2020, Vol.6, No.3, Pages 11 to 18
Journal of Water and Sustainable Development

سال ششم، شماره ۳، ۱۳۹۸، صفحات ۱۱ تا ۱۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Measurement of Water Footprint and Virtual Water Trade in the Economic Sectors of Yazd Province uUsing the Input-Output Approach

Z. Nasrollahi[1], M. Zarei[2*], S. Rayga[3]

1,2,3- Associate Professor, Masters, M.A. Student, Economics, Yazd University, Yazd, Iran.

*(Corresponding Author Email: mehr.zarei114@gmail.com)

Received: 03-09-2018
Accepted: 15-07-2019

سنجش ردپای آب و تجارت آب مجازی در بخش‌های اقتصادی استان یزد با استفاده از رویکرد داده-ستانده

زهرا نصراللهی[1]، مهران زارعی[2*]، سمیرا رایگا[3]

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشجوی کارشناسی‌ارشد اقتصاد، دانشگاه یزد.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: mehr.zarei114@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۴

Abstract

Nowadays, researchers emphasise that the solution for the water crisis is the demand-side management rather than increasing the water supply. Accordingly, in recent years, concepts of virtual water and water footprint have been introduced which are highly regarded by researchers and policymakers. Many believe that the idea of importing virtual water can be considered by policymakers as a solution for the water shortage problem. The aim of this study is to measure the virtual water trade (imports and exports) and the water footprint in the various economic sectors of Yazd province. For this purpose, the input-output model (table of 2011) has been used. The results show that the total water footprint of Yazd province in 2011 was approximately 1538.8 mm3, where 50% and 65.3% of this is for external (outside of the province) and agriculture sector, respectively. In 2011, Yazd province also imported and exported approximately 782.2 m3 and 442.7 m3 virtual water, respectively. Therefore, the net level of virtual water import of Yazd province is approximately 339.7 m3. The sectors of "food products, beverages, and tobacco" and "mining" are the biggest net virtual water importers and exporters in this province, respectively.

Keywords: Water Footprint, Virtual Water, Yazd Province, Economic Sectors.

چکیده

امروزه محققان تاکید دارند راهکار حل مساله کمبود آب، افزایش عرضه نمی‌باشد بلکه مدیریت تقاضا است. در سال‌های اخیر دو مفهوم آب مجازی و ردپای آب مطرح و به شدت مورد توجه محققان و سیاست‌گذاران حوزه آب قرار گرفته است. بسیاری بر این اعتقاد هستند که ایده واردات آب مجازی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای حل مساله کم‌آبی مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گیرد. براین‌اساس، هدف پژوهش حاضر سنجش تجارت (واردات و صادرات) آب مجازی و میزان ردپای آب در بخش‌های اقتصادی استان یزد است. برای این کار از مدل داده-ستانده (جدول سال ۱۳۹۰) استفاده شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد کل ردپای آب استان یزد در سال ۱۳۹۰ حدود ۱۵۳۸/۸ میلیون‌مترمکعب بوده که حدود نیمی از آن خارجی (خارج از استان) است و ۶۵/۳ درصد از آن مربوط به بخش کشاورزی است. همچنین استان یزد در این سال حدود ۷۸۲/۴ میلیون‌مترمکعب واردات و ۴۴۲/۷ میلیون‌مترمکعب صادرات آب مجازی داشته است، بنابراین خالص واردات آب مجازی این استان حدود ۳۳۹/۷ میلیون‌مترمکعب است. بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» بزرگترین واردکننده خالص و بخش «معدن» بزرگترین صادرکننده خالص آب مجازی این استان هستند.

واژه‌های کلیدی: ردپای آب، آب مجازی، استان یزد، بخش‌های اقتصادی.

DOI: 10.22067/jwsd.v6i3.75122

مقدمه

آب منبع حیاتی برای هر پدیده زیستی و همچنین نهاده ضروری برای تولید هر محصول اقتصادی است، به‌طوری‌که تولید بخش‌های اقتصادی بدون وجود این منبع امکان‌پذیر نخواهد بود. افزایش شدید تقاضا در کنار عرضه نسبتاً ثابت این منابع طی چند دهه گذشته تعادل این منبع طبیعی را برهم زده و باعث ایجاد مسئله‌ای جهانی به نام کمبود آب شده است. در قرن بیستم میلادی مصرف جهانی آب شیرین حدود شش برابر افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود، کمبود آب به یکی از بزرگترین و جهان شمول‌ترین مسائل جامعه جهانی در قرن ۲۱ تبدیل شود (Duarte و Yang، ۲۰۱۱). کشور ایران با قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهانی، با کمبود شدید منابع آب مواجه است. به‌طوری‌که یکی از عوامل اصلی محدودکننده توسعه اقتصادی کشور در آینده کمبود منابع آب خواهد بود.

