



Comparison of water footprint trends in different products of Iran's economic sectors

Elmira Tarvirdizadeh ¹, Zahra Abedi ², Mohammad Sadegh Alipour ³

¹ Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

³ Department of Economic Statistics, Statistics Research Institute, Statistics Center of Iran, Tehran, Iran.

Corresponding Author email: Tarvirdizadeh@srbiau.ac.ir

© The Author (s) 2025

Received: 24 Jan 2025

Revised: 10 Mar 2025

Accepted: 21 Apr 2025

Published: 23 Apr 2025

Extended Abstract

Introduction

Water resource constraints have transformed the economic evaluation of water productivity into a critical issue. Among various metrics, the water footprint (WF) has emerged as one of the most important indicators for assessing water use efficiency from an economic perspective. This study examines changes in Iran's water footprint across agricultural, industrial, and service sectors for the years 2001, 2011, and 2016 using an input-output model. Given Iran's arid and semi-arid climate coupled with unsustainable water consumption patterns, analyzing WF trends is essential for future policymaking. Results indicate that Iran's total WF increased from 94,311.2 million m³ in 2001 to 120,483.3 million m³ in 2016, with the agricultural sector accounting for over 90% of the national WF. Analysis of virtual water trade reveals Iran's status as a net virtual water importer due to higher imports than exports during this period. The Falkenmark index declined from 2,678 m³/capita (2001) to 1,697 m³/capita (2016), while the UN water stress index increased from 53.8% to 88.8%, signaling severe water crisis conditions. These findings underscore the urgent need for sustainable water resource management strategies.

Materials and Methods

This research employed symmetric input-output tables (product-by-product) for 2001, 2011, and 2016 obtained from the Iranian Statistical Center. Sectoral water consumption data for agriculture, industry, and services were collected from the Iran Water Resources Management Company and the Economic Accounts Office. A top-down input-output approach was adopted for WF calculation, where direct water coefficients were derived by dividing sectoral water consumption by production output. The total water requirement matrix was then obtained by multiplying the diagonalized direct water coefficient matrix with the Leontief inverse matrix. Internal WF was calculated by multiplying the water multiplier matrix with the final demand matrix. For imported WF estimation, the study assumed that production technologies of imports were identical to domestic production. Virtual water trade balance was determined by subtracting exported virtual water from imported virtual water. Additionally, two water scarcity indicators were applied: the Falkenmark indicator (renewable water resources per capita) and the UN water stress index (annual withdrawals as percentage of renewable resources). Study limitations included unavailability of post-2016 input-output tables and inconsistencies in water consumption data recording across different institutions.

Results and Discussion

Sectoral WF analysis revealed that agriculture dominated Iran's water consumption, maintaining approximately 94% share in 2001 and 95% in 2016. The agricultural WF grew from 88,579.3 million m³ (2001) to 114,457.4 million m³

(2016), indicating substantial water use intensification. Within industry, chemical and pharmaceutical production accounted for the highest WF, while oil and gas sectors showed declining WF trends. The services sector exhibited maximum WF in electricity, water, and gas utilities. Virtual water trade analysis confirmed Iran's persistent net importer status throughout the study period, with the trade deficit expanding from 698 million m³ (2001) to 7,127.8 million m³ (2016), reflecting growing external water dependence. Agricultural products like wheat and barley constituted major virtual water imports, while fish and fishery products occasionally featured as exports. The Falkenmark index demonstrated consistent decline from 2,678 m³/capita (2001) to 1,697 m³/capita (2016), indicating critical reduction in renewable water availability per capita. Concurrently, the UN water stress index escalated from 53.8% to 88.8%, confirming severe water crisis conditions according to international benchmarks. Comparative analysis with previous studies revealed discrepancies with Tafazzoli (2013) which reported Iran as net virtual water exporter in 2006, potentially attributable to methodological differences or shifting trade patterns. However, the findings aligned with Zarei (2016) which identified Iran as net importer in 2011.

Conclusion

The study findings paint a concerning picture of Iran's water resource status. The simultaneous growth of national WF and decline of renewable water resources necessitates immediate action toward sustainable water management. The agricultural sector, as the dominant water consumer, requires fundamental reforms in cropping patterns and irrigation efficiency. Expanding virtual water imports, while temporarily alleviating domestic pressure, may threaten long-term water and food security by increasing external dependencies. Water productivity improvements in industrial and service sectors must become policy priorities. The critical water scarcity status confirmed by both Falkenmark and UN indicators demands transformative changes in water governance approaches. Policy recommendations include: (1) implementing water-saving agricultural technologies and crop optimization, (2) promoting water-efficient industrial processes, (3) developing sustainable trade policies that consider virtual water flows, and (4) establishing integrated water monitoring systems across all sectors to enhance data reliability for future analyses. This research demonstrates that without urgent interventions, Iran will face severe challenges in maintaining water security. The findings provide crucial evidence for policymakers to develop comprehensive strategies addressing both supply-side and demand-side water management, with particular emphasis on the water-food-energy nexus in national development planning.

Keywords: Input-output analysis, Virtual water, Water footprint, Water trade

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Elmira Tarvirdizadeh: Writing, Methodology, Investigation & Data Collection, Software, Analysis; **Zahra Abedi:** Supervision, Methodology, Software, and Data Analysis; **Mohammad Sadegh Alipour:** Supervision, Text Editing, Data Collection & Completion.

Citation: Tarvirdizadeh, E., Abedi, Z., & Alipour, M. S. (2024). Comparison of water footprint trends in different products of Iran's economic sectors. *Technical Strategies in Water Systems*, 2(4), 285-303.
<https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1197339>

Publisher: Islamic Azad University, Isfahan Branch



بررسی تغییرات روند ردپای آب در محصولات مختلف بخش های اقتصادی ایران

المیرا تاروردی زاده^۱، زهرا عابدی^۲، محمد صادق علی پور^۳

۱. دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمدها، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. دانشکده آمار اقتصاد، مرکز تحقیقات آمار ایران، تهران، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: Tarvirdizadeh@srbiau.ac.ir

© The Author (s) 2025

چاپ: ۱۴۰۴/۲/۰۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱

بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۵

چکیده

امروزه با محدودیت منابع آب، بررسی اقتصادی بهره‌وری آب از اهمیت بالایی برخوردار است. در این بین ردپای آب یکی از مهم‌ترین مسائلی است که می‌توان آن را از نظر اقتصادی بررسی نمود. لذا پژوهش حاضر تغییرات ردپای آب در ایران را برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ با استفاده از مدل اقتصادی داده- ستانده مورد بررسی قرار داده است. این پژوهش، بر اساس مدل داده- ستانده، رویکرد از بالا به پایین به سنجش و بررسی مصرف آب در بخش‌های اقتصادی کشور ایران پرداخته است. برای بررسی تکمیلی از شاخص‌های مختلفی از جمله فالکن مارک و شاخص سازمان ملل در بررسی ردپای آب استفاده شد. نتایج محاسبات ردپای آب نشان داد که مقدار ردپای کل در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۹۴۳۱۱/۲، ۱۰۴۶۸۹/۶ و ۱۲۰۴۸۳/۳ میلیون مترمکعب بوده است. در بین بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات، بخش کشاورزی با مقادیر ردپای ۸۸۵۷۹/۳، ۹۸۲۴۳/۶ و ۱۱۴۴۵۷/۴ میلیون مترمکعب برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ بیشترین ردپای آب را داشته است. مقایسه مقادیر ردپای آب نشان داد که مقدار ردپای وارداتی از ردپای صادراتی بیشتر بوده است. بررسی تجارت آب مجازی کشور نشان داد ایران به دلیل واردات محصولات بیشتر از صادرات، طی سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۵ واردکننده خالص آب مجازی بوده است. شاخص فالکن مارک برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۲۶۷۸/۱، ۱۹۴۵ و ۱۶۹۷/۸۱ مترمکعب محاسبه شد. در نهایت شاخص سازمان ملل برای سال‌های مذکور به ترتیب ۵۳/۸، ۷۱/۶ و ۸۸/۸ درصد محاسبه شد، که نشان از ورود ایران به بحران آبی دارد. در حالت کلی نتایج حاکی از وضعیت نگران‌کننده کشور از لحاظ آب و منابع آبی است و نیاز است تا مدیران و مسئولان بخش‌های مختلف کشور اهتمام کامل در توجه به این مهم داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل داده - ستانده، آب مجازی، ردپای آب، تجارت آب

استناد: تاروردی زاده، ا.، حسینی، س. ع.، عابدی، ز. و علی پور، م. ص. (۱۴۰۳). مقایسه روند ردپای آب در محصولات مختلف بخش‌های اقتصادی ایران. راهبردهای فنی در سامانه های آبی، ۲(۴): ۲۸۵-۳۰۳. <https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1197339>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

۱- مقدمه

مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک اغلب مسئله بحث برانگیزی است، تا حدی که برخی از کارشناسان منابع آب چالش های این بخش را به کمبود فیزیکی آب مرتبط ندانسته و دلیل اصلی را نتیجه سوء مدیریت در این بخش می دانند. در سال های اخیر مفهوم آب مجازی در ترکیب با شاخص ردپای آب، با پیوند طیف وسیعی از بخش های مصرف کننده آب، چارچوب جدیدی با پتانسیل بالا در زمینه مدیریت بهینه منابع و با در نظر داشتن الگوی تولید، مصرف، تبادلات درون مرزی و برون مرزی کالا ارائه نموده اند. لذا کاربردهای شاخص ردپا در سیاست گذاری های بخش آب در سطوح مختلف قابل تعریف و طبقه بندی است.

