Economic Research and Perspectives

Original Research Article/ Vol.26, No.1, 2026, pp: 357-389

https://dx.doi.org/ 10.48311/ecor.2025.27947

Calculation of the Virtual Water Footprint in Trade with Major Partners of Iran's Economy: An Input–Output Approach

Mohammad Rahimi Ghasemabadi [1], Reza Zeinalzadeh [2]
Zeinolabedin Sadeghi [3], Mohsen Zayanderoody [4]

1. Department of Economic, Ke.C., Islamic Azad University, Kerman, Iran. E-mail: m.rahimi9708@iau.ac.ir
2. Department of Economic, Ke.C., Islamic Azad University, Kerman, Iran. (Corresponding Author) E-mail: Zeinal1350@iau.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. E-mail: Z_sadeghi@uk.ac.ir
4. Department of Economic, Ke.C., Islamic Azad University, Kerman, Iran. E-mail: Roody1345@iau.ac.ir

Abstract

This paper examines the virtual water footprint in international trade with major trading partners of the Iranian economy using an input–output approach. Utilizing 2016 data, the study quantifies water consumption across different sectors of Iran's economy and evaluates the impact of trade on water resource management. The results indicate that Iran is a net importer of virtual water due to severe water constraints—meaning that the amount of water required to produce imported goods exceeds that used for exported goods. The agricultural sector accounts for approximately 90% of total national water consumption. This study underscores the significance of Iran's trade relationships with countries such as China, the United Arab Emirates (UAE), and Iraq in shaping virtual water imports and exports. It further recommends that policymakers design strategies to enhance water productivity and promote sustainable management of international trade in light of Iran's limited water resources.

Article information

Review History:
Received: apr. 18, 2025
Revised: Apr. 26, 2025
Accepted: may. 24, 2025
Published online: des.08, 2025

Keywords:
Virtual Water
Water Footprint
Virtual Water Trade
Agricultural Sector
Input–Output Approach
Trade Partners

JEL Classification:
C67, Q17, Q25

Corresponding Author:
Zeinal1350@iau.ac.ir

Copyright© 2025, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

Economic Research and Perspectives
Original Research Article/ Vol.26, No.1, 2026, pp: 357-389

Aim and Introduction:

Water scarcity and food security constitute pressing global challenges requiring comprehensive research and policy attention. Assessing the efficiency of water use and the virtual water footprint within Iran's international trade framework is essential for improving water resource management and ensuring national food security.

Virtual water trade refers to the transfer of embedded water—i.e., the water used in the production of goods and food—between nations. This concept reflects the comparative water costs and resource endowments of different economies. It enables water-scarce countries such as Iran to import water-intensive products from regions with more efficient water management, thereby conserving domestic water resources and optimizing consumption patterns.

Accordingly, this study investigates Iran's virtual water footprint in the context of international trade, focusing on its principal trading partners and examining how trade structure influences national water sustainability.

Methodology:

To quantify virtual water and the national water footprint, this study first calculates direct and indirect water withdrawals for major economic sectors by dividing each sector's total water consumption by its output. The total water footprint for each product is determined as the sum of domestic and foreign components, representing the total virtual water embedded in national consumption.

The net import of virtual water is calculated by subtracting virtual water exports from virtual water imports. The Gross Virtual Water Imports (GVWI) is defined as the sum of commodity imports (CI) multiplied by the Commodity Virtual Water Content (CVWC) of each product.

The equations for estimating Total Global Virtual Water Imports (TGVWI) and Total Global Virtual Water Exports (TGVWE) are expressed as follows:

$$\mathbf{TGVWI} = \sum_{\mathbf{n=1}}^{\mathbf{N}} \sum_{\mathbf{c=1}}^{\mathbf{C}} \mathbf{GVWI_{n,c}}$$

$$\mathbf{TGVWE} = \sum_{\mathbf{n=1}}^{\mathbf{N}} \sum_{\mathbf{c=1}}^{\mathbf{C}} \mathbf{GVWE_{n,c}}$$

where *n* represents the number of countries and *c* represents the number of products.

The Total Net Global Virtual Water Trade (TNVWT) is calculated as:

$$TNVWT = TGVWI - TGVWE$$

The water trade balance is thus the difference between the volume of virtual water imported and that exported by a country or region.

Findings:

The agricultural sector exhibits the highest import value (318196 billion rials) but comparatively lower virtual water imports. The industrial production and services sectors show smaller final and intermediate virtual water imports relative to their total import values. Although the oil and mining sector records the highest export value, its final virtual water exports remain low compared with its total exports. The construction sector displays the smallest final virtual water exports among sectors with positive net exports.

In 2021, Iran's total water footprint amounted to 523668 million cubic meters (MCM), with agriculture as the dominant contributor and the oil/mining sector as the smallest. The foreign water footprint accounted for 50028 MCM of the total. Agriculture, oil, mining, and services exhibited the lowest water consumption multipliers. Sectors with negative net exports—namely agriculture, industrial production, and services—showed positive water trade balances, while others exhibited negative balances. Agriculture recorded the highest positive water trade balance (1563 MCM), whereas transportation had the lowest (–-157 MCM).

Overall2021, Iran was a net importer of virtual water, with a total water trade balance of approximately 1658 MCM. In 2021, Iran's imports from major trading partners totaled USD 38574 million (78% of total imports), and exports amounted to USD 38572 million (57% of total exports). The United Arab Emirates (UAE) was the largest import partner (30%), followed by China and Turkey. China accounted for 27% of exports, and Iraq for 11%.

Iraq, Turkey, India, and China maintained positive net exports to Iran, with Iraq and China leading, while the UAE had the lowest. Iran imported 11980 MCM of virtual water overall, of which 9449 MCM came from major trading partners. Virtual water exports totaled 12027 MCM, with 6941 MCM directed to those partners. Iran recorded positive virtual water net exports to China, India, Turkey, and Iraq, but negative ones with Germany, the Netherlands, Russia, and the UAE. Overall, Iran's virtual water trade was nearly balanced, with a slight net export of 60 MCM.

In the agricultural sector, the largest final virtual water imports originated from Russia and Germany. For oil and mining, China and Turkey were the main sources. The industrial production sector imported most heavily from China and the UAE, while China and Turkey led in electricity, water, and gas supply. The UAE dominated imports in services, transportation, and residential construction. Except for Iraq, the industrial production sector accounted for the highest virtual water imports across all partner countries.

Conversely, Iran's agricultural sector exported the most virtual water to China and Iraq. The oil and mining sector's primary virtual water exports were directed to China, while the industrial and mining sectors also exported substantially to China and Iraq. The oil and mining sectors were the dominant virtual water exporters to most countries except Iraq and Russia, where the industrial sector prevailed. The UAE mainly received exports from mining, industrial production, and agriculture. Overall, Iran

showed positive net exports in agriculture, oil, and construction, but negative net exports in other sectors.

Discussion and Conclusion:

In 2021, Iran was a net virtual water importer, with imports (11980 MCM) far exceeding exports (12027 MCM), underscoring its dependence on imported water through traded goods. Agriculture exhibited the highest direct water consumption and virtual water content, while services, oil, and mining showed the lowest. Despite its intensive water use, agriculture had the smallest final and intermediate virtual water imports, whereas industrial production and services accounted for larger virtual water shares due to higher import volumes.

The agricultural sector contributed the largest domestic and national water footprint. Transportation and construction demonstrated the highest (least efficient) water consumption multipliers, while agriculture remained the most efficient. Although indirect water use in services and industry was lower than in agriculture, it still exerted a notable cumulative impact on national water consumption.

2021Among major trading partners, the UAE contributed over 3673 MCM of virtual water imports, making it Iran's top source. Russia supplied the most agricultural virtual water, India and Germany dominated mining and oil, and China led in industrial production. Iraq and Japan were significant contributors to the services sector.

These findings highlight Iran's dependence on virtual water imports—particularly agricultural products—to meet its domestic water needs. However, agricultural productivity remains low, and water management is inefficient. Overemphasis on agricultural self-sufficiency could exacerbate water scarcity. Policymakers should therefore revise trade policies concerning water-intensive products, favoring imports of high-virtual-water commodities while promoting exports of low-virtual-water goods. Such strategies would alleviate domestic water stress and enhance overall water security.

نشریه علمی پژوهش‌ها و چشم‌اندازهای اقتصادی
مقاله پژوهشی/ سال بیست و ششم، شماره اول، بهار۱۴۰۵، صفحات: ۳۵۷ تا ۳۸۹
https://dx.doi.org/ 10.48311/ecor.2025.27947

محاسبه ردپای آب مجازی در تجارت با شرکای تجاری عمده اقتصاد ایران: رهیافت داده-ستانده

محمد رحیمی قاسم‌آبادی[۱]، رضا زینل‌زاده[۲]، زین‌العابدین صادقی[۳]
محسن زاینده‌رودی[۴]

۱. گروه اقتصاد، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران. m.rahimi9708@iau.ac.ir
۲. گروه اقتصاد، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران. (نویسنده مسئول). Zinal1350@iau.ac.ir
۳. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. Z_sadeghi@uk.ac.ir
۴. گروه اقتصاد، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران. m_roody2000@yahoo.com

چکیده

این مقاله، به بررسی رد پای آب مجازی در تجارت بین‌المللی با شرکای تجاری عمده اقتصاد ایران و تحلیل آن از طریق رویکرد داده-ستانده می-پردازد. بدین منظور، با استفاده از داده‌های سال ۱۴۰۰، مقدار آب مصرفی بخش‌های مختلف اقتصادی ایران و اثرات تجارت بر مدیریت منابع آبی مورد محاسبه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که ایران، به‌دلیل محدودیت‌های آبی، واردکننده خالص آب مجازی است؛ به این معنا که مقدار آب مورد نیاز برای تولید محصولات وارداتی بیشتر از مقدار آبی است که برای تولیدات محصولات صادراتی استفاده می‌شود. بیشترین مصرف آب مربوط به بخش کشاورزی است که در حدود ۹۰ درصد از منابع آبی کشور را به‌خود اختصاص داده است. این مطالعه، بر نقش کشورهای شریک تجاری ایران مانند چین، امارات و عراق در واردات و صادرات آب مجازی تأکید دارد و به سیاستگذاران پیشنهاد می‌کند تا با توجه به محدودیت منابع آبی، راهکارهایی برای بهبود بهره‌وری آب و مدیریت پایدار تجارت بین‌المللی ارائه دهند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۴/۱/۲۹
بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۶
پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۳
انتشار آنلاین:۱۴۰۴/۹/۱۷

کلمات کلیدی:
آب مجازی
ردپای آب
تجارت آب مجازی
بخش کشاورزی
رهیافت داده-ستانده
شرکای تجاری

طبقه‌بندی JEL:
C67 ،Q17 ،Q25

نویسنده مسئول:
Zinal1350@iau.ac.ir

کپی‌رایت ©۲۰۲۵، متعلق به نویسندگان. این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قراردارد. براساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.

