

## **Identification Of Water Footprint In Iran's Foreign Trade With The Approach Of The Input-Output Table-2016**

**Banafsheh Najafi<sup>\*</sup>, Farhad Khodadad Kashi<sup>\*\*</sup>**

**Ali Souri<sup>\*\*\*</sup>, Yeganeh Mousavi Jahromi<sup>\*\*\*\*</sup>**

### **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

## شناسایی رد پای آب در تجارت خارجی ایران با رهیافت جدول داده ستانده-۱۳۹۵<sup>۱</sup>

بنفشه نجفی\*

فرهاد خداداد کاشی\*\*، علی سوری\*\*\*، یگانه موسوی جهرمی\*\*\*\*

### چکیده

شناخت محتوای آب محصولات صادراتی و وارداتی در تجارت بین الملل، نقش مؤثری در مدیریت بهینه آب در ایران، به عنوان کشوری کم آب دارد. هدف محوری این مطالعه شناسایی تراز تجاری محتوای آب محصولات در تجارت خارجی ایران است. بدین منظور، با استفاده جداول داده ستانده ۱۳۹۵ و با توجه به روابط متقابل و وابستگی بین بخش های عمده اقتصادی شامل کشاورزی، معادن، صنایع کارخانه ای، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین و پسماند آب، ساختمان، خدمات، شاخص رد پای آب، خالص واردات و برخی شاخص های مرتبط به مصرف آب، محاسبه شده است. نتایج پژوهش نشان می دهد، در سال ۱۳۹۵، ایران وارد کننده خالص آب مجازی بوده است. با وجودی که بخش کشاورزی بیشترین ردپای ملی آب و معادل ۸۹ درصد را داراست، ولی با توجه به ماتریس ضریب مبادله، افزایش مصرف آب در این بخش تأثیر بسیار اندکی در افزایش مصرف آب سایر بخش ها دارد. بخش صنایع کارخانه ای پس از بخش کشاورزی، بالاترین شدت مصرف آب غیر مستقیم را با مقدار ۳/۵ متر مکعب به میلیون ریال داشته و افزایش مصرف آب در

\* دانشجوی دکترای اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور. تهران. ایران. b\_najafi@sci.org.ir

\*\* استاد گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور. تهران. ایران. (نویسنده 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



این بخش، بیشترین اثر گذاری را بر افزایش مصرف آب در اقتصاد دارد، به طوری که افزایش یک واحد مصرف آب در این بخش، مصرف آب بخش کشاورزی را ۷ برابر و مصرف آب کل کشور را ۹ برابر افزایش می دهد. پس از بخش کشاورزی، بیشترین مقدار محتوای آب مجازی (مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب) با میزان ۵/۸ متر مکعب به میلیون ریال به بخش تصفیه، تأمین و پسماند آب، اختصاص داشته است. بخش خدمات که بزرگترین صادر کننده خالص آب مجازی با مقدار ۲۱۷ میلیون متر مکعب بوده است، پس از کشاورزی بیشترین رد پای آب را داراست.

**کلیدواژه‌ها:** مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب، رد پای آب، تجارت آب مجازی، جداول داده ستانده

طبقه بندی JEL: Q25, C67

## ۱. مقدمه

تنش آبی (Water stress) عبارت است از برداشت بیش از حد آب شیرین نسبت به منابع آب شیرین موجود، که تهدید جدی برای پایداری و پویایی منابع طبیعی و مانعی برای توسعه اقتصادی است. در سال ۲۰۱۸، متوسط تنش آبی در سطح جهانی، ۱۸/۴ درصد بوده 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 یک سوم متوسط بارندگی جهان است. با این وجود جزو کشورهای است که بالاترین نرخ برداشت آب های زیرزمینی را به خود اختصاص داده است (Doll 2014:5713). این وضعیت منجر به تخلیه ی منابع آب زیرزمینی، فرو نشست زمین، کاهش کیفیت آب و خسارات جبران ناپذیر به زیست بوم و منابع آب سطحی خواهد شد. بحران آب در ایران ناشی از مجموعه ای از چالش ها و مشکلات ناشی از کمبود آب و استفاده نادرست از منابع آب در کشور است؛ "کمبود آب فیزیکی"، نتیجه ی عدم وجود منابع کافی آب طبیعی و فقدان تجهیزات و کار زیرساختار های لازم استحصال آب، برای تأمین تقاضای یک منطقه و کمبود "آب اقتصادی"، نتیجه ی مدیریت ضعیف منابع آب موجود، کشور را به کم آبی رسانده است.

یکی از شیوه های نوین و متداول در جهان برای مدیریت عرضه 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 آب فراهم می‌آورد. کشورهایی که در منابع آبی فقیر هستند، می‌توانند با واردات محصولات آب‌بر، منابع آبی محدود خود را در جایی دیگر با بهره‌وری بالاتر مورد استفاده قرار دهند، دسترسی کشور به منابع آب جهانی را افزایش و از فشار بر منابع آبی داخلی بکاهند. رینالت (Renault 2003) نشان داد که صادرات یک کیلوگرم ذرت از فرانسه به مصر باعث صرفه‌جویی در مصرف ۰/۵۲ مترمکعب آب می‌شود. چرا که حجم آب مجازی ذرت فرانسه ۰/۶ متر مکعب به کیلوگرم است در حالی که حجم آب مجازی ذرت مصری ۱/۱۲ متر مکعب به کیلوگرم است. بیشترین میزان تجارت آب مجازی در دنیا مربوط به محصولات کشاورزی با مقدار ۹۸۷ میلیارد متر مکعب در سال است (Alamri and Reed 2019) و حجم صرفه‌جویی آب مصرفی ناشی مبادلات آب مجازی ۳۵۲ میلیارد متر مکعب در سال برآورد شده است (Chapagain 2005). همراه با صادرات محصولات ایرانی، بخش قابل توجهی آب نیز به صورت مجازی صادر می‌شود، لذا در کشوری مثل ایران که با کمبود آب مواجه است باید نسبت به صادرات آب مجازی سخت‌گیری و شرایط برای ورود محصولات با محتوای آب مجازی بالا سهل‌گردد. ۸۱ درصد از محصولات کشاورزی وارد شده به ایران، غلات است که آب آن‌ها از طریق بارش‌های آسمانی و دیم تأمین می‌گردد. در حالی که ۶۸ درصد از صادرات مربوط به میوه و آجیل (مانند پسته و خرما) و ۲۶ درصد سبزیجات (مانند فلفل و گوجه‌فرنگی) می‌باشد که منبع تأمین آب آن‌ها آب‌های سطحی و زیرزمینی است (حکمت نیا ۱۳۹۸: ۴۵۷).

