخص ترکیبی برای استان k، $y_{k,i}$مقدار متغیر i برای استان k و $w_{k,i}$ وزن متغیر i برای استان k است. با این فرض

که تعداد استان‌ها برابر با N و تعداد متغیرها برابر با q است. نهایتاً با استفاده از معادله برنامه‌ریزی خطی فوق مقادیر $w_{k,i}$ برای هر استان طوری محاسبه می‌شود که شاخص ترکیبی آن استان نسبت به سایر استان‌ها در بهترین حالت ممکن قرار بگیرد (OECD, 2008).

حال به منظور تبدیل روش BOD به روش RBOD و ساخت شاخص ترکیبی مستحکم در برابر داده‌های پرت برای یک استان فرضی نظیر k_0 لازم است تا ابتدا از میان تمامی استان‌ها یک نمونه‌گیری تصادفی با جایگذاری با حجم b انجام بشود که در اینجا b می‌بایست یک عدد بزرگ باشد. در نتیجه این کار مجموعه‌ی S_b ایجاد می‌شود. سپس استان‌های موجود در S_bبه طور تصادفی به M گروه مختلف تقسیم می‌شوند که هرکدام از این گروه‌ها تنها برخی از اعضای S_b را درون خود جای داده‌اند. سپس استان فرضی k_0 یکبار درکنار هریک از این M گروه قرار می‌گیرد و هربار یک شاخص ترکیبی برای آن مطابق با رابطه ۱ محاسبه می‌شود به طوری که در محاسبه آن فقط از استان‌های موجود در همان گروه استفاده شده باشد (D'Inverno and De Witte, 2020; Vidoli et al., 2015; Vilarinho et al., 2023). نهایتاً پس از آنکه به ازای هریک از M گروه ایجاد شده یک شاخص ترکیبی نیز برای k_0 محاسبه شد آنگاه مشابه با رابطه ۲ شاخص ترکیبی نهایی برای k_0 به عنوان میانگین حسابی تمامی شاخص‌های ترکیبی محاسبه شده به ازای گروه‌های مختلف مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$CI'_k = \sum_{m=1}^{M} CI_{k,m} \Big/ M \qquad (۲)$$

از آنجایی که مشاهدات پرت نسبت به سایر مشاهدات تعداد محدودی دارند بنابراین تنها در برخی از M عدد گروه تشکیل شده از درون S_b قرار می‌گیرند و سایر گروه‌ها این مشاهدات پرت را درون خود نخواهند داشت. درنتیجه $CI_{k,m}$ به ازای آن گروه‌هایی که مشاهدات پرت را درون خود ندارند فاقد اریب ناشی از وجود مشاهدات پرت خواهد بود. به همین علّت نیز وقتی از طریق رابطه ۲ از تمامی $CI_{k,m}$ها میانگین‌گیری می‌شود اثر داده‌های پرت بر CI'_k تا حد زیادی تعدیل می‌شود (Vidoli et al., 2015). همچنین لازم به ذکر است که در روش RBOD برخلاف الگوی‌های BOD شاخص‌های ترکیبی محدود به دامنه واحد نیستند و ممکن است مقادیر بزرگتر از ۱ نیز در میان آن‌ها مشاهده بشود. این حالت زمانی رخ می‌دهد که k_0 نسبت به تمامی استان‌های درون یک گروه خاص جایگاه بالاتری داشته باشه و درنتیجه کارایی مرزی محاسبه شده با توجه به اطلاعات استان‌های موجود در آن گروه پایین‌تر از جایگاه k_0 باشد و k_0 عملا با کارایی بزرگتر از یک مواجه بشود که به آن وضعیت فوق کارا[۱۰] گفته می‌شود (Vilarinho et al., 2023).

۲-۳- تحلیل رگرسیونی

اگرچه از طریق روش RBOD می‌توان متغیرهای مختلف را با یکدیگر ترکیب نمود و شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری را مورد محاسبه قرار داد و به کمک آن با دقت نسبتا بالایی وضعیّت استان‌ها نسبت به یکدیگر را تحلیل کرد ولی چرایی وجود اختلاف میان استان‌ها و علل نوسانات وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری را نمی‌توان صرفاً با تحلیل شاخص ترکیبی متوجه شد. به عنوان مثال ممکن است شاخص ترکیبی نشان دهد که وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری در استان a نسبت به استان b از سطوح به مراتب بالاتری برخوردار است ولی پاسخ به این سوال که چرا شاخص ترکیبی در استان a بزرگتر از استان b است نیازمند بکارگیری الگوهای رگرسیونی است. الگوهای رگرسیونی این امکان را فراهم می‌آورند که آثار ناشی از چندین متغیر مختلف بر یک متغیر وابسته به طور همزمان مورد محاسبه قرار بگیرد. در نتیجه در شرایطی نظیر شرایط ایران که در آن استان‌های مختلف از نظر اقلیمی، اقتصادی و جمعیّتی تفاوت‌های چشمگیری با یکدیگر دارند این الگوها می‌توانند کمک شایانی به شناسایی و سپس تحلیل دلایل عقب‌ماندگی برخی استان‌ها و در عوض پیشرفت برخی استان‌های دیگر در زمینه زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری بنمایند.

در این مطالعه به منظور بررسی میزان اثرگذاری عوامل مختلف بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری از الگوهای رگرسیونی استفاده می‌شود. داده‌های مورد استفاده در این الگوها دارای تواتر سالیانه هستند و از آن جایی که تمامی استان‌های ایران را در بازه زمانی ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸ دربر می‌گیرند دارای ماهیّت پانل[۱۱] هستند. به منظور الگوسازی داده‌های پانل عموماً یکی از دو روش اثرات ثابت[۱۲] یا اثرات تصادفی[۱۳] بکار گرفته می‌شوند که تفاوت میان آن‌ها در رویکردشان نسبت به نحوه دخیل کردن ناهمگونی‌ها و تفاوت‌های میان مقاطع مختلف در الگوسازی است (در این مطالعه مقاطع پانل همان استان‌ها هستند). مبانی نظری این الگوها به طور تفصیلی در منابعی نظیر Baltagi (2021) ارائه شده است. به منظور انتخاب میان دو الگوی اثرات ثابت و تصادفی نیز از آزمون هاسمن نیرومند با فرض صفر کارا بودن ضرایب اثرات تصادفی که توسط Cameron and Trivedi (2005) ارائه شده استفاده خواهد شد.

متغیرهای مورد استفاده در برآورد الگوهای رگرسیونی به همراه مقیاس، بازه زمانی، واحد اندازه‌گیری و ماخذ گردآوری در جدول ۲ آورده شده‌اند. همانطور که مشخص است تمامی داده‌ها دارای مقیاس سالیانه هستند و برای هریک از استان‌های ایران در طول سال‌های ۱۳۹۰ الی

