New Economy and Trade, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Quarterly Journal, Vol. 17, No. 1, Spring 2022, 155-180
Doi: 10.30465/JNET.2022.39821.1837

Identification of Water Footprint in Iran's Foreign Trade with the Approach of the Input-Output Table-2016

Banafsheh Najafi[*], Farhad Khodadad Kashi[**]
Ali Souri[***], Yeganeh Mousavi Jahromi[****]

Abstract

Understanding the water content of export and import products in international trade has an effective role in the optimal management of water in Iran as a country with water stress. The main purpose of this study is to identify the balance of water content of products in Iran's foreign trade. For this purpose, using the input-output tables-2016 and considering the interrelationships and dependencies between major economic sectors including agriculture, mines, manufacturing, electricity and gas production, treatment, supply and wastewater, buildings, services and others, the Water footprint index, net import of virtual water and some indicators related to water consumption have been calculated. The results show that in 2016, Iran was a net importer of virtual water. Although the agricultural sector has the highest national water footprint (%89), according to the water consumption multiplier index, increasing water consumption in this sector has very little effect on increasing water

* PhD Candidate of Economics, Department of Economy, Payame Noor University (PNU), Tehran. Iran, b_najafi@sci.org.ir

** Professor of Economics, Department of Economy, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran (Corresponding Author), khodadad@pnu.ac.ir

*** Associate Professor of Economics, Department of Economy, Tehran University, Iran alisouri@ut.ac.ir

**** Professor of Economics, Department of Economy, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran mosavi@pnu.ac.ir

Date received: 2022/1/13, Date of acceptance: 2022/4/26

Copyright © 2018, This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

consumption in other sectors. After the agricultural sector, the manufacturing sector has the highest intensity of indirect water consumption (3/5 cubic meters/ million Rials), and the increase in water consumption in this sector has the greatest impact on increasing water consumption in the economy. So that the increase of one unit of water consumption in this sector increases the water consumption of the agricultural sector by 7 times and the water consumption of the whole country by 9 times. After the agricultural sector, the highest amount of virtual water content (direct and indirect water consumption) was allocated to the treatment, supply and wastewater sector (5/8 cubic meters/ million Rials). The services and other sectors, which has been the largest net exporter of virtual water (217 million cubic meters), have the largest water footprint after agriculture.

Keywords: Direct and Indirect Water Consumption, Water Footprint, Virtual Water Trade, Input Output Tables.

JEL Classification: Q25, C67.

اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
فصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ پژوهشی)، سال ۱۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱، ۱۵۷ - ۱۸۰

شناسایی ردپای آب در تجارت خارجی ایران با رهیافت جدول داده ستاندهٔ ۱۳۹۵[۱]

بنفشه نجفی*، **فرهاد خداداد کاشی****
علی سوری***، **یگانه موسوی جهرمی******

چکیده

مدیریت بهینهٔ آب در ایران، در جایگاه کشوری کم‌آب، با شناخت محتوای آب محصولات صادراتی و وارداتی در تجارت بین‌الملل تأثیری مهم دارد. هدف محوری این مطالعه شناسایی تراز تجاری محتوای آب محصولات در تجارت خارجی ایران است که بدین منظور، با استفاده از جداول داده‌ستاندهٔ ۱۳۹۵ و باتوجه‌به روابط متقابل و وابستگی بین بخش‌های عمدهٔ اقتصادی شامل کشاورزی، معادن، صنایع کارخانه‌ای، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب، ساختمان، و خدمات، شاخص ردپای آب، خالص واردات، و برخی شاخص‌های مرتبط به مصرف آب، تراز تجاری محتوای آب محصولات در تجارت خارجی ایران محاسبه شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۵ ایران واردکنندهٔ خالص آب مجازی بوده است. بخش کشاورزی بیش‌ترین ردپای ملی آب و معادل ۸۹ درصد را دارد، اما باتوجه‌به ماتریس ضریب مبادله، افزایش مصرف آب در این بخش تأثیر بسیار اندکی در افزایش مصرف آب سایر بخش‌ها دارد. پس از کشاورزی، صنایع کارخانه‌ای بالاترین میزان مصرف آب غیرمستقیم را با مقدار ۳/۵ مترمکعب به میلیون ریال داشته است و افزایش مصرف آب در این بخش بیش‌ترین تأثیرگذاری را در

* دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، b_najafi@sci.org.ir
** استاد گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسندهٔ مسئول)، khodadad@pnu.ac.ir
*** دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه تهران، ایران، alisouri@ut.ac.ir
**** استاد گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، mosavi@pnu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

Copyright © 2018, This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

افزایش مصرف آب در اقتصاد دارد، به‌طوری‌که افزایش یک واحد مصرف آب در این بخش مصرف آب بخش کشاورزی را هفت برابر و مصرف آب کل کشور را نُه برابر افزایش می‌دهد. پس از بخش کشاورزی، بیش‌ترین مقدار محتوای آب مجازی (مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب) با میزان ۵/۸ مترمکعب به میلیون ریال به بخش تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب اختصاص داشته است. بخش خدمات، که بزرگ‌ترین صادرکنندهٔ خالص آب مجازی با مقدار ۲۱۷ میلیون مترمکعب بوده است، پس از کشاورزی بیش‌ترین ردپای آب را دارد.

کلیدواژه‌ها: مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب، ردپای آب، تجارت آب مجازی، جداول داده‌ستانده.

طبقه‌بندی JEL: C67، Q25.

۱. مقدمه

تنش آبی (water stress) برداشت بیش از حد از منابع آب شیرین برای پایداری و پویایی منابع طبیعی تهدیدی جدی و مانعی برای توسعهٔ اقتصادی است. در سال ۲۰۱۸، متوسط تنش آبی در سطح جهانی ۱۸/۴ درصد بوده است که این شاخص برای ایران ۸۱/۳ درصد نشان داده شده است (FAO 2020: indicators). ۶۱ درصد از مساحت کشور در اقلیم خشک و فراخشک قرار دارد و میزان بارندگی در آن کم‌تر از یک‌سوم متوسط بارندگی جهان است. باوجوداین، ایران از کشورهایی است که بالاترین نرخ برداشت آب‌های زیرزمینی را به‌خود اختصاص داده است (Doll 2014: 5713). این وضعیت به تخلیهٔ منابع آب زیرزمینی، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب، و خسارات جبران‌ناپذیر به زیست‌بوم و منابع آب سطحی منجر خواهد شد. بحران آب در ایران نتیجهٔ مجموعه‌ای از چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود آب و استفادهٔ نادرست از منابع آب کشور است. «کمبود آب فیزیکی»، نتیجهٔ نبود منابع کافی آب طبیعی و فقدان تجهیزات و زیرساخت‌های لازم استحصال آب برای تأمین تقاضای یک منطقه، کمبود «آب اقتصادی»، و مدیریت ضعیف منابع آبْ ایران را به کم‌آبی رسانده است.

از شیوه‌های نوین و متداول در جهان برای مدیریت عرضهٔ آب و تأمین امنیت منابع آبی توجه به محتوای آب محصولات و تجارت آن است. تجارت آب مجازی و بررسی صادرات و واردات آب امکانات بیش‌تری را برای مدیریت مؤثر آن فراهم می‌کند. کشورهایی که در منابع آبی فقیرند، می‌توانند با واردات محصولات آب‌بر منابع آبی محدود خود را در جایی دیگر با بهره‌وری بالاتر استفاده کنند، دست‌رسی کشور به منابع آب جهانی را افزایش دهند،

و از فشار بر منابع آبی داخلی بکاهند. رینالت (Renaulth 2003) نشان داد که صادرات یک کیلوگرم ذرت از فرانسه به مصر باعث صرفه‌جویی در مصرف ۰/۵۲ مترمکعب آب می‌شود، چراکه حجم آب مجازی ذرت فرانسه ۰/۶ مترمکعب به کیلوگرم است، درحالی‌که حجم آب مجازی ذرت مصری ۱/۱۲ مترمکعب به کیلوگرم است. بیش‌ترین میزان تجارت آب مجازی در دنیا به محصولات کشاورزی با مقدار ۹۸۷ میلیارد مترمکعب در سال مربوط است (Alamri and Reed 2019) و حجم صرفه‌جویی آب مصرفی ناشی از مبادلات آب مجازی ۳۵۲ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است (Chapagain 2005). هم‌راه صادرات محصولات ایرانی، بخش درخور توجهی آب نیز به‌صورت مجازی صادر می‌شود. بنابراین، در کشوری مانند ایران، که با کمبود آب مواجه است، باید درخصوص صادرات آب مجازی سخت‌گیری و شرایط برای ورود محصولات با محتوای آب مجازی بالا سهل شود. ۸۱ درصد از محصولات کشاورزی واردشده به ایران غلات است که آب آن‌ها از طریق بارش‌های آسمانی و دیم تأمین می‌شود، درحالی‌که ۶۸ درصد از صادرات مربوط به میوه و آجیل (مانند پسته و خرما) و ۲۶ درصد سبزیجات (مانند فلفل و گوجه‌فرنگی) است که منبع تأمین آب آن‌ها آب‌های سطحی و زیرزمینی است (حکمت‌نیا ۱۳۹۸: ۴۵۷).