این مطالعه با هدف شناسایی تراز تجاری محتوای آب محصولات در تجارت خارجی ایران تدوین شده است. به منظور تحقق این هدف تلاش می‌شود که رد پای 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 رد پای آب و ضریب فزاینده مصرف آب (مستقیم و غیرمستقیم) اندازه‌گیری می‌گردد. برای این منظور از داده‌های ثبتی شرکت مدیریت منابع آب و جداول داده‌ستنده بانک مرکزی در سال ۱۳۹۵، استفاده شده است. سازمان دهی این مقاله به این صورت است که پس از مقدمه، در قسمت دوم ادبیات موضوع شامل مبانی نظری و پیشینه تحقیق بیان می‌شود. قسمت سوم به معرفی داده‌های آماری و روش تحقیق، قسمت چهارم 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 نهاده آب از بعد صادرات و واردات آن توجه می‌کند. کشورها علاقمندند بدانند در تأمین امنیت غذایی و تولید محصولات مورد نیاز خود به چه میزان به آب های داخل کشورشان متکی هستند. طبق نظریه های تجارت بین الملل، دو طرف تجارت با به کارگیری اصل مزیت نسبی می توانند از تجارت منتفع شوند. در مورد نهاده آب نیز می توان از این اصل بهره گرفت. چنانچه کشوری دارای مزیت نسبی منابع آبی است، می تواند به تولید محصولات آبر پردازد و با کشور دیگر که از این مزیت نسبی برخوردار نیست، مبادله انجام دهد و به جای انتقال فیزیکی آب، آن را به صورت مجازی و از طریق محصولات وارد یا صادر کند. بدین ترتیب بحران و کمبود آب در سطح ملی، منطقه ای و جهانی کنترل شده و مانع تبعات منفی اقتصادی، اجتماعی و سیاسی، مانند جنگ بر سر آب، (Allan 1998-2003) گردد. تجارت آب مجازی و مفهوم رد پای آب ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند. ردپای آب شاخصی است برای نشان دادن حجمی از آب که به طور مستقیم یا غیر مستقیم در طی فرآیندهای زنجیره تولید کالا و یا ارائه هرگونه خدمت، توسط ساکنان یک کشور به مصرف می رسد و دارای دو جزء داخلی و خارجی است (Hoekstra 2002). این شاخص نه تنها وضعیت مصرف و کمبود آب را تعیین می کند بلکه می تواند آب تعبیه شده در واردات و صادرات را منعکس کرده و راهنمای سیاست گذاری های مربوط به تراز تجاری آب باشد. سابقه ی دستیابی به چنین شاخص ها و مطالعاتی که نظام اقتصادی را به نظام محیط زیست مرتبط می کند به دهه ۱۹۶۰ بر می گردد که منجر به تدوین سیستم حسابداری زیست محیطی-اقتصادی (System of Environmental Economic Accounting (SEEA)) شد. ولی تجزیه و تحلیل این روش فقط اثرات مستقیم را در نظر گرفته و وابستگی متقابل رشته بخش ها را لحاظ نمی کند. رهیافت فنی- پایه نیز روشی است که با به کارگیری روابط فنی و فیزیولوژی آب و نیاز آبی محصول (کشاورزی یا صنعتی) تراز تجاری آب را محاسبه می کند و عمدتاً به تفکیک هر محصول ارائه می شود (Hoekstra and Hung 2002).

از آنجا که هر بخش اقتصادی برای تولید محصولات خود علاوه بر آب، به نهاده های دیگری نیز احتیاج دارد که هر کدام از این نهاده ها نیز برای تولید خود به نهاده های دیگری

نیاز دارند؛ بنابراین با تولید هر واحد ستانده در یک بخش، زنجیره ای از وابستگی های بین بخشی ایجاد می شود که به زنجیره ی تأمین (Supply Chain) معروف است و هر کدام از این نهادها به مقادیر مشخصی آب وابسته هستند. بنابراین برای تولید ستانده یک بخش علاوه بر مصرف مستقیم، به طور غیرمستقیم نیز مقادیری آب مصرف می شود. مدل های داده ستانده، اقتصاد محیط زیست را تجزیه و تحلیل کرده، وابستگی متقابل رشته فعالیت ها در یک اقتصاد نشان داده (Miller & Blair 2009)، تمامی اثرات مستقیم و غیرمستقیم تغییرات تولید یک فعالیت اقتصادی بر مصرف آب را از مبدأ اصلی تا مقصد نهایی ردیابی و محاسبه کرده و تمامی حلقه های زنجیره تأمین یک محصول را در نظر می گیرد. ژائو، چن و یانگ (X. Zhao, B. Chen, Z.F. Yang) در سال ۲۰۰۹، با استفاده از جدول داده ستانده ۲۰۰۲ چین، رد پای و تراز تجاری آب آن کشور را محاسبه کردند.

در این مدل تصریح می شود:

$$WFP = IWFP + EWFP \quad (1)$$

ردپای آب داخلی (Internal Water Footprint (IWFP)) عبارتست از مصرف منابع آب داخلی ساکنان کشور. رد پای آب خارجی (External Water Footprint (EWFP)) شامل منابع آبی مورد استفاده در سایر کشورها برای تولید کالاها و خدمات مصرف شده توسط ساکنان کشور مورد نظر است؛ لذا 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)) به عنوان کل آب مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول تعریف شود و DP، M و E تولیدات داخلی، واردات و صادرات معرفی گردند، رابطه ۲ به صورت زیر نشان داده می شود.

$$WFP = \sum VWC \times (DP + M - E) \quad (2)$$

به منظور درک بهتر از روابط، جدول داده ستانده زیر در نظر گرفته می شود:

جدول ۱- جدول داده و ستانده

ستانده ناخالص	تقاضای نهایی		مصارف واسطه	شرح
	صادرات	مصرف داخلی		
$x_i$	$e_i$	$f_i$	$x_{ij}$	مصرف واسطه مصرف داخلی

$m_i$	$m_i^e$	$m_i^f$	$m_{ij}$	واردات	
			$c_j$		ارزش افزوده
			$x_j$		کل مصرف
			$w_j$		مصرف آب

منبع: ژائو، چن و یانگ (۲۰۰۹)

برای بخش  $i$  واقع در هر ردیف جدول، معادله ی زیر جریان داخلی کالاها و خدمات را نشان می دهد.

$$\begin{aligned} x_i &= \sum_{j=1}^n x_{ij} + y_i \\ y_i &= e_i + f_i \end{aligned} \quad (۳)$$

به طوری که  $x_i$  ستانده ناخالص،  $y_i$  تقاضای نهایی داخلی،  $f_i$  مصرف داخلی و  $e_i$  صادرات بخش  $i$  است.  $x_{ij}$  نیز نشان می دهد که بخش  $i$  چه مقدار کالای تولید شده خود را به عنوان کالای واسطه به بخش  $j$  تحویل داده است؛ ماتریس مستقیم یا ضرایب فنی نسبت به کارگیری نهاده های تولیدی در تولید هر بخش (به جز عوامل اولیه) را نشان می دهد و آن را با  $A$  نشان می دهند.  $a_{ij}$  عبارتست از نهاده بخش  $i$  که برای افزایش یک واحد ستانده بخش  $j$  مورد نیاز است.

$$A = [a_{ij}] \quad (۴)$$

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

$$(I - A)^{-1} = [E_{ij}] \quad (۵)$$

ماتریس  $(I - A)^{-1}$  "معکوس لئونتیف" یا ماتریس داده های مستقیم و غیر مستقیم که کل اثرات ناشی از زنجیره عملیات را نشان می دهد. برای اندازه گیری آب مجازی و ردپای آب، ابتدا باید آب بری مستقیم بخش های مختلف اقتصادی محاسبه گردد که از تقسیم کل حجم آب مصرفی به ستانده آن بخش به دست می آید.

$$W_j^d = w_j / x_j$$

$$DWIC = [W_j^d] \quad (۶)$$

$w_j$  نشان دهنده مقدار آب مصرفی مستقیم برای تولید محصولات توسط 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  $z$  می باشد و نشان دهنده مقدار آب مصرف شده بخش  $z$  برای افزایش یک واحد پولی در ستانده است. محتوای آب مجازی نشان دهنده آب مصرفی بخش  $i$  برای تولید یک واحد پولی تقاضای نهایی در بخش  $z$  است. این ضریب، تقاضای نهایی یک محصول را با مصرف مستقیم و غیر مستقیم از آب پیوند می دهد و از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$VWC = [W_j^t] \quad (7)$$