۱. مقدمه

با رشد مستمر جمعیت جهان از یکسو، و تحولات مرتبط با مصرف مواد غذایی به‌خصوص آب، منابع آبی به‌طور چشمگیری در بسیاری از کشورهای جهان در حال کاهش است (عامری گلستان و همکاران، ۱۴۰۳) و این کشورها با بحران آب مواجه شده‌اند. این در حالی است که از مجموع آب‌های موجود در جهان تنها ۲/۵ درصد آن قابل استفاده است. با این وجود میزان مصرف جهانی آب در قرن گذشته تقریباً شش برابر شده و امروزه مصرف آب در حدود ۴۵۰۰ میلیارد متر مکعب در سال می‌باشد و با این روند پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ مصرف آب به میزان ۶۹۰۰ میلیارد متر مکعب در سال برسد (ارسین و هوکسترا[1]، ۲۰۱۴).

در بین بخش‌های اقتصادی، بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در بسیاری از کشورها است که بیش از ۸۰ درصد از کل برداشت جهانی آب را به‌خود اختصاص می‌دهد و پس از آن، بخش‌های صنعتی قرار دارند، بنابراین، تولید به‌طور مستقیم تحت تأثیر کمبود آب و کاهش منابع آبی قرار می‌گیرد (یانگ و همکاران[2]، ۲۰۰۶). لذا تجارت بین‌المللی محصولاتی که مصرف آب زیادی دارند، مانند محصولات کشاورزی نقش مهمی در کاهش بحران‌های آب و بازتوزیع مجدد جهانی منابع آب خواهد داشت. این توزیع مجدد جهانی آب، می‌تواند از طریق کالاهایی که داری حجم زیادی از آب تعبیه شده[3]، در سراسر زنجیره تولید و تأمین خود هستند، انجام گردد (بک چانوو[4]، ۲۰۲۴).

در بسیاری از کشورهای کم آب، مقدار فزاینده‌ای از محصولات و مواد غذایی وارد می‌شود تا علاوه بر اینکه نیاز داخلی را برآورده کند، جلوی مصرف آب را در بخش‌های که مصرفی آب بیشتری داشته اما راندمان پایینی دارند، گرفته شود. برای این کشورها، مقدار آب وارداتی تقریباً معادل واردات آن کشور است، که در غیر این صورت، برای تولید همان محصولات به‌صورت محلی، باید آب مصرف شود.

اگر چه آلن [5] (۲۰۰۳)، اولین بار آب موجود در واردات مواد غذایی را "آب مجازی[6]" نامید، اما در سال‌های اخیر، مفهوم آب مجازی برای اشاره به آبی که برای تولید کالاهای کشاورزی و همچنین سایر کالاهای تولید شده در اقتصاد گسترش یافته است. با این وجود، بحث در مورد مسائل آب مجازی تاکنون عمدتاً بر روی کالاهای غذایی متمرکز بوده و کمتر به سایر بخش‌های اقتصادی توجه شده است. علت این توجه بیشتر به کشاورزی، می‌تواند سهم زیاد مصرف آب در کل مصرف آب باشد؛ اما امروزه با تشدید مداوم کمبود آب در بسیاری از مناطق جهان، انتظار می‌رود نقش تجارت آب مجازی در تجارت بین‌الملل، افزایش یافته و بیشتر مورد توجه قرار گیرد (یانگ و

1. Ercin and Hoekstra (2014).
2. Yang et al. (2024).
3. Water Embedded
4. Bekchanov (2024)
5. Allen (2003).
6. Virtual Water

همکاران، ۲۰۰۶).

در ایران نیز بیشترین برداشت از منابع آب (در حدود ۹۰ درصد) توسط بخش کشاورزی انجام می‌شود، در حالی‌که ایران کمتر از یک درصد از منابع آب تجدید شونده جهان را داشته و جزو کشورهای خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود (حکمت‌نیا و همکارن، ۱۳۹۹). طبق آخرین گزارش عملکرد وزرات صنعت، معدن و تجارت (صمت)، واردات در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال قبل، ۲۲/۲ درصد افزایش و صادرات نیز در زمان مشابه، ۸/۶ درصد افزایش داشته است، در حالی که در بین بخش‌های عمده اقتصادی، صادرات بخش کشاورزی و صنایع غذایی در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۹، ۳/۷ درصد کاهش، اما واردات کالاهای مصرفی و واسطه‌ای در زمان مشابه به ترتیب ۱۶/۴ و ۲۲/۳ درصد افزایش را نشان می‌دهد (دفتر فناوری داده و اطلاعات، ۱۴۰۰).

کمبود آب و امنیت غذایی به‌عنوان دو چالش اساسی جهانی، نیازمند تحقیقات جامع و تحلیل‌های دقیق است. در این راستا، محاسبه کارآیی مصرف آب و رد پای آب مجازی در تجارت بین‌المللی اقتصاد ایران، به‌عنوان یک موضوع کلیدی، می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آب و تأمین امنیت غذایی کشور کمک کند. از این رو، تجارت آب مجازی به انتقال آب مورد نیاز برای تولید کالاها و مواد غذایی از یک کشور به کشور دیگر اشاره دارد. این مفهوم نشان‌دهنده هزینه‌های آب و منابع آبی در کشورهای مختلف است و به کشورهای کم آب کمک می‌کند تا از واردات محصولات کشاورزی که در شرایط آبی بهتری تولید می‌شوند، بهره‌برداری کنند. به این ترتیب، می‌توانند منابع آبی خود را حفظ کرده و به بهینه‌سازی مصرف آب بپردازند.

همچنین تحقیقات در این زمینه می‌تواند به شناسایی فرصت‌های همکاری بین‌المللی منجر شود. با تحلیل الگوهای مصرف آب، کشورهای مختلف می‌توانند استراتژی‌های بهتری برای مدیریت منابع آب و بهبود امنیت غذایی تدوین کنند. این همکاری‌ها به انتقال دانش و تجربیات بین‌المللی و بهبود کارآیی مصرف آب کمک شایانی می‌کند. بررسی کارآیی مصرف آب، ارزیابی هزینه‌های فرصت استفاده از آب را ممکن می‌سازد. این تحلیل می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های بهینه در تخصیص منابع آبی در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی و صنعت کمک کند. همچنین، بررسی تأثیرات زیست‌محیطی مصرف آب و تغییرات در الگوهای تجارت آب مجازی، می‌تواند به شناسایی خطرات زیست‌محیطی و جستجوی راهکارهای پایدار برای استفاده از منابع آبی منجر شود.

علاوه بر این، نتایج پژوهش به سیاستگذاران کمک می‌کند تا با درک بهتر از الگوهای مصرف آب در سطح جهانی و کشوری، سیاست‌های بهتری برای مدیریت منابع آب و تأمین امنیت غذایی تدوین کنند. استفاده از داده‌های مرتبط با آب مجازی، می‌تواند به‌عنوان معیاری مفید برای ارزیابی تأثیرات سیاست‌های اقتصادی و زیست‌محیطی عمل کند. درنهایت بایدگفت، انجام تحقیق در زمینه محاسبه کارآیی مصرف و ردپای آب مجازی در تجارت بین‌الملل اقتصاد ایران، نه‌تنها به بهبود مدیریت منابع آبی کشور کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به سیاست‌های پایدار و مؤثری در راستای رفع چالش‌های مرتبط با آب و غذا منجر شود.

در ادامه این مقاله، ابتدا به مبانی نظری مربوط به موضوع پرداخته شده و نحوه محاسبه آب مجازی و تجارت آب مجازی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نیز پیشینه موضوع، بررسی، و تعدادی از مطالعات انجام شده مرتبط با این پژوهش ارائه شده است و در بخش چهارم نیز با استفاده از داده‌ها و اطلاعات در دسترس مقدار آب مجازی، بخش‌های اقتصادی محاسبه و رد پای آب مجازی در تجارت بین‌الملل به‌خصوص کشورهایی که بیشترین سهم تجارت با ایران را دارند، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. پیشینه پژوهش

زارعی و جعفری (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای، به بررسی تجارت آب مجازی در ایران پرداخته‌اند. مفهوم تجارت آب مجازی به‌عنوان راهی برای متعادل کردن توزیع آب بین کشورها و مناطق و مقابله با کمبود آب مطرح شده است. نتایج این مطالعه، نشان داده که صادرات محصولاتی مانند کیوی، مرکبات، انگور، هندوانه، خیار و گوجه فرنگی، ارزش آب مجازی بالایی دارند، اما در شرایط بحران آب در ایران، این ارزش‌ها کمتر از ارزش واقعی آب هستند.

بذرافشان و همکاران (۱۳۹۹)، در مقاله‌ای، به برآورد اجزای ردپای آب در گردوی فاریاب پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هر کیلوگرم گردو در ایران به‌طور متوسط ۲۲/۱ متر مکعب آب مصرف می‌کند و ایران سالانه حدود ۱۲۱۳ میلیون متر مکعب آب مجازی از طریق صادرات گردو، به سایر کشورها صادر می‌کند. عوامل مؤثر بر ردپای آب شامل خشکسالی، روش‌های نامناسب آبیاری و استفاده از کودهای شیمیایی است. پیشنهاداتی برای بهبود روش‌های آبیاری و مدیریت بهینه منابع آب ارائه شده است.

راسخی و کریمی (۱۴۰۱)، در مقاله‌ای، تجارت آب مجازی بین ایران و کشورهای CIS را در سال ۱۳۹۷ بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که ایران واردکننده خالص آب مجازی در تجارت محصولات کشاورزی با کشورهای CIS بوده است. سهم آب سبز در واردات آب مجازی ایران بیش از ۸۱ درصد و در صادرات بیش از ۲۹ درصد بوده است.

عامری گلستان و همکاران (۱۴۰۳)، در پژوهش خود، به تبیین و تحلیل عوامل مؤثر بر تراز تجاری دوجانبه آب مجازی پنج محصول عمده کشاورزی ایران با استفاده از الگوی جاذبه و برآوردگر PPML در طول دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۵ با شرکای تجاری پرداختند. نتایج نشان دادند که تراز تجاری ایران با نرخ ارز دو جانبه، رابطه مثبت و با مسافت و نسبت جمعیت، رابطه منفی دارد. همچنین برای متغیر تولید ناخالص داخلی بجز هندوانه، رابطه مثبت دارد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که ایران در رابطه با دو محصول هندوانه و پسته، صادرکننده و برای دو محصول گندم و برنج، وارد کننده آب مجازی است و در مورد محصول خرما، با توجه به اینکه این محصول صرفاً صادراتی است، صادر کننده آب مجازی است. در کل، نتایج حاکی از این است که ایران صادرکننده آب مجازی است.

تیان و همکاران[1] (۲۰۱۸)، در مقاله خود، به بررسی ردپای آب و تجارت آب مجازی چین از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۹ می‌پردازند و از سه نوع آب سبز، آبی و خاکستری استفاده می‌کند. تحلیل چند منطقه‌ای داده-ستانده در سطوح ملی و بخشی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که چین در سال ۱۹۹۵، بیش از ۱۱ درصد و در سال ۲۰۰۹ بیش از ۱۳ درصد از ردپای آب جهانی را به‌خود اختصاص داده است. آب سبز بیشترین سهم از صادرات و واردات آب مجازی چین را دارد. چین در این بازه زمانی به‌طور کلی، صادرکننده خالص آب مجازی بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، چین عمدتاً آب مجازی را از آمریکا، هند و برزیل وارد می‌کند و به آمریکا، ژاپن و آلمان صادر می‌کند. بخش کشاورزی و صنایع غذایی بیشترین میزان واردات و صادرات آب مجازی را دارند. شبکه تجارت آب مجازی چین در این دوره نسبتاً پایدار بوده و روابط نزدیکی با کشورهای آمریکا، اندونزی، هند، کانادا، مکزیک، برزیل و استرالیا دارد.