مفهوم ردپای آب (WF^1) اولین بار توسط هوکسترا^۲ در سال ۲۰۰۲ میلادی مطرح شد که از آن به عنوان ابزاری قوی برای نشان دادن تأثیرات ملت ها بر منابع طبیعی آب، بهره برداری می شود. ردپای آب؛ میزان برداشت انسان از منابع آب شیرین جهان را برآورد می کند (Hoekstra, 2007). ردپای آب نه تنها استفاده مستقیم از آب شیرین توسط مصرف کنندگان بلکه استفاده غیرمستقیم آن را نیز تجزیه و تحلیل می کند. پایداری استفاده از آب را می توان با مقایسه ردپای آب با آب موجود، با در نظر گرفتن الزامات جریان محیطی ارزیابی کرد (Hoekstra et al. 2011). مفهوم آب مجازی نیز ارتباط نزدیکی با مفهوم ردپای آب دارد. در واقع، آب موجود در محصولات و خدمات، به عنوان آب مجازی شناخته می شود (Chapagain & Hoekstra, 2004). مطالعات هوکسترا در سال ۲۰۱۷ نشان داد که ترکیب مصرف آب در داخل کشور با واردات خالص آب مجازی، نشان دهنده مقدار آب مصرفی توسط مردم آن کشور است. مطالعات انجام شده نشان می دهد که ردپای آب به مقدار مصرف (بسته به درآمد ناخالص داخلی)، الگوی مصرف (میزان و ترکیب مصرف فرآورده های کشاورزی و دامی)، اقلیم (شرایط بیولوژیکی رشد و تولید کشاورزی و دام پروری)، میزان تولیدات و واردات کالا و فناوری کشت و بهره وری کشاورزی در استفاده از منابع آب بستگی دارد (Hoekstra, 2017). در سال ۲۰۰۴ متوسط ردپای آب در جهان ۱۶۴۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر و ردپای آب در ایران ۱۲۴۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر بوده است (Chapagain & Hoekstra, 2004). ایالات متحده با ۲۴۸۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر، بیشترین و چین با ۷۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر کمترین متوسط ردپای آب در جهان را دارا بوده اند (Chapagain & Hoekstra, 2004). برنامه ریزی کلان بخش منابع آب، بخصوص کشورهایی که با محدودیت منابع آب مواجه هستند، بدون در نظر داشتن مفهوم ردپای آب و آب مجازی و سنجش شاخص ردپای آب (که ارزیابی کمی مربوط به وضع موجود را نشان می دهد)، از جامعیت قابل قبول متناسب با نیازهای امروزی مدیریت و برنامه ریزی منابع آب برخوردار نخواهد بود (Office of Sustainable Development, 2015). در کشوری مانند ایران که با کمبود منابع آب مواجه بوده و اکنون در مرحله بحران آب می باشد، تعیین مقدار حداقل ردپای آب در راستای دستیابی به پایداری در بهره برداری از منابع آب، ضروری می نماید. برای مطالعه ردپای آب، به طور کلی، دو روش موسوم به روش «تولید درخت» و «روش داده-ستانده» وجود دارد. روش تولید درخت به هنگام محاسبه محتوای آب مجازی محصولات، معمولاً با داده های اقلیمی ترکیب می شود (Deng et al., 2016). در مقابل، در رویکرد داده-ستانده از داده های مصرف آب و جداول داده - ستانده برای محاسبه ضریب مستقیم آب و ضریب فزاینده آب برای هر منطقه استفاده می شود. در ادامه می توان مقدار ردپای آب را با ضرب ضریب فزاینده آب در حجم مصرف نهایی در منطقه به دست آورد (Feng et al., 2012; Chen & Chen 2013; Wang et al. 2013; Zhang & Anadon 2014). مدل داده - ستانده، به عنوان یک رویکرد از بالا به پایین، به طور گسترده به عنوان یک ابزار مؤثر برای ارزیابی جریان منابع طبیعی استفاده می شود (Tian et al. 2018). این امر به

¹ Water Footprint² Hoekstra

ویژه در مناطق خشک با سطوح بالای کمبود آب از اهمیت بالایی برخوردار است. مزیت استفاده از رویکرد بالا به پایین در روش داده- ستانده در آن است، که کل زنجیره را در بر می‌گیرد. این دلیل اصلی استفاده از رویکرد بالا به پایین در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی است (Feng et al. 2012). بنابراین، امکان کمی سازی محتوای آب مجازی محصولات و خدمات مختلف در اقتصاد یک منطقه را فراهم می‌کند. این مدل برای ارزیابی تجارت آب در مقیاس منطقه‌ای (Dietzenbacher & Velázquez 2013; Zhang & Anadon 2014; Guo & Shen 2007; Zhang et al. 2010; Dong et al. 2013; Cazcarro et al. 2013) و بین‌المللی (Yu et al. 2010; Chen & Chen 2013; Lenzen et al. 2013 White et al. 2018) صرفاً از نقطه نظر پایداری استفاده شده است.

عمده پژوهش‌های انجام شده در کشور بر برآورد ردپای آب یک یا چند محصول استراتژیک کشاورزی نظیر برنج، گندم، پسته و محصولات مشابه در یک استان یا منطقه متمرکز شده است (Oveisi et al., 2019; Rastegaripour et al., 2021; Mobaraki & Mobaraki, 2021; Bohlolzadeh et al., 2021; Piri & Sarani, 2020; Dehghanpir et al. 2024; Abdollahzadeh Kahrizi et al., 2023;). در پاره‌ای از تحقیقات نیز محققان داخلی تلاش نموده‌اند ردپای آب یک بخش از اقتصاد کشور را با استفاده از رهیافت‌های حسابداری و با بهره‌گیری از جداول داده- ستانده منطقه‌ای یا ملی یک سال مورد مطالعه قرار دهند (Karbasi & Rafiei, 2014; Tafazzoli, 2013; Nasrollahi & Zarei 2018; Najafi et al., 2022).

ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خود، همواره با مشکلات آبی مواجه بوده است. در کنار این موارد، میزان بارش سالیانه از ۵۰ میلی‌متر برای مناطق جنوب شرقی و مرکزی تا ۱۶۰۰ میلی‌متر در مناطق شمالی متغیر است. همچنین مقدار تبخیر از تشت بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر است. در مقایسه با میانگین جهانی، ایران حدود یک‌سوم میانگین جهانی بارندگی و تبخیر سالانه را حدود سه برابر میانگین جهانی دارد. همچنین توزیع بارش در مناطق مختلف آن بسیار ناهمگن است و اغلب بارش‌ها در مناطق کوهستانی رخ می‌دهد. علاوه بر این، تطابق زمانی ضعیفی بین دوره‌های بارندگی و فصول تولید کشاورزی در دشت وجود دارد. بنابراین لازم است از طریق ابزارهای مختلف برای جلوگیری از بحران کم‌آبی در ایران اقدام شود (Central Bank of Iran, 2014). از این رو، شناخت ردپای آب در ایران و به‌ویژه تغییرات آن طی بیش از یک دهه، نقش اساسی در تصمیم‌گیری‌هایی دارد که می‌تواند بر مشکلات آب در این کشور فائق آید. لذا در این تحقیق سعی شده است چارچوبی برای محاسبه ردپای آب ملی^۱ (NWF) با استفاده از تحلیل جدول داده-ستانده برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در ایران ارائه شود.