با توجه به زنجیره ی تعاملات بین بخشی در اقتصاد، ضریب مصرف غیر مستقیم آب (Indirect Water Input Coefficient)، با کسر ضریب مصرف مستقیم آب از محتوای آب مجازی بدست می آید، که نشان دهنده آب مورد نیازی است، که به طور غیر مستقیم برای یک واحد پولی تقاضای نهایی محصول لازم است.

$$VWC = DWIC + IWIC \quad (8)$$

وانگ و همکاران (Wang, et al) در سال ۲۰۰۹ برای شناسایی روابط بین بخش های های تولیدی و مصرف کل آب روشی ارائه کرده اند که نقطه شروع آن محاسبه ی آب بری مستقیم آن ها است. اگر  $W_j^t$  شدت آب بری کل (مستقیم و غیرمستقیم) بخش  $z$  باشد، نشان دهنده کل آب مصرف شده توسط بخش های اقتصادی برای ایجاد یک واحد پولی تقاضای نهایی (ستانده) در بخش  $z$  با  $n$  بخش است. لذا رابطه ۹ نیاز مستقیم و غیرمستقیم آب برای افزایش یک واحد تولید بخش  $z$  را نشان می دهد.

$$W_j^t = \sum_j^n W_i^d \times E_{ij} \quad (9)$$

در این معادله  $E_{ij}$  عناصر ماتریس معکوس لئونتیف در جدول داده ستانده است. شکل ماتریسی و فرم حل شده رابطه ی فوق به صورت زیر می باشد.

$$w^t = w^d (I - A)^{-1} \quad (10)$$

$$w^t = w^d + w^t \times A \quad (11)$$

شدت مصرف غیر مستقیم نیز از تفاوت شدت مصرف کل و شدت مصرف غیر مستقیم بدست می آید.

## ۲.۲ پیشینه تحقیق

بررسی منابع و پژوهش های صورت گرفته در زمینه تجارت آب مجازی و رد پای آب نشان می دهد، با وجودی که از نخستین مطالعاتی که در این زمینه و توسط لنزن (Lenzen) در سال ۲۰۰۱ به منظور تعیین تراز تجاری استرالیا صورت گرفته، زمان زیادی نمی گذرد، ولی تحقیقات گسترده ای در داخل و خارج کشور، با هدف تعیین تراز تجاری آب و سهم رشته فعالیت ها یا محصولات از مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب با تمرکز بیشتر بر بخش کشاورزی، انجام شده است و کشورهایی که با بحران آبی روبرو هستند به منظور کنترل عرضه و تقاضای آب، بیش از سایرین به آن پرداخته اند. این پژوهش ها می تواند راهنمایی برای نزدیک شدن به هدف این مطالعه باشد.

موهان و همکاران (Mohan and other) در سال ۲۰۱۲ بر اساس مدل داده ستانده توسعه یافته، مصرف آب بخشی را برای بالی در اندونزی ارائه کرده اند. نتایج نشان می دهد که بخش های دامپروری، صنایع غذایی، نوشیدنی، تنباکو و قهوه، صنعت چوب و محصولات چوبی، صنایع دستی و صنایع معدنی، تجارت، ساخت و ساز بیشترین مصرف غیرمستقیم را دارند.

الامری و رید (Alamri, Reed) در سال ۲۰۱۹، تراز تجاری عربستان را برای سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ با استفاده از نیاز آبی محصولات زراعی، بدست آوردند. در این سال ها عربستان وارد کننده 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 کاسته است.

آنتونلی (Antonelli, et al) در سال ۲۰۱۷ جریان آب مجازی محصولات کشاورزی را در کشورهای عضو اتحادیه اروپا با توجه به حجم صادرات و واردات و شدت مصرف آب بررسی کرده اند. نتایج نشان داد ۶۵ درصد از کل واردات آب مجازی مربوط به آب آبی است و کشورهای ایتالیا و اسپانیا صادرکنندگان اصلی آب آبی هستند.

چن و همکاران (Chen and other) در سال ۲۰۱۷ در مطالعه خود، به برآورد ردپای آب در استان های مختلف کشور چین و نیز ارزیابی انتقال آب مجازی بین استانی با استفاده از جدول داده ستانده پرداخته اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد انتقال آب مجازی از مناطق پرآب به مناطق کم آب رخ نداده و بسیاری از مناطق کم آب صادرکننده خالص آب مجازی بوده اند.

کوشانگ فنگ و همکاران (Feng and other) در سال ۲۰۱۲ رودخانه زرد را براساس ویژگی های متفاوت منابع آبی، ساختار اقتصادی، درآمد خانوار به سه منطقه فوقانی، میانی و پایینی تقسیم کرده و با به کارگیری جدول داده ستانده چند منطقه ای، به بررسی الگوی تجارت آب مجازی به تفکیک آب سبز و آبی و همچنین خانوار شهری و روستایی پرداخته اند. نتایج نشان داد هر سه منطقه صادرکننده آب مجازی هستند و تولیدات خارج از این منطقه به منابع آب رودخانه زرد فشار می آورد.

حکمت نیا و همکاران (۱۴۰۰) به تعیین کمیت تجارت آب مجازی محصولات کشاورزی ایران در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ پرداخته اند. روش مطالعه ایشان بر اساس تبخیر و تعرق گیاه و شاخص نیاز آبی آن بوده است. نتایج نشان داد آب مجازی که ایران از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ به جهان صادر کرده تقریباً ۲۷ درصد آب سبز، ۶۶ درصد آب آبی و ۶ درصد آب خاکستری بوده است.

امیری و همکاران (۱۳۹۸) طی سال های ۹۵-۱۳۷۱ مزیت های صادراتی، مقادیر آب مجازی خروجی و ارزش هر متر مکعب آب مجازی صادر شده برای محصولات صادراتی اصلی (پسته، خرما، زعفران، کیوی و سیب) را با استفاده از مصرف آب و نیاز آبی گیاه برآورد کرده و ارتباط صادرات آب مجازی با مزیت های صادراتی را بررسی کرده اند. نتایج بیانگر این است که با وجود مزیت صادراتی پسته، زعفران و خرما، الگوی صادرات آب مجازی با مزیت رقابتی پسته تطابق ندارد. در حالی که کاراترین وضعیت مربوط به کیوی و سیب بوده است.

نصراللهی (۱۳۹۶) در مقاله خود به بررسی جریان های آب مجازی بین بخش های مختلف اقتصادی کشور ایران به تفکیک منابع آب داخلی و وارداتی با استفاده از جدول داده و ستانده پرداخته است. نتایج نشان می دهد که چنانچه همه بخش های اقتصادی به منظور افزایش تولید خود، یک مترمکعب آب اضافی مصرف کنند، در کل اقتصاد حدود ۳۳۲ مترمکعب آب به شکل 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 همکاران (۱۳۹۴) در مقاله خود به مطالعه اثرات مصرف واسطه ای بخش های اقتصادی بر رد پای اکولوژیک آب در ایران با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی

پرداخته اند. یافته های تحقیق حاکی از آن است که کل ردپای آب داخلی و وارداتی در بخش های مختلف اقتصادی برابر با ۹۷/۷ میلیارد متر مکعب بوده که ۸۸ درصد از آن داخلی و ۱۲ درصد دیگر وارداتی بوده است.