وهاب و همکاران[2] (۲۰۱۸)، در پژوهشی، به وضعیت کمبود آب در مصر می‌پردازند. در این مطالعه، دو هدف اصلی دنبال شده است، ابتدا بررسی تأثیر تجارت آب مجازی مصر بر دسترسی به آب واقعی و سپس تحلیل تأثیر الگوهای مصرف خانوارها بر دسترسی به آب در مصر. از مدل داده - ستانده بین‌المللی برای تحلیل مصرف آب در مصر استفاده شده که نتایج نشان می‌دهد، مصر با واردات کالاهایی مانند گندم، ۸ درصد از ردپای آب ملی خود را ذخیره می‌کند، اما ۱۲ درصد از منابع آب شیرین خود را به‌صورت مجازی صادر می‌کند که عمدتاً در محصولات خوراک دام، یونجه و برنج پنهان است. همچنین، مصرف آب مجازی و مستقیم خانوارها مقایسه شده و مشخص شد که ۸۹ درصد از آب توسط خانوارها به‌صورت مجازی و ۱۱ درصد به‌صورت مستقیم مصرف می‌شود. همچنین مصرف سرانه آب مجازی در شهرها، ۱۷ درصد بیشتر از مناطق روستایی است.

ژونگ و همکاران (۲۰۲۳)، در مطالعه خود، شاخص فالکنمارک[3] را باز طراحی می‌کنند تا تأثیر خالص تجارت بین‌المللی بر کمبود آب ملی را پس از حذف سایر عوامل تأثیرگذار محاسبه کنند. این چهارچوب، به درک تعامل تجارت بین‌المللی و کمبود آب کمک می‌کند و اهمیت درک ارتباطات از راه دور در سیستم تجارت جهانی و انتقال آب مجازی برای مقابله با کمبود آب میان مصرف‌کنندگان دوردست را برجسته می‌سازد. با تمرکز بر تأثیر تجارت، یافته‌ها نشان می‌دهند که تجارت بین‌المللی، باعث کاهش کمبود آب برای ۲/۲ میلیارد نفر و تشدید آن برای ۲/۱ میلیارد نفر دیگر می‌شود. تأثیر خالص تجارت بر کمبود آب ملی به میزان آب مجازی و تعداد خریدهای نهایی بین شرکای تجاری بستگی دارد و با سطح توسعه اقتصادی کشورها مرتبط است. به‌طورکلی، کشورهای با وضعیت مالی بهتر، از تجارت سود می‌برند، در حالی که کشورهای ضعیف‌تر، متضرر می‌شوند.

1. Tian et al. (2018).
2. Wahba et al. (2018).
3. Falkenmark

لی و همکاران[1] (۲۰۲۴)، در پژوهشی، با استفاده از داده‌های هواشناسی و کشاورزی منطقه تایوان، رد پای آب شش محصول اصلی غذایی را در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بررسی نموده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که آب آبی بیشترین سهم را در ردپای آب دارد، سپس آب سبز با ۳۹ درصد و آب خاکستری با ۱۶ درصد، کمترین نقش را ایفا می‌کند که نشان می‌دهد، رابطه مکملی بین آب آبی و آب سبز وجود دارد، در حالی که آب آبی و آب خاکستری به‌طورکلی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، روند کاهشی داشته‌اند. از طرفی مدل‌سازی پیش‌بینی‌های رد پای آب محصولات غذایی، با توجه به سناریوهای مختلف اقلیمی نشان، می‌دهد که رد پای آب در ۱۰ تا ۲۰ سال آینده به اوج خود می‌رسد و سپس کاهش خواهد یافت. همچنین رد پای آب محصولات با بالاترین نرخ رشد (تا ۳۳٪) به دلیل افزایش جمعیت و مساحت کشت پیش‌بینی می‌شود.

ژانگ و همکاران[2] (۲۰۲۴)، در مقاله خود، به بررسی کمبود آب در اکوسیستم‌های کشاورزی مناطق خشک می‌پردازند و لزوم توسعه پایدار منابع آب کشاورزی را مطرح می‌کنند. مطالعه با استفاده از نظریه بیزی[3] و "رد پای آب"، یک شبکه بیزی را ایجاد کرده است. داده‌های مربوط به کمیت و کیفیت آب در تولیدات کشاورزی از طریق رد پای آب ارزیابی، و چهارچوبی برای ارزیابی پایداری ارائه شده و نتایج نشان می‌دهند که از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹، رد پای آب در مناطق خشک شمال غربی چین تقریباً سه برابر شده است. با اینکه توسعه کشاورزی و اقتصادی در این منطقه سریع بوده، استفاده ناپایدار از منابع آب کشاورزی نیز افزایش یافته است. بیشترین سهم رد پای آب مربوط به آب آبی بوده و کشت پنبه بالاترین میزان مصرف آب را دارد. تحلیل‌ها در این پژوهش، نشان می‌دهند که احتمال استفاده ناپایدار از آب در این منطقه، ۷۰ درصد، و عوامل انسانی مهم‌ترین دلایل این ناپایداری است.

ریبا ساوسکینه و همکاران[4] (۲۰۲۴)، در مقاله خود، با موضوع هدررفت غذا در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی و اثرات آن بر منابع آبی، به محاسبه میزان مصرف آب محصولات کشاورزی درکشور لیتوانی پرداخته اند. در این پژوهش، از روش تحلیل دینامیکی افزاینده (IDA)[5] برای ارزیابی عوامل مختلف که باعث افزایش هدررفت منابع آبی می‌شود، استفاده شده است. شاخص‌های آب مجازی در این پژوهش شامل آب آبی (آب سطحی و زیرزمینی)، آب سبز (آب باران) و آب خاکستری (آب مورد نیاز برای حذف آلودگی) بوده که برای محاسبه میزان مصرف آب محصولات کشاورزی، استفاده شده است. افزایش ۳۰/۶ درصدی هدررفت آب در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی لیتوانی

1. Li et al. (2024).
2. Zhang et al. (2024).
3. Bayesian Network (BN)
4. Ribašauskienė et al. (2024).
5. Incremental Dynamic Analysis

بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد که از مهم‌ترین عوامل این افزایش، افزایش مساحت سطح زیر کشت و بازدهی محصولات است.

۳. مبانی نظری

۳-۱. آب مجازی

مفهوم آب مجازی برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط دانشمندان انگلیسی و به ویژه تونی آلن[1] مطرح شد. او این مفهوم را در زمینه امنیت غذایی و مدیریت منابع آب ارائه کرد. آب مجازی به مقدار آبی گفته می‌شود که برای تولید کالاها و خدمات مختلف مورد نیاز است. این مفهوم به نوعی به اندازه‌گیری منابع آب نهفته در صنایع مختلف اشاره دارد، به‌خصوص در بخش کشاورزی. به‌عنوان مثال، تولید یک کیلوگرم گندم، ممکن است به ۱۰۰۰ لیتر آب نیاز داشته باشد، که این آب درواقع در مراحل مختلف رشد گیاه و پردازش محصول مصرف می‌شود. آب مجازی به ما کمک می‌کند تا تأثیرات زیست‌محیطی مصرف آب را بهتر درک کنیم و استراتژی‌های بهتری برای مدیریت منابع آب اتخاذ کنیم (چاپاگین و هوکسترا، ۲۰۰۴)[2].

در دهه‌های بعد، مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شد و این مفهوم به‌تدریج به‌عنوان یکی از ابزارهای علمی برای تحلیل استفاده بهینه از منابع آب و کشاورزی در سطح جهانی شناخته شد. در سال‌های اخیر، آب مجازی به‌عنوان یک مفهوم کلیدی در مباحث مربوط به تغییرات اقلیمی، توسعه پایدار و مدیریت منابع آب مطرح شده است.

کشورهای مختلف، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از این مفهوم برای بهینه‌سازی و مدیریت مصرف آب استفاده کرده و تلاش کرده‌اند به کمک آن، تصمیم‌گیری‌های بهتری در زمینه کشاورزی و صنعت انجام دهند. آب مجازی به‌عنوان یک مفهوم بین‌رشته‌ای به‌طور فزاینده‌ای در ادبیات علمی، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی‌های مربوط به منابع آب مورد توجه قرار گرفته و به درک بهتر چالش‌های مرتبط با آب کمک می‌کند (فنگ و همکاران[3]، ۲۰۲۱).

۳-۲. الگوی تجارت آب مجازی

الگوی تجارت آب مجازی، به مفهوم انتقال غیرمستقیم آب از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر از طریق تجارت کالاها است. به عبارت دیگر، زمانی که یک کشور، کالایی را از کشوری دیگر وارد می‌کند، در واقع آب مورد نیاز برای تولید آن کالا نیز به همراه آن وارد می‌شود. این رویکرد به مدیریت منابع آبی کمک می‌کند و می‌تواند به کشورهای با منابع آب محدود، اجازه دهد تا کالاهایی که به آب زیادی نیاز دارند را وارد کنند، بدون اینکه فشار

1. Tony Allan
2. Chapagain and Hoekstra (2004).
3. Feng et al. (2021).

بیشتری به منابع آبی خود وارد کنند.

برخی از عوامل کلیدی در این الگوریتم شامل:

- محاسبه آب مجازی: مقدار آبی که برای تولید یک کالا به‌کار رفته است، باید محاسبه شود؛
- تجارت بین‌الملل: بررسی جریان کالاها و خدمات بین کشورها و محاسبه آب مجازی منتقل شده؛
- مدیریت منابع آب: استفاده از داده‌های آب مجازی برای برنامه‌ریزی بهتر در مصرف منابع آبی و بهینه‌سازی تولیدات کشاورزی و صنعتی.

به‌طورکلی، الگوی تجارت آب مجازی می‌تواند به سیاستگذاری‌های بهتر در حوزه آب، امنیت غذایی و توسعه پایدار کمک کند (چاپاگین و هوکسترا، ۲۰۰۴).