این مطالعه با هدف شناسایی تراز تجاری محتوای آب محصولات در تجارت خارجی ایران تدوین شده است. به‌منظور تحقق این هدف، تلاش می‌شود که ردپای ملی، داخلی، و خارجی آب در بخش‌های کشاورزی، معادن، صنایع کارخانه‌ای (کارگاه‌های صنعتی)، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب، ساختمان، و خدمات محاسبه شود. هم‌چنین در این بخش‌ها شدت ردپای آب و ضریب فزایندهٔ مصرف آب (مستقیم و غیرمستقیم) اندازه‌گیری می‌شود. به این منظور، از داده‌های ثبتی شرکت مدیریت منابع آب و جداول داده‌ستاندهٔ بانک مرکزی در سال ۱۳۹۵ استفاده شده است. سازمان‌دهی این مقاله به این صورت است که پس از مقدمه، در قسمت دوم، ادبیات موضوع شامل مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق بیان می‌شود. قسمت سوم معرفی داده‌های آماری و روش تحقیق است. قسمت چهارم به نتایج پژوهش و بخش پایانی به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی اختصاص دارد.

۲. ادبیات موضوع

۱.۲ مبانی نظری تحقیق

تجارت آب مجازی رویکردی است که به نهادهٔ آب از بُعد صادرات و واردات آن توجه می‌کند. کشورها علاقه‌مندند بدانند در تأمین امنیت غذایی و تولید محصولات موردنیاز خود

به آب‌های داخل کشورشان به چه میزان متکی‌اند. طبق نظریه‌های تجارت بین‌الملل، دو طرف تجارت با به‌کارگیری اصل مزیت نسبی می‌توانند از تجارت منتفع شوند. درمورد نهادهٔ آب نیز می‌توان از این اصل بهره گرفت. چنان‌چه کشوری دارای مزیت نسبی منابع آبی است، می‌تواند محصولات آب‌بر تولید کند و با کشور دیگر، که این مزیت نسبی را ندارد، مبادله انجام دهد و به‌جای انتقال فیزیکی آب، آن را به‌صورت مجازی و از طریق محصولات وارد یا صادر کند. بدین ترتیب، بحران و کمبود آب در سطح ملی، منطقه‌ای، و جهانی کنترل می‌شود و مانع تبعات منفی اقتصادی، اجتماعی، و سیاسی مانند جنگ برسر آب (Allan 1998-2003) است. تجارت آب مجازی و مفهوم ردپای آب ارتباط نزدیکی با یک‌دیگر دارند. ردپای آب شاخصی است برای نشان‌دادن حجمی از آب که مستقیم یا غیرمستقیم طی فرایندهای زنجیرهٔ تولید کالا یا ارائهٔ هرگونه خدمت توسط ساکنان کشور مصرف می‌شود و دو جزء داخلی و خارجی دارد (Hoekstra 2002). این شاخص نه‌فقط وضعیت مصرف و کمبود آب را تعیین می‌کند، بلکه می‌تواند آب تعبیه‌شده در واردات و صادرات را منعکس کند و راه‌نمای سیاست‌گذاری‌های مربوط به تراز تجاری آب باشد. سابقهٔ دست‌یابی به چنین شاخص‌ها و مطالعاتی، که نظام اقتصادی را به نظام محیط‌زیست مرتبط می‌کند، به دههٔ ۱۹۶۰ برمی‌گردد که به تدوین سیستم حساب‌داری زیست‌محیطی ـ اقتصادی (System of Environmental Economic Accounting/ SEEA) انجامید. اما تجزیه‌وتحلیل این روش فقط تأثیرات مستقیم را در نظر گرفته است و وابستگی متقابل رشته‌بخش‌ها را لحاظ نمی‌کند. ره‌یافت فنی ـ پایه نیز روشی است که با به‌کارگیری روابط فنی و فیزیولوژی آب و نیاز آبی محصول (کشاورزی یا صنعتی) تراز تجاری آب را محاسبه می‌کند و عمدتاً به‌تفکیک هر محصول ارائه می‌شود (Hoekstra and Hung 2002).

ازآن‌جاکه هر بخش اقتصادی برای تولید محصولات خود علاوه‌بر آب به نهاده‌های دیگری نیز احتیاج دارد و هرکدام از این نهاده‌ها نیز برای تولید خود به نهاده‌های دیگری نیاز دارند، بنابراین با تولید هر واحد ستانده در یک بخش، زنجیره‌ای از وابستگی‌های بین‌بخشی ایجاد می‌شود که به زنجیرهٔ تأمین (supply chain) معروف است و هرکدام از این نهاده‌ها به مقادیر مشخصی آب وابسته‌اند. بنابراین، برای تولید ستاندهٔ یک بخش، علاوه‌بر مصرف مستقیم، به‌طور غیرمستقیم نیز مقادیری آب مصرف می‌شود. مدل‌های داده‌ستانده اقتصاد و محیط‌زیست را تجزیه‌وتحلیل می‌کند و وابستگی متقابل رشته‌فعالیت‌ها در یک اقتصاد را نشان می‌دهد (Miller and Blair 2009)، تمامی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم تغییرات تولید یک فعالیت اقتصادی در مصرف آب را از مبدأ اصلی تا مقصد نهایی ردیابی

و محاسبه می‌کند، و تمامی حلقه‌های زنجیرهٔ تأمین محصول را در نظر می‌گیرد. ژائو و دیگران (Zhaoe et al. 2009)، با استفاده از جدول داده‌ستاندهٔ ۲۰۰۲ چین، ردپا و تراز تجاری آب آن کشور را محاسبه کردند.

در این مدل تصریح می‌شود:

$$WFP=IWFP + EWFP \quad .۱$$

ردپای آب داخلی (Internal Water Footprint/ IWFP) مصرف منابع آب داخلی ساکنان کشور است. ردپای آب خارجی (External Water Footprint/ EWFP) شامل منابع آبی مورداستفاده در سایر کشورها برای تولید کالاها و خدمات مصرف‌شده توسط ساکنان کشور موردنظر است. بنابراین، ردپای آب ملی (Water Footprint/ WFP) مجموع آب مجازی نهفته در محصولات مصرفی آن کشور (شامل تولیدات داخلی، واردات، و کسر صادرات) است. اگر محتوای آب مجازی (Virtual Water Content/ VWC) به‌منزلهٔ کل آب موردنیاز برای تولید یک واحد محصول تعریف شود و DP، M، و E تولیدات داخلی، واردات، و صادرات معرفی شوند، رابطهٔ ۲ به‌صورت ذیل است.

$$WFP\ WFP=\sum VWC \times(DP+M - E) \quad .۲$$

به‌منظور درک بهتر از روابط، جدول داده‌ستاندهٔ ۱ در نظر گرفته می‌شود:

جدول ۱. جدول داده‌ستانده

شرح		مصارف واسطه	تقاضای نهایی		ستاندهٔ ناخالص
			مصرف داخلی	صادرات	
مصرف واسطه	مصرف داخلی	x_{ij}	f_i	e_i	x_i
	واردات	m_{ij}	m_i^f	m_i^e	m_i
ارزش‌افزوده		c_j			
کل مصرف		x_j			
مصرف آب		w_j			

منبع: Zhao et al. 2009

برای بخش i واقع در هر ردیف جدول معادلهٔ زیر جریان داخلی کالاها و خدمات را نشان می‌دهد.

.۳

$$x_i = \sum_{j=1}^{n} x_{ij} + y_i$$

$$y_i = e_i + f_i$$

به‌طوری‌که x_i ستانده‌ٔ ناخالص، y_i تقاضای نهایی داخلی، f_i مصرف داخلی، و e_i صادرات بخش i است. x_{ij} نیز نشان می‌دهد که بخش i چه مقدار کالای تولیدشده‌ٔ خود را به منزلهٔ کالای واسطه به بخش j تحویل داده است. ماتریس مستقیم یا ضرایب فنی نسبتِ به‌کارگیری نهاده‌های تولیدی در تولید هر بخش (به‌جز عوامل اولیه) است و آن را با A نشان می‌دهند. a_{ij} عبارت است از نهاده‌ٔ بخش i که برای افزایش یک واحد ستانده‌ٔ بخش j موردنیاز است.

$$A=[a_{ij}] \qquad .۴$$

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$$

$$(I - A)^{-1} = [£_{ij}] \qquad .۵$$

ماتریس $(1 - A)^{-1}$ «معکوس لئونتیف» یا ماتریس داده‌های مستقیم و غیرمستقیم است که کل تأثیرات ناشی از زنجیرهٔ عملیات را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری آب مجازی و ردپای آب ابتدا باید آب‌بری مستقیم بخش‌های مختلف اقتصادی محاسبه شود که از تقسیم کل حجم آب مصرفی به ستانده‌ٔ آن بخش به‌دست می‌آید.