### ۳. معرفی داده های آماری و روش تحقیق

در این پژوهش با توجه به موضوع و هدف تحقیق، روش مناسب، استفاده از مدل داده ستانده است. این روش که براساس تابع تولید بنا شده، جریان کالاها و خدمات بین فعالیت های مختلف اقتصادی را در طول یک دوره زمانی مشخص بیان می کند. این سیستم تولید، از یک سو نشان دهنده رابطه کمی بین مقادیر استفاده شده از یک یا چند عامل تولید و از سوی دیگر، مقادیر تولید شده از یک یا چند محصول است. داده ها (کالاها، خدمات، نیروی کار و سرمایه) که برای تولید یک محصول بکار می روند طبق یک تابع تولید خطی با ستانده آن رشته فعالیت رابطه مستقیم و با سایر رشته فعالیت ها رابطه غیر مستقیم دارد و این تابع تولید، حداقل در دوره زمانی کوتاه، دارای ضرائب ثابتی است. بدین ترتیب جداول داده ستانده بانک مرکزی برای سال ۱۳۹۵، مبنای این مطالعه می باشد. روش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه ای بوده و از داده های ثبتی شرکت مدیریت منابع آب و نتایج طرح های آمارگیری شامل نتایج طرح آمارگیری از معادن در حال بهره برداری کشور ۱۳۹۵، نتایج طرح آمارگیری از کارگاه های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر ۱۳۹۵، نتایج طرح آمارگیری از کارگاه های صنعتی یک تا نه نفر کارکن ۱۳۹۰ و برآورد آن برای سال ۱۳۹۵ و اطلاعات حساب های ملی و فصلی مرکز آمار ایران، برای محاسبات مربوط به شدت مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب استفاده شده است. به منظور استخراج رد پای آب، تراز تجاری و شاخص های مصرف آب، از روابط بین بخشی جداول داده ستانده و اجزای تقاضای نهایی برای ۷ بخش و گروه محصولات، شامل کشاورزی، معادن، صنایع کارخانه ای (کارگاه های صنعتی)، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین و پسماند آب، ساختمان و خدمات، بهره گرفته شده است.

همانگونه که در قسمت مبانی نظری مطرح شد، شدت مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب در بخش های اقتصادی، مبنای محاسبات رد پا و تراز تجاری آب است. اگر  $f$  نشان دهنده بخشی از تقاضای نهایی که در داخل مصرف می شود، باشد.  $t$  ردپای آب داخلی

بخش زاست و به عنوان کل آب استفاده شده از منابع داخلی برای تأمین مصارف نهایی داخلی بخش ز تعریف می شود.

$$T=[t_j]=IWF P \quad (12)$$

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

به منظور محاسبه رد پای آب خارجی، لازم است مقدار واردات از ماتریس مبادلات بین بخشی و بردار تقاضای نهایی، تفکیک شده باشد و واردات بر حسب واردات واسطه ای در سطح بخش های مختلف اقتصادی، واردات مصرفی (واردات مصرفی خانوارها و واردات مصرفی دولت) و همچنین واردات سرمایه ای در سطح بخش های مختلف اقتصادی بدست آید. لازم به ذکر است فرض می شود کل واردات یک متغیر برونزاست و مقدار آن بستگی به اندازه تقاضای واسطه ای و تقاضای نهایی داخلی ندارد و دارای ماهیت رقابتی می باشد. (بانویی، ۱۳۹۱).

اگر  $e_i$ ،  $f_i$  و  $x_i$  به ترتیب صادرات، مصرف داخلی یا مخارج نهایی (مصرف دولت، مصرف خانوارها، تشکیل سرمایه و تغییر موجودی انبار) و ستانده ناخالص باشند،  $x_{ij}$  نشان دهد که بخش  $i$  چه مقدار کالای تولید شده خود را به عنوان کالای واسطه به بخش  $j$  تحویل داده است و  $m_{ij}$  نیز مبین واردات واسطه ای است. بدین ترتیب  $z_i$  یا تقاضای واسطه ای با دو جزء مبادلات واسطه ای بین بخشی داخلی و مبادلات واسطه ای واردات تعریف می شود.

با توجه به رابطه ۳ داریم:

$$x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + e_i + f_i \quad (13)$$

$$z_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (14)$$

$$x_i = z_i - m_i + e_i + f_i \quad (15)$$

که فرم ماتریسی آن به صورت زیر است:

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

$$e = z + f - m - x \quad (16)$$

$$f = c + g + cf$$

$c$ ،  $g$  و  $cf$  به ترتیب مصرف خانوارها، مصرف دولت و تشکیل سرمایه ثابت، حاوی تغییر

در موجودی انبار شامل واردات را نشان می دهد.

برای تفکیک واردات، لازم است سهم واردات از مصارف داخلی بدست آید. بدین منظور  $\frac{m}{z+f}$  در رابطه ۱۷ نشان می دهد به ازای ارزش یک واحد مبادلات واسطه ای و مخارج نهایی، چه میزان به واردات نیاز است.  $d$  ضریبی است که نشان می دهد چه سهمی از مصارف داخلی غیر وارداتی بوده است.

$$d = \frac{x-e}{z+f} = \frac{z+f-m}{z+f} = 1 - \frac{m}{z+f} \quad (17)$$

$d$  منشاء داخلی دارد و ضرب آن در هر متغیر، ماهیت داخلی آن متغیر را بدست می دهد و برای بخش های مختلف، بین صفر و واحد قرار می گیرد. تفاضل هر متغیر از ماهیت داخلی آن، واردات و ماهیت خارجی را بدست می دهد.

$$x = dz + df + e$$

$$df = d(c+g+cf) = dc + dg + dcf \quad (18)$$

$$m_e = z - dz$$

$m_e$  ماتریس واردات واسطه ای را نشان می دهد.

$$mc = c - dc$$

$$mg = g - dg \quad (19)$$

$$mcf = cf - dcf$$

$mc$  و  $mcf$  به ترتیب واردات خانوارها، دولت و واردات سرمایه ای است.

برای سنجش محتوای آب، واردات در قالب دو دسته کلی حاصل می شود. نوع اول مقدار آبی است که در تولید کالاها و خدمات سایر کشورها به کار رفته و به عنوان واردات کالای نهایی (سرمایه ای و مصرفی) در داخل کشور توسط جمعیت آن کشور مصرف می شود. نوع دوم مقدار آب به کار رفته در تولید کالاها و خدمات وارداتی است که به صورت واسطه ای در فرآیند تولید بخش ها استفاده می شود و بخشی از آن در فرآیند تولید تقاضای نهایی داخلی و مابقی آن در فرآیند تولید کالا و خدمات صادراتی به کار می رود و مجدد به خارج از کشور صادر می شود (کاکایی، ۱۳۹۷: ۱۵۸).

لذا طبق رابطه زیر  $m_{ij}$  ارزش محصولات وارداتی بخش  $i$  ام است، که به عنوان نهاده واسطه ای در بخش  $j$  مورد استفاده قرار می گیرد، یا واردات واسطه ای بخش  $i$  از بخش  $i$  (واردات واسطه ای) است.  $m_i^f$  واردات بخش  $i$  که صرف تقاضای نهایی داخلی می شود (واردات نهایی).  $m_i^e$  واردات بخش  $i$  برای صادرات مجدد است.

$$m_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} + m_i^f + m_i^e \quad (20)$$

برای محاسبه رد پای خارجی فرض می شود، روش و فناوری تولید یک محصول وارداتی همانند محصول داخلی است. بدین ترتیب مشخص خواهد شد که با وارد کردن محصول به جای تولید در داخل، چه مقدار آب صرفه جویی می شود. با توجه به تفکیک واردات، کل ردپای آب خارجی نیز شامل دو قسمت مجزا می شود. در واقع مجموع ردپای آب خارجی یک منطقه، در واقع واردات آب مجازی آن را نشان می دهد.

$$EWFP = S^f + S^{in} \quad (21)$$

$S^f$  حجم آب مجازی است که در تولید محصولات وارداتی که در داخل کشور به مصرف نهایی می رسند، و از حاصلضرب واردات نهایی در محتوای آب مجازی به دست می آید.