۱۳۹۸ مورد محاسبه و گردآوری قرار گرفته‌اند. در این الگوها متغیر وابسته شاخص وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری (UWSSI) است. متغیرهای مستقل نیز عبارت‌اند از نسبت شهرنشینی به معنی نسبت جمعیّت شهری به کل جمعیّت (URB[14])، متوسط جمعیّت ساکن در هر شهر (DENS[15]) و درآمد سرانه غیرکشاورزی (GDPPC[16]). علاوه بر این متغیرها، اثرات ناشی از عملکرد بودجه عمرانی دولت در بخش آب نیز به عنوان یک منبع مهم در تأمین مالی طرح‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آب شهری به عنوان متغیرهای مستقل درنظر گرفته شده‌اند. به این منظور در الگوهای رگرسیونی یکبار میزان عملکرد بودجه عمرانی در بخش آب در هر سال (BUD[17]) و توان دوّم آن (BUD2) قرار خواهند گرفت و یکبار عملکرد تجمعی بودجه عمرانی در بخش آب (BUDC[18]) و توان دوّم آن (BUDC2). دلیل تمایز قائل شدن میان عملکرد سالانه و عملکرد تجمعی بودجه در بخش آب این است که تقریبا تمام طرح‌های سرمایه‌گذاری در بیش از یک دوره زمانی تأمین مالی می‌شوند و نهایتاً پس از چندین سال انباشت سرمایه نهایتاً به بهره‌برداری می‌رسند. بنابراین انتظار می‌رود وضعیّت زیرساخت‌های بخش آب در هر دوره زمانی بیش از آنکه تابع سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در همان زمان باشد تابعی از انباشت سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در دوره‌های پیشین و جاری در همان دوره زمانی است. توان دوّم این دو متغیر نیز به منظور ارزیابی تغییرات میزان اثرگذاری بودجه‌های دولتی در سطوح بالا و پایین آن در الگو قرار خواهد گرفت. علاوه بر متغیرهای توضیحی فوق دو عدد متغیر کنترلی نیز در الگوهای رگرسیونی قرار داده خواهند شد. متغیرهای کنترلی متغیرهایی هستند که تفسیر ضرایب آن‌ها جزء اهداف پژوهش بحساب نمی‌آید و بعضاً حتی ممکن است تفسیر مشخصی نیز نداشته باشند و صرفاً با این هدف در الگوی رگرسیونی قرار می‌گیرند که اثرات مربوط به برخی عوامل اثرگذار بر متغیر وابسته را کنترل نمایند و از ترکیب شدن این اثرات با ضرایب برآوردی برای متغیرهای مستقل جلوگیری کنند تا بدین ترتیب ضرایب متغیرهای مستقل بدون اریب برآورد بشوند. متغیر کنترلی اوّل ماهیّت موهومی[19] دارد و اثرات احتمالی ناشی از جدا شدن شهرستان طبس از استان یزد و پیوستن آن به استان خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۱ را کنترل می‌کند تا از تداخل اثرات احتمالی آن با اثرات ناشی از متغیرهای توضیحی جلوگیری بکند. در این متغیر موهومی تمامی مشاهدات برابر با صفر هستند غیر از مشاهده‌ی مربوط به استان یزد در سال ۱۳۹۰ و مشاهدات مربوط به استان خراسان جنوبی در سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۸ که برابر با یک هستند. متغیر کنترلی دوّم سهم استان‌ها از درآمد نفتی (OilSH) است که اثرات احتمالی ناشی از درآمدهای نفتی در استان‌های نفت خیز جنوبی ایران را کنترل می‌کند؛ زیرا ممکن است درآمدهای بالای نفتی در این استان‌ها لزوماً ارتباطی با فعالیّت‌های مربوط به اقتصاد شهری در این استان‌ها نداشته باشد.

شکل کلّی الگوهای رگرسیونی مورد برآورد در این مطالعه در رابطه (۳) آورده شده است. همانطور که مشخص است تمامی متغیرهای مستقل و وابسته در هر دو رابطه به شکل لگاریتمی وارد الگوی رگرسیونی شده‌اند و الگوی برآوردی در حالت تمام لگاریتمی است (متغیرهای کنترلی استثناء هستند؛ زیرا هر دو شامل عدد صفر هستند و امکان محاسبه لگاریتم آن‌ها وجود ندارد).

Table 2- Dependent and independent variables of panel regression

جدول ۲- متغیرهای وابسته و مستقل در الگوی رگرسیون پانل

Variables[1]	Time span	Scale	Symbol	Unit
Dependent:				
Urban water infrastructure development	2011-2018	Annual-Provincial	UWSSI	Unitless
Independent:				
Urbanization ratio	2011-2018	Annual-Provincial	URB	Percent
Average population of each city	2011-2018	Annual-Provincial	DENS	Person
Non-farm gross domestic product	2011-2018	Annual-Provincial	GDP	Rials
Amount of budget spent on water sector	2011-2018	Annual-Provincial	BUD	Rials
Square of BUD	2011-2018	Annual-Provincial	BUD^2	$Rials^2$
Amount of cumulative budget spent on water sector	2011-2018	Annual-Provincial	BUDC	Rials
Square of BUDC	2011-2018	Annual-Provincial	$BUDC^2$	$Rials^2$
Control:				
Share of oil income from total GDPPC	2011-2018	Annual-Provincial	OilSH	Percent
Dummy variable of Tabas County	2011-2018	Annual-Provincial	D	Unitless

1- All variables and data used to create them are derived from Statistical center of Iran's annual yearbook.

۱-تمامی متغیرها و اطلاعاتی که برای ایجاد آنها مورد استفاده قرار گرفته شده از سالنامه‌های مرکز آمار ایران استخراج شده‌اند.

تمام لگاریتمی بودن متغیرها باعث می‌شود تا ضرایب برآوردی ماهیّت کشش داشته باشند که یعنی هریک از ضرایب برآوردی بیانگر درصد تغییر در متغیر وابسته به ازای یک درصد تغییر در متغیر مستقل باشند. به عنوان مثال ضریب β_1 یعنی به ازای یک درصد تغییر در URB میزان UWSSI به اندازه β_1 درصد تغییر می‌کند. تمام لگاریتمی بودن الگو باعث می‌شود تا واحد ضرایب برآوردی یکسان باشد و بتوان آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد.

$$\begin{aligned}\ln(\mathrm{UWSSI}) = a &+ \beta_1 \cdot \ln(\mathrm{URB}) + \beta_2 \\ &\cdot \ln(\mathrm{DENS}) + \beta_3 \\ &\cdot \ln(\mathrm{GDPPC}) + \beta_4 \\ &\cdot \begin{Bmatrix} \ln(\mathrm{BUD}) \\ or \\ \ln(\mathrm{BUDC}) \end{Bmatrix} + \beta_5 \\ &\cdot \begin{Bmatrix} \ln(\mathrm{BUD})^2 \\ or \\ \ln(\mathrm{BUDC})^2 \end{Bmatrix} + \beta_6 \cdot \mathrm{OilSH} \\ &+ \beta_7 \cdot \mathrm{D} + \mathrm{e}\end{aligned} \qquad (۳)$$

۳- نتایج و بحث

اطلاعات آمار توصیفی متغیرهای بکارگرفته شده در ساخت شاخص‌های ترکیبی در جدول ۳ آورده شده‌اند. مهم‌ترین نکته در خصوص این اطلاعات ضریب تغییرات نسبتاً بزرگ در متغیرهای بُعد فاضلاب نسبت به متغیرهای دو بُعد دسترسی و مدیریت و پشتیبانی است که نشان‌دهنده اختلاف نسبتا زیاد میان استان‌ها در بُعد فاضلاب است. این در حالی است که احتمالاً اختلافات میان استان‌ها در دو بُعد دسترسی و مدیریّت و پشتیبانی کمتر و خفیف‌تر است. بدیهی است که انتظار می‌رود تا این موضوع در نتایج حاصل از ساخت شاخص‌های ترکیبی نیز مشاهده شود.

پیش از ساخت شاخص‌های ترکیبی به روش RBOD ابتدا لازم است تا مقادیر b و M مشخص شوند. از آنجایی که در ادبیات پژوهشی روش مشخص و قابل تعمیمی برای تعیین این مقادیر وجود ندارد (Daraio and Simar, 2007) در این مطالعه با انجام تحلیل حساسیت به ازای مقادیر مختلف b و M مقادیر بهینه b و M به ترتیب برابر با ۱۰۰۰ و ۱۵ (نصف تعداد استان‌ها) درنظر گرفته شدند. معیار انتخاب این دو مقدار نیز توان پردازش کامپیوتر و طول مدت زمان انجام محاسبات بوده است؛ زیرا اساسا روش RBOD از نظر محاسباتی روش بسیار سنگینیی می‌باشد و افزایش مقادیر b و M می‌تواند به طور تصاعدی مدت زمان انجام محاسبات را افزایش بدهد. همچنین، از آنجایی که در روش RBOD تنها متغیرهای با جهت مثبت قابل بکارگیری هستند متغیر نسبت آب بدون درآمد به کل آب تولید شده که دارای جهت منفی می‌باشد به طور معکوس وارد الگوی RBOD شد که مقدار معکوس آن درواقع برابر است با نسبت آب درآمدی به کل آب تولید شده.