.۶

$$W_j^d = w_j / x_j$$

$$DWIC=[W_j^d]$$

w_j نشان‌دهندهٔ مقدار آب مصرفی مستقیم برای تولید محصولات از سوی بخش j، x_j کل ستانده یا تولید بخش j، و W_j^d معرف شاخص شدت مصرف مستقیم (direct water input coefficient) آب برای بخش j است و مقدار آب مصرف‌شدهٔ بخش j برای افزایش یک واحد پولی در ستانده را نشان می‌دهد. محتوای آب مجازی نشان‌دهندهٔ آب مصرفی بخش i برای تولید یک واحد پولی تقاضای نهایی در بخش j است. این ضریب تقاضای نهایی یک محصول را با مصرف مستقیم و غیرمستقیم از آب پیوند می‌دهد و از رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود.

$$VWC = [W_j^t] \quad .۷$$

باتوجه‌به زنجیرهٔ تعاملات بین‌بخشی در اقتصاد، ضریب مصرف غیرمستقیم آب (indirect water input coefficient) با کسر ضریب مصرف مستقیم آب از محتوای آب مجازی به‌دست می‌آید که نشان‌دهندهٔ آب موردنیازی است که به‌طور غیرمستقیم برای یک واحد پولی تقاضای نهایی محصول لازم است.

$$VWC = \mathrm{DWIC} + \mathrm{IWIC} \quad .۸$$

وانگ و دیگران (Wang et al. 2009)، برای شناسایی روابط بین بخش‌های تولیدی و مصرف کل آب، روشی را ارائه کرده‌اند که نقطهٔ شروع آن محاسبهٔ آب‌بری مستقیم آن‌هاست. اگر W_j^t شدت آب‌بری کل (مستقیم و غیرمستقیم) بخش j باشد، نشان‌دهندهٔ کل آب مصرف‌شده توسط بخش‌های اقتصادی برای ایجاد یک واحد پولی تقاضای نهایی (ستانده) در بخش jام با n بخش است. بنابراین، رابطهٔ ۹ نیاز مستقیم و غیرمستقیم آب برای افزایش یک واحد تولید بخش j را نشان می‌دهد.

$$W_j^t = \sum_j^n W_i^d \times £_{ij} \quad .۹$$

در این معادله، $£_{ij}$ عناصر ماتریس معکوس لئونتیف در جدول داده‌ستانده است. شکل ماتریسی و فرم حل‌شدهٔ رابطهٔ ۹ به‌صورت ذیل است.

$$w^t = w^d(I - A)^{-1} \quad .۱۰$$

$$w^t = w^d + w^t \times A \quad .۱۱$$

شدت مصرف غیرمستقیم از تفاوت شدت مصرف کل و شدت مصرف غیرمستقیم به‌دست می‌آید.

۲.۲ پیشینهٔ تحقیق

بررسی منابع و پژوهش‌های انجام‌شده در زمینهٔ تجارت آب مجازی و ردپای آب نشان می‌دهد، از نخستین مطالعاتی که در این زمینه انجام گرفته است، یعنی از ۲۰۰۱ که لنزن (Lenzen) تحقیقاتی را به‌منظور تعیین تراز تجاری استرالیا انجام داد، زمان چندانی نمی‌گذرد، اما تحقیقات گسترده‌ای هم در داخل و خارج کشور، با هدف تعیین تراز تجاری

آب و سهم رشته‌فعالیت‌ها یا محصولات، از مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب با تمرکز بیش‌تر بر بخش کشاورزی انجام شده است و کشورهایی که با بحران آبی مواجه‌اند به‌منظور کنترل عرضه و تقاضای آب، بیش از سایرین به آن پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها می‌توانند راه‌نمایی برای نزدیک‌شدن به هدف این مطالعه باشند.

موهان و دیگران (Mohan et al. 2012)، براساس مدل داده‌ستاندهٔ توسعه‌یافته، مصرف آب‌بخشی را برای بالی در اندونزی ارائه کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های دام‌پروری، صنایع غذایی، نوشیدنی، تنباکو، قهوه، صنعت چوب و محصولات چوبی، صنایع دستی و صنایع معدنی، تجارت، و ساخت‌وساز بیش‌ترین مصرف غیرمستقیم را دارند.

الامری و رید (Alamri and Reed 2019) تراز تجاری عربستان را برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ با استفاده از نیاز آبی محصولات زراعی به‌دست آوردند. در این سال‌ها، عربستان واردکنندهٔ خالص آب مجازی بوده که مهم‌ترین واردات آب مجازی آن غلات، یونجه، و سبزیجات و صادرات آب مجازی آن میوه بوده است. این کشور از این طریق ۵۴ درصد از فشار آبی بر منابع خود را کاسته است.

آنتونلی و دیگران (Antonelli et al. 2017) جریان آب مجازی محصولات کشاورزی را در کشورهای عضو اتحادیهٔ اروپا باتوجه‌به حجم صادرات، واردات، و شدت مصرف آب بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که ۶۵ درصد از کل واردات آب مجازی به آب آبی مربوط است و کشورهای ایتالیا و اسپانیا صادرکنندگان اصلی آب آبی‌اند.

چن و دیگران (Chen et al. 2017) در مطالعهٔ خود ردپای آب در استان‌های گوناگون چین و ارزیابی انتقال آب مجازی بین‌استانی را با استفاده از جدول داده‌ستانده برآورد کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد انتقال آب مجازی از مناطق پرآب به مناطق کم‌آب رخ نداده است و بسیاری از مناطق کم‌آب صادرکنندهٔ خالص آب مجازی بوده‌اند.

کو ـ ایشانگ فنگ و دیگران (Feng et al. 2012) رودخانهٔ زرد را براساس ویژگی‌های متفاوت منابع آبی، ساختار اقتصادی، و درآمد خانوار به سه منطقهٔ فوقانی، میانی، و پایینی تقسیم کرده‌اند و با به‌کارگیری جدول داده‌ستانده‌ای چندمنطقه‌ای، الگوی تجارت آب مجازی را به‌تفکیک آب سبز و آبی و هم‌چنین خانوار شهری و روستایی بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد، هر سه منطقه صادرکنندهٔ آب مجازی‌اند و تولیدات خارج از این منطقه به منابع آب رودخانهٔ زرد فشار می‌آورد.

حکمت‌نیا و دیگران (۱۴۰۰) کمیت تجارت آب مجازی محصولات کشاورزی ایران را در دورهٔ زمانی ۲۰۰۱–۲۰۱۸ تعیین کرده‌اند. روش مطالعهٔ ایشان براساس تبخیر و تعرق گیاه و شاخص نیاز آبی آن بوده است. نتایج نشان داد آب مجازی که ایران از سال ۲۰۰۱–۲۰۱۸ به جهان صادر کرده تقریباً ۲۷ درصد آب سبز، ۶۶ درصد آب آبی، و ۶ درصد آب خاکستری بوده است.

امیری و دیگران (۱۳۹۸) طی سال‌های ۱۳۷۱–۱۳۹۵ مزیت‌های صادراتی، مقادیر آب مجازی خروجی، و ارزش هر مترمکعب آب مجازی صادرشده برای محصولات صادراتی اصلی (پسته، خرما، زعفران، کیوی، و سیب) را با استفاده از مصرف آب و نیاز آبی گیاه برآورد و ارتباط صادرات آب مجازی با مزیت‌های صادراتی را بررسی کرده‌اند. نتایج بیان‌گر این است که باوجود مزیت صادراتی پسته، زعفران، و خرما، الگوی صادرات آب مجازی با مزیت رقابتی پسته تطابق ندارد، درحالی‌که کارآترین وضعیت مربوط به کیوی و سیب بوده است.