با توجه به چالش‌های موجود در انتشار جداول داده-ستانده و عدم انتشار آن‌ها در بازه‌های زمانی کوتاه، «رشد تغییرات ردپای ایران» به‌عنوان یک کشور نیمه خشک هرگز در مطالعات موردی قبلی مورد بحث قرار نگرفته است. این مطالعه به‌منظور تحلیل منابع و مصارف آب در ایران به عنوان کشوری پرتنش در یک دوره زمانی ۱۵ ساله انجام شده است و نتایج آن نشان دهنده روند تغییرات و نقش مدیریت در بخش منابع آب است. در این تحقیق تلاش شده است؛ روند تغییرات آب تجدیدپذیر استخراج شده از بیلان آب در کنار ردپای محاسبه شده بررسی شود. کمبود آب به دلیل استفاده از بخش قابل توجهی از منابع آبی برای تولید اقتصادی، به عنوان یک موضوع عمده در ایران مطرح شده است. تجزیه و تحلیل کامل مصرف آب در بخش‌های مختلف و تخمین

^۱ National Water Footprint

دقیق ردپای آب با تعیین سهم تجارت آب مجازی نیز مورد توجه است که بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش برای اولین بار با نگاه کلان به ظرفیت زیستی آب کشور تلاش شده است که شکاف آب مورد توجه قرار گیرد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

کشور ایران در طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۶ دقیقه و ۲۲/۷ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۵/۷۹ ثانیه قرار گرفته است. مساحت ایران ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع است و دارای ۳۱ استان است. مطابق برآوردهای انجام شده، ایران در دهه های آینده با افزایش ۲/۶ درجه سانتی گراد میانگین دما و کاهش ۳۵ درصدی بارندگی مواجه خواهد شد (Auffhammer, 2022). در یک دوره ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰ نسبت به دوره ۴۰ ساله منتهی به سال آبی ۱۳۸۴-۸۵، حجم بارندگی ۴/۹۶ درصد کاهش، حجم تبخیر و تفرق واقعی ۱/۲ درصد افزایش و حجم آب تجدید پذیر تولیدشده در کشور ۱۸/۰۳ درصد کاهش یافته است. این میزان کاهش ناشی از کاهش باران، افزایش دما و تغییر رویکرد در فرایند تهیه بیلان در دوره اخیر نسبت به دوره قبل می باشد (Office of Basic Studies of Iranian Water Resources, 2016). بر اساس اطلاعات مربوط به ۱۰۴ ایستگاه باران سنجی مبنای وزارت نیرو و استفاده از شبکه تیسن کشوری ایستگاه های مذکور، حجم بارش در ۱۵ سال منتهی به سال آبی ۱۳۹۴-۹۵، ۳۶۴/۷ میلیارد مترمکعب می باشد. در این دوره میزان تبخیر و تفرق محاسبه نشده است اما با فرض ۷۲/۳ درصد تبخیر و تفرق واقعی (منتج از بیلان منتهی به ۱۳۸۹-۹۰)، حجم آب تجدید پذیر کشور ۱۰۱/۰۲ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (Bahrami Mehneh, 2017).

هم زمان با رشد جمعیت و کاهش منابع آب تجدید پذیر، روند شاخص سرانه این منابع نیز در دهه های اخیر، نشان دهنده کاهش منظم آن است، به طوری که مقدار آن از ۶۹۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۳۵ به ۲۱۶۵ مترمکعب در سال ۱۳۷۶، ۱۴۶۲ مترمکعب در سال ۱۳۹۰ و ۱۲۹۴ مترمکعب در سال ۱۳۹۵ رسیده است. همچنین با توجه به جمعیت پیش بینی شده برای کشور در افق سال ۱۴۲۰ (حدود ۱۰۶ میلیون نفر، مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور) و با فرض ۱۰۳ میلیارد مترمکعب میزان آب تجدید پذیر درازمدت، میزان سرانه به ۹۷۶ مترمکعب در سال خواهد رسید. به این ترتیب طی حدود ۶۰ سال سرانه آب تجدید پذیر از محدوده نرمال بدون تنش به محدوده تنش آبی و سپس به سمت محدوده کمیابی آب تغییر خواهد کرد.

۲-۲- روش کار

فلوچارت انجام تحقیق در شکل (۱) ارائه شده است. در مرحله اول جدول داده-ستانده برای سال های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ از پایگاه اینترنتی مرکز آمار ایران^۱ دریافت شد. این تحقیق می توانست به نتایج جامع تری از مقایسه سال ها برسد که به دلیل نبود اطلاعات این مهم میسر نشد. لازم به ذکر است که نویسندگان سعی کرده اند از تمامی جداول داده-ستانده موجود برای محاسبات ردپای آب و تجارت آب مجازی استفاده کنند، اما به دلیل مشکلات تولید و انتشار این جداول توسط مرکز آمار ایران و انتشار دیر هنگام آن ها، دسترسی به جداول سال های اخیر ممکن نبود. جداول داده-ستانده مجموعه کاملی از اساسی ترین اطلاعات در مورد اقتصاد یک کشور را ارائه می دهد و برای تهیه حساب های ملی حیاتی است. مرجع اصلی تهیه این جداول مرکز آمار ایران

^۱ <https://www.amar.org.ir>

می‌باشد. اولین تلاش برای تهیه چنین جداول مربوط به سال ۱۳۸۰ است، بنابراین جداول داده-ستانده قبل از سال ۱۳۸۰ ارائه نشده است، همچنین ایران به دلیل پیچیدگی و زمان بر بودن تولید این جداول، هنوز جدولی را پس از سال ۱۳۹۵ به‌طور رسمی منتشر نکرده است. علاوه بر این، عدم ثبت منظم داده‌های مصرف آب و یافتن داده‌های معتبر به دلیل وجود نهادهای مختلف مدیریت آب، محدودیت‌هایی را برای تحلیل کامل ردپای آب در سال‌های اخیر ایجاد کرده است.

جداول داده - ستانده مورد استفاده در این تحقیق جداول متقارن اقتصاد ایران هستند. داده‌های تکمیلی مصرف آب در دوره مورد مطالعه برای بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات از شرکت مدیریت منابع آب ایران و دفتر حسابداری اقتصادی اخذ شده است. پارامترهایی نظیر ضریب آب، حجم آب مصرفی هر محصول بر حسب میلیون مترمکعب با ضرب کردن ضریب آب در حجم آب مصرفی آن بخش از اقتصاد (مانند مصرف محصولات زراعی از مصرف کل کشاورزی)، ضریب مستقیم آب برای هر محصول محاسبه شد. در مرحله بعد، ردپای آب در محصولات وارداتی و صادراتی محاسبه گردید. سپس در ادامه آب مجازی محاسبه شده در سه سال مذکور مورد محاسبه و تحلیل قرار گرفت. آنچه در شکل (۱) قابل مشاهده است روند انجام این تحقیق را نشان می‌دهد.

شکل ۱- فلوچارت انجام تحقیق حاضر

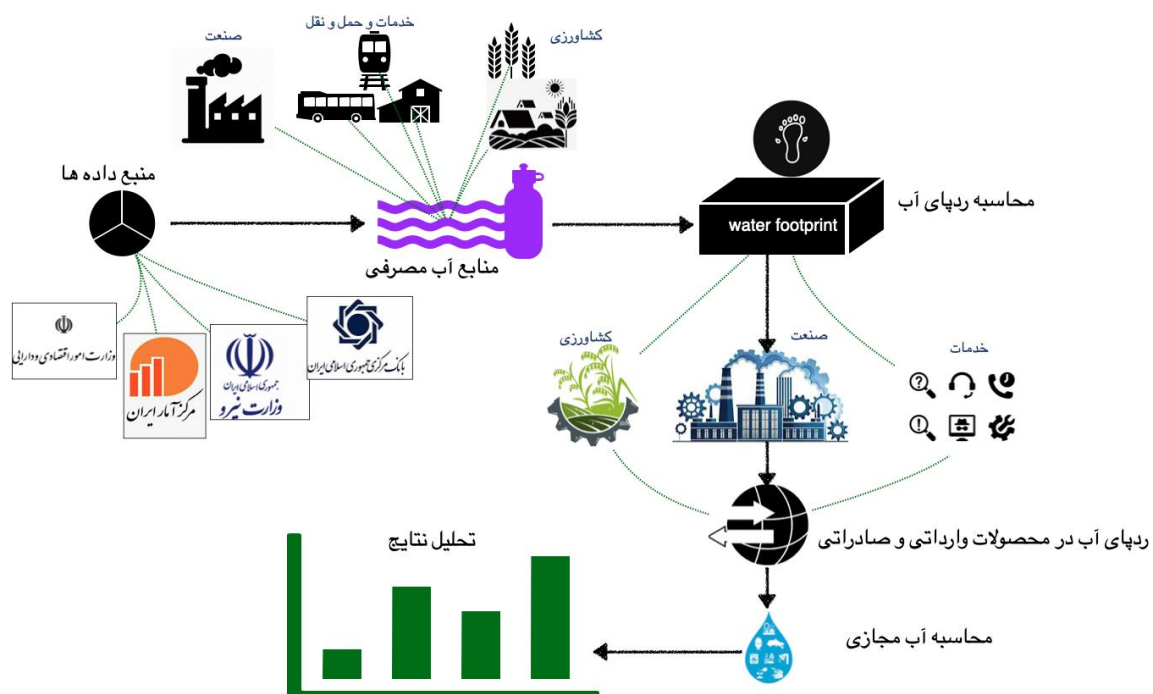


Fig 1. Flowchart of the present research

۲-۲-۱- روابط حاکم بر محاسبه ردپای آب

هدف تحقیق حاضر ارزیابی وضعیت مصرف آب در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران با رویکرد ارزیابی ردپای آب در دوره ۱۵ ساله با مقایسه آن با شاخص‌های فالکن مارک و سازمان ملل متحد است. هوکسترا و هانگ مفهوم ردپای را معرفی کردند که به عنوان