۳-۱- تحلیل فضایی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری

پهنه‌بندی مقادیر میانگین UWSSI و ابعاد تشکیل‌دهنده آن در بازه ۱۳۹۰-۱۴۰۰ در شکل ۲ آورده شده‌اند. همانطور که از نقشه A در شکل ۲ مشخص است تمامی استان‌های نیمه غربی ایران نسبت به استان‌های مرکزی و شرقی به طور نسبی از سطح پایین‌تری از شاخص دسترسی برخوردار هستند. بهترین وضعیّت در بُعد دسترسی نیز مربوط به سه استان یزد، سمنان و کرمان است که هر سه در بخش میانی فلات مرکزی واقع شده‌اند. بدترین وضعیّت از حیث شاخص دسترسی نیز متعلق به استان گلستان است که بر خلاف استان‌های هم‌جوار خود از وضعیّت بسیار بدی در زمینه زیرساخت‌های دسترسی به آب برخوردار است. برتری استان‌های مرکزی نسبت به استان‌های حاشیه‌ای در نقشه B از شکل ۲ که مربوط به بُعد مدیریت و پشتیبانی است نیز قابل مشاهده است. به عنوان مثال استان‌های اصفهان، یزد و قم که همگی در محدوده میانی ایران واقع شده‌اند از نظر زیرساخت‌های مدیریّت و پشتیبانی از وضعیّت به مراتب بهتری نسبت به استان‌های حاشیه‌ای ایران برخوردار هستند.

Table 3- Descriptive statistics of UWSSI variables for all provinces of Iran

جدول ۳- آمار توصیفی متغیرهای موجود در UWSSI در میان تمام استان‌های ایران

	Accessibility			Management and support			Sewage		
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Unit	N/P	m/P	%	m^3/P	%	Unitless	%	%	N/P
Average	303.78	0.90	3.03	262.40	0.26	1.37	0.45	0.31	0.26
SD	61.96	0.07	1.03	65.94	0.05	0.16	0.21	0.19	0.19
Max	423.51	1.00	5.79	475.24	0.37	1.81	0.95	0.84	0.83
Min	148.62	0.72	1.27	171.78	0.18	1.04	0.10	0.06	0.04
CV	0.20	0.08	0.34	0.25	0.19	0.12	0.46	0.63	0.74

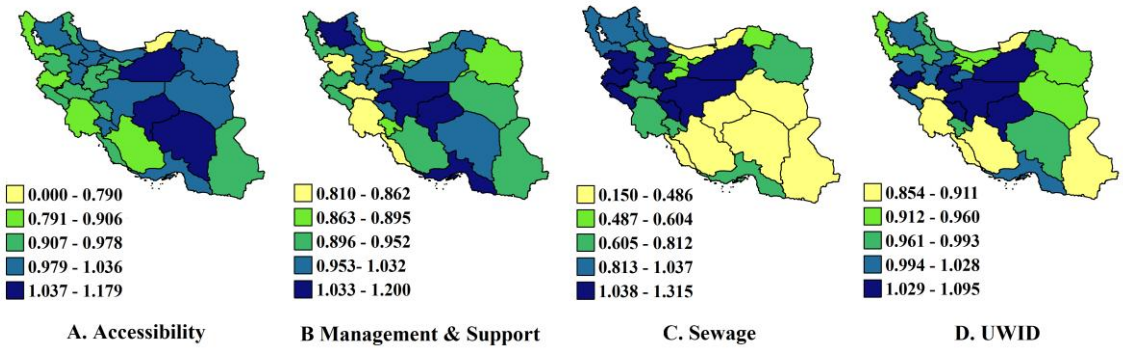

Fig. 2- Distribution of UWSSI and its dimensions throughout Iran's provinces
شکل ۲- توزیع UWSSI و ابعاد آن در استان‌های ایران

بدترین وضعیّت در زمینه مدیریت و پشتیبانی نیز مربوط به استان‌های حاشیه دریای خزر بالاخص مازندران و استان‌های غربی و جنوب غربی نظیر بوشهر، خوزستان، لرستان و کردستان است.

اختلاف قابل توجه میان استان‌های ایران در بُعد فاضلاب که پیشتر با توجه به ضریب تغییرات متغیرهای تشکیل دهنده بُعد فاضلاب به آن اشاره شد به طور واضحی در نقشه C از شکل ۲ نیز قابل مشاهده است. همانطور که مشخص است تمامی استان‌های شرقی و جنوب شرقی ایران از نظر وضعیّت زیرساخت‌های فاضلاب شهری در بدترین وضعیّت قرار دارند و در عوض استان‌های مرکزی و غربی در بالاترین سطوح ممکن از این حیث قرار گرفته‌اند. در واقع در بُعد فاضلاب تعداد قابل توجهی از استان‌ها در دو سر طیف شاخص ترکیبی قرار دارند و تعداد استان‌هایی که در میانه این طیف واقع شده‌اند نسبت به شاخص‌های ترکیبی دسترسی و مدیریت و پشتیبانی به مراتب کمتر است و این نشان دهنده اختلاف قابل توجه استان‌های مختلف در زمینه‌ی وضعیّت زیرساخت‌های فاضلاب است.

با توجه به نقشه D از شکل ۲ نیز می‌توان مشاهده کرد که تقریباً تمامی استان‌های واقع در مرز شرقی به همراه استان‌های جنوبی و جنوب غربی ایران از وضعیّت متوسطِ رو به پایینی از نظر UWSSI برخوردار هستند که یعنی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری در آن‌ها نسبت به سایر استان‌ها در سطوح نسبتاً نامطلوبی قرار دارد و در عوض استان‌های مرکزی نظیر یزد، اصفهان و سمنان از سطوح نسبتا بالایی از UWSSI برخوردار هستند. استان‌های حاشیه دریای خزر به همراه دو استان مهم تهران و البرز نیز از مقادیر متوسطِ رو به پایینی از UWSSI برخوردار هستند.

۳-۲- تحلیل زمانی وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری

در بخش قبل به تحلیل فضایی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری پرداخته شد و حال در این بخش تلاش می‌شود تا روند تغییرات وضعیّت این زیرساخت‌ها در طول زمان مورد تحلیل و بررسی قرار بگیرد. به این منظور در شکل ۳ منحنی‌های چگالی کرنل شاخص‌های ترکیبی در دو بازه‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۰ و ۱۴۰۰-۱۳۹۶ آورده شده‌اند و در شکل ۴ روند زمانی هریک از شاخص‌های ترکیبی به تفکیک استان ارائه شده است. همانطور که از منحنی A در شکل ۳ مشخص است شکل توزیع شاخص دسترسی در دو بازه ۱۳۹۵-۱۳۹۰ و ۱۴۰۰-۱۳۹۶ در قسمت میانی تغییر زیادی نداشته است و تنها نکته قابل ذکر چوله شدن منحنی ۱۴۰۰-۱۳۹۶ به سمت چپ می‌باشد که بیانگر تنزّل یافتن وضعیّت زیرساخت‌های دسترسی در برخی استان‌ها در بازه ۱۴۰۰-۱۳۹۶ است که با توجه نمودار A از شکل ۴ می‌توان گفت که این استان‌ها خوزستان و گلستان هستند که پایین‌ترین سطوح شاخص دسترسی را دارا هستند و روند نزولیی را نیز در طول زمان طی کرده‌اند. علاوه بر این در نمودار A از شکل ۴ می‌توان مشاهده کرد که چهار استان برتر از نظر شاخص دسترسی یعنی یزد، سمنان، کرمان و آذربایجان شرقی در طول بازه زمانی مورد بررسی روندی نزولی را طی کرده‌اند.