۴. روش شناسی پژوهش

۴-۱. محاسبه آب مجازی و ردپای آب

مقاله حاضر، از جدول به‌روزرسانی‌شده سال ۱۳۹۵به روش RAS برای سال ۱۴۰۰ با ۵۲ فعالیت اقتصادی در ۷ بخش استفاده می‌کند و داده‌های تجارت را از مرکز تجارت جهانی استخراج کرده است. روش RAS یک تکنیک آماری است که برای به‌روزرسانی جداول ورودی- خروجی استفاده می‌شود. مخفف "Row-Column-Sum" است و شامل تنظیم داده‌ها براساس مجموع شناخته شده برای سطرها و ستون‌ها است. یک فرض اساسی در داده-ستانده این است که بین صنایع از i به j جریان می‌یابد و به‌طور کامل بر ستاده کل بخش j برای همان دوره زمانی بستگی دارد. با توجه به z_{ij} و x_i که ورود نهاده (i) توسط تولیدکنندگان بخش (j) سال گذشته و تولید کل ستاده در سال گذشته، نسبت نهاده به ستاده، (z_{ij}/x_i) را با a_{ij} مشخص نمود:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_i} \qquad (۱)$$

به عبارت ساده‌تر، نشان‌دهنده ارزش نهاده‌ای که توسط تولیدکنندگان در سال گذشته خریداری شده تقسیم بر ارزش تولید ستاده در سال گذشته است. برای اندازه‌گیری آب مجازی و ردپای آب، ابتدا باید آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم بخش‌های مختلف اقتصادی محاسبه شود که از تقسیم کل حجم آب مصرفی به ستاندهٔ آن بخش به دست می‌آید:

$$W_j^d = w_j/x_j \qquad (۲)$$

دراین رابطه، عبارت w_j نشان دهنده مقدار آب مصرفی مستقیم برای تولید محصولات از سوی بخش j و عبارت x_j نشان دهنده کل ستانده یا تولید بخش jاست.

$$DWIC = [W_j^d] \qquad (۳)$$

عبارت DWIC معرف شاخص شدت مصرف مستقیم[1] آب برای بخش j بوده که نشان‌دهنده مقدار آب مصرف شده بخش j برای افزایش یک واحد پولی در ستانده است. ضریب مصرف آب به دو بخش مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود:

$$\mathbf{VWC = DWIC - IWIC} \quad (۴)$$

با توجه به رابطه شماره (۱)، ماتریس $n \times n$ از ضرایب فنی در داده-ستانده به‌صورت زیر است:

$$\mathbf{A = Z\hat{x}^{-1}} \quad (۵)$$

لذا با توجه به تعاریف ماتریس خواهیم داشت:

$$\mathbf{x = Ax + f} \quad (۶)$$

ماتریس A، به‌عنوان ماتریس ضرایب فنی (یا داده - ستانده یا نهاده مستقیم) شناخته می‌شود. لذا از تعریف اولیه یک معکوس برای یک ماتریس مربع $(I - A)^{-1}$ می‌توان آن را یافت و با استفاده از نتایج جبر ماتریس استاندارد برای معادلات خطی، به راه حل منحصر به فرد رسید:

$$\mathbf{x = (I - A)^{-1}f = Lf} \quad (۷)$$

در این رابطه، $(I - A)^{-1} = L$ به‌عنوان ماتریس معکوس لئونتیف یا مقررات کل شناخته می‌شود. از رابطه معکوس لئونتیف برای محاسبه نیاز مستقیم و غیرمستقیم آب برای افزایش یک واحد تولید در بخش j می‌توان استفاده نمود که در آن، عناصر معکوس لئونتیف در جدول داده - ستانده در شدت شاخص ضرب شده است:

$$\mathbf{w^t = w^d(I - A)^{-1}} \quad (۸)$$

در صورتی که مدل را تصریح کنیم، خواهیم داشت:

$$\mathbf{w^t = w^d + w^t \times A} \quad (۹)$$

به عبارت ساده‌تر، شدت مصرف مستقیم آب، از تفاوت شدت مصرف کل و شدت مصرف غیرمستقیم به دست می‌آید.

۲-۴. ردپای ملی آب

ردپای آب ملی (WFP)[2] در هر محصول حاصل مجموع ردپای داخلی و خارجی است. درواقع، رد پای آب ملی، بیانگر مجموع آب مجازی در کل مصرف کشور است.

1. Direct water input coefficient (DWIC)
2. Water Footprint

$$\mathbf{WFP = IWFP + EWFP} \quad (۱۰)$$

که در این رابطه، IWFP بیانگر ردپای آب داخلی[1] و EWFP بیان‌گر رد پای آب خارجی[2] است.

برای محاسبه رد پای خارجی با یک فرض شروع می‌کنیم، اینکه فناوری در تولید محصول همانند داخل است. لذا با وارد کردن مقدار واردات به‌جای تولید داخلی، می‌توان میزان آب صرفه‌جویی شده را محاسبه نمود.

$$\mathbf{EWFP = S^f + S^{in}} \quad (۱۱)$$

که در این رابطه، S^f حجم آب مجازی ناشی از محصولات وارداتی است که صرف مصرف نهایی می‌شوند. این حجم از آب مجازی را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\mathbf{S^f = [S_j^f]} \quad (۱۲)$$

به‌طوری‌که در این رابطه:

$$\mathbf{S_j^f = w_j^t \times m_j^f} \quad (۱۳)$$

همچنین عبارت S^{in} واردات واسطه‌ای آب مجازی است که در فرایند تولید داخل استفاده می‌شود. به منظور حذف مصرف آب در کالای واسطه‌ای که با تقاضای نهایی داخلی مصرف نمی‌شود، تفاضل تقاضای نهایی و صادرات به تقاضای نهایی کل تقسیم می‌شود که به‌عنوان ضریب تعدیل عمل می‌کند، لذا خواهیم داشت:

$$\mathbf{S^{in} = [S_j^{in}]} \quad (۱۴)$$

$$\mathbf{S_j^{in} = (\sum_{i=1}^{n} w_j^t \times m_{ij}) \times v_j} \quad (۱۵)$$

با محاسبه ردپای آب خارجی، می‌توان رد پای آب ملی را نیز محاسبه نمود:

$$\mathbf{WFP = T + S^f + S^{in}} \quad (۱۶)$$

به منظور محاسبه خالص واردات آب مجازی، کافی است صادرات آب مجازی را ابتدا از طریق رابطه ۱۷ محاسبه کرد:

$$\mathbf{u_j = w_j^t \times e_j} \quad (۱۷)$$

در رابطه ۱۷، e_j نشان‌دهنده مقدار صادرات بخش j است. در ادامه، با فرض اینکه $U = [u_j]$ باشد، با کسر آن از رابطه رد پای آب خارجی، رابطه ۱۸ به‌دست می‌آید:

$$\mathbf{NVWI = (S^f + S^{in}) - U} \quad (۱۸)$$

1. Internal Water Footprint
2. External Water Footprint

۳-۴. ضریب فزاینده

با داشتن مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب هر بخش در اقتصاد کشور، می‌توان ضریب فزاینده مصرف آب را محاسبه کرد:

$$\mathbf{D} = \mathbf{W}\hat{\mathbf{X}}^{-1} = \left[\mathbf{D^e D^f}\right] \quad (۱۹)$$

در این رابطه، هر عنصر در $D^e D^f$ به‌ترتیب مقدار آب مورد نیاز مستقیم و بین بخشی به‌ازای یک واحد پولی کل تولید بخش $\mathbf{j}$ در کشور و بین بخش‌های اقتصادی است. این فرمول ضریب فزاینده، اولین بار توسط جاست[1] (۱۹۷۳)، به‌صورت دیگری معرفی شده که از این فرمول برای روشن کردن اثرات کل تقاضای نهایی برای استفاده از آب استفاده می‌شود. لذا می‌توان مصرف غیرمستقیم آب را به‌ازای یک واحد پولی در کل تولید (آب موجود در نهاده‌های میانی تولید) با کم کردن بردار D از DL به دست آورد، لذا رابطه ۲۰ به‌دست می‌آید:

$$\mathbf{W} = [\mathbf{DL}]\hat{\mathbf{F}} \quad (۲۰)$$

درواقع، ضریب فزاینده، نشان می‌دهدکه به‌ازای هر واحد مصرف آب به‌صورت مستقیم، چه مقداری آب به‌صورت غیرمستقیم مصرف خواهد شد.

۴-۴. محتوای آب مجازی محصول و حسابداری آب مجازی

به‌طورکلی، تجارت آب مجازی می‌تواند به ارتقاء بهره‌وری منابع آب، بهبود مدیریت آب و کاهش تنش‌های مرتبط با کمبود آب کمک کند. محتوای آب مجازی محصول (CVWC)[2]، مبنایی برای بررسی مقدار آب مجازی موجود در تجارت بین‌المللی مواد غذایی است. در ادبیات آب مجازی، مدل‌هایی برای تخمین CVWC استفاده شده که یکی از معروف‌ترین این مدل‌ها، مدل CROPWAT است که توسط سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد تهیه شده است. «حجم ناخالص واردات آب مجازی» (GVWI)[3] در یک کشور، مجموع «واردات محصول» (CI)[4] ضرب‌در محتوای آب مجازی محصول (CVWC) مربوط به آن کشور است:

$$\mathbf{GVWI} = \sum_{\mathbf{c}} (\mathbf{CI} \times \mathbf{CVWC})_{\mathbf{c}} \quad (۲۱)$$

به‌طور مشابه، «حجم ناخالص صادرات آب مجازی» (GVWE)[5] از یک کشور، مجموع «صادرات محصول»

1. Just (1973).
2. Crop Virtual Water Content (CVWC)
3. Gross Volume of Virtual Water Import (GVWI)
4. Crop Imports (CI)
5. Gross Volume of Virtual Water Export (GVWE)

(CE)[1] ضرب‌در محتوای آب مجازی محصول مربوط به آن (CVWC) در آن کشور است:

$$\mathbf{GVWE} = \sum_{\mathbf{c}} (\mathbf{CE} \times \mathbf{CVWC})_{\mathbf{c}} \qquad (۲۲)$$

"تجارت خالص آب مجازی" یک کشور (NVWT)[2] را می‌توان به‌صورت رابطه ۲۳ محاسبه کرد:

$$\mathbf{NVWT} = \mathbf{GVWI} - \mathbf{GVWE} \qquad (۲۳)$$

معادلات برای تخمین «کل واردات آب مجازی جهانی» (TGVWI) و «کل صادرات آب مجازی جهانی» (TGVWE) به‌صورت رابطه‌های ۲۴ و ۲۵ بیان می‌شوند، که در آن، N تعداد کشورها و C تعداد محصولات در نظر گرفته شده است.

$$\mathbf{TGVWI} = \sum_{\mathbf{n=1}}^{\mathbf{N}} \sum_{\mathbf{c=1}}^{\mathbf{C}} \mathbf{GVWI}_{\mathbf{n,c}} \qquad (۲۴)$$

$$\mathbf{TGVWE} = \sum_{\mathbf{n=1}}^{\mathbf{N}} \sum_{\mathbf{c=1}}^{\mathbf{C}} \mathbf{GVWE}_{\mathbf{n,c}} \qquad (۲۵)$$

صرفه جویی/ تلفات آب تولید شده از "تجارت خالص آب مجازی جهانی" (TNVWT) را می‌توان به‌صورت رابطه ۲۶ محاسبه کرد:

$$\mathbf{TNVWT} = \mathbf{TGVWI} - \mathbf{TGVWE} \qquad (۲۶)$$

تراز تجاری آب[3] به تفاوت میان مقدار آب مجازی وارد شده و صادر شده توسط یک کشور یا منطقه اشاره دارد.