مجموع مصرف آب داخلی و خالص تراز تجاری آب مجازی^۱ VWT^۱ وارد شده به یک کشور تعریف می شود (Hoekstra & Hung, 2003). بر اساس این مفهوم، ردپای آب به طور خاص به میزان آب مصرفی اشاره دارد. این شاخص شامل مصرف آب در داخل و خارج از یک کشور است، اما با مصرف نهایی محصولات و خدمات در آن کشور مرتبط است (Hoekstra et al., 2011). شاخص ردپای آب ملی^۲ از دو بخش ردپای آب داخلی (WF_i) و ردپای آب خارجی (WF_e) تشکیل شده است. ردپای آب ملی برای یک کشور از رابطه (۱) به دست می آید.

ردپای آب ملی برای یک کشور معمولاً با کم کردن مقدار آب مجازی خروجی از کشور (LWF) از کل مصرف آب آن (TWF) به اضافه مقدار آب مجازی ورودی به آن (EWF) محاسبه می شود.

به عبارت دیگر؛ ردپای آب مصرفی (DWF) با کم کردن LWF از TWF به دست می آید که در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$NWF = WF_i + WF_e = (TWF - LWF) + EWF = DWF + EWF \quad (۱)$$

$$DWF = AWF + IWF + SWF - LWF \quad (۲)$$

$$EWF = VWI - VWF_{re-export} \quad (۳)$$

در رابطه (۲)، (AWF) حجم آب مصرفی از منابع داخلی شامل آب مصرفی در ردپای آب کشاورزی، ردپای آب صنعت (IWF) و ردپای آب خدماتی (SWF) منهای آب مجازی خارج شده در قالب صادرات (LWF) است.

EWF به حجم سالانه منابع آب سایر کشورها برای تولید کالا و خدمات برای جمعیت داخلی اشاره دارد. EWF برابر با واردات آب مجازی (VWI) منهای حجم صادرات آب مجازی به سایر کشورها ناشی از صادرات مجدد محصولات وارداتی ($VWE_{re-export}$) است.

و در نهایت سرانه ردپای ملی از رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$WF_{pc} = \frac{NWF}{TP} \quad (۴)$$

که در آن NWF ردپای آب ملی، TP° جمعیت کل کشور و WF_{pc} نیز سرانه ردپای آب ملی است.

مقدار جمعیت کشور در سالهای مورد مطالعه از مرکز آمار ایران اخذ گردیده است.

مقایسه ظرفیت آب تجدید پذیر با ردپای آب ملی (NWF) در سالهای مورد مطالعه به منظور بررسی بهره وری و مدیریت منابع آب تجدیدپذیر انجام شده است. در این تحقیق از دو شاخص فالکن مارک و شاخص تنش آبی سازمان ملل برای ارزیابی برداشت از منابع آبی استفاده شده است. طبقه بندی این شاخص در جدول (۱) ارائه شده است.

¹ Virtual Water Trade

² National WF

³ Internal WF

⁴ External WF

⁵ Total Population

جدول ۱- طبقه‌بندی وضعیت منابع آب بر اساس شاخص فالکن مارک و شاخص سازمان ملل (Talebi and Karimi, 2023)

Table 1. Classification of water resources status based on the Falkenmark index (Talebi and Karimi, 2023)

شاخص سازمان ملل		شاخص فالکن مارک	
وضعیت	جمع برداشت (درصد)	وضعیت	سرانه آبی (مترمکعب در سال)
بحران شدید	بیشتر از ۴۰	بدون مشکل	بیش از ۱۷۰۰
بحران متوسط تا شدید	۲۰-۴۰	با مشکل کمبود آب	۱۷۰۰-۱۰۰۰
بحران آب در حد متعادل	۱۰-۲۰	دچار کمبود آب	۱۰۰۰-۵۰۰
بحران کم	کمتر از ۱۰	دچار کمبود شدید آب	کمتر از ۵۰۰

شاخص فالکن مارک برای محاسبه مقدار سرانه در دسترس بودن منابع آب در سطح کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص تنش آبی سازمان ملل، کمبود آب را بر حسب مجموع میزان برداشت سالانه به صورت درصدی از کل منابع آب سالانه معرفی می‌کند.

مطابق جدول (۱) در شاخص فالکن مارک در صورتی که سرانه آب کمتر از ۵۰۰ متر مکعب در سال باشد، بیانگر کمبود شدید آب است. در حالی که بر پایه شاخص سازمان ملل که به صورت درصد بیان می‌شود، اگر بیش از ۴۰ درصد باشد آنگاه بحرانی شدید کم آبی اتفاق افتاده است.

۲-۲-۲- ردپای آب ملی براساس رویکرد داده - ستانده

جدول داده- ستانده ایران مبادله سالانه کالا و خدمات را در بین بخش‌های مختلف اقتصاد ایران به واحد پولی نشان می‌دهد. به منظور محاسبه شاخص ردپای آب ملی (NWF)، از روش مورد استفاده توسط (Zhao et al., 2009) استفاده شده است. ساختار جدول داده-ستانده متقارن اقتصاد ایران (محصول در محصول) در جدول (۲) به صورت جدول استاندارد ارائه شده است. ردیفی با عنوان مصرف آب و خدمات مربوط (w_j) در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

ابتدا جدول متقارن اقتصاد ایران به دو بخش «کشاورزی» و «صنعت و خدمات» تفکیک و میزان آب مصرفی برای هر دو بخش محاسبه گردید. در ادامه پارامترهایی نظیر ضریب آب، حجم آب مصرفی هر محصول بر حسب میلیون مترمکعب با ضرب کردن ضریب آب در حجم آب مصرفی آن بخش از اقتصاد (مانند مصرف محصولات زراعی از مصرف کل کشاورزی)، ضریب مستقیم آب برای هر محصول محاسبه شد. در مرحله بعد ماتریس «ضرایب فزاینده آب» از حاصل ضرب «ماتریس قطری ضرایب مستقیم آب» در «ماتریس فزاینده تولید یا ماتریس معکوس لئونتیف» به دست آمد و از ضرب «ماتریس ضرایب فزاینده آب» در «ماتریس قطری تقاضای داخلی» ماتریس ردپای آب داخلی محاسبه گردید. مقدار ردپای آب هر محصول نیز از جدول متقارن اقتصاد ایران با ضرب کردن «ماتریس ردپای آب داخلی» در «ماتریس واحد» محاسبه شد. محاسبه ردپای آب مجازی وارداتی مطابق رابطه (۵) صورت گرفته است.

$$m_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} + m_i^f + m_i^e \quad (5)$$

m_{ij} واردات از بخش i خارج از کشور به بخش j داخلی است، m_i^f واردات از بخش i خارج از کشور برای مصرف داخلی و m_i^e واردات از بخش i خارج از کشور برای استفاده در صادرات مجدد است.