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

$$s_j^f = w_j^f \times m_j^f \quad (22)$$

$S^{in}$  واردات واسطه ای آب مجازی، شامل مقدار آب به کار رفته در تولید کالا و خدمات واردات واسطه ای بخش  $i$  ام که در فرآیند تولیدی توسط بخش های داخلی مورد استفاده قرار می گیرد، است. از آنجا که بخشی از واردات واسطه ای برای تولید محصولات صادراتی مورد استفاده قرار می گیرد، همه ی آب مجازی موجود در واردات واسطه ای به وسیله تقاضای نهایی داخلی مصرف نمی شود و صرف تأمین تقاضای خارجی ها نیز می شود. بنابراین برای محاسبه دقیق تر واردات واسطه ای آب مجازی، عنصر  $v_j$  که از تقسیم تقاضای نهایی و صادرات بر تقاضای نهایی دست می آید، به عنوان ضریب تعدیل استفاده می شود. در واقع این ضریب خالص محتوای آب کالا های واسطه ای را که عملاً در داخل کشور استفاده شده است، لحاظ می کند و صادرات مجدد از واردات واسطه ای را از محاسبات خارج می نماید.

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

$$s_j^{in} = (\sum_{i=1}^n w_i^t \times m_{ij}) \times v_j \quad (23)$$

با محاسبه رد پای خارجی، کل رد پای ملی با توجه به رابطه ۱ بدست می آید.

$$WFP = IWFP + EWFP = T + S^f + S^{in} \quad (24)$$

تراز تجاری آب یا خالص واردات آب مجازی (Net Virtual Water Import(NVWI)) از رابطه زیر بدست می آید.

$$NVWI=(S^f + S^{in}) - U \quad (25)$$

$$U=[u_j]$$

$$u_j = w_j^t \times e_j \quad (26)$$

$u_j$  صادرات آب مجازی برای تقاضای نهایی بخش  $j$  است و  $e_j$  صادرات بخش  $j$  است. پس از محاسبات مربوط به رد پای آب، شاخص های مصرف آب به منظور تبیین هر چه بهتر وضعیت آب در بخش های اقتصادی ارائه می گردد. شدت ردپای آب (intensity) یک شاخص استاندارد برای نشان دادن توزیع رد پای آب بین بخش های اقتصادی است. براساس ژائو، شاخص شدت ردپای آب، نشان می دهد که سهم رد پای هر بخش به کل، نسبت به سهم مصرف نهایی هر بخش از کل، چه میزان است.

$$\rho_j = \frac{NWF_j}{\sum NWF_j} / \frac{f_i}{\sum f_i} \quad (27)$$

در صورتی  $\rho_j > 1$  باشد، بدین معنی است که بخش  $j$  یک بخش پرمصرف آب است، اگر  $\rho_j < 1$  باشد، به معنای عکس آن و اگر  $\rho_j = 1$  باشد، محتوای آب مجازی محصولات در بخش  $j$  برابر با متوسط آن در اقتصاد می باشد.  $wcm_j^d$  یا ضریب مصرف آب (The water consumption multiplier) شاخص دیگری است که برای هر بخش، از رابطه زیر بدست می آید و اثر کششی (effect Drag) را در کل اقتصاد نشان می دهد. یعنی به ازای هر واحد مصرف مستقیم آب در بخش  $j$  برای افزایش تقاضای نهایی خود، چقدر آب به شکل مستقیم و غیرمستقیم در کل اقتصاد مصرف می شود.

$$wcm_j^d = \frac{w_j^t}{w_j^d} \quad (28)$$

ضریب فزاینده مصرف غیرمستقیم (Indirect water consumption) آب نیز از رابطه زیر به دست می آید:

$$Iwc_j^{id} = \frac{w_j^{in}}{w_j^d} = wcm_j^d - 1 \quad (29)$$

این شاخص نشان می دهد که به ازای هر واحد آبی که به طور مستقیم در بخش  $j$  مصرف می شود، چقدر آب به شکل غیرمستقیم در اقتصاد مصرف خواهد شد. از آنجا که:

$$w^t = w^d + w^{in} \quad (30)$$



فرم ماتریسی و به استناد رابطه ۱۰ به صورت زیر است:

$$w^{in} = w^d[(I - A)^{-1} - I] \quad (31)$$

با تقسیم عناصر ماتریس  $w^{in}$  بر آب بری مستقیم بخش موجود در ستون متناظر، ماتریس ضرایب مبادله آب تشکیل می شود که عناصر آن به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$\beta_{ij} = \frac{w_{ij}^{in}}{w_j^d} \quad (32)$$

$\beta_{ij}$  نشان می دهد اگر تقاضای مستقیم برای آب در بخش  $i$  افزایش یابد، (بخش  $i$  یک واحد آب اضافی برای تأمین تقاضای نهایی خود مصرف کند)، چه مقدار آب اضافی در بخش  $j$  به صورت غیر مستقیم مصرف خواهد شد. بنابراین این ماتریس وابستگی های آب بین یک بخش اقتصادی و سایر بخش های دیگر را منعکس می کند.

پس از معرفی مدل و شاخص ها، لازم است تعدیلاتی در جداول داده ستانده بانک مرکزی صورت پذیرد. جداول مصرف و عرضه بانک شامل ۸۹ فعالیت و ۱۳۰ محصول و جدول مقارن آن ۸۹ بخشی می باشد، که در این تحقیق، بخش ها و محصولات به روش های مناسب تجمیع و به ۷ بخش و گروه محصولات شامل کشاورزی، معادن، صنایع کارخانه ای (کارگاه های صنعتی)، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین و پسماند آب، ساختمان و خدمات، تبدیل شده اند. بدین منظور انطباق مناسبی بین طبقه بندی استاندارد بین المللی رشته فعالیت های اقتصادی (International Standard Industrial Classification of all Economic Activities (ISIC) و طبقه بندی محوری محصولات (Central Product Classification (CPC) صورت گرفته است. در این مطالعه بر حسب نوع محاسبات از جداول مصرف، عرضه، مقارن، واردات واسطه ای و ماتریس ضرایب استفاده شده است.

#### ۴. نتایج پژوهش

به منظور تعیین تراز تجاری آب که هدف اصلی این مطالعه است، ابتدا شدت مصرف مستقیم آب تعیین می گردد. با توجه به رابطه ۶ (نسبت مصرف آب و ستانده بخش) شدت مصرف مستقیم و به استناد رابطه ۱۰، محتوای آب مجازی که شامل مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب است برای ۷ بخش اصلی محاسبه و در جدول ۲ ارائه می گردد.

در سال ۱۳۹۵، شدت مصرف مستقیم آب در بخش کشاورزی، ۳۱/۴ متر مکعب به میلیون ریال بوده که نشان می دهد، بخش کشاورزی به ازای ارزش تولید هر یک میلیون ریال ستانده ۳۱/۴ متر مکعب آب به طور 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 غیر مستقیم را نشان می دهد نیز، برای بخش کشاورزی و پس از آن تصفیه، تأمین و پسماند آب، با ۳۶ و ۵/۸ متر مکعب به میلیون ریال بیشترین مقدار بوده است. این در حالی است که سهم آن ها در ارزش ستانده کشور به ترتیب ۷ درصد و ۰/۳ درصد می باشد و نشان می دهد مصرف آب در این بخش ها با عملکردشان در اقتصاد تطابق نداشته است. بیشترین شدت مصرف غیر مستقیم پس از کشاورزی با مقدار ۴/۶ متر مکعب به میلیون ریال به صنایع کارخانه ای با مقدار ۳/۵ متر مکعب به میلیون ریال تعلق دارد.