نصراللهی (۱۳۹۶) در مقالهٔ خود جریان‌های آب مجازی بین بخش‌های مختلف اقتصادی ایران را به‌تفکیک منابع آب داخلی و وارداتی با استفاده از جدول داده‌ستانده بررسی کرده است. نتایج نشان می‌دهد چنان‌چه همهٔ بخش‌های اقتصادی به‌منظور افزایش تولید خود یک مترمکعب آب اضافی مصرف کنند، در کلِ اقتصاد حدود ۳۳۲ مترمکعب آب به‌شکل غیرمستقیم مصرف خواهد شد که حدود ۷۵ درصد آن از منابع داخلی است. هم‌چنین، حدود ۸۱/۴ درصد این مصرف غیرمستقیم آب مربوط به بخش کشاورزی است.

صادقی و دیگران (۱۳۹۴) در مقالهٔ خود تأثیرات مصرف واسطه‌ای بخش‌های اقتصادی در ردپای اکولوژیک آب در ایران را با استفاده از ماتریس حساب‌داری اجتماعی مطالعه کرده‌اند. یافته‌های تحقیق حاکی است که کل ردپای آب داخلی و وارداتی در بخش‌های مختلف اقتصادی برابر با ۹۷/۷ میلیارد مترمکعب بوده که ۸۸ درصد آن داخلی و ۱۲ درصد دیگر وارداتی بوده است.

۳. معرفی داده‌های آماری و روش تحقیق

در این پژوهش، باتوجه‌به موضوع و هدف تحقیق، روش مناسب استفاده از مدل داده‌ستانده است. این روش که براساس تابع تولید بنا شده است، جریان کالاها و خدمات بین فعالیت‌های مختلف اقتصادی را طی یک دورهٔ زمانی مشخص بیان می‌کند. این سیستم

تولید ازیک‌سو نشان‌دهندهٔ رابطهٔ کمّی بین مقادیر استفاده‌شده از یک یا چند عامل تولید است و ازسوی‌دیگر، مقادیر تولیدشده از یک یا چند محصول است. داده‌ها (کالاها، خدمات، نیروی کار، و سرمایه)، که برای تولید یک محصـول به‌کـار مـی‌روند، طبق یک تابع تولید خطی با ستاندهٔ آن رشته‌فعالیت رابطهٔ مستقیم و با سایر رشته‌فعالیت‌ها رابطهٔ غیرمستقیم دارند و این تابع تولیـد حـداقل در دورهٔ زمانی کوتاه ضرایب ثابتی دارد. بدین ترتیب، مبنای این مطالعه جداول داده‌ستاندهٔ بانک مرکزی برای سال ۱۳۹۵ است. روش گردآوری اطلاعات به‌صورت کتاب‌خانه‌ای است و از داده‌های ثبتی شرکت مدیریت منابع آب و نتایج طرح‌های آمارگیری شامل نتایج طرح آمارگیری از معادن درحال بهره‌برداری کشور در سال ۱۳۹۵، نتایج طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیش‌تر در سال ۱۳۹۵، نتایج طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی یک تا نه نفر کارکن در سال ۱۳۹۰ و برآورد آن برای سال ۱۳۹۵، و اطلاعات حساب‌های ملی و فصلی مرکز آمار ایران برای محاسبات مربوط به شدت مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب استفاده شده است. به‌منظور استخراج ردپای آب، تراز تجاری، و شاخص‌های مصرف آب از روابط بین‌بخشی جداول داده‌ستانده و اجزای تقاضای نهایی برای هفت بخش و گروه محصولات شامل کشاورزی، معادن، صنایع کارخانه‌ای (کارگاه‌های صنعتی)، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب، ساختمان، و خدمات بهره گرفته شده است.

همان‌طورکه در قسمت مبانی نظری مطرح شد، شدت مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب در بخش‌های اقتصادی مبنای محاسبات ردپا و تراز تجاری آب است. اگر f_j نشان‌دهندهٔ بخشی از تقاضای نهایی باشد که در داخل مصرف می‌شود، t_j ردپای آب داخلی بخش j است و به‌منزلهٔ کل آب استفاده‌شده از منابع داخلی برای تأمین مصارف نهایی داخلی بخش j تعریف می‌شود.

$$T= [t_j]= IWFP \qquad .۱۲$$

$$t_j = W_j^t \times f_j$$

به‌منظور محاسبهٔ ردپای آب خارجی لازم است که مقدار واردات از ماتریس مبادلات بین‌بخشی و بردار تقاضای نهایی تفکیک شده باشد و واردات برحسب واردات واسطه‌ای در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی، واردات مصرفی (واردات مصرفی خانوارها و واردات مصرفی دولت)، و هم‌چنین واردات سرمایه‌ای در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی به‌دست

آید. گفتنی است که فرض می‌شود کل واردات یک متغیر برون‌زاست و مقدار آن به‌اندازهٔ تقاضای واسطه‌ای و تقاضای نهایی داخلی بستگی ندارد و ماهیت رقابتی دارد (بانویی ۱۳۹۱).

اگر e_i، f_i، و x_i به‌ترتیب صادرات، مصرف داخلی یا مخارج نهایی (مصرف دولت، مصرف خانوارها، تشکیل سرمایه، و تغییر موجودی انبار)، و ستاندهٔ ناخالص باشند، x_{ij} نشان می‌دهد که بخش i چه مقدار کالای تولیدشدهٔ خود را به‌منزلهٔ کالای واسطه به بخش j تحویل داده و m_{ij} مبین واردات واسطه‌ای است. بدین ترتیب، z_i یا تقاضای واسطه‌ای با دو جزء مبادلات واسطه‌ای بین‌بخشی داخلی و مبادلات واسطه‌ای واردات تعریف می‌شود. باتوجه‌به رابطهٔ ۳ داریم:

$$x_i=\sum_{j=1}^{n} x_{ij} + e_i + f_i \qquad .۱۳$$

$$z_i=\sum_{j=1}^{n} x_{ij} + \sum_{j=1}^{n} m_{ij} \qquad .۱۴$$

$$x_i=z_i - m_i + e_i + f_i \qquad .۱۵$$

که فرم ماتریسی آن به‌صورت زیر است:

$$x=z+f+e-m$$

$$e = z + f-m-x \qquad .۱۶$$

$$f =c+g+cf$$

c، g، و cf به‌ترتیب مصرف خانوارها، مصرف دولت، و تشکیل سرمایهٔ ثابت حاوی تغییر در موجودی انبار شامل واردات را نشان می‌دهند.

برای تفکیک واردات لازم است سهم واردات از مصارف داخلی به‌دست آید. بدین منظور، $\frac{m}{z+f}$ در رابطهٔ ۱۷ نشان می‌دهد که به‌ازای ارزش یک واحد مبادلات واسطه‌ای و مخارج نهایی چه میزان به واردات نیاز است. d ضریبی است که نشان می‌دهد چه سهمی از مصارف داخلی غیرواردا‌تی بوده است.

$$d = \frac{x-e}{z+f} = \frac{z+f-m}{z+f} = 1 - \frac{m}{z+f} \qquad .۱۷$$

d منشأ داخلی دارد و ضرب آن در هر متغیر ماهیت داخلی آن متغیر را به‌دست می‌دهد و برای بخش‌های مختلف بین صفر و واحد قرار می‌گیرد. تفاضل هر متغیر از ماهیت داخلی آن واردات و ماهیت خارجی را به‌دست می‌دهد.

$x= dz + df+e$

$df = d(c+g+cf)=dc+dg+dcf$.۱۸

$m_e = z - dz$

m_e ماتریس واردات واسطه‌ای را نشان می‌دهد.

$mc=c-dc$

$mg=g-dg$.۱۹

$mcf=cf-dcf$

mc، mg، و mcf به‌ترتیب واردات خانوارها، دولت، و واردات سرمایه‌ای است.

برای سنجش محتوای آب واردات در قالب دو دستهٔ کلی حاصل می‌شود. نوع اول مقدار آبی است که در تولید کالاها و خدمات سایر کشورها به‌کار می‌رود و به‌منزلهٔ واردات کالای نهایی (سرمایه‌ای و مصرفی) در داخل کشور توسط جمعیت آن کشور مصرف می‌شود. نوع دوم مقدار آب به‌کاررفته در تولید کالاها و خدمات وارداتی است که به‌صورت واسطه‌ای در فرایند تولید بخش‌ها استفاده می‌شود و بخشی از آن در فرایند تولید تقاضای نهایی داخلی و مابقی آن در فرایند تولید کالا و خدمات صادراتی به‌کار می‌رود و مجدد به خارج از کشور صادر می‌شود (کاکایی ۱۳۹۷: ۱۵۸).

بنابراین، طبق رابطهٔ ۲۰، m_{ij} ارزش محصولات وارداتی بخش iام است که به‌منزلهٔ نهادهٔ واسطه‌ای در بخش j استفاده می‌شود یا واردات واسطه‌ای بخش j از بخش i (واردات واسطه‌ای) است. m_i^f واردات بخش i است که صرف تقاضای نهایی داخلی می‌شود (واردات نهایی). m_i^e واردات بخش i برای صادرات مجدد است.