جدول ۲- ساختار جدول داده - ستانده متقارن اقتصاد ایران

Table 2. Structure of the Iran Input – Output table

تولید ناخالص		تقاضای نهایی		استفاده متوسط	خروجی
		صادرات	مصرف داخلی		
x_i	e_i	f_i	x_{ij}	ورودی داخلی	ورودی های میانی
	m_i^e	m_i^f	m_{ij}	واردات	
			c_j	مقدار افزوده	
			x_j	ستانده کل	
			w_j	آب و خدمات مربوط	

از آنجایی که واردات به یک کشور معمولاً از کشورها و مناطق مختلف در سراسر جهان با استفاده از فناوری های تولید مختلف انجام می شود (Wiedmann et al., 2007) و فناوری های تولید در کشورهای مختلف متفاوت است، لذا مانع از مدل سازی تفاوت ها توسط یک مدل داده-ستانده واحد می شود، برای حل این مشکل، این فرض پرکاربرد معرفی می شود که فرآیند و فناوری ساخت یک محصول وارداتی مشابه فرآیند تولید یک محصول داخلی است. این فرض با مفهوم آب مجازی وارداتی که توسط Renault (2003) تعریف شده بود، مخالف است، وی استدلال کرد که آب مجازی وارداتی با آب مصرف شده واقعی در محل تولید برابری نمی کند. با این حال، با پذیرش فرضیه فوق، با واردات محصولات و به تبع آن، واردات آب مجازی که در تولید آن محصول مورد استفاده قرار گرفته است، در مصرف آبی که در تولید داخلی مورد استفاده قرار می گیرد، صرفه جویی می شود (Zhao et al., 2009). ردپای آب وارداتی مطابق رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$[m_i] = [\beta_{ij}] \hat{m}_{ij} \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + [\beta_{ij}] \hat{m}_i^f \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

در این روش و بر اساس ساختار اقتصادی ایران، مقصدی برای صادرات مجدد واردات وجود ندارد. تفاوت میزان آب مجازی وارداتی با مقدار آب مجازی صادراتی نشان دهنده تراز تجاری آب مجازی یا خالص تجارت آب مجازی در کشور است. اگر ارزش آب مجازی صادراتی بیشتر از ارزش وارداتی باشد، کسری دارد و بالعکس.

در روابط ۷ و ۸: VWF_i ردپای آب مجازی است که از تفاضل δ_i (ردپای آب مجازی صادراتی) از m_i (ردپای آب مجازی وارداتی) حاصل می شود. بدیهی است که از مجموع ردپای آب مجازی بخش های مختلف، ردپای آب مجازی ملی ($NVWF^1$) حاصل می شود.

$$VWF_i = [m_i] - [\delta_i] \quad (7)$$

$$NVWF = \sum_{i=1}^n VWF_i \quad (8)$$

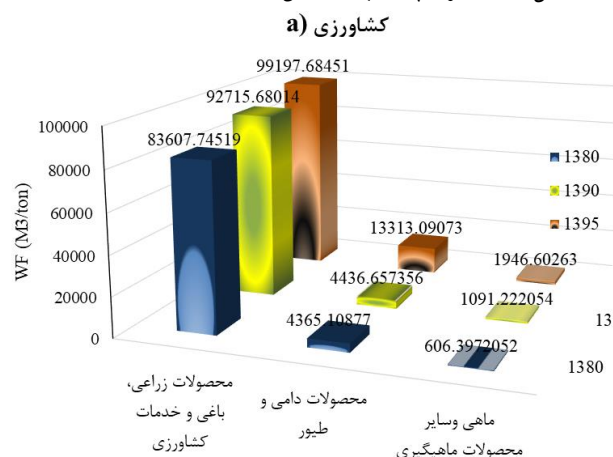
¹ National Virtual Water Footprint

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ردپای آب در بخش‌های مختلف اقتصادی

مقدار ردپای آب حاصل از محاسبات مشروح، برای بخش‌های مختلف اقتصادی در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس این جدول، بخش کشاورزی در سال ۱۳۸۰ با مقدار ردپای ۸۸۵۷۹/۳ میلیون مترمکعب تقریباً معادل ۹۴ درصد از ردپای کل بخش اقتصادی را به خود اختصاص داده است. در سال ۱۳۸۰، بخش خدمات با مقدار ردپای آب ۴۴۶۵/۲ میلیون مترمکعب، از بخش صنعت، در مصرف آب پیشی گرفته است. در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ ردپای آب در دو بخش کشاورزی و صنعت به ترتیب ۲۲/۶ و ۴۶ درصد افزایش یافته است، در مقابل، این مقدار برای بخش خدمات، در حدود ۱۸/۵- درصد کاهش یافته است. نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که ایران به دلیل واردات محصولات، بیشتر از صادرات، طی سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۵ واردکننده خالص آب مجازی بوده است. تراز تجاری آب مجازی طی ۱۵ سال از ۶۹۸ میلیون مترمکعب به ۷۱۲۷/۸ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. در نهایت، سهم ردپای آب مجازی در ردپای آب بخش کشاورزی از ۰/۵۴ درصد به بیش از ۶ درصد بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ افزایش یافته است که بالاترین رشد در میان بخش‌ها به شمار می‌رود. با توجه به سهم عمده ردپای بخش کشاورزی در کل ردپای آب کشور، همین سهم از رشد سطح آب مجازی را می‌توان در ردپای کل کشور مشاهده کرد. روند تراز آب تجاری در بخش صنعت از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ به مقدار ۲/۰۴ کاهشی بوده است. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌برداری از آب در بخش‌های مختلف به دلیل رشد جمعیت و اجرای طرح‌های توسعه افزایش یافته است. در مقایسه با سایر بخش‌ها، بخش صنعت بیشترین افزایش بهره‌برداری از آب را داشته است. این نشان‌دهنده میزان افزایش سرانه آب ملی است. لازم به ذکر است که روند کاهشی ردپای آب در بخش خدمات ممکن است اثر منفی بر توسعه پایدار داشته باشد.

در شکل‌های (۲) تا (۴) ردپای آب به تفکیک برای کشاورزی، صنعت و خدمات ارائه شده است. مطابق شکل (۲)، بیشترین مقدار ردپای محصولات کشاورزی، به بخش زراعی، باغی و خدمات کشاورزی اختصاص یافته است. ردپای آب برای محصولات کشاورزی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ افزایش یافته است. در سال ۱۳۹۵، ردپای محصولات زراعی، باغی و خدمات کشاورزی ۹۹۱۹۷/۷ میلیون مترمکعب بوده است.

شکل ۲- مقادیر ردپای آب در بخش کشاورزی (m^3/ton)Fig 2. Water footprint values in the agricultural sector (m^3/ton)

در بخش صنعت (شکل ۳)، بیشترین ردپای آب در بخش صنعت صرف تولید مواد شیمیایی و دارویی شده است، در مقابل مقدار ردپای آب برای نفت، گاز، محصولات معدنی و فرآورده های نفتی طی سال های ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۵ از ۳۳۸/۴۷ به ۱۳۹/۴۲ میلیون مترمکعب کاهش یافته است.

شکل ۳- مقادیر ردپای آب در بخش صنعت (m^3/ton)

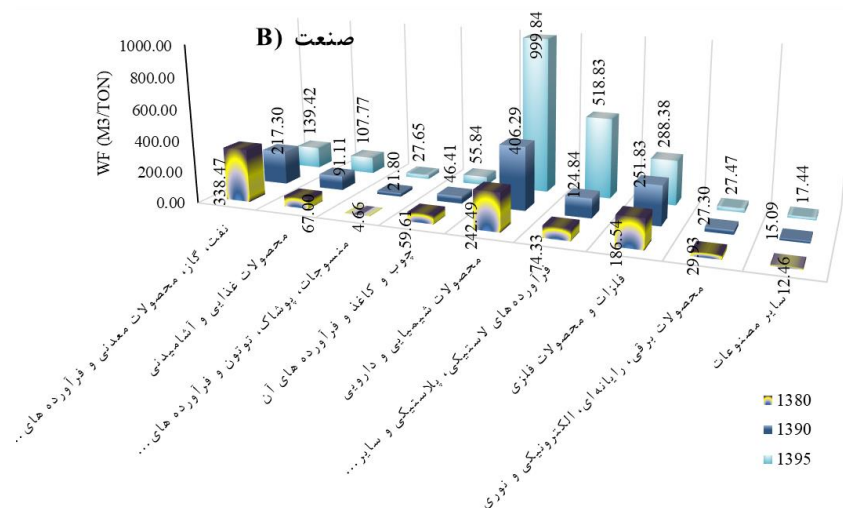


Fig 3. Water footprint values in the industrial sector (m^3/ton)

مطابق شکل (۴) نیز در هر سه دوره مورد بررسی، در بخش خدمات، بیشترین مقدار ردپای آب مربوط به (برق، آب، گاز و خدمات مربوطه) بوده است. مقدار ردپای آب در سال ۱۳۹۰ برای "محصولات برق، آب، گاز، فاضلاب و خدمات مربوط" ۳۴۲۴/۳ میلیون مترمکعب بوده است، که در بین محصولات بخش خدمات بیشترین مقدار بوده است. مقدار ردپای آب برای خدمات " عمده فروشی، خرده فروشی، تعمیر وسایل نقلیه و موتور، تعمیر رایانه و کالاهای شخصی و خانگی " از مقدار ۹۳۸/۹ در سال ۱۳۸۰ به ۴۱۶/۱ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۵ کاهش یافته است.