مطابق با منحنی B از شکل ۳ توزیع شاخص مدیریّت و پشتیبانی در بازه ۱۴۰۰-۱۳۹۶ نسبت به بازه ۱۳۹۵-۱۳۹۰ به سمت راست منتقل شده و این انتقال با کاهش فاصله میان استان‌ها- یا کاهش انحراف معیار- همراه بوده است. مطابق با نمودار B از شکل ۴ مشخص است که بیش از نیمی از استان‌های ایران در طول زمان یا با بهبود سطح شاخص مدیریت و پشتیبانی روبرو بوده‌اند و یا لااقل درگیر روند نزولی نیز نبوده‌اند و چنین وضعیتی طبیعتا به کاهش انحراف معیار و انتقال منحنی چگالی در بازه ۱۳۹۶-۱۴۰۰ به سمت راست منتهی شده است.

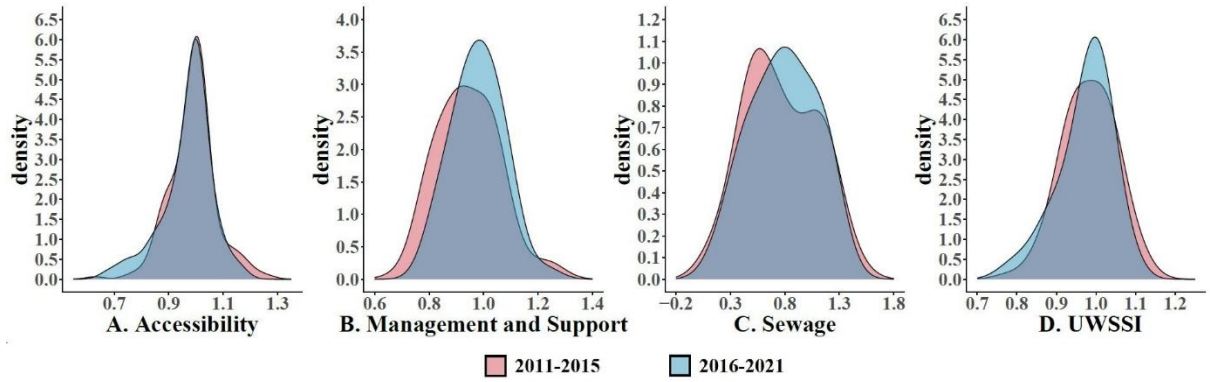

Fig. 3- Kernel density curves of UWSSI and its dimensions
شکل ۳- منحنی‌های چگالی کرنل UWSSI و ابعاد آن

در خصوص وضعیّت زیرساخت‌های فاضلاب می‌توان در منحنی C از شکل ۳ مشاهده کرد که شکل منحنی توزیع در بازه ۱۴۰۰–۱۳۹۶ نسبت به بازه ۱۳۹۵–۱۳۹۰ تغییر زیادی از نظر میانگین و انحراف معیار نداشته و تنها تغییر مهمی که در این بین رخ داده، تبدیل شدن توزیع دو مُدی در بازه ۱۳۹۵–۱۳۹۰ به توزیع تک مُدی در بازه ۱۴۰۰–۱۳۹۶ است که یعنی اختلاف میان آن دو گروه از استان‌هایی که مُد سمت راست و چپ توزیع را در بازه ۱۳۹۵–۱۳۹۰ تشکیل داده بودند در بازه ۱۴۰۰–۱۳۹۶ تا حد زیادی از بین رفته است. این موضوع در نمودار C از شکل ۴ نیز مشخص است؛ زیرا اغلب استان‌هایی که در شروع بازه مورد بررسی از سطوح بالایی از شاخص فاضلاب برخوردار بوده‌اند نظیر کرمانشاه، کردستان و مرکزی به مرور زمان روندی نزولی را طی کرده‌اند و در طرف مقابل استان‌هایی نظیر کرمان، سیستان و بلوچستان، فارس و یزد که در ابتدا از سطوح پایینی از شاخص زیرساخت‌های فاضلاب برخوردار بوده‌اند در طول زمان روندی صعودی را طی کرده‌اند. در نتیجه اگرچه در زمینه زیرساخت‌های فاضلاب اختلافات میان استان‌ها نسبتاً قابل توجه است ولی این اختلافات به مرور زمان کاهش یافته‌اند. می‌توان انتظار داشت که کاهش یافتن اختلافات میان استان‌ها در زمینه وضعیّت زیرساخت‌های فاضلاب در پی افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در این زیرساخت‌ها بوده باشد که باعث شده تا استان‌های کمتر برخوردار از نظر زیرساخت‌های فاضلاب فاصله‌شان با استان‌های برخوردار به تدریج کاهش پیدا کند.

در انتها با توجّه به منحنی D از شکل ۳ می‌توان مشاهده کرد که مجموع تغییراتی که در شکل توزیع ابعاد مختلف UWSSI در نیمه اوّل و دوّم دهه‌ی ۱۳۹۰ رخ داده باعث شده تا توزیع UWSSI در بازه‌ی ۱۴۰۰–۱۳۹۶ با کاهش اندک انحراف معیار مواجه بشود. چولگی به چپ منحنی چگالی UWSSI در بازه‌ی ۱۴۰۰–۱۳۹۶ نیز [با توجه به نمودار D از شکل ۴] عمدتا ناشی از تنزل قابل توجه میزان UWSSI در دو استان گلستان و خوزستان می‌باشد.

۳-۳- وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری و عوامل اقتصادی و اجتماعی

در بخش‌های قبل به تحلیل فضایی و زمانی شاخص‌های ترکیبی پرداخته شد. حال در این بخش به بررسی رابطه میان متغیرهای اقتصادی و جمعیّتی با وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری پرداخته می‌شود. نقشه توزیع مقادیر میانگین هریک از متغیرهای اقتصادی و اجتماعی مورد بررسی در طول بازه زمانی ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۰ در شکل ۵ آورده شده است. نتایج حاصل از برآورد الگوهای رگرسیون پانل نیز در جدول ۳ ارائه شده است که می‌توان به کمک آن‌ها اثرات خالص هریک از متغیرهای اقتصادی و اجتماعی بر میزان UWSSI را ارزیابی کرد. پیش از تحلیل نتایج الگوهای رگرسیونی لازم به ذکر است که در الگوهای ۱ و ۲ در جدول ۳ مقدار آماره آزمون هاسمن به ترتیب برابر با ۹/۷۹ و ۱۰/۱۷ است که هر دو آماره در هیچ سطحی از نظر آماری معنی‌دار نیستند و در نتیجه فرض صفر مبنی بر کارایی ضرایب اثرات تصادفی رد نمی‌شود و هر دو الگو به روش اثرات تصادفی مورد برآورد قرار می‌گیرند.