$m_i = \sum_{j=1}^{n} m_{ij} + m_i^f + m_i^e$.۲۰

برای محاسبهٔ ردپای خارجی، فرض می‌شود روش و فناوری تولید محصول وارداتی همانند محصول داخلی است. بدین ترتیب، مشخص خواهد شد که با واردکردن محصول به‌جای تولید در داخل، چه مقدار آب صرفه‌جویی می‌شود. باتوجه‌به تفکیک واردات کل ردپای آب خارجی نیز شامل دو قسمت مجزا می‌شود. درواقع، مجموع ردپای آب خارجی یک منطقه واردات آب مجازی آن را نشان می‌دهد.

$EWFP=S^f + S^{in}$.۲۱

S^f حجم آب مجازی در تولید محصولات وارداتی است که در داخل کشور به مصـرف نهایی می‌رسد و از حاصل‌ضرب واردات نهایی در محتوای آب مجازی به‌دست می‌آید.

$$S^f = [s_j^f]$$

$$s_j^f = w_j^t \times m_j^f \qquad .۲۲$$

S^{in} واردات واسطه‌ای آب مجازی شامل مقدار آب مصرفی در تولید کالاها و خدمات وارداتی واسطه‌ای بخش iام است که در فرایند تولیدی بخش‌های داخلی استفاده می‌شود. ازآن‌جاکه بخشی از واردات واسطه‌ای برای تولید محصولات صادراتی استفاده می‌شود، همهٔ آب مجازی موجود در واردات واسطه‌ای به‌وسیلهٔ تقاضای نهایی داخلی مصرف نمی‌شود و صرف تأمین تقاضای خارجی‌ها نیز می‌شود. بنابراین، برای محاسبهٔ دقیق‌تر واردات واسطه‌ای آب مجازی، عنصر v_j، که از تقسیم تفاضل تقاضای نهایی و صادرات بر تقاضای نهایی به‌دست می‌آید، به‌منزلهٔ ضریب تعدیل استفاده می‌شود. درواقع، این ضریب خالص محتوای آب کالاهای واسطه‌ای را، که عملاً در داخل کشور استفاده شده است، لحاظ می‌کند و صادرات مجدد از واردات واسطه‌ای را از محاسبات خارج می‌کند.

.۲۳

$$S^{in} = [s_j^{in}]$$

$$s_j^{in} = (\sum_{i=1}^{n} w_i^t \times m_{ij}) \times v_j$$

با محاسبهٔ ردپای خارجی، کل ردپای ملی باتوجه‌به رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید.

$$WFP = IWFP + EWFP = T + S^f + S^{in} \qquad .۲۴$$

تراز تجاری آب یا خالص واردات آب مجازی (Net Virtual Water Import/ NVWI) از رابطهٔ ۲۵ به‌دست می‌آید.

$$NVWI = (S^f + S^{in}) - U \qquad .۲۵$$

$$U = [u_j]$$

$$u_j = w_j^t \times e_j \qquad .۲۶$$

u_j صادرات آب مجازی برای تقاضای نهایی بخش j است و e_j صادرات بخش j است.

پس از محاسبات مربوط به ردپای آب، شاخص‌های مصرف آب به‌منظور تبیین هرچه بهتر وضعیت آب در بخش‌های اقتصادی ارائه می‌شود. شدت ردپای آب (NWF intensity) شاخصی استاندارد برای نشان‌دادن توزیع ردپای آب بین بخش‌های اقتصادی است. براساس نظر ژائو، شاخص شدت ردپای آب نشان می‌دهد که سهم ردپای «هر بخش به کل» نسبت به سهم مصرف نهایی «هر بخش از کل» چه میزان است.

$$\rho_j = \frac{NWF_j}{\sum NWF_j} / \frac{f_i}{\sum f_i} \qquad .۲۷$$

درصورتی که $\rho_j > 1$ باشد، بدین معنی است که بخش j بخش پرمصرف آب است. اگر $\rho_j < 1$ باشد، به‌معنای عکس آن است و اگر $\rho_j = 1$ باشد، محتوای آب مجازی محصولات در بخش j برابر با متوسط آن در اقتصاد است. wcm_j^d یا ضریب مصرف آب (the water consumption multiplier) شاخص دیگری است که برای هر بخش از رابطهٔ ۲۸ به‌دست می‌آید و اثر کششی (effect drag) را در کل اقتصاد نشان می‌دهد؛ یعنی به‌ازای هر واحد مصرف مستقیم آب در بخش j برای افزایش تقاضای نهایی خود، چه‌قدر آب به‌شکل مستقیم و غیرمستقیم در کل اقتصاد مصرف می‌شود.

$$wcm_j^d = \frac{w_j^t}{w_j^d} \qquad .۲۸$$

ضریب فزایندهٔ مصرف غیرمستقیم (indirect water consumption) آب نیز از رابطهٔ ۲۹ به‌دست می‌آید:

$$Iwc_j^{id} = \frac{w_j^{in}}{w_j^d} = wcm_j^d - 1 \qquad .۲۹$$

این شاخص نشان می‌دهد که به‌ازای هر واحد آبی، که به‌طور مستقیم در بخش j مصرف می‌شود، چه‌قدر آب به‌شکل غیرمستقیم در اقتصاد مصرف خواهد شد. ازآن‌جاکه:

$$w^t = w^d + w^{in} \qquad .۳۰$$

به استناد رابطهٔ ۱۰ فرم ماتریسی به‌صورت زیر است:

$$w^{in} = w^d[(I - A)^{-1} - I] \qquad .۳۱$$

با تقسیم عناصر ماتریس w^{in} بر آب‌بری مستقیم بخش موجود در ستون متناظر، ماتریس ضرایب مبادلهٔ آب تشکیل می‌شود که عناصر آن به‌صورت رابطهٔ ۳۲ تعریف می‌شود:

$$\beta_{ij} = \frac{w_{ij}^{in}}{w_j^{d}} \qquad .۳۲$$

β_{ij} نشان می‌دهد که اگر تقاضای مستقیم برای آب در بخش j افزایش یابد (بخش j یک واحد آب اضافی برای تأمین تقاضای نهایی خود مصرف کند)، چه مقدار آب اضافی در بخش i به‌صورت غیرمستقیم مصرف خواهد شد. بنابراین، این ماتریس وابستگی‌های آب بین یک بخش اقتصادی و سایر بخش‌های دیگر را منعکس می‌کند.

پس از معرفی مدل و شاخص‌ها، لازم است تعدیلاتی در جداول داده‌ستاندهٔ بانک مرکزی انجام شود. جداول مصرف و عرضهٔ بانک شامل ۸۹ فعالیت و ۱۳۰ محصول و جدول متقارن آن ۸۹ بخشی است که در این تحقیق بخش‌ها و محصولات به روش‌های مناسب تجمیع و به هفت بخش و گروه محصولات شامل کشاورزی، معادن، صنایع کارخانه‌ای (کارگاه‌های صنعتی)، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب، ساختمان، و خدمات تبدیل شده‌اند. بدین منظور، انطباق مناسبی بین طبقه‌بندی استاندارد بین‌المللی رشته‌فعالیت‌های اقتصادی (International Standard Industrial Classification of All Economic Activities/ ISIC) و طبقه‌بندی محوری محصولات (Central Product Classification/ CPC) انجام شده است. در این مطالعه، برحسب نوع محاسبات از جداول مصرف، عرضه، متقارن، واردات واسطه‌ای، و ماتریس ضرایب استفاده شده است.

۴. نتایج پژوهش

به‌منظور تعیین تراز تجاری آب، که هدف اصلی این مطالعه است، ابتدا شدت مصرف مستقیم آب تعیین می‌شود. باتوجه‌به رابطهٔ ۶ (نسبت مصرف آب و ستاندهٔ بخش) شدت مصرف مستقیم و به‌استناد رابطهٔ ۱۰ محتوای آب مجازی، که شامل مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب است، برای هفت بخش اصلی محاسبه و در جدول ۲ ارائه می‌شود.