شکل ۴- مقادیر ردپای آب در بخش خدمات (m^3/ton)

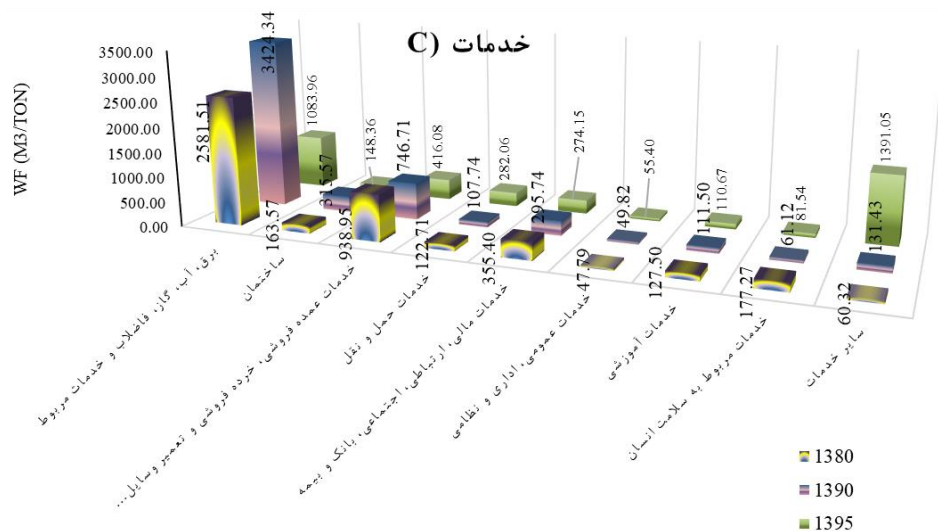


Fig 4. Water footprint values in the services sector (m^3/ton)

جدول ۳- مقادیر ردپای آب در بخش‌های اقتصادی (میلیون مترمکعب)

Table 3. Amounts of water footprint in the agricultural, industrial and service sectors (million cubic meters)

سال	بخش	ردپای تقاضای آب داخلی	ردپای آب صادراتی	ردپای آب وارداتی	ردپای کل	تراز آب مجازی
۱۳۸۰	کشاورزی	۸۸۰۹۶/۵	۷۳۹۴۹/۹	۷۸۷۷/۶	۸۸۵۷۹/۳	۴۸۲/۷
	صنعت	۱۰۵۱/۳	۸۳/۲	۲۱۱	۱۱۷۹/۱	۱۲۷/۸
	خدمات	۴۴۶۵/۲	۱۸۲/۹	۲۷۰/۵	۴۵۵۲/۸	۸۷/۶
	کل	۹۳۶۱۳	۷۶۶۱	۸۳۵۹/۱	۹۴۳۱۱/۲	۶۹۸/۱
۱۳۹۰	کشاورزی	۹۱۶۳۶/۶	۵۴۲۱	۱۲۰۲۸	۹۸۲۴۳/۶	۶۶۰/۷
	صنعت	۱۱۴۹	۱۳۹/۷	۱۹۲/۷	۱۲۰۲	۵۳
	خدمات	۵۱۵۰/۳	۲۴۸	۳۴۱/۶۳	۵۲۴۴	۹۳/۶
	کل	۹۷۹۳۵/۹	۵۸۰۸/۶	۱۲۵۶۲	۱۰۴۶۸۹/۶	۶۷۵۳/۶
۱۳۹۵	کشاورزی	۱۰۷۳۲۸/۸	۵۱۸۱/۱	۱۲۳۰۹/۷	۱۱۴۴۵۷/۴	۷۱۲۸/۵
	صنعت	۲۱۸۴/۷	۳۴۴/۹	۳۴۲/۸	۲۱۸۲/۶	-۲/۰۴
	خدمات	۳۸۴۲	۱۹۵/۷	۱۹۷	۳۸۴۳/۳	۱/۳
	کل	۱۱۳۳۵۵/۵	۵۷۲۱/۷	۱۲۸۴۹/۵	۱۲۰۴۸۳/۳	۷۱۲۷/۸

مقادیر جدول از محاسبات محققین حاصل شده است.

۳-۲- تجارت آب مجازی در بخش‌های مختلف اقتصادی کشور

نتایج تجارت آب مجازی برای محصولات کشاورزی، صنعت و خدمات کشور محاسبه و در شکل‌های (۵) تا (۷) ارائه شده است. بر اساس شکل (۵)، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ تقریباً ۶۵۰۰ میلیون مترمکعب تجارت آب مجازی افزایش داشته است. تجارت آب مجازی برای ماهی و سایر محصولات ماهیگیری در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۵۰/۱۵، -۲۸/۷۶ و -۳۵/۳۴ میلیون مترمکعب بوده و نشان از صادرات این محصول دارد. این اعداد نشان می‌دهد که صادرات در سال ۱۳۹۵ نسبت به ۱۳۸۰ افزایش و نسبت به ۱۳۸۰ کاهش یافته است.

شکل ۵- تجارت آب مجازی محصولات کشاورزی کشور (میلیون مترمکعب)

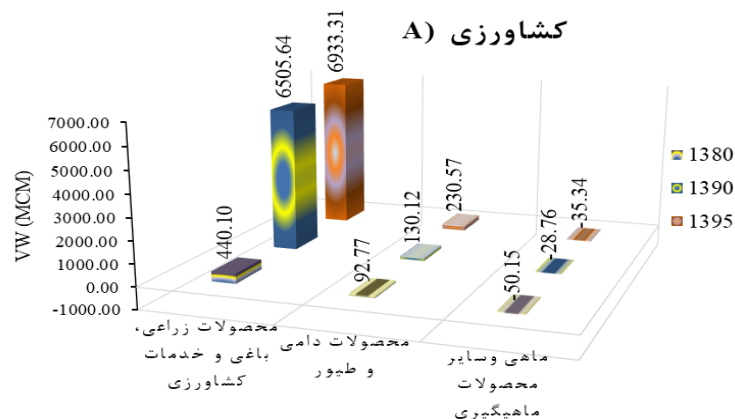
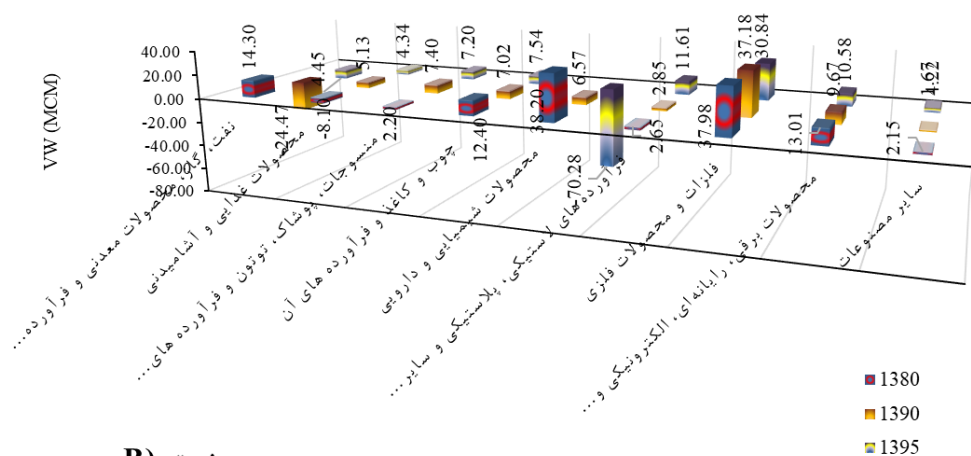


Fig 5. Virtual water trade of agricultural products in the country (million cubic meters)

تجارت آب مجازی در بخش خدمات کمتر از دو بخش کشاورزی و صنعت بوده و تنها در حوضه حمل و نقل ایران صادرکننده آب مجازی بوده است. مطابق شکل (۶)، صادرات آب مجازی نفت، گاز و غیره در دو دوره ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۲۴/۵- و ۸/۱- میلیون مترمکعب بوده که نسبت به دوره ۱۳۸۰ افزایش چشمگیری داشته است. مطابق شکل (۶)، ایران در سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ وارد کننده آب مجازی در بخش محصولات شیمیایی و دارویی بوده است، در مقابل در سال ۱۳۹۵، با مقدار تجارت آب مجازی معادل ۷۰/۲۸- میلیون مترمکعب صادر کننده آن بوده است.

شکل ۶- تجارت آب مجازی صنعت کشور (میلیون مترمکعب)



B) صنعت

Fig 6. Virtual water trade of the country's industry (million cubic meters)

مطابق شکل (۷)، بیشترین تجارت آب مجازی در بخش خدمات طی دو دوره ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ رخ داده که در آن، ایران به ترتیب به مقدار ۴۸/۵ و ۷۸ میلیون مترمکعب تجارت آب مجازی داشته است.