۵. نتایج

در جدول ۱، تعداد ۵۲ رشته فعالیت اقتصادی به ۷ بخش اصلی تقسیم شده و سپس آمار مربوط به مصارف بین بخشی، ارزش افزوده و ستانده کل هر بخش ارائه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در بین بخش‌های مورد بررسی، مجموع مصارف بخش تولیدات صنعتی از سایر بخش‌ها بیشتر بوده و این در حالی است که ارزش افزوده بخش خدمات از سایر بخش‌ها بیشتر می‌باشد. کمترین مجموع مصارف مربوط به بخش نفت و معدن و کمترین ارزش‌افزوده نیز مربوط به بخش ساختمان است. با توجه به آمار ارائه شده در جدول ۱، می‌توان گفت که بخش تولیدات صنعتی، بالاترین ستانده کل و لذا بیشترین سهم را در اقتصاد دارد. این در حالی است که ارزش افزوده قابل‌توجه آن، نشان‌دهنده نقش حیاتی این بخش در ایجاد ثروت و تولید محصولات داخلی است؛ در حالی

1. Crop Exports (CE)
2. Net Virtual Water Trade (NVWT)
3. Water Trade Balance

که مجموع مصارف بالای این بخش، می‌تواند نشان‌دهنده نیاز به مواد اولیه و یا حتی انرژی بیشتر باشد. به‌طورکلی، بخش تولیدات صنعتی به‌عنوان موتور محرکه اقتصادی با ستانده بالا و ارزش افزوده مناسب، نقش کلیدی در رشد اقتصادی ایفا می‌کند؛ اما مصرف بالا نشان می‌دهد که برای بهبود بهره‌وری، نیاز به مدیریت مصرف منابع وجود دارد.

جدول۱: ستانده کل بخش‌های اقتصادی در سال ۱۴۰۰ (ارقام به میلیارد ریال)

Tabel 1: Total Output of Economic Sectors in 2021 (Billion Rials)

صنعت	مجموع مصارف	ارزش افزوده ناخالص	ستانده کل
کشاورزی	4468190.6	5469283.4	9937478.4
نفت و معدن	744688.9	8510020.6	9254709.6
تولیدات صنعتی	22556008.5	9566997.9	32123002.1
تأمین آب، برق و گاز	1084318.6	4598529.7	5682848.3
ساختمان و عمده‌فروشی	6850646.4	11310196.8	18160843.2
حمل‌ونقل	2200344.7	4174821.8	6375166.6
خدمات	5349162.4	21711455.5	27060622.3
جمع کل	43253360.5	65341305.9	108594670.9

منبع: دفتر آینده پژوهی، مدل‌سازی و مدیریت اطلاعات اقتصادی (به روزشده)

بخش خدمات، سهم بالا در ارزش افزوده و ستانده کل دارد که نشان‌دهنده نقش برجسته خدمات در ایجاد شغل و ارتقاء سطح اقتصادی کشور است. بخش کشاورزی، مصارف پایین‌تری نسبت به سایر بخش‌ها داشته و همچنین ستانده این بخش در مقایسه با بخش‌های صنعتی و خدمات، سهم کمتری دارد. با این وجود، به لحاظ تأمین امنیت غذایی و صادرات محصولات غیرنفتی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بخش نفت و معدن، کمترین مصارف را در میان همه بخش‌ها داشته، اما ارزش افزوده بالای این بخش می‌تواند ناشی از صادرات و درآمدهای نفتی باشد. لذا بخش نفت و معدن، همچنان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع درآمدی کشور عمل می‌کند، اما به دلیل وابستگی به قیمت جهانی نفت و نوسانات آن، نیاز به متنوع‌سازی اقتصاد برای کاهش وابستگی به این بخش احساس می‌شود. با توجه به ستانده کل هر بخش و همچنین مصرف مستقیم آب هر بخش، می‌توان شدت مصرف مستقیم آب هر بخش را با استفاده از رابطه شدت مصرف آب محاسبه نمود که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. در بین بخش‌های اقتصادی مورد بررسی، بخش کشاورزی با بیشترین شدت مصرف مستقیم آب در رتبه اول قرار دارد. این در حالی است که بخش نفت و معدن، کمترین شدت مصرف را دارند.

جدول۲: مصرف و شدت مصرف مستقیم آب، در بخش‌های اقتصادی (سال ۱۴۰۰)

Tabel 2: Direct Water Consumption and Intensity in Economic Sectors (2021)

صنعت	ستانده کل (میلیارد ریال)	مصرف مستقیم آب (میلیون مترمکعب)	شدت مصرف مستقیم آب (متر مکعب به میلیون ریال)
کشاورزی	9937478.4	261512.5	38
نفت و معدن	9254709.6	30849032	0.3
تولیدات صنعتی	32123002.1	21415334.7	1.5
تأمین آب، برق و گاز	5682848.3	1959602.8	2.9
ساختمان و عمده‌فروشی	18160843.2	60536144.2	0.3
حمل‌ونقل	6375166.6	42501110.7	0.15
خدمات	27060622.3	27066223.3	0.1
جمع کل	10854670.9	428128960.7	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شدت مصرف مستقیم آب مجازی برای هر بخش، نشان می‌دهد برای هر یک میلیون ریال ستانده در آن بخش، چه مقدار آب به‌طور مستقیم نیاز است. در بین بخش‌های مورد بررسی، بخش کشاورزی با بیش از ۳۸ متر مکعب به‌ازای هر یک میلیون ریال، بیشترین میزان مصرف آب را دارد. شدت مصرف مستقیم آب مجازی برای بخش کشاورزی در این پژوهش، نزدیک به عدد شدت مصرف مستقیم محاسبه شده در پژوهش خدادادکاشی و همکاران (۱۴۰۱) با مقدار ۳۱/۴ متر مکعب به میلیون ریال و برای بخش کشاورزی است. لذا با توجه به اینکه در این پژوهش، داده مصرف آب از جدول داده - ستانده سال ۱۳۹۵ که برای سال ۱۴۰۰ به‌روز شده، استخراج گردیده، لذا این اختلاف آماری را توجیه می‌کند. همچنین با داشتن سهم ستانده هر بخش، می‌توان محتوای آب مجازی مربوط به هر بخش اقتصادی را نیز محاسبه کرد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳: محاسبه محتوای آب مجازی برای بخش‌های اقتصادی (۱۴۰۰)

Tabel 3: Calculation of Virtual Water Content for Economic Sectors (2021)

پارامتر / صنعت	سهم ستانده از کل ستانده (درصد)	محتوای آب مجازی (مترمکعب به میلیون ریال)
کشاورزی	9.15	44.51
نفت و معدن	8.52	1.78
تولیدات صنعتی	29.58	3.84
تأمین آب، برق و گاز	5.23	1.33
ساختمان و عمده‌فروشی	16.72	6.748
حمل‌ونقل	5.87	2.93
خدمات	24.91	0.744
جمع کل	100	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش

از طرفی، محتوای آب مجازی درواقع، نیاز آبی مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهد، به عبارت ساده‌تر، محتوای آب مجازی، میزان آب مورد نیاز برای تولید به‌صورت مجموع مستقیم و غیرمستقیم است؛ لذا با توجه به نتایج جدول ۳، در بین بخش‌های اقتصادی مورد بررسی، باز هم بخش کشاورزی با یک اختلاف معنادار (۵۱/ ۴۴ متر مکعب به میلیون ریال) در رتبه اول قرار دارد. کمترین محتوای آب مجازی نیز مربوط به بخش خدمات است. به عبارت ساده‌تر، در بخش کشاورزی برای تولید هر واحد میلیون ریال نیاز به ۴۴/۵۱ متر مکعب آب به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم است. در جدول ۴، واردات نهایی و واسطه‌ای آب مجازی در بخش‌های اقتصادی در سال ۱۴۰۰ محاسبه شده است.

جدول ۴: واردات نهایی و واسطه‌ای آب مجازی در بخش‌های اقتصادی (۱۴۰۰)

Tabel 4: Final and Intermediate Virtual Water Imports in Economic Sectors (2021)

صنعت	واردات (میلیارد ریال)	واردات نهایی آب مجازی	واردات واسطه‌ای آب مجازی
کشاورزی	318196.7	11269.4	3883.7
نفت و معدن	6275.3	7.7	6.6
تولیدات صنعتی	1681082	478.2	368.1
تأمین آب، برق و گاز	22974.8	24.5	22
ساختمان و عمده‌فروشی	3015.6	3.7	3.7
حمل‌ونقل	122737.7	31.2	305.09
خدمات	275039	165.4	74.9
جمع کل	2429321	11980.3	4664.3

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد، بخش کشاورزی با ۳۱۸۱۹۶میلیارد ریال، بیشترین میزان واردات را دارد، اما واردات نهایی و واسطه‌ای آب مجازی در سایر بخش‌ها نسبت به کشاورزی کم است. چنانچه نسبت واردات نهایی آب مجازی به واردات محاسبه شود، بخش تولیدات صنعتی و خدمات نسبت به میزان واردات، مقدار کمتری واردات نهایی و واسطه‌ای آب مجازی دارند.

جدول ۵: صادرات نهایی آب مجازی در بخش‌های اقتصادی (۱۴۰۰)

Tabel 5: Final Virtual Water Exports in Economic Sectors (2021)

صنعت	صادرات (میلیارد ریال)	خالص صادرات (میلیارد ریال)	صادرات نهایی آب مجازی
کشاورزی	105293.1	-212904	9893.4
نفت و معدن	1125445.4	1119170	109.7
تولیدات صنعتی	947939.8	-733142	853.4
تأمین آب، برق و گاز	402111	379136.1	78.7

ساختمان و عمده‌فروشی	136226	133210.3	12
حمل‌ونقل	218588	95850.3	763
خدمات	87834	-187205	317
جمع کل	3023437.4	594116	12027.4

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد بیشترین صادرات مربوط به بخش نفت و معدن است و این در حالی است که صادرات نهایی آب مجازی آن نسبت به صادرات پایین است. در بین بخش‌هایی که دارای خالص صادرات مثبت هستند، بخش ساختمان دارای کمترین صادرات نهایی آب مجازی است. جدول ۶ ردپای آب را به تفکیک داخلی، خارجی و ملی نشان می‌دهد.

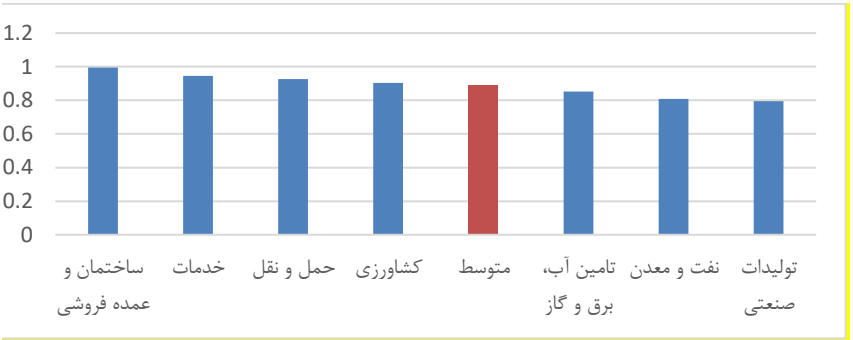
جدول ۶: ردپای آب داخلی، خارجی و ملی در بخش‌های اقتصادی (۱۴۰۰)

Tabel 6: Domestic, Foreign and National Water Footprint in Economic Sectors (2021)

میلیون متر مکعب / صنعت	ردپای آب داخلی	ردپای آب خارجی	ردپای آب ملی
کشاورزی	40716.4	42847.5	450009.03
نفت و معدن	222.8	52.4	275.3
تولیدات صنعتی	14872.5	3797.8	18670.4
تأمین آب، برق و گاز	961.4	166.07	1127.5
ساختمان و عمده‌فروشی	7040.7	26.2	7066.9
حمل‌ونقل	30190.8	2394.9	32585.8
خدمات	13189.9	742.9	13932.8
جمع کل	473639.8	50028.1	523668.09

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد، کل رد پای آب در سال ۱۴۰۰ معادل ۵۲۳۶۶۸ میلیون متر مکعب بوده است. این در شرایطی است که بخش کشاورزی، دارای بیشترین مقدار ردپای آب و بخش نفت و معدن، دارای کمترین مقدار رد پای آب است. در شکل ۱، سهم رد پای آب داخلی هر بخش از رد پای آب ملی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمام بخش‌های مورد بررسی، بیش از ۸۰ درصد از رد پای آب ملی مربوط به رد پای آب داخلی است. در این بین بخش، ساختمان با ۹۹ درصد بیشترین سهم و بخش تولیدات صنعتی کمترین سهم را دارا می‌باشد. به‌طورکلی میانگین ۸۹ درصد بوده که چهار بخش بیشتر از متوسط و سه بخش کمتر از متوسط هستند.