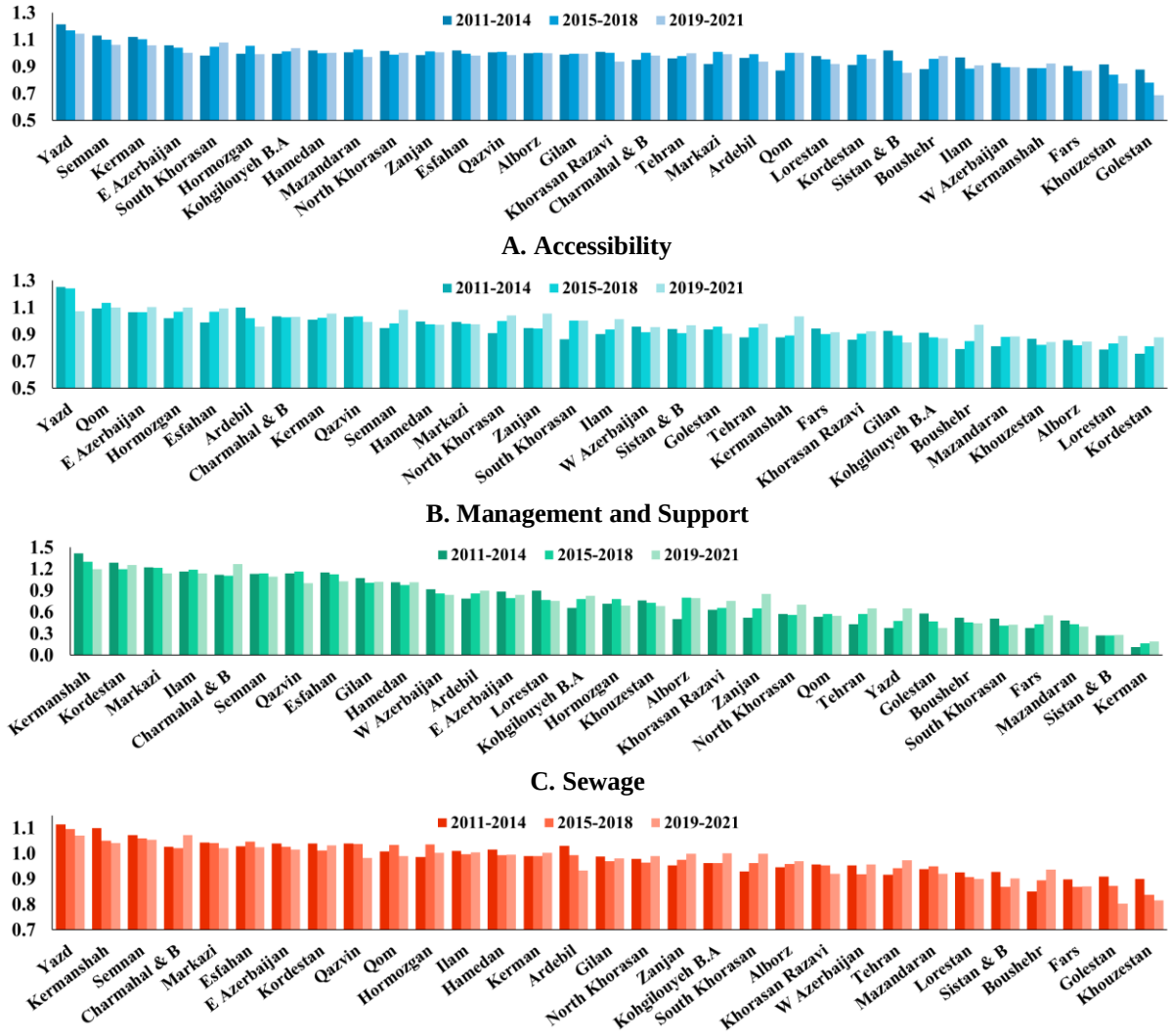

Fig. 4- Time trend of UWSSI and its dimensions

شکل ۴- روند زمانی UWSSI و ابعاد آن

با مقایسه نقشه A در شکل ۵ با نقشه D از شکل ۲ می‌توان سطوحی از عدم تقارن میان متوسط جمعیّت ساکن در هر شهر با سطح UWSSI را مشاهده کرد. به عنوان مثال در برخی از مراکز جمعیّت شهری نظیر استان‌های تهران، البرز، خوزستان و آذربایجان غربی سطح UWSSI نسبتاً پایین است و این یعنی جمعیّت نسبتا زیادی در این استان‌ها از وضعیّت متوسط و یا متوسطِ رو به پایینی از زیرساخت‌های آب شهری برخوردار هستند. البته این عدم تقارن در تمامی استان‌ها مشاهده نمی‌شود، به عنوان مثال استان‌های یزد، اصفهان و آذربایجان شرقی از سطوح نسبتاً بالایی از UWSSI برخوردار هستند ولی در عین حال تراکم جمعیّت شهری آن‌ها نیز نسبتاً زیاد است. ضریب رگرسیونی متغیر lnDENS نیز در هر دو الگوی برآورد شده تقریباً برابر و به طور میانگین در حدود ۰/۰۲۵- است که یعنی با هریک درصد افزایش در متوسط جمعیّت ساکن در هر شهر میزان UWSSI به اندازه ۰/۰۲۵ درصد کاهش می‌یابد. البته لازم به اشاره است که ضریب lnDENS تنها در الگوی ۲ معنی‌دار است. به طور کلّی با توجه به این نتایج می‌توان ادعا کرد که افزایش تراکم جمعیّت در هر شهر می‌تواند به طور معنی‌داری باعث تنزّل وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری شود.

ارتباط میان نسبت شهرنشینی با میزان UWSSI را با مقایسه نقشه B از شکل ۵ با نقشه D از شکل ۲ می‌توان مشاهده کرد به طوری که اگر دو استان تهران و البرز را درنظر نگیریم در میان سایر استان‌ها نظیر اصفهان، یزد، سمنان و آذربایجان شرقی که میزان شهرنشینی بالاتری دارند میزان UWSSI نیز در آنها بیشتر است. به همین ترتیب استان‌هایی نظیر سیستان و بلوچستان، گلستان و خراسان جنوبی که از شهرنشینی پایینی برخوردار هستند نیز زیرساخت‌های آبرسانی و

فاضلاب شهری‌شان در وضعیّت نسبتاً نامطلوبی قرار دارد. با این حال این ارتباط میان شهرنشینی و UWSSI در تمامی استان‌ها به چشم نمی‌خورد و استان‌هایی نظیر خوزستان، تهران و البرز علی‌رغم شهرنشینی بالا از سطوح متوسط و یا پایینی از UWSSI برخوردار هستند. نوع ارتباط میان شهرنشینی و UWSSI را به طور دقیق‌تری می‌توان در نتایج الگوهای رگرسیونی مشاهده کرد به طوری که در هر دو الگوی برآورد شده ضریب متغیر lnURB حدوداً برابر با ۰/۱۶ و معنی‌دار در سطح پنج درصد است که یعنی با فرض ثبات تمامی عوامل به ازای هر یک درصد افزایش در نسبت شهرنشینی میزان UWSSI به اندازه ۰/۱۶ درصد افزایش پیدا می‌کند که با مقایسه آن با قدر مطلق سایر ضرایب می‌توان گفت که شهرنشینی مهم‌ترین عامل در تعیین وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری به‌حساب می‌آید.

با مقایسه نقشه C از شکل ۵ با نقشه D از شکل ۲ اوّلین نکته‌ای که می‌توان مشاهده کرد همبستگی منفی میان درآمد سرانه‌ی غیر کشاورزی با میزان UWSSI است به طوری که دو استان نفت خیز خوزستان و بوشهر که درآمد سرانه‌ی بسیار بالاتری از سایر استان‌های ایران دارند از نظر UWSSI در پایین‌ترین سطوح نسبت به سایر استان‌ها قرار گرفته‌اند. بدون درنظر گرفتن استان‌های نفت خیز جنوب کشور، در میان سایر استان‌ها شناسایی ارتباط مشخصی میان میزان درآمد سرانه غیر کشاورزی با میزان UWSSI بر اساس نقشه‌های مذکور کار دشواری است و درنتیجه ارزیابی دقیق اثر خالص ناشی از تغییر در درآمد سرانه غیر کشاورزی بر میزان UWSSI می‌بایست با توجه به ضرایب رگرسیونی متغیر lnGDPPC در جدول ۳ انجام بشود. ضرایب این متغیر در دو الگوی برآورد شده برابر با ۰/۲۳- و ۰/۰۳۲- هستند که اگرچه از نظر قدر مطلق به نسبت کوچک هستند ولی هر دو معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد هستند. لازم به ذکر است که این نتایج با دخیل بودن متغیر کنترلی OilSH که سهم درآمد نفتی از کل درآمد استان است بدست آمده و ضریب OilSH نیز در هر دو الگو بی‌معنی است. این یعنی فارغ از نفتی بودن و یا نبودن اقتصاد استان‌ها، افزایش GDPPC می‌تواند اثر منفی اندکی بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری برجای می‌گذارد که این اثر منفی ممکن است ناشی از عدم تخصیص درآمدهای استانی به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های همان استان مرتبط باشد. همچنین، ممکن است همانطور که پیشتر مطالعاتی نظیر Sun and Kato (2021) بیان کرده‌اند الزامات توسعه اقتصادی در شهرهای بزرگ طوری باشد که با فشار بر زیرساخت‌های آب شهری به تنزّل وضعیّت کمّی و کیفی آنها منتهی می‌شود.