شکل ۷- تجارت آب مجازی بخش خدمات کشور (میلیون مترمکعب)

C) خدمات

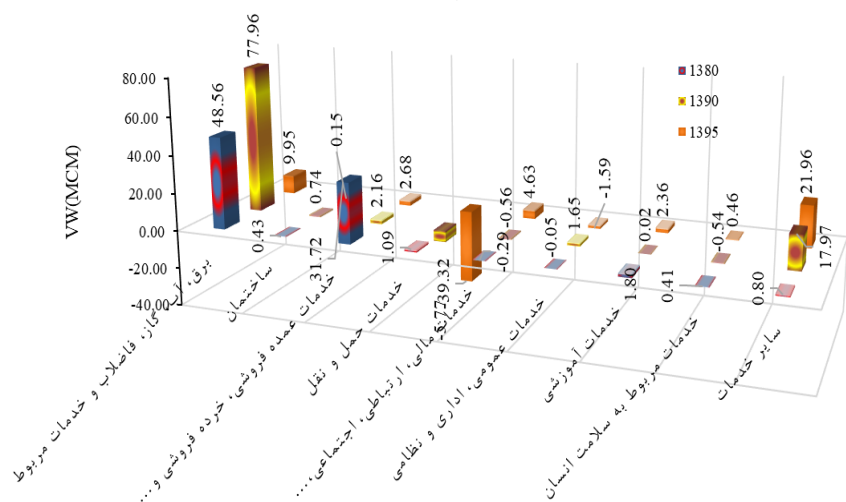


Fig 7. Virtual water trade in the country's services sector (million cubic meters)

۳-۳- مقایسه ظرفیت آب تجدید پذیر و رد پای آب ملی

در جدول (۴) مقادیر شاخص کمبود آب برای ایران محاسبه شده است. بر اساس جدول مذکور، در طی سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۵، سرانه آب قابل دسترس از ۲۶۸۷ به ۱۶۹۷ مترمکعب کاهش یافته است که نشان‌دهنده سرعت بسیار بالای ورود به منطقه کشورهای دارای تنش آبی است. محاسبات شاخص سازمان ملل نشان می‌دهد که این رقم طی ۱۵ سال از ۵۳/۸ درصد به ۸۸/۸ درصد رسیده است که نشان‌دهنده بحران شدید آب در این مدت است. شاخص فالکن مارک برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۲۶۷۸، ۱۹۴۵ و ۱۶۹۷/۸۱ مترمکعب بوده که با افزایش جمعیت کشور از ۶۵۲۷۵۶۳۵ نفر در سال ۱۳۸۰ به ۷۹۹۲۶۲۷۰ در سال ۱۳۹۵، سیر نزولی داشته است. در دو سال ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ این مقادیر بیشتر از ۱۷۰۰ بوده که نشان از "بدون مشکل بودن" از لحاظ منابع است. در هر صورت، مقدار این شاخص در سال ۱۳۹۵ در محدوده ۱۷۰۰ مترمکعب بوده که نشانه‌هایی از بحران آب نیز است. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، ایران با مصرف ناپایدار آب مواجه است، به عبارت دیگر مصرف آب در حال افزایش است، درحالی‌که منابع آب تجدید پذیر همواره رو به کاهش بوده است که نشان‌دهنده شرایط بحرانی استفاده ناپایدار از منابع آبی در دهه اخیر است.

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های کمبود آب

Table 4. Values of water shortage indicators

سال	NWF (MCM)	جمعیت	ظرفیت انرژی تجدید پذیر (MCM)	WF _{pc} (m ³)	شاخص فالکن مارک (m ³)	شاخص سازمان ملل (%)
۱۳۸۰	۹۴۳۱۱/۰۹	۶۵۲۷۵۶۳۵	۱۷۵/۴	۱۴۴۰	۲۶۸۷	۵۳/۸
۱۳۹۰	۱۰۴۶۸۹/۵	۷۵۱۴۹۶۶۹	۱۴۶/۲	۱۳۹۳	۱۹۴۵	۷۱/۶
۱۳۹۵	۱۲۰۴۸۳/۳	۷۹۹۲۶۲۷۰	۱۳۵/۷	۱۵۰۷	۱۶۹۷/۸۱	۸۸/۸

مقادیر جدول از محاسبات محققین حاصل شده است.

۳-۴- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیق‌های مشابه

در این پژوهش، تغییرات رد پای آب در ایران برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ با استفاده از مدل اقتصادی داده-ستانده بر اساس رویکرد از بالا به پایین بررسی شده است. یافته‌های این مطالعه نشان داد که در بخش‌های مختلف اقتصادی، رد پای آب افزایش یافته است. بر اساس نتایج این تحقیق، مقادیر رد پای ملی آب برای دوره‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۸۸۵۷۹/۳، ۹۸۲۴۳/۶ و ۱۱۴۴۵۷/۴ میلیون مترمکعب به دست آمد. این روند نشان می‌دهد که ایران در طول سال‌های مطالعه، واردات آب مجازی داشته است، علاوه بر این، تراز تجاری آب مجازی طی این سال‌ها افزایش یافته است. شایان ذکر است که نتایج این تحقیق در تناقض با نتایج تحقیق (Tafazzoli, 2013) است. (Tafazzoli, 2013) در تحقیق خود از رویکرد داده-ستانده برای این منظور استفاده کرد. مطابق نتایج تحقیق وی، ایران در سال ۱۳۸۵ دارای تراز تجاری آب مجازی (واردات به میزان ۳۳۴۰ میلیون مترمکعب بوده است، که این نشان می‌دهد ایران صادر کننده آب مجازی بوده است. در تحقیق دیگری که توسط (Zarei, 2016) انجام شد، ۲۱/۶ درصد از کل رد پای آب از نوع وارداتی بوده است، هم‌چنین ایران برای سال ۱۳۹۰ حدود ۸۱۱۵ میلیون مترمکعب تجارت آب مجازی داشته است، به عبارتی دیگر، ایران وارد کننده آب مجازی بوده است. هر چند که نتایج تحقیق حاضر تا حدودی با نتایج (Zarei, 2016) همخوانی دارد، اما ناقص بودن اطلاعات و نبود یک مطالعه جامع هم‌چنان نتایج متفاوتی از این تحقیقات گرفته

می‌شود. در هر صورت نبود اطلاعات کافی یا فقدان برخی اطلاعات ضروری همواره از مشکلات محققان بوده است. به عنوان نمونه، در صورتی که اطلاعات برای سال ۱۴۰۰ نیز موجود بود، این تحقیق می‌توانست به نتایج جامع‌تری از مقایسه سال‌ها برسد که به دلیل نبود اطلاعات این مهم میسر نشد. علاوه بر این، عدم ثبت منظم داده‌های مصرف آب و یافتن داده‌های معتبر به دلیل وجود نهادهای مختلف مدیریت آب، محدودیت‌هایی را برای تحلیل کامل ردپای آب در سال‌های اخیر ایجاد کرده است.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر اقدام به تحلیل ردپای آب، تجارت آب مجازی و تبادلات بین بخشی آب مجازی در بخش‌های اقتصادی کشور کرده است. به منظور انجام این پژوهش، از جدول داده-ستانده و مقادیر مصرف آب طی سه دوره، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ استفاده شد. برای دستیابی به نتایج قابل قیاس در سال‌های مورد مطالعه، از جداول متقارن اقتصاد ایران (محصول در محصول) استفاده شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که ردپای آب ملی در حال افزایش است درحالی که سرانه آب ملی روند کاهشی دارد، به‌طوری‌که ردپای آب ملی در سال ۱۳۹۵ نسبت به ۱۳۸۰ حدود ۲۱٪ رشد داشته است. همچنین، مقایسه مقادیر ردپای آب نشان داد که مقدار ردپای وارداتی از ردپای صادراتی بیشتر است. نتایج بررسی تجارت آب مجازی نیز نشان داد، ایران به دلیل واردات محصولات بیشتر از صادرات، طی سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۵ واردکننده خالص آب مجازی بوده است. در ادامه از دو شاخص فالکن مارک و شاخص تنش آبی سازمان ملل برای ارزیابی برداشت از منابع آب استفاده شد. نتایج شاخص سازمان ملل نشان داد که طی ۱۵ سال مورد بررسی، ایران وارد دوره بحران شدید آبی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که وضعیت آب در ایران بسیار نگران کننده است. بنابراین انجام اقداماتی مانند بهبود کارایی آب، انطباق الگوهای کشت، تغییر رژیم‌های غذایی که آب کمتری مصرف می‌کنند، و ترویج اشکال تجاری که موجب صرفه‌جویی در منابع آب می‌شود، می‌توانند بسیار کمک‌کننده باشد. همچنین استراتژی واردات آب مجازی می‌تواند به عنوان یک راهکار امیدوارکننده برای رفع کمبود آب در کشور مورد توجه سیاست‌گذاران کشور قرار گیرد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

المیرا تاروردی زاده: نگارش، روش شناسی، بررسی و جمع‌آوری داده‌ها، نرم افزار، تجزیه و تحلیل. **زهره عابدی:** نظارت، روش شناسی و نرم افزار و تجزیه تحلیل و **محمد صادق علی پور:** نظارت، ویرایش متن، جمع‌آوری و تکمیل داده‌ها.