در سال ۱۳۹۵، شدت مصرف مستقیم آب در بخش کشاورزی ۳۱/۴ مترمکعب به میلیون ریال بوده است که نشان می‌دهد بخش کشاورزی به‌ازای ارزش تولید هریک میلیون ریال ستانده ۳۱/۴ مترمکعب آب به‌طور مستقیم نیاز داشته است. پس از کشاورزی، بخش تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب بیش‌ترین شدت مصرف مستقیم را با میزان ۴/۱ داشته است. محتوای آب مجازی، که نیاز آبی مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهد، نیز برای بخش کشاورزی و پس از آن تصفیه، تأمین، و پس ماند آب با ۳۶ و ۵/۸ مترمکعب به میلیون ریال

بیش‌ترین مقدار بوده است، درحالی‌که سهم آن‌ها در ارزش ستاندهٔ کشور به‌ترتیب ۷ درصد و ۰/۳ درصد است و نشان می‌دهد مصرف آب در این بخش‌ها با عملکردشان در اقتصاد تطابق نداشته است. بیش‌ترین شدت مصرف غیرمستقیم پس از کشاورزی با مقدار ۴/۶ مترمکعب به میلیون ریال به صنایع کارخانه‌ای با مقدار ۳/۵ مترمکعب به میلیون ریال تعلق دارد.

جدول ۲. سهم ستانده، شدت مصرف مستقیم آب، و محتوای آب مجازی به‌تفکیک بخش‌های اقتصادی سال ۱۳۹۵ (درصد/ مترمکعب به میلیون ریال)

بخش / شاخص	کشاورزی	معادن	صنایع کارخانه‌ای (کارگاه‌های صنعتی)	تولید برق و گاز	تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب	ساختمان	خدمات	کل
سهم ستانده	۷/۴	۱۴/۳	۳۰/۰	۵/۵	۰/۳	۵/۷	۳۶/۸	۱۰۰
شدت مصرف مستقیم آب	۳۱/۴	۰/۱	۰/۴	۰/۵	۴/۱	۰/۳	۰/۴	
محتوای آب مجازی	۳۶/۰	۰/۳	۳/۹	۱/۴	۵/۸	۲/۳	۱/۱	

منبع: یافته‌های پژوهش

درادامه، باتوجه‌به رابطه‌های ۱۵ تا ۱۹ و با استفاده از اطلاعات مخارج نهایی و مصارف واسطه و صادرات، واردات به نهایی و واسطه‌ای تفکیک می‌شود. سپس، به‌استناد رابطه‌های ۱۲ و ۲۱ تا ۲۳، اطلاعات محتوای آب مجازی، و لحاظ صادرات مجدد محصولات وارداتی، ردپای آب داخلی و خارجی محاسبه می‌شود که مجموع آن‌ها ردپای آب ملی را حاصل می‌کند که در جدول ۳ ارائه می‌شود.

طبق نتایج پژوهش، ردپای آب داخلی در کل محصولات تولیدی معادل ۸۴۴۶۳ میلیون مترمکعب و معادل ۹۰ درصد ردپای کل آب بوده است. ۸۹ درصد از حجم آب استفاده‌شده اعم از مستقیم و غیرمستقیم از منابع آب داخلی به محصولات گروه کشاورزی و ۵/۳ درصد به محصولات بخش خدمات اختصاص دارد. ۶۶۱۸ میلیون مترمکعب آب در تولید کالاها و خدمات سایر کشورها به‌کار رفته و به‌صورت واردات محصولات نهایی (سرمایه‌ای و مصرفی) در داخل کشور مصرف شده است. بیش‌ترین آب مجازی وارداتی با سهمی معادل ۸۹ درصد به محصولات کشاورزی مربوط بوده که به مصرف نهایی رسیده

است و پس‌ازآن محصولات صنایع کارخانه‌ای با سهم ۷/۵ درصد قرار دارد. با احتساب این‌که بخشی از واردات واسطه‌ای آب مجازی در فرایند تولید کالا و خدمات صادراتی به‌کار می‌رود و مجدد به خارج از کشور صادر می‌شود، ۸۰ درصد از واردات واسطه‌ای به تولید محصولات کشاورزی و ۱۵ درصد به محصولات صنایع کارخانه‌ای اختصاص داشته است. بدین ترتیب، ردپای خارجی آب در کل کشور معادل ۹۱۵۱ میلیون مترمکعب و معادل ۱۰ درصد از کل ردپای آب است.

کل ردپای آب ملی ایران در سال ۱۳۹۵ معادل ۹۳۶۱۴ میلیون مترمکعب با سرانهٔ ۱۱۷۱ مترمکعب به‌ازای هر نفر بوده است. درواقع، هر ایرانی در سال ۱۳۹۵ معادل ۱۱۷۱ مترمکعب آب شیرین «آبی» برای تأمین مصارف خود (از داخل و خارج) مصرف کرده است. حدود ۸۷۴۱ میلیون مترمکعب از آب استفاده‌شده در کشور برای تولید کالاهایی بوده که از کشور صادر شده‌اند و این نشان‌دهندهٔ حجم صادرات آب مجازی است. ۸۳ درصد صادرات آب مجازی آن به بخش کشاورزی تعلق داشته است. پس‌ازآن، بخش صنایع کارخانه‌ای با ۸ درصد سهم قرار دارد.

جدول ۳. واردات نهایی و واسطه‌ای آب مجازی، ردپای داخلی، خارجی، و ملی به‌تفکیک بخش‌های اقتصادی سال ۱۳۹۵ (میلیون مترمکعب)

بخش / شاخص	کشاورزی	معادن	صنایع کارخانه‌ای (کارگاه‌های صنعتی)	تولید برق و گاز	تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب	ساختمان	خدمات	کل
واردات نهایی آب مجازی	۵۸۹۷	۱۱	۴۹۸	۲۱	۱۷	۱	۱۷۳	۶۶۱۸
واردات واسطه‌ای آب مجازی	۲۰۳۲	۱۰	۳۸۳	۱۹	۱۱	۱	۷۹	۲۵۳۳
صادرات آب مجازی	۷۲۷۳	۱۷۸	۷۰۵	۷۴	۳۹	۴	۴۶۸	۸۷۴۱
ردپای آب داخلی	۷۵۳۳۷	۸۶	۳۴۵۱	۲۳۱	۳۵۳	۵۴۹	۴۴۵۷	۸۴۴۶۳
رد پای آب خارجی	۷۹۲۸	۲۰	۸۸۱	۴۰	۲۸	۲	۲۵۱	۹۱۵۱
ردپای آب ملی	۸۳۲۶۵	۱۰۷	۴۳۳۲	۲۷۱	۳۸۱	۵۵۱	۴۷۰۸	۹۳۶۱۴

منبع: یافته‌های پژوهش

پس از محاسبهٔ ردپای آب، تراز تجاری آب باتوجه‌به رابطهٔ ۲۵ به‌دست می‌آید. ایران در سال ۱۳۹۵ به‌طور خالص واردکنندهٔ حجم آبی معادل ۴۱۰ میلیون مترمکعب آب بوده است. بخش کشاورزی و سپس صنایع کارخانه‌ای (کارگاه‌های صنعتی) ایران، با خالص واردات ۶۵۵ و ۱۷۶ میلیون مترمکعب آب مجازی، به‌ترتیب بزرگ‌ترین واردکننده‌های خالص آب در کشور بوده‌اند. درمقابل، بخش خدمات با ۲۱۷ میلیون مترمکعب آب بزرگ‌ترین صادرکنندهٔ خالص آب مجازی شناخته شده است. گفتنی است که بخش خدمات بزرگ‌ترین بخش اقتصادی است که نیمی از شاغلان کشور و نیمی از ارزش‌افزودهٔ کشور را در خود جای داده (مرکز آمار ایران ۱۳۹۵) و بالاترین تراز تجاری منفی در بازرگانی خارجی را پس از بخش معدن دارد، اما باتوجه‌به شدت مصرف آب در این بخش، در تجارت آب مجازی بالاترین تراز تجاری منفی را به‌خود اختصاص داده است.

درادامه، سایر شاخص‌های مصرف آب مجازی شامل شدت ردپای آب، ضریب فزایندهٔ مصرف، ضریب فزایندهٔ مصرف غیرمستقیم آب، و ماتریس ضرایب مبادله به‌استناد روابط ۲۷–۲۹ و با استفاده از محتوای آب مجازی و شدت مصرف مستقیم و غیرمستقیم به‌منظور تبیین جنبه‌های دیگری از مصرف آب محاسبه می‌شود. جدول ۴ هریک از موارد فوق را به‌تفکیک بخش‌های اقتصادی نشان می‌دهد.