جدول ۲- سهم ستانده، شدت مصرف مستقیم آب و محتوای آب مجازی به تفکیک بخش های اقتصادی-۱۳۹۵ (درصد/متر مکعب به میلیون ریال)

بخش شاخص	کشاورزی	معادن	صنایع کارخانه ای(کارگاه های صنعتی)	تولید برف و گاز	تصفیه، تأمین و پسماند آب	ساختمان	خدمات	کل
سهم ستانده	7/4	14/3	30/0	5/5	0/3	5/7	36/8	100
شدت مصرف مستقیم آب	31/4	0/1	0/4	0/5	4/1	0/3	0/4	
محتوای آب مجازی	36/0	0/3	3/9	1/4	5/8	2/3	1/1	

#### منبع: یافته های پژوهش

در ادامه با توجه به روابط ۱۵ تا ۱۹ و با استفاده از اطلاعات مخارج نهایی، مصارف واسطه و صادرات، واردات به نهایی و واسطه ای تفکیک می شود. سپس به استناد روابط ۱۲ و ۲۱ تا ۲۳، اطلاعات محتوای آب مجازی و لحاظ صادرات مجدد محصولات وارداتی، رد پای آب داخلی و خارجی محاسبه می گردد که مجموع آن ها رد پای آب ملی را حاصل می کند که در جدول ۳ ارائه می شود.

شناسایی رد پای آب در تجارت خارجی ایران ... (بنفشه نجفی و دیگران) ۱۸۵

طبق نتایج پژوهش، ردپای آب داخلی در کل محصولات تولیدی معادل ۸۴۴۶۳ میلیون متر مکعب و معادل ۹۰ درصد رد پای کل آب بوده است. ۸۹ درصد از حجم آب استفاده شده اعم از مستقیم و غیر مستقیم، از منابع آب داخلی، به محصولات گروه کشاورزی و ۵/۳ درصد به محصولات بخش خدمات، اختصاص دارد. ۶۶۱۸ میلیون متر مکعب آب در تولید کالاها و خدمات سایر کشورها به کار رفته و به صورت واردات محصولات نهایی (سرمایه ای و مصرفی) در داخل کشور مصرف شده است. بیشترین آب مجازی وارداتی با سهمی معادل ۸۹ درصد، مربوط به محصولات کشاورزی بوده که به مصرف نهایی رسیده است و پس از آن محصولات صنایع کارخانه ای با سهم ۷/۵ درصد قرار دارد. با احتساب این که، بخشی از واردات واسطه ای آب مجازی در فرآیند تولید کالا و خدمات صادراتی به کار می رود و مجدد به خارج از کشور صادر می شود، ۸۰ درصد از واردات واسطه ای به تولید محصولات کشاورزی و ۱۵ درصد به محصولات صنایع کارخانه ای اختصاص داشته است. بدین ترتیب رد پای خارجی آب در کل کشور معادل ۹۱۵۱ میلیون متر مکعب و معادل ۱۰ درصد از کل ردپای آب است.

کل ردپای آب ملی ایران در سال ۱۳۹۵ معادل ۹۳۶۱۴ میلیون مترمکعب با سرانه آن ۱۱۷۱ مترمکعب به ازای هر نفر بوده است. در واقع 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 استفاده شده در کشور، برای تولید کالاهایی بوده که از کشور صادر شده اند؛ و این نشان دهنده حجم صادرات آب مجازی است. ۸۳ درصد صادرات آب مجازی آن به بخش کشاورزی تعلق داشته است و پس از آن بخش صنایع کارخانه ای با ۸ درصد سهم، قرار دارد.

جدول ۳- واردات نهایی و واسطه ای آب مجازی، ردپای داخلی، خارجی و ملی به تفکیک بخش های اقتصادی-۱۳۹۵ (میلیون متر مکعب)

بخش شاخص	کشاورزی	معادن	صنایع کارخانه ای (کارگاه های 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

۲۵۳۳	۷۹	۱	۱۱	۱۹	۳۸۳	۱۰	۲۰۳۲	واردات واسطه ای آب مجازی
۸۷۴۱	۴۶۸	۴	۳۹	۷۴	۷۰۵	۱۷۸	۷۲۷۳	صادرات آب مجازی
۸۴۴۶ ۳	۴۴۵۷	۵۴۹	۳۵۳	۲۳۱	۳۴۵۱	۸۶	۷۵۳۳۷	رد پای آب داخلی
۹۱۵۱	۲۵۱	۲	۲۸	۴۰	۸۸۱	۲۰	۷۹۲۸	رد پای آب خارجی
۹۳۶۱ ۴	۴۷۰۸	۵۵۱	۳۸۱	۲۷۱	۴۳۳۲	۱۰۷	۸۳۲۶۵	رد پای آب ملی

#### منبع: یافته های پژوهش

پس از محاسبه رد پای آب، تراز تجاری آب با توجه به رابطه ۲۵ بدست می آید. ایران در سال ۱۳۹۵ به طور خالص واردکننده حجم آبی معادل ۴۱۰ میلیون مترمکعب آب بوده است. بخش کشاورزی و سپس صنایع کارخانه ای (کارگاه های صنعتی) ایران با خالص واردات ۶۵۵ و ۱۷۶ میلیون مترمکعب آب مجازی، به ترتیب، بزرگ ترین وارد کننده های خالص آب در کشور بوده اند. در مقابل بخش خدمات با ۲۱۷ میلیون مترمکعب آب، به عنوان بزرگ ترین صادر کننده خالص آب مجازی شناخته شده است. لازم به ذکر است بخش خدمات بزرگترین بخش اقتصادی است که نیمی از شاغلان کشور و نیمی از ارزش افزوده کشور را در خود جای داده (مرکز آمار ایران ۱۳۹۵) و دارای بالاترین تراز تجاری منفی در بازرگانی خارجی پس از بخش معدن است. ولی با توجه به شدت مصرف آب در این بخش، در تجارت آب مجازی بالاترین تراز تجاری منفی را به خود اختصاص داده است.

در ادامه، سایر شاخص های مصرف آب مجازی شامل، شدت رد پای آب، ضریب فزاینده مصرف و ضریب فزاینده مصرف غیر مستقیم آب و ماتریس ضرایب مبادله به استناد روابط ۲۷ تا ۲۹ و با استفاده از محتوای آب مجازی و شدت مصرف مستقیم و غیر مستقیم به منظور تبیین جنبه های دیگری از مصرف آب، محاسبه می گردد. جدول ۴ هر یک از موارد فوق را به تفکیک بخش های اقتصادی نشان می دهد.

جدول ۴-تراز تجاری آب مجازی، ضریب فزاینده مصرف آب، ضریب فزاینده مصرف غیرمستقیم آب به تفکیک بخش های اقتصادی-۱۳۹۵

بخش / شاخص	کشاورزی	معادن	صنایع کارخانه ای (کارگاه های صنعتی)	تولید برق و گاز	تصفیه، تأمین و پسماند آب	ساختمان	خدمات	کل
تراز تجاری آب (میلیون متر مکعب)	۶۵۵	-۱۵۸	۱۷۶	-۳۴	-۱۱	-۲	-۲۱۷	۴۱۰
شدت رد پای آب	۷/۴۴	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۳۷	۲/۱۹	۰/۰۵	۰/۱۰	
ضریب فزاینده مصرف آب	۱/۱۵	۲/۷۵	۸/۶۹	۲/۸۸	۱/۴۱	۸/۳۱	۲/۵۵	
ضریب فزاینده مصرف غیرمستقیم آب	۰/۱۵	۱/۷۵	۷/۶۹	۱/۸۸	۰/۴۱	۷/۳۱	۱/۵۵	