شکل۱: سهم رد پای آب داخلی از ملی بر حسب درصد

Figure 1: Share of Domestic Water Footprint from National Water Footprint by Percentage

جدول ۷، ضریب فزاینده مصرف آب در بخش‌های مختلف اقتصادی را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، ضریب فزاینده آب به بهره‌وری و کارآیی استفاده از آب اشاره دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بین بخش‌های مورد بررسی بخش کشاورزی، نفت و معدن و خدمات به‌ترتیب، دارای کمترین ضریب فزاینده مصرف آب هستند.

جدول ۶: ضریب فزاینده مصرف آب در بخش‌های اقتصادی (۱۴۰۰)

Tabel 7: Water Consumption Multiplier in Economic Sectors (2021)

صنعت	ضریب فزاینده مصرف آب	ضریب فزاینده مستقیم	ضریب فزاینده غیرمستقیم
کشاورزی	1.422	0.0014	1.420
نفت و معدن	1.638	1.106	0.532
تولیدات صنعتی	8.568	0.874	7.694
تأمین آب، برق و گاز	2.740	0.028	2.711
ساختمان و عمده‌فروشی	24.341	1.114	23.266
حمل‌ونقل	27.591	1.134	26.456
خدمات	1.726	0.256	1.470

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در مدیریت منابع آب، ضریب فزاینده آب می‌تواند به میزان افزایش بهره‌وری در استفاده از منابع آب اشاره داشته باشد. در اقتصاد منابع آب، ضریب فزاینده آب می‌تواند به میزان تأثیر سرمایه‌گذاری در بخش آب بر تولید ناخالص داخلی، اشاره داشته باشد.

جدول ۷: تراز تجاری آب در بخش‌های اقتصادی (۱۴۰۰)
Tabel 8:Water Trade Balance in Economic Sectors (2021)

صنعت	خالص صادرات (میلیارد ریال)	تراز تجاری آب (میلیون مترمکعب)
کشاورزی	-212904	1563
نفت و معدن	1119170	-97
تولیدات صنعتی	-733142	132
تأمین آب، برق و گاز	379136.1	-35
ساختمان و عمده‌فروشی	133210.3	-4
حمل‌ونقل	95850.3	-156
خدمات	-18205	256
جمع کل	594116	1658.4

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۸، تراز تجاری آب در بخش‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخش‌هایی مانند کشاورزی، تولیدات صنعتی و خدمات که دارای خالص صادرات منفی هستند، دارای تراز تجاری آب مثبت و سایر بخش‌ها، دارای تراز تجاری آب منفی هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخش کشاورزی با تراز مثبت ۱۵۶۳ میلیون متر مکعب آب، بیشترین و بخش حمل‌ونقل با منفی ۱۵۶ میلیون متر مکعب، کمترین تراز تجاری آب را به‌خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که تراز تجاری آب کشور در سال ۱۴۰۰، در حدود ۱۶۵۸ میلیون متر مکعب، و به عبارت ساده‌تر، کشور در سال ۱۴۰۰، بیشتر وارد کننده آب مجازی بوده است.

۶. تجارت با شرکای تجاری عمده

در طی ۳۲ سال گذشته، ترکیب شرکای تجاری ایران، دچار تغییرات زیادی شده است، به‌طوری‌که کشورهایی مانند چین، امارات، عراق و ترکیه در تجارت ایران، رشد داشته و در این بین، سهم کشورهایی مانند آلمان، ایتالیا و ژاپن، افت شدیدی داشته است. اما آنچه که اهمیت دارد، کاهش تنوع شرکای تجاری ایران طی سه دهه گذشته بوده است. به‌طور قابل‌توجهی، ۷۶ درصد از تجارت کشور، محدود به تنها ۸ کشور جهان می‌شود. این در شرایطی است که بخش قابل‌توجهی از صادرات ایران شامل میعانات گازی، روغن‌های سبک و فرآورده بجز بنزین است و در طرف دیگر، اقلام عمده واردات ایران شامل ذرت دامی و وسایل نقلیه موتوری است. به لحاظ حجم تجارت نیز عمده‌ترین خریدار کالاهای ایرانی، چین و امارات هستند و از سوی دیگر، در کشورهای عمده صادرکننده کالا به ایران، باز هم نام چین و امارات به چشم می‌خورد.

در جدول ۹، میزان تجارت بین ایران و شرکای تجاری عمده اقتصاد ایران ارائه شده است. داده‌های مربوط به این جدول از وب سایت مرکز تجارت جهانی استخراج، و میزان تجارت برای هر کشور، به تفکیک واردات، صادرات و خالص صادرات، ارائه شده است.

جدول ۸: تجارت با شرکای تجاری عمده ایران (میلیون دلار) (۲۰۲۲)

Tabel 9: Trade with Major Trading Partners of Iran's Economy (thousand dollars) (2022)

کشور	واردات از	صادرات به	خالص صادرات
هند	1660	672	-988
ترکیه	6084	7450	1366
چین	15562	22426	6864
عراق	227	8900	8673
هلند	1200	500	-700
روسیه	1691	579	-1112
امارات	18007	6006	-12001
آلمان	1887	161	-1726
کل دنیا	58726	50900	22174

منبع: مرکز تجارت جهانی https://www.trademap.org

به منظور مقایسه بهتر کشورها، سهم هرکشور از کل واردات و صادرات ایران در مجموع جهان محاسبه و در جدول ۱۰ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مجموع واردات از شرکای تجاری عمده اقتصاد ایران در سال ۲۰۲۲ درحدود ۳۸۵۷۴ میلیون دلار بوده که بیش از ۷۸ درصد از کل واردات ایران محسوب می‌شود. همچنین مجموع صادرات به شرکای عمده تجاری ایران در حدود ۳۸۵۷۲ میلیون دلار بوده که در حدود ۵۷ درصد از مجموع کل صادرات ایران را شامل می‌شود. در بین این کشورها، کشور امارات با ۳۰ درصد بیشترین سهم را در واردات ایران دارد و پس از آن، کشورهای چین و ترکیه در جایگاه بعدی قرار دارند. بیشترین میزان صادرات ایران نیز در این شرکای تجاری عمده، مربوط به کشورهای چین با ۲۷ درصد و پس از آن، کشور عراق با ۱۱ درصد از کل صادرات ایران است. از طرفی، در کشورهای مورد بررسی، کشورهای عراق، ترکیه، هند و چین، دارای خالص صادرات مثبت هستند. در این شرایط، عراق و چین، بیشترین خالص صادرات ایران را دارند و کشور امارات کمترین خالص صادرات را داشته است.

جدول ۹: سهم تجارت با شرکای تجاری عمده از کل تجارت ایران (درصد)

Tabel 10:The share of trade with major trading partners as a percentage of Iran's total trade

صنعت / کشور	سهم واردات از	سهم صادرات به	سهم خالص صادرات به
چین	26	27	30
هند	28	0.8	-4
آلمان	3	0.1	-7
ترکیه	10	9	6
هلند	2	0.6	-3

عراق	0.3	11	39
روسیه	2	0.7	5
امارات	30	0.7	-54
مجموع	78	57	-29
سایر کشورها	22	43	-
کل دنیا	100	100	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در ادامه، با توجه به میزان واردات و صادرات هر کشور، مقدار آب مجازی صادراتی و وارداتی محاسبه گردیده که در جدول ۱۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از مجموع ۱۱۹۸۰ میلیون متر مکعب واردات آب مجازی، مقدار ۹۴۴۹ میلیون متر مکعب و از ۱۲۰۲۷ میلیون متر مکعب صادرات آب مجازی، مقدار ۶۹۴۱ میلیون متر مکعب مربوط به شرکای تجاری عمده اقتصاد ایران است.

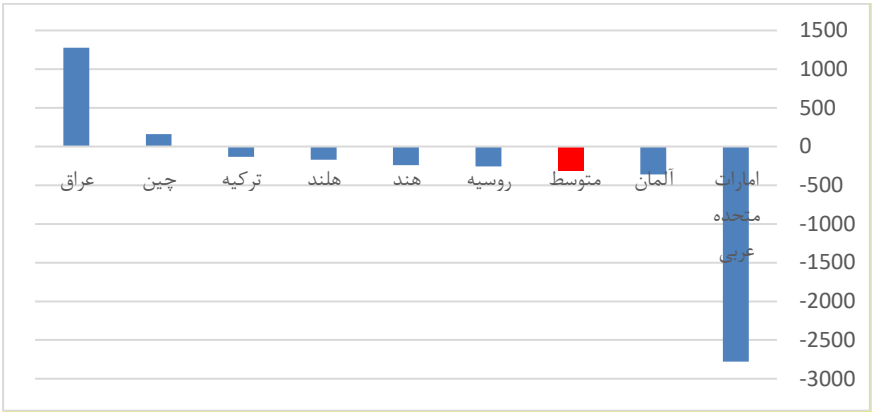
جدول ۱۰: واردات و صادرات نهایی آب مجازی در تجارت با شرکای تجاری

Tabel 11: Final Imports and Exports of Virtual Water in Trade with Major Trade Partners

صنعت / کشور	واردات نهایی آب مجازی	صادرات نهایی آب مجازی	خالص صادرات نهایی آب مجازی
چین	3174.71	3334.07	159.35
هند	338.64	99.90	-238.74
آلمان	384.95	23.93	-361.02
ترکیه	1241.16	1107.59	-133.57
هلند	244.80	74.33	-170.47
عراق	46.30	1323.16	1276.85
روسیه	344.97	86.07	-258.89
امارات	3673.50	892.91	-280.59
مجموع	9449.06	6941.99	-2507.08

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در شکل شماره ۲، خالص صادرات نهایی آب مجازی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تنها کشور امارات، خالص صادراتش از میزان متوسط خالص صادرات کمتر است و بقیه کشورها از مقدار متوسط بیشتر هستند که نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده کشور امارات در واردات و صادرات آب مجازی است.



شکل۲: خالص صادرات نهایی آب مجازی

Figure 2: Net Final Exports of Virtual Water

در جدول ۱۲، مقدار واردات هر بخش اقتصاد ایران از کشورهای مختلف ارائه شده است. با داشتن سهم واردات از هر کشور و برای هر بخش، می‌توان مقدار واردات نهایی آب مجازی برای هر بخش را محاسبه کرد. نتایج مربوط به واردات آب مجازی در جدول ۱۳ ارائه شده است.