جدول ۴. تراز تجاری آب مجازی، ضریب فزایندهٔ مصرف آب، و ضریب فزایندهٔ مصرف غیرمستقیم آب به‌تفکیک بخش‌های اقتصادی سال ۱۳۹۵

بخش / شاخص	کشاورزی	معادن	صنایع کارخانه‌ای (کارگاه‌های صنعتی)	تولید برق و گاز	تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب	ساختمان	خدمات	کل
تراز تجاری آب (میلیون مترمکعب)	۶۵۵	−۱۵۸	۱۷۶	−۳۴	−۱۱	−۲	−۲۱۷	۴۱۰
شدت ردپای آب	۷/۴۴	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۳۷	۲/۱۹	۰/۰۵	۰/۱۰	
ضریب فزایندهٔ مصرف آب	۱/۱۵	۲/۷۵	۸/۶۹	۲/۸۸	۱/۴۱	۸/۳۱	۲/۵۵	
ضریب فزایندهٔ مصرف غیرمستقیم آب	۰/۱۵	۱/۷۵	۷/۶۹	۱/۸۸	۰/۴۱	۷/۳۱	۱/۵۵	

منبع: یافته‌های پژوهش

باتوجه‌به شاخص شدت ردپای آب، به‌جز بخش‌های کشاورزی و تاحدودی تصفیه و تأمین و پس‌ماند آب، سایر بخش‌ها از بخش‌های کم‌مصرف آب‌اند. شاخص‌های ضریب فزایندهٔ مصرف آب نیز نشان می‌دهد اگر بخش کشاورزی برای افزایش تقاضای نهایی خود یک واحد آب به‌طور مستقیم مصرف کند، ۱/۱۵ میلیون مترمکعب آب در کل اقتصاد به‌شکل مستقیم و غیرمستقیم مصرف می‌شود و ۰/۱۵ میلیون مترمکعب آب به‌صورت غیرمستقیم استفاده می‌شود، درحالی‌که این شاخص برای صنایع کارخانه‌ای بیش‌ترین رقم است. به‌عبارتی، مصرف مستقیم یک میلیون مترمکعب آب در صنایع کارخانه‌ای ۸/۶۹ میلیون مترمکعب مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب در کل اقتصاد را افزایش می‌دهد و ۷/۶۹ میلیون مترمکعب مصرف غیرمستقیم آن را بالا می‌برد. به همین ترتیب، از طریق ماتریس ضرایب مبادله (رابطهٔ ۳۲) تأثیرگذاری مصرف آب هر بخش در بخش‌های دیگر در جدول ۵ نشان داده شده است. این ماتریس نشان می‌دهد اگر یک بخش j یک واحد مصرف مستقیم آب خود را افزایش دهد، مصرف غیرمستقیم بخش i چه میزان تغییر می‌کند. مشاهده می‌شود بیش‌ترین تأثیرگذاری بخش کشاورزی در خود بخش است و سایر بخش‌ها را متأثر نمی‌کند، حال‌آن‌که هرگونه تغییر در مصرف آبِ سایر بخش‌ها مصرفِ غیرمستقیم آب در بخش کشاورزی را بیش از سایر بخش‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال، اگر کارگاه‌های صنعتی یک واحد مصرف آب خود را به‌طور مستقیم افزایش دهند، مصرف غیرمستقیم آب در بخش کشاورزی بیش از شش برابر افزایش خواهد یافت.

جدول ۵. ماتریس ضرایب مبادلهٔ آب در بخش‌های اقتصادی سال ۱۳۹۵

شاخص	کشاورزی	معادن	کارگاه‌های صنعتی	تولید برق و گاز	تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب	ساختمان	خدمات
کشاورزی	۰/۱۴	۱/۲۹	۶/۷۴	۱/۳۹	۰/۳۲	۰/۳۲	۱/۱۳
معادن	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
کارگاه‌های صنعتی	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۵
تولید برق و گاز	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴
ساختمان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱
خدمات	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۲۰

منبع: یافته‌های پژوهش

برای این‌که بتوان تصویر روشن‌تری از وضعیت آب در کشور خصوصاً بخش کشاورزی داشت، نتایج این پژوهش با سال ۱۳۹۰ (سال تهیهٔ جداول داده‌ستاندهٔ پیشین) مقایسه می‌شود. در سال ۱۳۹۵ نه‌فقط مصرف مستقیم آب در مقایسه با سال ۱۳۹۰ کاهش داشته است، بلکه ردپای کل آب معادل ۲/۲ درصد نیز کاهشی بوده است. باوجوداین، در سال ۱۳۹۵، ۹۰ درصد از تأمین نیازها از منابع آب داخل کشور بوده است، درحالی‌که این نسبت برای سال ۱۳۹۰ حدود ۷۸ درصد است. بنابراین، واردات آب مجازی به‌شدت کاهش و به نصف تقلیل یافته است. بدین ترتیب، در این سال تراز تجاری (خالص واردات) در مقایسه با سال ۱۳۹۰ حدود ۹۵ درصد کاهش داشته است. سرانهٔ ردپای آب نیز در مقایسه با سال ۱۳۹۰ حدود ۸ درصد کاهش یافته است.

۵. نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری، و مدیریت مصرف منابع آب فقط براساس آمارهای کلان مصرف مستقیم آب نمی‌تواند ملاک مناسبی باشد و درنظرگرفتن مصرف آب در زنجیره‌های تولید و در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی حائز اهمیت است. این پژوهش، با هدف تعیین تراز تجاری آب کشور و کمّی‌سازی ردپای آب مبتنی‌بر چهارچوب‌های داده‌ستاندهٔ ۱۳۹۵ کل کشور، برای هفت بخش عمدهٔ کشور شامل کشاورزی، معادن، کارگاه‌های صنعتی، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین، و پس‌ماند آب، ساختمان، و خدمات ارائه شده است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، بااین‌که سهم ستاندهٔ (به قیمت‌های ثابت) بخش کشاورزی در ایران در مقایسه با سایر بخش‌ها کم‌تر است، برای تولید در این بخش بیش‌ترین مصرف «مستقیم» و مصرف «مستقیم و غیرمستقیم» آب انجام شده و بالاترین سهم مصرف از منابع آب خارجی را به‌خود اختصاص داده است. نکتهٔ حائز توجه این‌که مصرف مستقیم آب در این بخش تأثیر چندانی، چه «مستقیم» و چه «مستقیم و غیرمستقیم»، در مصرف آب در کل اقتصاد ندارد، درحالی‌که مصرف آب در سایر بخش‌ها مصرف آب این بخش را به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، بی‌توجهی به مصرف آب سایر بخش‌های اقتصادی و تمرکز بر بخش کشاورزی در جایگاه بخش پرمصرف قطعاً سیاست‌های کنترل آب را با شکست مواجه می‌کند. بااین‌که محصولات کشاورزی در مقایسه با سایر محصولات به‌شدت آب‌برند، صنایع کارخانه‌ای و ساختمان بیش از سایر بخش‌ها مصرف آب کل اقتصاد را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند.

از شیوه‌های اثربخش و نوین در عصر حاضر برای حفظ منابع آبی تجارت آب مجازی است، اما در ایران موفقیت چندانی نداشته است و در این سال‌ها نتوانسته است ابزار مناسبی برای حفظ امنیت آبی باشد. عواملی که در اثربخشی این سیاست مؤثر بوده‌اند و لازم است موردبازنگری قرار گیرند به شرح زیر است:

- توجه و تأکید بر خودکفایی در تولید محصولات کشاورزی با هدف امنیت غذایی بدون شناخت پتانسیل زمین و منابع آبی. توپوگرافی و شرایط آب‌وهوایی ایران نشان می‌دهد که حدود ۱۲ درصد از اراضی کشور وضعیت متوسط، خوب، یا بسیار خوب برای کشت دارند (Madani 2014)، درحالی‌که کشت محصولات با نیاز آبی بالا در استان‌های کم‌آب مانند برنج در اصفهان و تولید و صادرات پسته در کرمان درخور توجه است. بنابراین، بی‌توجهی به پتانسیل‌های سرزمین و آمایش سرزمین به تصمیمات و سیاست‌های نادرست و تشدید بحران آبی منجر شده که هدف امنیت غذایی را به انحراف کشیده است.
- استراتژی تجارت آب مجازی زمانی مؤثر است که با یک تجدید ساختار مناسب اقتصادی و تحول در ترکیب محصولات تولیدی هم‌راه باشد. درغیراین‌صورت، عدم تطابق مهارت نیروی کار در بخش‌های اقتصادی به مازاد یا کمبود نیروی کار در بخش‌های دیگر منجر می‌شود. تغییر ساختار اقتصادی کشور با هدف تراز تجاری مثبت آب مجازی نیز فرایندی بلندمدت و مداوم است و به تخصیص مجدد منابع اقتصادی ناشی از تأثیر این اقدام منجر می‌شود؛ موضوعی که هیچ‌وقت به آن توجه نشده است.
- بااین‌که تراز تجاری آب مجازی مثبت و ایران واردکنندهٔ خالص آب مجازی است، تجارت محصولات با هدف تجارت آب مجازی انجام نشده است. بخش عمده‌ای از واردات آب به واردات غلات مربوط است که آبیاری آن‌ها عمدتاً به‌صورت دیم و بارش‌های آسمانی است، درحالی‌که صادرات عمدتاً شامل میوه و آجیل است که از طریق آب‌های سطحی و زیرزمینی آبیاری می‌شوند.
- بخش کشاورزی، درجایگاه بخش پرمصرف، درعین‌حال که واردکنندهٔ عمدهٔ آب مجازی است، صادرکنندهٔ عمدهٔ آب است. بی‌توجهی به نیاز آبی محصولات وارداتی و صادراتی هدف تجارت آب مجازی را دچار اخلال می‌کند. برای مثال، در سال

۱۳۹۵، سویا یکی از اقلام عمدهٔ وارداتی بوده و ۶ درصد از حجم واردات را به‌خود اختصاص داده است (گمرک جمهوری اسلامی ایران ۱۳۹۵)، درحالی‌که این محصول، در مقایسه با سایر محصولات زراعی، از کالاهایی با نیاز آبی پایین است و می‌تواند در کشور تولید شود.