منبع: یافته های پژوهش

با توجه به شاخص شدت رد پای آب، به جز بخش های کشاورزی و تا حدودی تصفیه، تأمین و پسماند آب، سایر بخش ها جزو بخش های کم مصرف آب هستند. شاخص های ضریب فزاینده مصرف آب نیز نشان می دهد، بخش کشاورزی برای افزایش تقاضای نهایی خود اگر یک واحد آب به طور مستقیم مصرف کند، ۱/۱۵ میلیون متر مکعب آب در کل اقتصاد به شکل مستقیم و غیرمستقیم مصرف می شود و ۰/۱۵ میلیون متر مکعب آب به صورت غیر مستقیم استفاده می گردد. در حالی که این شاخص برای صنایع کارخانه ای بیشترین رقم است. به عبارتی مصرف مستقیم یک میلیون متر مکعب آب در صنایع کارخانه ای ۸/۶۹ میلیون متر مکعب مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب در کل اقتصاد را

افزایش می دهد و ۷/۶۹ میلیون متر مکعب، مصرف غیر مستقیم آن را بالا می برد. به همین ترتیب از طریق ماتریس ضرایب مبادله (رابطه ۳۲) اثر گذاری مصرف آب هر بخش بر بخش های دیگر در جدول ۵ نشان داده می شود. این ماتریس نشان می دهد، اگر یک بخش  $i$  یک واحد مصرف مستقیم آب خود را افزایش دهد، مصرف غیر مستقیم بخش  $i$  چه میزان تغییر می کند. مشاهده می گردد بیشترین اثر گذاری بخش کشاورزی بر خود بخش است و سایر بخش ها را متأثر نمی کند. حال آنکه هر گونه تغییر در مصرف آب سایر بخش ها، مصرف غیر مستقیم آب در بخش کشاورزی را بیش از سایر بخش ها تحت تأثیر قرار می دهد. به عنوان مثال اگر کارگاه های صنعتی ۱ واحد مصرف آب خود را به طور مستقیم افزایش دهند مصرف غیر مستقیم آب در بخش کشاورزی بیش از ۶ برابر افزایش خواهد یافت.

جدول ۵- ماتریس ضرایب مبادله آب در بخش های اقتصادی-۱۳۹۵

شاخص	کشاورزی	معادن	کارگاه های 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
کارگاه های 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: یافته های پژوهش

برای این که بتوان تصویر روشن تری از وضعیت آب در کشور، خصوصاً بخش کشاورزی داشت، نتایج این پژوهش با سال ۱۳۹۰، (سال تهیه جداول داده ستانده ی پیشین) مقایسه می شود. در سال ۱۳۹۵ نه تنها مصرف مستقیم آب نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش داشته است، بلکه رد پای کل آب معادل ۲/۲ درصد نیز کاهشی بوده است. با وجود این در سال ۱۳۹۵، ۹۰ درصد از تأمین نیازها از منابع آب داخل کشور بوده است، در حالی که این نسبت برای سال ۱۳۹۰ حدود ۷۸ درصد است. لذا واردات آب مجازی به شدت کاهش و به نصف تقلیل یافته است. بدین ترتیب در این سال، تراز تجاری (خالص واردات) نسبت به سال ۱۳۹۰ حدود ۹۵ درصد کاهش داشته است. سرانه رد پای آب نیز نسبت به سال ۹۰، حدود ۸۵ درصد کاهش یافته است.

## ۵. نتیجه گیری

تصمیم گیری، سیاستگذاری و مدیریت مصرف منابع آب، تنها بر اساس آمارهای کلان مصرف مستقیم آب نمی تواند ملاک مناسبی باشد و در نظر گرفتن مصرف آب در زنجیره های تولید و در سطح بخش های مختلف اقتصادی حائز اهمیت است. این پژوهش، با هدف تعیین تراز تجاری آب کشور و کمی سازی رد پای آب، مبتنی بر چارچوب های داده ستانده ۱۳۹۵ کل کشور، برای ۷ بخش عمده کشور، شامل کشاورزی، معادن، کارگاه های صنعتی، تولید برق و گاز، تصفیه، تأمین و پسماند آب، ساختمان، خدمات، ارائه شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد، با وجودی که سهم ستانده (به قیمت های ثابت) بخش کشاورزی در ایران نسبت به سایر بخش ها کمتر است، ولی برای تولید در این بخش، بیشترین مصرف "مستقیم" و مصرف "مستقیم و غیر مستقیم" آب انجام شده و بالاترین سهم مصرف از منابع آب خارجی را نیز به خود اختصاص داده است. نکته حائز توجه این که مصرف مستقیم آب در این بخش اثر چندانی، چه "مستقیم" و چه "مستقیم و غیر مستقیم" بر مصرف آب در کل اقتصاد ندارد؛ در حالی که مصرف آب در سایر بخش ها، مصرف آب این بخش را به شدت تحت تأثیر قرار می دهد. لذا عدم توجه به مصرف آب سایر بخش های اقتصادی و تمرکز بر بخش کشاورزی به عنوان بخش پر مصرف، قطعاً سیاست های کنترل آب را با شکست مواجه می سازد. با وجودی که محصولات کشاورزی نسبت به سایر محصولات به شدت آب بر هستند ولی مصرف آب در بخش صنایع

کارخانه ای و ساختمان بیش از سایر بخش ها، مصرف آب کل اقتصاد را تحت تأثیر قرار می دهند.

یکی از شیوه های اثربخش و نوین در عصر حاضر برای حفظ منابع آبی، تجارت آب مجازی است ولی در ایران از موفقیت چندانی برخوردار نبوده و در این سال ها نتوانسته ابزار مناسبی برای حفظ امنیت آبی باشد. عواملی که در اثر بخشی این سیاست موثر بوده اند و لازم است مورد بازنگری 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 آب و هوایی ایران نشان می دهد که حدود ۱۲ درصد از اراضی کشور وضعیت متوسط، خوب یا بسیار خوب برای کشت دارند (مدنی، ۲۰۱۷)، در حالی که کشت محصولات با نیاز آبی بالا در استان های کم آب، مانند برنج در اصفهان و تولید و صادرات پسته در کرمان، قابل توجه است. لذا عدم توجه به پتانسیل های سرزمین و آمایش سرزمین، منجر به تصمیمات و سیاست های نادرست و تشدید بحران آبی 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. در غیر این صورت عدم تطابق مهارت نیروی کار در بخش های اقتصادی منجر به مازاد یا کمبود نیروی کار در بخش های دیگر می شود. تغییر ساختار اقتصادی کشور با هدف تراز تجاری مثبت آب مجازی نیز یک فرآیند بلندمدت و مداوم است و منجر به تخصیص مجدد منابع اقتصادی ناشی از تأثیر این اقدام می شود. موضوعی که هیچ وقت مورد توجه قرار نگرفته است.

- با وجودی که تراز تجاری آب مجازی، مثبت و ایران وارد کننده خالص آب مجازی است، تجارت محصولات با هدف تجارت آب مجازی صورت نگرفته است. بخش عمده ای از واردات آب مربوط به واردات غلات است که آبیاری آن ها عمدتاً به صورت دیم و بارش های آسمانی است. در حالی که صادرات عمدتاً شامل میوه و آجیل می باشد که از طریق آب های سطحی و زیر زمینی آبیاری می شوند.



شناسایی رد پای آب در تجارت خارجی ایران ... (بنفشه نجفی و دیگران) ۱۹۱

- بخش کشاورزی به عنوان بخش پر مصرف، در عین حال که وارد کننده عمده آب مجازی است، صادر کننده عمده آب نیز می باشد. بی توجهی به نیاز آبی محصولات وارداتی و صادراتی، هدف تجارت آب مجازی را دچار اختلال می کند. به عنوان مثال در سال ۱۳۹۵، سویا یکی از اقلام عمده وارداتی بوده است و ۶ درصد از حجم واردات را به خود اختصاص داده (گمرک جمهوری اسلامی ایران ۱۳۹۵)، در حالی که این محصول نسبت به سایر محصولات زراعی جزو کالاهایی با نیاز آبی پایین است و می تواند در کشور تولید گردد.