با مقایسه نقشه D از شکل ۵ با نقشه D از شکل ۲ می‌توان مشاهده کرد که برخلاف آنچه در ابتدا انتظار می‌رود تناسبی میان عملکرد بودجه عمرانی در بخش آب با میزان UWSSI وجود ندارد. به عنوان مثال استان‌هایی نظیر سیستان و بلوچستان، گلستان، خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد مقادیر قابل توجهی از اعتبارات عمرانی را در بخش آب به خود اختصاص داده‌اند در حالی که مقدار UWSSI آن‌ها در سطوح نسبتاً پایینی قرار دارد. در طرف مقابل استان‌هایی نظیر اصفهان و یزد وجود دارند که بودجه کمتری دریافت کرده‌اند ولی از حیث UWSSI در سطوح بالاتری قرار گرفته‌اند. این عدم تناسب میان عملکرد بودجه عمرانی در بخش آب با میزان UWSSI می‌تواند تا حدّ زیادی ناشی از تداخل اثر سایر عوامل اثرگذار بر UWSSI با اثرات ناشی از عملکرد بودجه در بخش آب باشد. درنتیجه به منظور حذف این تداخلات لازم است تا نتایج الگوهای رگرسیونی مورد بررسی قرار بگیرند. در الگوی ۱ در جدول ۳ مشاهده می‌شود که ضریب متغیر lnBUD برابر با ۰/۰۱۶ و معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد که نشان دهنده اثر خالص مثبتی است که عملکرد بودجه عمرانی در بخش آب بر مقدار UWSSI برجای می‌گذارد. با این حال این ضریب کوچک‌ترین ضریب نسبت به قدر مطلق سایر ضرایب است که یعنی مقدار بودجه صرف شده در بخش آب در هر سال به خودی خود اثر اندکی بر مقدار UWSSI در همان سال برجای می‌گذارد. با این حال در الگوی ۲ مشاهده می‌شود که ضریب lnBUDC با مقداری برابر با ۰/۱۴ که در سطح یک درصد معنی‌دار است اثر به مراتب بزرگتری نسبت به lnBUD بر میزان UWSSI دارد و این یعنی عملکرد بودجه عمرانی در بخش آب اگرچه در هر سال اثر مثبت کمی بر UWSSI دارد ولی مقدار انباشت سرمایه‌گذاری‌های دولتی در بخش آب می‌تواند یکی از اصلی‌ترین عوامل در تعیین میزان UWSSI بحساب بیاید. مقدار ضرایب توان دوّم lnBUD و lnBUDC نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۰۱- و ۰/۰۰۸- و معنی‌دار در سطوح ده و یک درصد هستند که یعنی با افزایش lnBUD یا lnBUDC به تدریج از اثرگذاری آن‌ها بر مقدار UWSSI کاسته می‌شود. در نتیجه استان‌هایی که تابحال عملکرد بودجه عمرانی دولت در آن‌ها کمتر بوده مستعد رشدهای بالاتری در UWSSI در نتیجه‌ی تخصیص اعتبارات عمرانی جدید در بخش آبشان هستند.

با توجه به اینکه در الگوهای رگرسیونی ضرایب دو متغیر lnBUD و lnBUDC مثبت و معنی‌دار هستند ولی مقایسه نقشه D از شکل ۵ با نقشه D از شکل ۲ ارتباط خاصی میان عملکرد بودجه دولتی در بخش آب با UWSSI را نشان نمی‌دهد می‌توان گفت که عملکرد بودجه دولتی در بخش آب به طور بالقوه اثر مثبتی بر سطح UWSSI بر جای می‌گذارد ولی در عمل در بسیاری از استان‌ها این اثر مثبت توسط سایر عوامل اثرگذار بر UWSSI خنثی می‌شود. به عنوان مثال در استان‌های سیستان و بلوچستان، گلستان، کهگیلویه و بویراحمد و

خراسان شمالی که میزان شهرنشینی پایینی دارند حجم قابل توجهی از بودجه‌های دولتی صرف بخش آب شده ولی این استان‌ها در عمل در سطوح پایینی از UWSSI قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان گفت که اثر مثبت عملکرد بودجه‌های دولتی در بخش آب این استان‌ها بواسطه عواملی نظیر میزان شهرنشینی پایین و یا ناکارایی سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در زیرساخت‌های آب شهری باعث شده تا این مبالغ سرمایه‌گذاری شده در عمل به افزایش میزان UWSSI منتهی نشود.

Table 4- The result of random effect regression estimation

جدول ۴- نتایج برآورد الگوی رگرسیون اثرات تصادفی

	Model 1			Model 2		
	Coef	SE†	Z statistic	Coef	SE†	Z statistic
lnURB	0.1670**	0.0780	2.14	0.1606**	0.0740	2.17
lnDENS	-0.0227	0.0149	-1.52	-0.0305**	0.0141	-2.16
lnGDPPC	-0.0230**	0.0117	-1.96	-0.0320***	0.0110	-2.89
lnBUD	0.0164**	0.0084	1.96	-	-	-
lnBUD2	-0.0009*	0.0006	1.62	-	-	-
lnBUDC	-	-	-	0.1480***	0.0401	3.69
lnBUDC2	-	-	-	-0.0083***	0.0022	-3.71
OilSH	-0.0195	0.0489	-0.40	-0.0251	0.0338	-0.74
Robust Hausman		9.79			10.17	
Provincial Effect		Random Effect			Random Effect	
Wald Chi2		24.89***			53.22***	
Adjusted R2		20.80%			40.91%	

† Robust standard errors clustered for provinces. ***, ** and * are respectively indicating significancy at 1%, 5% and 10%.

***، ** و * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد هستند. † انحراف معیار مستحکم خوشه‌بندی شده برای استان‌ها.