منابع

- Abdollahzadeh Kahrizi, R., Kokabinezhad Moghaddam, A., & Merufinia, E. (2023). Investigating virtual water and agricultural water productivity index in crops of Poldasht Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 54-68. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11090.1100>. (In Persian)
- Auffhammer, M. (2022). Climate adaptive response estimation: Short and long run impacts of climate change on residential electricity and natural gas consumption. *Journal of Environmental Economics and Management*, 114, 102669. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102669>
- Bahrami Mahneh, F. (2017). Modeling virtual water trade in Iran's agricultural sector. PhD Thesis. *Faculty of Agriculture, University of Zabol.*. (In Persian)
- Bohloolzadeh, A., Sabzghabaei, G. R., & Dashti, S. (2021). Ecological water footprints and virtual water for wheat and rice products in khuzestan province in order to manage water resources sustainability. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 15 (2), 329-341. <https://doi.org/20.1001.1.20087942.1400.15.2.9.1> (In Persian)
- Cazcarro, I., Duarte, R. & Sanchez Cholz, J. (2013). Multiregional input–output model for the evaluation of Spanish water flows. *Environmental Science & Technology*, 47 (21), 12275–12283. <https://doi.org/10.1021/es4019964>
- Central Bank of Iran. (2014). Study of international water indicators and the outlook for the global water crisis by 2050. Local report, Tehran, Iran. (In Persian)
- Chapagain, A. K. & Hoekstra, A. Y. (2004). Water footprints of nations. *Unesco-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands*.
- Chen, Z. M. & Chen, G. (2013). Virtual water accounting for the globalized world economy: National water footprint and international virtual water trade, *Ecological Indicators*, 28, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.024>
- Dehghanpir, SH., Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Holisaz, A., & Ababaei, B. (2024). Evaluation of water stress index and water poverty in rice production based on the water footprint concept in Iran. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(1), 18-35. <https://doi.org/10.22098/MMWS.2023.12116.1206>. (In Persian)
- Deng, G., Ma, Y. & Li, X. (2016). Regional water footprint evaluation and trend analysis of China-based on interregional input-output model. *Journal of Cleaner Production*. 112, 4674–4682. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.129>
- Dietzenbacher, E. & Velázquez, E. (2007) Analysing Andalusian virtual water trade in an input–output framework, *Regional Studies*, 41 (2), 185–196.
- Dong, H., Geng, Y., Sarkis, J., Fujita, T., Okadera, T. & Xue, B. (2013). Regional water footprint evaluation in China: A case of Liaoning. *Science of the Total Environment*, 442, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.049>
- Feng, K., Siu, Y. L., Guan, D. & Hubacek, K. (2012). Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach, *Applied Geography*, 32(2), 691–701. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.004>
- Guo, S. & Shen, G. Q. (2015). Multiregional input–output model for China's farm land and water use. *Environmental Science & Technology*, 49 (1), 403–414. <https://doi.org/10.1021/es503637f>
- Hoekstra, A. (2007). Human appropriation of natural capital: Comparing ecological footprint and water footprint analysis. Value of Water. *Research Report Series No. 23. UNESCOIHE, Delft, The Netherlands*.
- Hoekstra, A. Y. (2017). Water footprint assessment: Evolvement of a new research field, *Water Resources Management*, 31 (10), 3061– 3081. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M. & Aldaya, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK.
- Hoekstra, A.Y. & Hung, P.Q. (2003). A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade: Virtual Water Trade: Processing's of The International Export Meeting On Virtual Water Trade.

- Karbasi, A.R & Rafiei Darani, R. (2014). Impact of changes in economic components of final demand on water use in agriculture: Input-output analysis in Khorasan Razavi Province, *Journal of Agricultural Economics and Development*, 22 (85), 37-63. <https://doi.org/10.30490/AEAD.2014.58843>. (In Persian)
- Lenzen, M., Moran, D., Bhaduri, A., Kanemoto, K., Bekchanov, M., Geschke, A. & Foran, B. (2013). International trade of scarce water. *Ecological Economics*, 94, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.018>
- Mobaraki, M. & Mobaraki, M. (2021). Investigation of water footprint, virtual water and water use of three groups of autumn and spring products, vegetables (tomatoes and potatoes), industrial (sugar beet) and fodder (fodder corn) in Isfahan. *Journal of Water Resources Engineering*, 9(1), 89-102. (In Persian)
- Najafi, B., Khodadad Kashi, F., Souri, A. & Mousavi Jahromi, Y. (2022). Identification of water footprint in iran's foreign trade with the approach of the input-output table-2016, *New Economy and Trade, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS) Quarterly Journal*, 17(1), 155. <https://doi.org/10.30465/JNET.2022.39821.1837>. (In Persian)
- Nasrollahi, Z., & Zarei, M. (2018). Evaluation of virtual water flows in Iran's economy: Analysing intersectoral water relationships using input-output model, *Economic Modeling*, 2(4), 131-157. <https://doi.org/10.22075/JEM.2018.11103.1013>
- Office of Basic Studies of the Iranian Water ResourcesIran. (2016). (In Persian)
- Office of Sustainable Development, Amirkabir University, Iran. (2015). (In Persian)
- Oveisi, F., Fattahi Ardakani, A. & Fehrest Sani, M. (2019). Investigation of virtual water and ecological footprints of water in wheat fields of Isfahan province, *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 23(1). <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1398.23.1.28.4>. (In Persian)
- Piri., H. & Sarani. R., (2020). Investigation of economic productivity of crop products in sisten and Baluchestan Province by water footprint approach, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2020.289567.668325>. (In Persian)
- Rastegaripour, F., Salari, A. & Azizzade, F. (2021). Determination of virtual water indices and ecological footprint of sugar beet water in villages of Torbat Heydarieh city, *Rural Development Strategies*, 8(2), 233-243. <https://doi.org/10.22048/rdsj.2021.271470.1916>. (In Persian)
- Renault, D. (2003). Value of virtual water in food: Principles and virtues. *Hoekstra, AY (Ed.)*.
- Tafazzoli, H. (2013). Measurement of sectoral water footprint in Iran using input-output approach. Master's thesis. *Allameh Tabataba'i University*. (In Persian)
- Talebi, A. & Karimi, Z. (2023). Presentation of management responses regarding the strategy of improving the water resources status of Zayandeh Roud Watershed. *Integrated Watershed Management*, 3(4), 74-91. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2013798.1110>
- Tian, X., Sarkis, J., Geng, Y., Qian, Y., Gao, C., Bleischwitz, R. & Xu, Y. (2018). Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment, *Environment International*, 121, 178–188. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.011>
- Wang, Z., Huang, K., Yang, S. & Yu, Y. (2013). An input–output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of Beijing, China, *Journal of Cleaner Production*, 42, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.007>
- White, D. J., Hubacek, K., Feng, K., Sun, L. & Meng, B. (2018). The water-energy-food nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis, *Applied Energy*, 210, 550–567. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.159>
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K. & Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities – Part 2: Review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade, *Ecological Economics*, 61 (1), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.003>
- Yu, Y., Hubacek, K., Feng, K. & Guan, D. (2010). Assessing regional and global water footprints for the UK, *Ecological Economics*, 69 (5), 1140–1147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.12.008>

- Zarei, M. (2016). Measurement and evaluation of water consumption in economic sectors of Iran and Yazd Province. *Yazd University*. (In Persian)
- Zhang, C. & Anadon, L.D. (2014). A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China, *Ecological Economics*, 100, 159–172. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.006>
- Zhang, H., Ma, S., Zhang, X. & Wang, Y. (2010). Analysis of Tianjin virtual water trade based on input-output model. In: 2010 International Conference on System Science and Engineering, *IEEE, New York, NY, USA*. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2010.5551796>
- Zhao, X., Chen, B. & Yang, Z.F. (2009). National water footprint in an input–output framework—a case study of China 2002. *Ecology Model*, 220, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.09.016>