- عدم وجود آمار و اطلاعات کافی و لازم مانعی برای پژوهش های بیشتر در این زمینه و دستیابی به ردپای هر محصول است. به عنوان مثال از سال ۱۳۸۶ فایل اطلاعاتی نیاز آبی محصولات کشاورزی توسط دستگاه مربوطه به هنگام نشده است. اطلاعاتی که یک ابزار مناسب و ضروری برای بررسی محتوای آب مجازی محصولات است و می تواند در مطالعات مربوط به تعیین رد پای آب در هر محصول مفید باشد.

در نهایت این که کاربرد عملی آب مجازی در مدیریت منابع آب با چالش های متعددی روبرو است و بازنگری در سیاست های مدیریت منابع آب که در آن به توسعه تجارت آب مجازی بر مبنای مزیت نسبی و همکاری همه بخش ها در سطح ملی و بین المللی تأکید شده باشد ضروری است، تا بتوان علاوه بر تسهیل این تجارت و بالا بردن امنیت غذایی کشور، در راه تشکیل سیستم پایدار تأمین آب و غذا کوشید.

## پی نوشت

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری گروه اقتصاد دانشگاه پیام نور است.

## کتاب نامه

امیری، فرزانه، رفیعی، حامد، محمودی، ابوالفضل (۱۴۰۰). "بررسی تطابق الگوی صادرات آب مجازی با مزیت های رقابتی ایران"، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال ۱۲، شماره ۴۵، صص ۳۹۷-۳۸۲.

بانویی، علی اصغر (۱۳۹۱). "ارزیابی شقوق مختلف نحوه منظور کردن واردات و روش های تفکیک آن با تاکید بر جدول مقارن سال ۱۳۸۰"، *مجله پژوهش سیاستگذاری های اقتصادی*، سال ۴، شماره ۸، صص ۷۳-۳۱.

جهانگرد، اسفندیار (۱۳۹۳). تحلیل های داده ستانده: فناوری، برنامه ریزی و توسعه، چاپ اول، تهران، نشر آماره.

زارعی، مهران (۱۳۹۵). *سنجش و بررسی مصرف آب در بخش های اقتصادی ایران و استان یزد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد*.

حکمت نیا، مهران، صفدری، مهدی، حسینی، سید مهدی، دادرس مقدم، امیر (۱۴۰۰). "عوامل مؤثر بر تجارت آب مجازی محصولات کشاورزی ایران (کاربرد مدل خود رگرسیون برداری پانل)"، *محیط زیست و منابع آب*، دوره ۷، شماره ۲، صص ۳۴۴-۳۵۵.

حکمت نیا، مهران، صفدری، مهدی، حسینی (۱۳۹۹). "تعیین و ارزیابی ردپای آب های سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین المللی محصولات کشاورزی ایران"، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، دوره ۱۴، شماره ۲، صص ۴۶۳-۴۴۶.

بخش آمار اداره امور اجتماعی و اقتصادی سازمان ملل متحد (۱۳۹۱). "راهنمای حسابداری ملی: راهنمای جداول داده-ستانده (تهیه و تحلیل)"، مترجم محمد تقی فیاضی، مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی.

سلطانی، غلامرضا (۱۳۹۷). *اقتصاد منابع آب*، چاپ اول، تهران، نشر فرهنگ صبا.

صادقی، سید کمال، کریمی تکانلو، زهرا، متفکر آزاد، محمد علی، اصغریپور قورچی، حسین و اندایش، یعقوب (۱۳۹۳). "سنجش رد پای آب بخش های اقتصادی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی" (SAM)، *فصلنامه اقتصاد مقابله‌ای*، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۸۱-۱۱۱.

عرب مازار یزدی، علی، بانوئی، علی اصغر، اکبری، نگار (۱۳۹۵). "محاسبه لایه پنهان مبادلات بین بخشی و ضرایب فزاینده مصرف آب در بخش های مختلف اقتصاد ایران"، *فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی*، سال ۱۶، شماره ۲۰.

کاکایی، جمال، فریدزاد، علی، مومنی، فرشاد و بانویی، علی اصغر (۱۳۹۷). "سنجش ردپای بوم شناختی انرژی های فسیلی در بخش های اقتصادی ایران با استفاده از رویکرد داده-ستانده"، *فصلنامه پژوهش نامه اقتصادی*، شماره ۷۳، صص ۱۷۴-۱۴۷.

نصراللهی، زهرا، زارعی، مهران (۱۳۹۶). "بررسی جریان های آب مجازی در اقتصاد ایران، تحلیل روابط بین بخشی آب با استفاده از رهیافت داده-ستانده"، *نشریه مدل سازی اقتصاد سنجی*، شماره ۴.

نتایج حساب های ملی و طرح های آمارگیری، مرکز آمار ایران، سال های مختلف  
نتایج جداول داده ستانده بانک مرکزی، ۱۳۹۵

- Antonelli, M., Tamea, S., & Yang, H. (2017). "Intra-EU agricultural trade, virtual water flows and policy implications". *Science of the Total Environment*, 587-588: 439-448.
- Alamri, Y. and Reed, M. R. (2019). "Estimating Virtual Water Trade in Crops for Saudi Arabia", *American Journal of Water Resources*, (7)1, 16-22.
- Allan, J.A. (1997). "Virtual Water: A Long-term Solution for Water-Short Middle Eastern Economies" *Paper presented at British Association Festival of Science*, 6 September, Leeds, UK.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y and Savenije, H.H.G. (2005). "Saving Water through Global Trade", *UNESCO-IHE, Value of Water Research Report Series No. 17*.
- Chen, W., Wu, S., Lei, Y., & Li, S. (2017). "China's water footprint by province, and inter-provincial transfer of virtual water". *Ecological Indicators*, 74, 321-333 .
- Doll, Petra, M€uller Schmied, Hannes (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*, (50)7, 5698-5720
- Feng, K., Siu, Y. L., Guan, D., & Hubacek, K. (2012). "Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach", *Applied Geography*, 32(2), 691-701.
- Hoekstra, A.Y and Hung, P.Q. (2002). "Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade", *Value of Water Research Report Series No.11*, Delft, The Netherlands: IHE.
- Hoekstra A. Y., Chapagain A. K., Aldaya M. M., and Mekonnen M. M. (2009). "Water Footprint Manual". *Water Footprint Network Enschede*, Netherlands.
- Lenzen, Manfred, Foran, Barney (2001). " An input-output analysis of Australian water usage", *Water Policy*, 3(4), 321-340.
- Madani, K. (2014). "Water Management in Iran: what is causing the looming crisis?" *Journal of Environmental Studies and Sciences* 4(4), 315-328.
- Mohan, G., Chapagain, S., Fukushi, K., Paping, S., Sudarma, I. M., Rimba, A. B., & Osawa, T. (2021). "An extended Input-Output framework for evaluating industrial sectors and provincial-level water consumption in Indonesia". *Water Resources and Industry*, 25, 1-20.
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*, Cambridge University Press.
- Wang, Y., Xiao, H. L., & Lu, M. F. (2009). "Analysis of water consumption using a regional input-output model: model development and application to Zhangye City, Northwestern China", *Journal of Arid Environments*, 73(10), 894-900.

Zimmer, D. and Renault, D. (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 Series*, No. 12, 93-109.

Zhao, X., Chen, B., & Yang, Z. F. (2009). "National water footprint in an input-output framework- a case study of China 2002", *Ecological Modelling*, 220(2), 245-253.

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

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

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