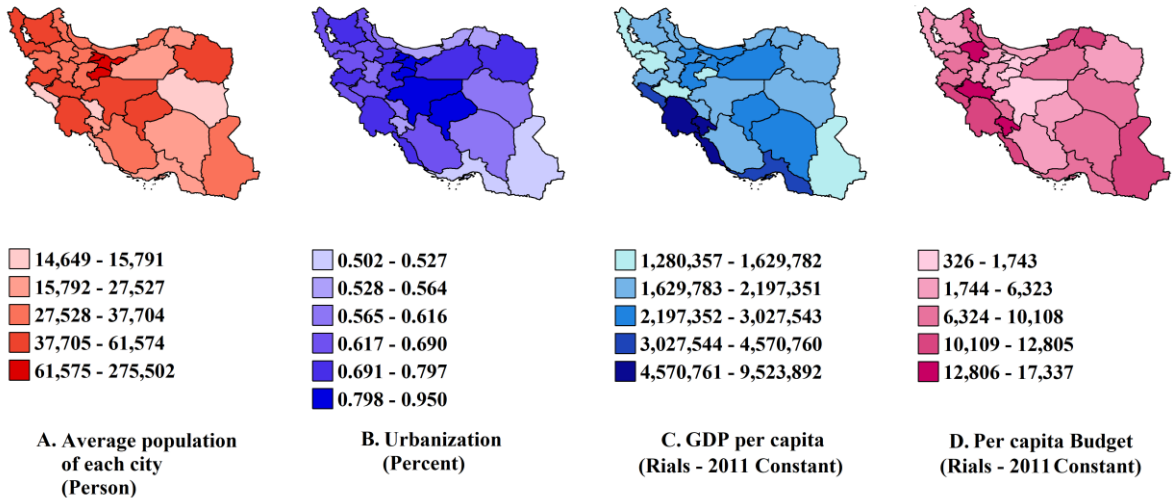

Fig. 5- Average of socioeconomic variables in Iran's provinces in 2011-2021

شکل ۵- میانگین متغیرهای اقتصادی و اجتماعی در بازه زمانی ۲۰۱۱ الی ۲۰۲۱ در استان‌های ایران

۴- خلاصه و جمع‌بندی

زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری اهمیّت بسیار بالایی در افزایش سطح بهداشت، توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی دارند و شناخت نقاط ضعف و قوّت و عوامل مؤثر بر وضعیّت آن‌ها یک الزام به منظور سیاست‌گذاری صحیح و تصمیم‌گیری در خصوص آن‌ها است. با این حال علی‌رغم این اهمیّت، ارزیابی جامع وضعیّت این زیرساخت‌ها و ارزیابی عوامل اثرگذار بر آن‌ها در میان مطالعات داخلی و خارجی مغفول مانده است. به همین سبب در این مطالعه با هدف رفع این خلاء ابتدا اقدام به ساخت شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری، متشکل از سه بُعد ۱. دسترسی، ۲. مدیریت و پشتیبانی و ۳. فاضلاب با بکارگیری روش مزیّت تردید شده و سپس با برآورد الگوهای اثرات تصادفی عوامل مؤثر بر وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از ساخت شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری نشان داد که استان‌های مرکزی نظیر اصفهان، یزد و سمنان نسبت به سایر استان‌ها، بالاخص استان‌های حاشیه‌ای وضعیّت نسبتا بهتری در خصوص وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری دارند و این برتری به طور اخص در دو زمینه‌ی دسترسی و مدیریّت و پشتیبانی چشمگیرتر است. در میان استان‌هایی که وضعیّت نسبتاً نامطلوبی از حیث زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری دارند برخی از مهم‌ترین استان‌ها عبارت‌اند از خراسان رضوی، خوزستان، بوشهر و فارس که علی‌رغم نسبت شهرنشینی بالا و درآمدهای نسبتا سرشار (به استثناء فارس) از نظر زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری وضعیّت مناسبی ندارند. نکته قابل ملاحضه دیگر اختلاف قابل توجه استان‌های ایران از حیث وضعیّت زیرساخت‌های فاضلاب است. مطابق با یافته‌های این مطالعه استان‌های ایران در زمینه زیرساخت‌های فاضلاب شرایط بسیار ناهمگنی دارند و اختلافات میان آن‌ها از این حیث قابل توجه است و این در حالی است که در دو بُعد دسترسی و مدیریّت و پشتیبانی وضعیّت استان‌ها نسبتاً از همگنی بیشتری برخوردار بوده و اختلافات میان استان‌ها نیز کمتر است. نتایج حاصل از برآورد الگوهای اثرات تصادفی نیز نشان داد که اصلی‌ترین محرک‌های بهبود وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری در استان‌های ایران عبارت‌اند از نسبت شهرنشینی و عملکرد تجمعی بودجه‌های عمومی در بخش آب که هریک درصد افزایش در هریک از آن‌ها به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۴ درصد شاخص ترکیبی وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری را بهبود می‌بخشد. افزایش تراکم جمعیّت شهری و رشد اقتصادی نیز مهم‌ترین عواملی بودند که با وارد آوردن فشار بر زیرساخت‌ها باعث تنزّل وضعیت آن‌ها می‌شدند.

در وضع موجود با توجه به تنگنای مالی دولت بدیهی است که توصیه به تخصیص بیشتر بودجه‌های عمرانی به بخش آب توصیه‌ای کاربردی به جهت ارتقاء وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری بحساب نمی‌آید. با این حال توصیه می‌شود که ارقام فعلی تخصیص بودجه به طور کاراتری در میان استان‌ها و زیرساخت‌ها تخصیص داده شوند. با توجه به این واقعیت که فاصله میان استان‌های ایران در زمینه زیرساخت‌های فاضلاب به طور قابل توجهی بیشتر از فاصله میان استان‌ها در سایر ابعاد زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری است بنابراین توصیه می‌شود تا اولویت سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آب و فاضلاب شهری با زیرساختهای فاضلاب باشد؛ زیرا این کار علاوه بر جبران عقب‌ماندگی‌های موجود در برخی از استان‌ها می‌تواند زمینه را برای بازچرخانی آب و پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی نیز فراهم بیاورد. میزان شهرنشینی نیز اگرچه تأثیر قابل توجهی بر بهبود وضعیّت زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری دارد ولی یک متغیری سیاستی بحساب نمی‌آید و لااقل در کوتاه مدت در اختیار نهاد سیاست‌گذاری نیست. با این حال می‌توان توصیه کرد که در استان‌های با شهرنشینی پایین نظیر گلستان و سیستان و بلوچستان که توجه کمتری به زیرساخت‌های شهری در آن‌ها می‌شود سهم اعتبارات تخصیص داده شده به زیرساخت‌های آب شهری نسبت به کل بودجه بخش آب افزایش یابد. این موضوع می‌تواند بدون افزایش دادن رقم کل میزان بودجه عمرانی، حجم تأمین مالی طرح‌های مربوط به آب شهری را اندکی افزایش بدهد. همچنین، در شرایطی که دولت توان مالی پایینی به منظور سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آب شهری دارد می‌توان از ظرفیت‌های بخش خصوصی در قالب طرح‌های مشارکت عمومی و خصوصی به منظور تأمین مالی طرح‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آب شهری بهره گرفت.

علاوه بر موارد فوق با توجه به اینکه مطابق با الگوهای رگرسیونی متوسط جمعیّت ساکن در هر شهر نقش منفی بر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری در هر استان دارد بنابراین لازم است تا پارامترهای جمعیّتی نیز بیش از پیش مد نظر سیاست‌گذاران قرار بگیرند. این موضوع به این سبب است که در استان‌های مهاجرپذیری نظیر مازندران و البرز که در وضع موجود نیز با سطوح متوسط و یا بعضا نازلی از زیرساخت‌های آبرسانی و فاضلاب شهری روبرو هستند تداوم یافتن روند فعلی افزایش جمعیّت و ورود مهاجرین می‌تواند به تنزّل هرچه بیشتر وضعیّت زیرساخت‌های آب شهری منتهی بشود.