جدول ۱۱: سهم واردات بخش‌های مختلف اقتصاد ایران از شرکای تجاری (درصد)

11: Share of Imports of Various Economic Sectors in Iran from Trade Tabel Partners (Percentage)

بخش / کشور	کشاورزی	نفت و معدن	تولیدات صنعتی	تأمین برق، آب و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	خدمات
چین	0.3	0.2	84.1	6.2	1	2.2	6
هند	4.5	1.3	82.4	1.5	1	3.1	6.2
آلمان	18.3	0.1	53.4	3.9	3	4.8	16.5
ترکیه	1.1	0.4	71	22.3	0.6	1.5	3.1
هلند	5.9	0.9	37.4	11	6	9.5	29.3
عراق	1.4	0.03	6.1	4.5	8.87	26.1	53
روسیه	26.7	0.3	43.9	2.4	3.4	7.5	15.8
امارات	0.1	0.1	77	2.4	2.4	4.5	13.5

مأخذ: یافته‌های پژوهش

واردات نهایی آب مجازی از شرکای تجاری عمده، به تفکیک بخش‌های اقتصادی، در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۲: واردات نهایی آب مجازی از شرکای تجاری عمده در بخش‌های مختلف

Tabel 13: Final Imports of Virtual Water from Major Trade Partners in Sectors

بخش / کشور	کشاورزی	نفت و معدن	تولیدات صنعتی	تأمین برق، آب و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	خدمات
چین	9.524	6.349	2669.93	196.832	31.747	69.843	190.482
هند	15.239	4.402	279.045	5.079	3.386	10.498	20.996
آلمان	70.446	0.384	205.566	15.013	11.548	18.477	63.517
ترکیه	13.652	4.964	881.224	276.779	7.446	18.617	38.476
هلند	14.443	2.203	91.557	26.928	14.688	23.256	71.727
عراق	0648	0.013	2.824	2.083	4.107	12.086	24.543
روسیه	92.107	1.034	151.442	8.279	11.729	25.872	54.505
امارات	3.673	3.673	2828.59	88.164	88.164	165.307	495.923
جمع کل	219.735	23.027	7110.19	619.160	172.818	343.960	960.172

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در جدول ۱۳ مشاهده می‌شود، در بخش کشاورزی بیشترین واردات نهایی آب مجازی ایران در بین شرکای عمده تجاری از کشور روسیه با ۹۲/۱۰۷ میلیون متر مکعب و بعد از آن، آلمان با ۷۰/۴۴۶ میلیون متر مکعب است. در بخش نفت و معدن نیز بیشترین واردات نهایی آب مجازی مربوط به چین، با ۲۶۶۹/۹۳ میلیون متر مکعب و بعد از آن، ترکیه با ۸۸۱/۲۲۴ میلیون متر مکعب است. بیشترین مقدار واردات نهایی آب مجازی در بخش تولیدات صنعتی نیز مربوط به دو کشور چین و امارات با یک اختلاف معنادار نسبت به سایر کشورها است، در حالی که در بخش تأمین برق، آب و گاز، چین و ترکیه بیشترین مقدار را داشته‌اند. بیشترین مقدار واردات آب مجازی در سایر بخش‌های خدمات، حمل‌ونقل و ساختمان مسکونی، مربوط به کشور امارات و با یک اختلاف معنادار نسبت به سایر کشورها است.

اگر بخواهیم به لحاظ کشوری بررسی کنیم، در همه کشورها بجز عراق، بیشترین واردات آب مجازی ایران مربوط به بخش تولیدات صنعتی است، در شرایطی که بیشترین واردات آب مجازی از عراق، مربوط به بخش خدمات است. همچنین مطابق انتظار، کمترین واردات آب مجازی نهایی ایران، مربوط به بخش نفت است. در جدول ۱۴میزان و سهم صادرات بخش‌های مختلف اقتصاد ایران به شرکای تجاری عمده ایران ارائه شده است.

جدول ۱۳: سهم صادرات بخش‌های مختلف اقتصاد ایران به شرکای تجاری (درصد)

Table 12: Share of Exports of Iranian Sectors to Major Trade Partners (Percentage)

کشور	کشاورزی	نفت و معدن	تولیدات صنعتی	تأمین برق، آب و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	خدمات
چین	10.5	69.4	12.1	1.6	0.8	2.4	3.2
هند	8.7	77.6	5.7	2.9	1.7	1.1	2.3
آلمان	11.3	45.3	26.4	3.8	1.9	3.8	7.5
ترکیه	13.8	50.5	22.9	4.6	2.8	1.8	3.6
هلند	4.6	52.8	25.5	4.3	2.1	4.3	6.4
عراق	25.0	20.8	31.2	10.4	4.2	2.1	6.3
روسیه	17.6	11.8	41.2	8.8	2.9	5.9	11.8
امارات	17.3	40.0	26.7	1.3	2.7	4.0	8.0

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با داشتن سهم صادرات برای هر بخش و همچنین میزان و شدت آب مجازی برای هر بخش، می‌توان صادرات نهایی آب مجازی برای هر بخش و به هر کشور را محاسبه کرد که نتایج آن در جدول ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۱۴: صادرات نهایی آب مجازی به شرکای تجاری عمده در بخش‌های مختلف

Table 15: Final Exports of Virtual Water to Major Trade Partners in Sectors

کشور	کشاورزی	نفت و معدن	تولیدات صنعتی	تأمین برق، آب و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	خدمات
چین	350.077	2313.846	403.422	53.345	26.672	80.017	106.690
هند	8.691	77.527	5.694	2.897	1.698	1.0898	2.297
آلمان	2.704	10.842	6.319	0.909	0.454	0.909	1.795
ترکیه	152.847	559.333	253.638	50.949	31.012	19.936	39.873
هلند	3.419	39.248	18.955	3.196	1.561	3.196	4.757
عراق	330.790	275.217	412.826	137.608	55.572	27.786	83.359
روسیه	15.150	10.157	35.464	7.575	2.496	5.078	10.157
امارات	154.473	357.164	238.407	11.607	24.108	35.716	71.432
جمع کل	1018.155	3643.338	1374.729	268.089	143.577	173.740	320.363

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که نتایج جدول ۱۵نشان می‌دهد، بیشترین صادرات نهایی آب مجازی در بخش کشاورزی مربوط به دو کشور چین و عراق است. بیشترین صادرات نهایی آب مجازی در بخش نفت و معدن نیز مربوط به کشور چین با مقدار ۲۳۱۳/۸۴۶ میلیون متر مکعب و با یک اختلاف معنادار نس

بت به سایر کشورها است. بیشترین صادرات نهایی آب در بخش صنعت و معدن نیز به دو کشور چین و عراق

اختصاص دارد. در سایر بخش‌ها نیز بیشترین صادرات نهایی آب مجازی مربوط به کشورهای چین و عراق و بعد از آن، با یک اختلاف، مربوط به کشورهای ترکیه و امارات است.

به لحاظ بررسی کشورها نیز بیشترین صادرات نهایی آب مجازی بجز کشور عراق و روسیه، مربوط به بخش نفت و معدن است. در دو کشور عراق و روسیه، بیشترین صادرات نهایی آب مجازی مربوط به بخش تولیدات صنعتی است، در حالی که بیشترین صادرات نهایی آب مجازی به کشور عراق، مربوط به سه بخش تولیدات صنعتی، کشاورزی و معدن بوده، و بیشترین صادرات نهایی آب مجازی به کشور امارات نیز به‌ترتیب، مربوط به معدن، تولیدات صنعتی و کشاورزی است.

با داشتن واردات نهایی آب مجازی و صادرات نهایی آب مجازی، می‌توان خالص صادرات نهایی آب مجازی را محاسبه کرد که نتایج مربوطه در جدول ۱۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین کشورهای مورد بررسی، صادرات خالص نهایی آب مجازی مربوط به بخش کشاورزی، نفت و ساختمان مثبت است و نشان می‌دهد که ایران در این بخش‌ها، بیشتر صادرکننده و در سایر بخش‌ها، وارد کننده آب مجازی است. بیشترین خالص صادرات نهایی آب مجازی در بخش نفت، با یک عدد مثبت و اختلاف معنا دار نسبت به سایر بخش‌ها و در بخش صنعت، با یک عدد منفی و اختلاف معنادار نسبت به سایر بخش‌ها است. به عبارت ساده‌تر، ایران در بخش نفت صادرکننده آب مجازی و در بخش صنعت وارد کننده آب مجازی بوده، در حالی که واردات آب مجازی بخش صنعت، بیشتر از صادرات آب مجازی بخش نفت و معدن است.

در بین کشورهای مورد بررسی، ایران به کشورهای چین، عراق، هند و ترکیه صادرکننده آب مجازی و از کشورهای آلمان، هلند، روسیه و امارات، با یک اختلاف معنادار، واردکننده آب مجازی است.

جدول ۱۵: خالص صادرات نهایی آب مجازی به شرکای تجاری عمده در بخش‌های مختلف

Tabel13: Net Final Exports of Virtual Water to Major Trade Partners in Sectors

کشور / بخش	کشاورزی	نفت و معدن	تولیدات صنعتی	تأمین برق، آب و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	خدمات
چین	340.544	2307.496	-2266.51	-143.487	-5.074	10.147	-83.792
هند	-6.547	73.124	-273.35	-2.182	-1.688	-9.399	-18.698
آلمان	-67.742	10.457	-199.247	-14.103	-11.093	-17.568	-61.722
ترکیه	139.194	554.368	-627.587	-225.83	23.565	1.319	1.397
هلند	-11.024	37.045	-72.6017	-23.732	-13.127	-20.060	-66.970
عراق	330.142	275.203	410.001	135.525	51.465	15.699	58.818
روسیه	-76.957	9.122	-115.977	-0.704	-9.232	-20.794	-44.348
امارات	150.800	353.491	-2590.19	-76.556	-64.055	-129.59	-424.49
جمع کل	798.419	3620.311	-5735.46	-351.07	-29.241	-170.22	-639.809

مأخذ: یافته‌های پژوهش

۷. بحث و نتیجه‌گیری

در سال ۱۴۰۰، بخش تولیدات صنعتی با نزدیک به ۳۰ درصد، بیشترین سهم را از کل ستانده اقتصادی ایران داشته است، در حالی که بخش خدمات در جایگاه دوم قرار دارد. کمترین سهم از ستانده کل مربوط به بخش نفت و معدن است. آب مجازی به معنای آبی است که به‌طور غیرمستقیم از طریق واردات محصولات به کشور وارد می‌شود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ایران در سال ۱۴۰۰ واردکننده خالص آب مجازی بوده است. این بدان معنا است که میزان آب صرف شده برای تولید محصولات وارداتی، بیشتر از آبی بوده که برای تولیدات صادراتی ایران مصرف شده است. میزان واردات آب مجازی ۱۱۹۸۰ میلیون متر مکعب و صادرات آن ۱۲۰۲۷ میلیون مترمکعب بوده، و این وضعیت، نشان می‌دهد که ایران به واردات آب از طریق محصولات کشاورزی و صنعتی وابسته است.