- نبود آمار و اطلاعات کافی و لازم مانعی برای پژوهش‌های بیش‌تر در این زمینه و دست‌یابی به ردپای هر محصول است. برای مثال، از سال ۱۳۸۶ فایل اطلاعاتی نیاز آبی محصولات کشاورزی توسط دستگاه مرتبط به‌روز نشده است؛ اطلاعاتی که ابزاری مناسب و ضروری برای بررسی محتوای آب مجازی محصولات است و می‌تواند در مطالعات مربوط به تعیین ردپای آب در هر محصول مفید باشد.

درنهایت این‌که کاربرد عملی آب مجازی در مدیریت منابع آب با چالش‌های متعددی روبه‌روست و بازنگری در سیاست‌های مدیریت منابع آب، که در آن به توسعهٔ تجارت آب مجازی برمبنای مزیت نسبی و همکاری همهٔ بخش‌ها در سطح ملی و بین‌المللی تأکید شده باشد، ضروری است تا بتوان علاوه‌بر تسهیل این تجارت و بالابردن امنیت غذایی کشور در راه تشکیل سیستم پایدار تأمین آب و غذا کوشید.

پی‌نوشت

۱. این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری گروه اقتصاد دانشگاه پیام‌نور است.

کتاب‌نامه

امیری، فرزانه و دیگران (۱۴۰۰)، «بررسی تطابق الگوی صادرات آب مجازی با مزیت‌های رقابتی ایران»، نشریهٔ علمی ـ پژوهشی *مهندسی آبیاری و آب ایران*، س ۱۲، پیاپی ۴۵.

بانویی، علی‌اصغر (۱۳۹۱)، «ارزیابی شقوق مختلف نحوهٔ منظورکردن واردات و روش‌های تفکیک آن با تأکید بر جدول متقارن سال ۱۳۸۰»، مجلهٔ *پژوهش سیاست‌گذاری‌های اقتصادی*، س ۴، ش ۸.

بخش آمار ادارهٔ امور اجتماعی و اقتصادی سازمان ملل متحد (۱۳۹۱)، *راه‌نمای حساب‌داری ملی: راه‌نمای جداول داده ــ ستانده (تهیه و تحلیل)*، ترجمهٔ محمدتقی فیاضی، تهران: مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.

جهانگرد، اسفندیار (۱۳۹۳)، *تحلیل‌های داده‌ستانده: فناوری، برنامه‌ریزی و توسعه*، تهران: آماره.

حکمت‌نیا، مهران و دیگران (۱۳۹۹)، «تعیین و ارزیابی ردپای آب‌های سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی ایران»، *آبیاری و زه‌کشی ایران*، دورهٔ ۱۴، ش ۲.

حکمت‌نیا، مهران و دیگران (۱۴۰۰)، «عوامل مؤثر بر تجارت آب مجازی محصولات کشاورزی ایران (کاربرد مدل خودرگرسیون برداری پانل)»، *محیط‌زیست و منابع آب*، دورهٔ ۷، ش ۲.

زارعی، مهران (۱۳۹۵)، *سنجش و بررسی مصرف آب در بخش‌های اقتصادی ایران و استان یزد*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، یزد: دانشگاه یزد.

سلطانی، غلامرضا (۱۳۹۷)، *اقتصاد منابع آب*، تهران: فرهنگ صبا.

صادقی، سیدکمال و دیگران (۱۳۹۳)، «سنجش ردپای آب بخش‌های اقتصادی در ایران با رهیافت ماتریس حساب‌داری اجتماعی (SAM)»، فصل‌نامهٔ *اقتصاد مقداری*، دورهٔ ۱۱، ش ۳.

عرب‌مازار یزدی، علی و دیگران (۱۳۹۵)، «محاسبهٔ لایهٔ پنهان مبادلات بین‌بخشی و ضرایب فزایندهٔ مصرف آب در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران»، فصل‌نامهٔ *پژوهش‌نامهٔ اقتصادی*، س ۱۶، پیاپی ۲۰.

کاکایی، جمال و دیگران (۱۳۹۷)، «سنجش ردپای بوم‌شناختی انرژی‌های فسیلی در بخش‌های اقتصادی ایران با استفاده از رویکرد داده ـ ستانده»، فصل‌نامهٔ *پژوهش‌نامهٔ اقتصادی*، پیاپی ۷۳.

نتایج جداول داده‌ستانده بانک مرکزی (۱۳۹۵).

نتایج حساب‌های ملی و طرح‌های آمارگیری، مرکز آمار ایران.

نصراللهی، زهرا و مهران زارعی (۱۳۹۶)، «بررسی جریان‌های آب مجازی در اقتصاد ایران، تحلیل روابط بین‌بخشی آب با استفاده از رهیافت داده ـ ستانده»، *مدل‌سازی اقتصادسنجی*، ش ۴.

Alamri, Y. and M. R. Reed (2019), "Estimating Virtual Water Trade in Crops for Saudi Arabia", *American Journal of Water Resources*, vol. 7, no. 1.

Allan, J. A. (1997), "Virtual Water: A Long-Term Solution for Water-Short Middle Eastern Economies", in: *British Association Festival of Science*, United Kingdom: Leeds.

Antonelli, M. et al. (2017), "Intra-EU Agricultural Trade, Virtual Water Flows and Policy Implications", *Science of the Total Environment*, vol. 587-588.

Chapagain, A. K. et al. (2005), "Saving Water through Global Trade", *UNESCO-IHE, Value of Water Research Report*, no. 17.

Chen, W. et al. (2017), "China's Water Footprint by Province, and Inter-Provincial Transfer of Virtual Water", *Ecological Indicators*, no. 74.

Doll, P. et al. (2014), "Global-Scale Assessment of Groundwater Depletion and Related Groundwater Abstractions: Combining Hydrological Modeling with Information from Well Observations and GRACE Satellites", *Water Resources Research*, vol. 50, no. 7.

Feng, K. et al. (2012), "Assessing Regional Virtual Water Flows and Water Footprints in the Yellow River Basin, China: A Consumption Based Approach", *Applied Geography*, vol. 32, no. 2.

Hoekstra, A. Y. and P. Q. Hung (2002), "Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade", *Value of Water Research Report*, no.11.

Hoekstra A. Y. et al. (2009), *Water Footprint Manual: State of the Art 2009*, Enschede, the Netherlands: Water Footprint Network.

Lenzen, M. and B. Foran (2001), "An Input-Output Analysis of Australian Water Usage", *Water Policy*, vol. 3, no. 4.

Madani, K. (2014), "Water Management in Iran: What is Causing the Looming Crisis?", *Journal of Environmental Studies and Sciences*, vol. 4, no. 4.

Miller, R. E. and P. D. Blair (2009), *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge: Cambridge University Press.

Mohan, G. et al. (2021), "An Extended Input-Output Framework for Evaluating Industrial Sectors and Provincial-Level Water Consumption in Indonesia", *Water Resources and Industry*, no. 25.

Wang, Y. et al. (2009), "Analysis of Water Consumption Using a Regional Input-Output Model: Model Development and Application to Zhangye City, Northwestern China", *Journal of Arid Environments*, vol. 73, no. 10.

Zhao, X. et al. (2009), "National Water Footprint in an Input-Output Framework-A Case Study of China 2002", *Ecological Modelling*, vol. 220, no. 2.

Zimmer, D. and D. Renault (2003), "Virtual Water in Food Production and Global Trade: Review of Methodological Issues and Preliminary Results. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade", *Value of Water-Research Rapport*, no. 12.

<https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/642/en>.

<https://waterfootprint.org/en/water-footprint/national-water-footprint/virtual-water-trade>.

<https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>.