پی‌نوشت‌ها

1- Sustainable Development Goal 6 (SDG 6)
2- Waterborne Disease
3- Multi-Criteria Decision Making (MCDM)
۴- نام انگلیسی این روش Benefit of Doubt است که نگارندگان آن را مزیّت تردید ترجمه کرده‌اند.
5- Data Envelopment Analysis (DEA)
6- Urban Water Supply and Sewage Infrastructures
۷- مطابق با سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران فروش آب همان مصرف است که توسط شرکت‌های آب و فاضلاب شهری مورد شناسایی قرار گرفته است. تولید آب نیز کل حجم آبی است که در یک بازه زمانی مشخص (یک سال) توسط شرکت‌های آب و فاضلاب شهری از منابع مختلف تأمین و عرضه شده است.
8- Decision Making Unit (DMU)
9- Efficiency Frontier
10- Super-Efficient
۱۱- داده‌های پانل ترکیب داده‌های مقطعی و سری‌زمانی هستند. این داده‌ها دارای چندین مقطع مختلف هستند (در این مطالعه هریک از ۳۱ استان ایران یک مقطع بحساب می‌آیند) و هریک از این مقاطع دارای یک بازه زمانی مشخص هستند.
12- Fixed Effect
13- Random Effect
14- Urbanization Rate
15- Population Density
16- Gross Domestic Product Per Capita
17- Budget
18- Budget (Cumulative)
19- Dummy Variable

۵- مراجع

Allan J V, Kenway SJ, and Head BW (2021) Urban water security priorities- an Australian industry perspective. Water Supply. IWA Publishing 21(2):710–722

Alzyood M, Jackson D, Aveyard H, and Brooke J (2020) COVID-19 reinforces the importance of handwashing. Journal of Clinical Nursing 29(15–16):2760–2761

Asghari F, Piadeh F, Egyir D, Yousefi H, Rizzuto JP, Campos LC, and Behzadian K (2023) Resilience assessment in Urban water infrastructure: A critical review of approaches, strategies and applications. Sustainability 15(14):11151

Baltagi BH (2021) Econometric analysis of panel data. Cham: Springer International Publishing

Benito B, Faura Ú, Guillamón M-D and Ríos A-M (2019) The efficiency of public services in small municipalities: The case of drinking water supply. Cities 93:95–103

Cameron AC and Trivedi PK (2005) Microeconometrics: Methods and applications. Cambridge: Cambridge University Press

Chapagain SK, Mohan G, Rimba AB, Payus C, Sudarma IM, and Fukushi K (2022) Analyzing the relationship between water pollution and economic activity for a more effective pollution control policy in Bali Province, Indonesia. Sustainable Environment Research 32(1):5

Charnes A, Cooper WW, and Rhodes E (1978) Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operational Research, North-Holland 2(6):429–444

Chaysiri R, Chinviriyasit W and Louis GE (2024) Optimal control strategies for water, sanitation, and hygiene in mitigating spread of waterborne diseases. Journal of Process Control 133:103132

Cherchye L, Moesen W, Rogge N, and Puyenbroeck T Van (2007) An introduction to 'Benefit of the Doubt' composite indicators. Social Indicators Research 82(1):111–145

Daraio C and Simar L (2007) Advanced robust and nonparametric methods in efficiency analysis. Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis, New York: Springer

D'Inverno G and De Witte K (2020) Service level provision in municipalities: A flexible directional distance composite indicator. European Journal of Operational Research 286(3):1129–1141

Ferreira DC, Graziele I, Marques RC, and Gonçalves J (2021) Investment in drinking water and sanitation infrastructure and its impact on waterborne diseases dissemination: The Brazilian case. Science of The Total Environment 779:146279

Frauendorfer R and Liemberger R (2010) The issues and challenges of reducing non-revenue water. Mandaluyong, Philippines: Asian Development Bank

Freudenberg M (2003) Composite indicators of country performance: A critical assessment. Paris

Fusco E (2015) Enhancing non-compensatory composite indicators: A directional proposal. European Journal of Operational Research, North-Holland 242(2):620–630

Greco S, Ishizaka A, Tasiou M, and Torrisi G (2019) On the Methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation, and robustness. Social Indicators Research 141(1):61–94

Grigg NS (2019) Global water infrastructure: state of the art review. International Journal of Water Resources Development 35(2):181–205

Grimaldi M, Sebillo M, Vitiello G, and Pellecchia V (2020) Planning and managing the integrated water system: A spatial decision support system to analyze the infrastructure performances. Sustainability 12(16):6432

Hamidifar H, Ghorbani MK, Bakhshandeh MA, and Gholami S (2023) A multi-criteria multidimensional model for optimal selection of rural water supply systems. AQUA-Water Infrastructure, Ecosystems and Society 72(6):1042–1056

Jensen O and Khalis A (2020) Urban water systems: Development of micro-level indicators to support integrated policy. PLOS ONE 15(2): e0228295

Karimi Alavijeh N, Falahi MA, Ahmadi Shadmehri MT, Salehnia N, Larsen MAD, and Drews M (2021) Perspectives of current and future urban water security in Iran. Journal of Cleaner Production 321:129004

Khan S, Guan Y, Khan F, and Khan Z (2020) A comprehensive index for measuring water security in an urbanizing world: The case of Pakistan's Capital. Water 12(1):166

McDonald RI, Douglas I, Revenga C, Hale R, Grimm N, Grönwall J, and Fekete B (2011) Global urban growth and the geography of water availability, quality, and delivery. Ambio, Springer 40(5):437–446

McDonald RI, Weber K, Padowski J, Flörke M, Schneider C, Green PA, Gleeson T, Eckman S, Lehner B, Balk D, … Montgomery M (2014) Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. Global Environmental Change 27:96-105

Mohan G, Chapagain SK, Fukushi K, Papong S, Sudarma IM, Rimba AB, and Osawa T (2021) An extended Input–Output framework for evaluating industrial sectors and provincial-level water consumption in Indonesia. Water Resources and Industry 25:100141

Montgomery M, Stren R, Cohen B, and Reed HE (2003) Cities transformed: Demographic change and its implications in the developing world. Washington, DC: National Academies Press

OECD (2008) Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. Paris: OECD Publishing

OECD (2015) Fostering investment in infrastructure: Lessons learned from OECD investment policy reviews. Paris: OECD Publications

OECD (2016) Water governance in cities. Paris: OECD Publishing

Opricovic S and Djordjevic B (1997) MCDM in water resources investment planning. Springer, Berlin, Heidelberg 510–518

Pokhrel SR, Chhipi-Shrestha G, Mian HR, Hewage K, and Sadiq R (2023) Integrated performance assessment of urban water systems: Identification and prioritization of one water approach indicators. Sustainable Production and Consumption, Elsevier 36:62–74

Prüss-Ustün A, Wolf J, Bartram J, Clasen T, Cumming O, Freeman MC, Gordon B, Hunter PR, Medlicott K, and Johnston R (2019) Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. International Journal of Hygiene and Environmental Health 222(5):765–777

Ray SC (2004) Data envelopment analysis: Theory and techniques for economics and operations research. Data Envelopment Analysis, Cambridge: Cambridge University Press

Rimba AB and Hirabayashi Y (2023) Interlinkages of water-related SDG indicators globally and in low-income countries. Water 15(4):613

Rogge N, De Jaeger S, and Lavigne C (2017) Waste performance of NUTS 2-regions in the EU: A conditional directional distance benefit-of-the-doubt model. Ecological Economics 139:19–32

Salehi S, Jalili Ghazizadeh M, and Tabesh M (2018) A comprehensive criteria-based multi-attribute decision-making model for rehabilitation of water distribution systems. Structure and Infrastructure Engineering 14(6):743–765

Shephard RW (1970) Theory of cost and production functions. Princeton University Press

Sun M and Kato T (2021) Spatial-temporal analysis of urban water resource vulnerability in China. Ecological Indicators 133:1470–160.

Tripathi S (2017) Relationship between infrastructure and population agglomeration in Urban India: An Empirical Assessment. Tokyo.

United Nations (2018) Sustainable development goal 6: Synthesis report on water and sanitation. New York, US

Vidoli F, Fusco E, and Mazziotta C (2015) Non-compensability in composite indicators: A robust directional frontier method. Social Indicators Research 122(3):635–652

Vilarinho H, D'Inverno G, Nóvoa H, and Camanho AS (2023) The measurement of asset management performance of water companies. Socio-Economic Planning Sciences 87:101545

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme) (2015) The United Nations world water development report 2015: Water for a Sustainable World. Paris: UNESCO, 122p