بخش کشاورزی با بیشترین شدت مصرف مستقیم آب (۳۸ متر مکعب به ازای هر میلیون ریال) در رتبه اول قرار دارد. همچنین، این بخش بیشترین محتوای آب مجازی (۴۴/۵۱ متر مکعب به میلیون ریال) را دارا است. بخش‌های خدمات و نفت و معدن، کمترین محتوای آب مجازی را به‌خود اختصاص داده‌اند. بخش کشاورزی با وجود بیشترین میزان واردات، کمترین میزان واردات نهایی و واسطه‌ای آب مجازی را دارد. در مقابل، بخش‌های تولیدات صنعتی و خدمات با واردات بالای خود سهم بیشتری از آب مجازی دارند. همچنین، صادرات نهایی آب مجازی در بخش کشاورزی، بیشترین مقدار را دارد، در حالی که خالص صادرات آب مجازی در بخش نفت و معدن، بسیار پایین است.

بیشترین رد پای آب داخلی و ملی مربوط به بخش کشاورزی است. به‌طورکلی، بیش از ۸۰ درصد ردپای آب ملی، از رد پای آب داخلی تأمین می‌شود.

در بین بخش‌های مختلف، حمل‌ونقل و ساختمان، دارای بالاترین ضریب فزاینده مصرف آب هستند که نشان‌دهنده کارآیی کمتر آن‌ها در مصرف منابع آب است. بخش کشاورزی، با کمترین ضریب فزاینده، در رتبه پایین‌تری قرار دارد. به‌طورکلی، تراز تجاری آب کشور در سال ۱۴۰۰ مثبت بوده و به ۱۶۵۸ میلیون متر مکعب رسیده است. بخش کشاورزی با ۱۵۶۳ میلیون متر مکعب، بیشترین تراز تجاری مثبت و بخش حمل‌ونقل با منفی ۱۵۶ میلیون متر مکعب، کمترین تراز تجاری را داشته‌اند. مصرف بسیار بالا در بخش کشاورزی، نشان‌دهنده فشار سنگین بر منابع آب شیرین داخلی است، به‌ویژه در کشوری مانند ایران که با کمبود آب مواجه می‌باشد. بخش‌های صنعتی پس از کشاورزی، بیشترین مصرف آب را دارند. اگرچه مصرف آب در این بخش نسبت به کشاورزی، کمتر است، اما صنایع نیز سهم مهمی در مصرف غیرمستقیم آب دارند، به‌خصوص در تولیدات صنعتی که از منابع داخلی آب استفاده می‌کنند.

نتایج پژوهش، نشان می‌دهد که بخش کشاورزی، دارای بالاترین شاخص مصرف آب مستقیم است. به این

معنی که بیشترین میزان آب برای هر واحد تولید در این بخش استفاده می‌شود و همچنین این شاخص، نشان‌دهنده این است که رشد هر واحد از تولیدات کشاورزی، نیاز به آب فراوان دارد. همچنین، شاخص مصرف غیرمستقیم آب در بخش‌های دیگر مانند خدمات و صنعت نیز بررسی شده است. مصرف غیرمستقیم آب در این بخش‌ها، کمتر از بخش کشاورزی است، اما همچنان تأثیر بسزایی در مصرف کلی آب کشور دارد.

از مجموع ۱۱۹۸۰ میلیون متر مکعب واردات آب مجازی، ۹۴۴۹ میلیون متر مکعب مربوط به شرکای تجاری عمده است که نشان‌دهنده نقش بسیار مهم این کشورها در تأمین آب مجازی ایران است. امارات متحده عربی با بیش از ۳۶۷۳ میلیون متر مکعب واردات آب مجازی، بزرگ‌ترین تجارت را در بین کشورهای مورد بررسی دارد. بیشترین واردات آب مجازی در بخش کشاورزی، مربوط به روسیه، در بخش معدن و نفت، مربوط به هند و آلمان، در بخش تولیدات صنعتی، مربوط به چین و در بخش خدمات، مربوط به عراق و ژاپن است. کشورهایی مانند عراق، ترکیه، هند و چین دارای خالص صادرات مثبت آب مجازی هستند، به این معنی که صادرات آب مجازی به این کشورها، بیشتر از واردات است. واردات آب مجازی کشورهایی مانند امارات و روسیه که حجم تجارت زیادی با ایران دارند، عمدتاً در بخش تولیدات صنعتی متمرکز است که اهمیت استراتژیک آب مجازی در این بخش‌ها را نشان می‌دهد. یکی از نکات مهمی که پژوهش نشان داده، وابستگی شدید ایران به واردات آب مجازی است. به عبارت دیگر، بخش مهمی از نیاز آبی کشور از طریق واردات محصولاتی که برای تولید آن‌ها در کشورهای دیگر آب مصرف شده است، تأمین می‌شود. این امر به‌ویژه در محصولات کشاورزی وارداتی مشهود است.

بخش کشاورزی، با وجود مصرف بالای آب، به‌دلیل بهره‌وری پایین و استفاده ناکارآمد از منابع آب، یکی از بخش‌هایی است که نیازمند توجه ویژه و تغییر در سیاست‌های کشاورزی کشور است. تأکید بیش از حد بر خودکفایی در تولید محصولات کشاورزی، می‌تواند به بحران‌های بیشتر در منابع آبی کشور دامن بزند. همچنین، سیاست‌های مرتبط با واردات و صادرات محصولات با محتوای آب مجازی بالا، باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که کشور بتواند از منابع آب جهانی به‌طور بهینه‌تری استفاده کند و فشار کمتری بر منابع آب داخلی وارد شود. این موضوع به بهبود امنیت آبی کشور کمک می‌کند. سیاستگذاران باید به مدیریت بهینه منابع آب و ترویج تجارت آب مجازی به‌عنوان راهکاری برای حفظ منابع آب داخلی، بیشتر توجه کنند. واردات محصولات با آب‌بری بالا و صادرات محصولات با آب‌بری کمتر، می‌تواند به بهبود وضعیت منابع آبی کشور کمک کند.

از آنجا که هزینه‌های زیست‌محیطی استفاده از آب مانند خشک شدن دریاچه ها و تالاب‌ها و یا فرونشست زمین و هزینه‌های اجتماعی دیگری مانند درگیری‌های بین استانی بابت آب و همچنین هزینه‌های سیاسی، نیازمند آمار و داده‌هایی مانند نوع آب مصرفی هر بخش اقتصادی (مانند استفاده از آب سطحی، آب زیرزمینی، آب شرب، غیر شرب و ...) است، که در این پژوهش، این هزینه‌ها در نظر گرفته نشده است. لذا پیشنهاد می‌شود در پژوهشی با تعیین نوع آب مصرفی و سهم هر نوع آب در سبد مصرفی بخش‌های اقتصادی، سایر هزینه‌های زیست محیطی

مورد اشاره، محاسبه گردد تا هزینه‌های هر بخش واقع گرایانه‌تر نشان داده شود.

سپاسگزاری: در پایان، نویسندگان بر خود لازم میدانند که از داوران محترم مجله پژوهش‌ها و چشم‌اندازهای اقتصادی برای بهبود و ارتقاء متن مقاله، قدردانی نمایند.

تأییدیه‌های اخلاقی: موردی وجود ندارد.

تعارض منافع: نویسندگان، نبود تعارض منافع را اعلام می‌دارند.

سهم نویسندگان در مقاله: نویسندگان براساس ترتیب اسامی، در نگارش مقاله سهم دارند.

منابع مالی / حمایت‌ها: این تحقیق مستخرج از رساله دکتری رشته علوم اقتصادی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان می‌باشد.

References

Allan, J. A. (2003). Virtual water-the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor?. Water International, 28(1), 106-113. https://DOI.org/10.1080/02508060.2003.9724812

Ameri Gollestani, S., Bakhtiari, S., & Ghobadi, S. (2024). Bilateral virtual water trade balance and sustainable development using the Gravity model. Quarterly Journal of The Economic Research (Sustainable Growth and Development), 24(4), 53-68.
https://DOI.org/10.22034/24.4.53

Bazrafshan, Z., Ramezani Etedali, H., & Bazrafshan, O. (2020). Spatio-temporal of walnut water foorprint components and virtual water trading in Iran. Journal of Eco Hydroligy, 7(3), 583-593.
https://DOI.org/10.1016/j.agwat.2018.10.034. [In Persian]

Bekchanov, M. (2024). The impacts of technological change policies on water uses and virtual water rrade in water-constrained settings. Journal of Cleaner Production, 456, 142378.
https://DOI.org/10.1016/j.jclepro.2024.142378

Chapagain, A., & Hoekstra, A. (2006). Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series, No. 16.

Ercin, A. E., & Hoekstra, A. Y. (2014). Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. Environment international, 64, 71-82
https://DOI.org/10.1016/j.envint.2013.11.019

Feng, B., Zhuo, L., Xie, D., Mao, Y., Gao, J., Xie, P., & Wu, P. (2021). A quantitative review of water footprint accounting and simulation for crop production based on publications during 2002-2018. Ecological Indicators, 120, 106962.
https://DOI.org/10.1016/j.ecolind.2020.106962

Hekmatnial, M., Hosseini, S. M., & Safdari, M. (2020). Determination and assessment of green, blue and gray water footprints in the international trade of agricultural priducts of Iran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 14(80), 446-463. [In Persian]

Li, M., Zhang, J., Liu, H., & Li, S. (2024). Analysis and prediction of crop water footprints in the Fen River Basin of Shanxi province, China. Climate Services, 35, 100504.
https://DOI.org/10.1016/j.cliser.2024.100504

Rasekh, S., & Karimi, M. (2022). Virtual water trade between Iran and CIS. Quarterly Journal of Applied Economics Studies Iran, 11(42), 109-134. [In Persian]

Ribašauskienė, E., Eicaite, O., Balezentis, T., & Agnusdei, G. P. (2024). Decomposition of the water footprint of food loss and waste: The case of Lithuanian supply chains. Ecological Indicators, 166, 112255
https://DOI.org/10.1016/j.ecolind.2024.112255

Tian, X., Sarkis, J., Geng, Y., Qian, Y., Gao, C., Bleischwits, 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

Wahba, S. M., Scott, K., & Steinberger, J. K. (2018). Analyzing Egypt's water footprint based on trade balance and expenditure inequality. Journal of Cleaner Production, 198, 1526-1535. https://DOI.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.266

Yang, H., Wang, L., & Abbaspour, K. C. (2006). Virtual water trade: An assessment of water use efficiency in the international food trade. Hydrol. Earth Syst. Sci, 10(3), 443-454. https://DOI.org/10.5194/hess-10-443-2006

Zarei, G., & Jafari, A. M. (2019). Virtual water trade in Iran with respect of economic productivity. Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Recources, 4(1), 49-63. [In Persian]

Zhang, L., Yu, Y., Guo, Z., Ding, X., Zhanf, J., & Yu, R. (2024). Investigating agricultural water sustainability in Arid regions with Bayesian network and water footprint theories. Science of the Total Environment, 951, 175544. https://DOI.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175544

Zhong, R., Chen, A., Zhao, D., Mao, G., Zhao, X., Huang, H., & Liu, J. (2023). Impact of international trade on water scarcity: An assessment by improving the Falkenmark indicator. Journal of Cleaner Production, 385, https://DOI.org/10.1016/j.jclepro.2022.135740