کشور ایران باتوجه‌به شرایط اقلیمی، از گذشته با کمبود عرضه منابع آب مواجه بوده است. از طرف دیگر، طی چند دهه گذشته عواملی نظیر رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی و توسعه کشاورزی افزایش شدید تقاضا را به‌همراه داشته و شرایط آبی کشور را با چالش همراه ساخته است. براین‌اساس، مدیریت صحیح این منبع کمیاب ضرورت می‌یابد. بنابراین روی‌آوردن به مفاهیم و روش‌های نوین در زمینه مدیریت منابع آب برای مقابله با کمبود آب در ایران، امری ضروری می‌باشد. مفاهیم «تجارت آب مجازی»[1] و «ردپای آب»[2] دو مورد از جدیدترین مفاهیمی است که در این زمینه مطرح شده و به شدت مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار گرفته است. Allan (۱۹۹۳) نخستین بار مفهوم آب مجازی را در سال ۱۹۹۳ معرفی و به حجم آبی که در مراحل مختلف فرآیند تولید یک محصول مصرف می‌شود، اشاره کرد (Zhao و همکاران، ۲۰۰۹). در این مقاله واردات آب مجازی به‌عنوان یك راه‌حل راهبردی برای مساله کم‌آبی در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا مطرح شده است (Chapagain و Hoekstra، ۲۰۰۴). از آنجایی‌که برای تولید محصولات اقتصادی به‌ویژه محصولات کشاورزی مقادیر زیادی آب مصرف می‌شود، کشورهای کم‌آبی چون ایران می‌توانند با وارد کردن محصولات آب‌بر (به‌جای تولید آن‌ها در داخل) مقادیر زیادی از ذخایر آبی خود را ذخیره کنند. به‌عنوان مثال بر اساس برآوردهای موجود، برای تولید هر کیلوگرم مواد غذایی به‌طور متوسط حدود ۱۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود (Mubako و همکاران، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، وارد کردن مواد غذایی نسبت به واردات مستقیم آب بسیار کم‌هزینه‌تر بوده و تکنولوژی پایین‌تری برای آن مورد نیاز است. بر اساس رویکرد واردات آب مجازی و در راستای مقابله با کمبود آب در کشورهای خشک، واردات محصولات آب‌بری نظیر مواد غذایی (واردات آب مجازی)، نسبت به واردات مستقیم آب بسیار کارآمدتر خواهد بود. بنابراین کشورها یا مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند باید به تولید محصولات با محتوای آب مجازی کمتر و واردات محصولات با آب مجازی بیشتر بپردازند.

Hoekstra و Hung (۲۰۰۲) نخستین‌بار مفهوم ردپای آب که ارتباط نزدیکی با آب مجازی دارد را معرفی نمودند. ردپای آب عموما جهت تعیین میزان آب مورد نیاز برای فراهم‌سازی تقاضای نهایی یک منطقه خاص به‌کار برده می‌شود. به‌طورکلی ردپای آب به‌عنوان «کل حجم آب شیرین استفاده شده برای تولید کالاها و خدمات مصرف شده توسط ساکنان یک کشور» تعریف می‌شود (Hoekstra و Chapagain، ۲۰۰۷). ردپای آب نشان‌دهنده میزان آب استفاده شده برای تامین مصرف مردم است. همه محصولات مصرف شده توسط مردم یک کشور در همان کشور تولید نمی‌شود، بنابراین ردپای آب شامل دو قسمت ردپای آب داخلی (استفاده از منابع آب داخلی) و ردپای آب خارجی (استفاده از منابع آب خارجی) می‌شود. همچنین در یک تقسیم‌بندی دیگر ردپای آب شامل ردپای آب آبی، سبز و خاکستری است. ردپای آب آبی مربوط به منابع جهانی آب آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) است، ردپای آب سبز با بارش ذخیره شده در خاك به‌عنوان رطوبت خاك در ارتباط است و ردپای آب خاکستری به حجم آبی اشاره دارد که به واسطه تولید کالا در بخش‌های مختلف کشور آلوده می‌شود.

باتوجه‌به اهمیت مفاهیم تجارت آب مجازی و ردپای آب، در پژوهش حاضر این دو شاخص در سطح بخش‌های اقتصادی استان یزد به‌عنوان یکی از خشک‌ترین استان‌های کشور برآورد شدند. لازم به ذکر است در این مقاله فقط به ردپای آب آبی پرداخته شده و در آن ردپای آب سبز (مربوط به آب بارندگی) و ردپای آب خاکستری (مربوط به آلایندگی آب) بررسی نشده است. به‌طورکلی برای محاسبه ردپای آب دو رویکرد پایین به بالا[3] و بالا به پایین[4] وجود دارد (Feng و همکاران، ۲۰۱۱). در رویکردهای پایین به بالا برای محاسبه ردپای آب یک بخش (یا محصول)، تمامی زنجیره تامین در نظر گرفته نمی‌شود و به اصطلاح خطای برش وجود دارد. به‌عنوان مثال برای تولید مقدار مشخصی پوشاک، نیاز به مواد اولیه مختلف از جمله محصولات صنعت نساجی است. تولید این مواد اولیه نساجی نیز نیازمند کالاهای واسطه‌ای مختلف از جمله محصولات دامداری است. برای تولید و پرورش دام، رشد محصولات گیاهی و کشاورزی ضروری است. در مراحل مختلف تولید محصولات کشاورزی از ماشین‌آلات صنعتی استفاده می‌شود که برای تولید این ماشین‌آلات کالاهای واسطه‌ای مختلف از جمله فلزات اساسی مورد نیاز است. برای تولید این مواد اولیه از مواد اولیه دیگری استفاده می‌شود، به‌طوری‌که این زنجیره تا بی‌نهایت ادامه دارد. در تمامی حلقه‌های این زنجیره مقادیر مختلفی آب استفاده می‌شود (برای تولید محصولات موجود در آن حلقه). رویکردهای پایین به بالا قادر به ردیابی و احتساب آب موجود در همه حلقه‌های این زنجیره نیستند و بخشی از آب مصرف شده در حلقه‌های زنجیره تامین محصول نادیده گرفته می‌شود. درحالی‌که در رویکردهای بالا

به پایین از جمله مدل داده-ستانده، برای محاسبه ردپای آب، تمامی حلقه‌های زنجیره تامین یک محصول در نظر گرفته می‌شود. بنابراین برای دستیابی به اهداف مورد نظر در این پژوهش از مدل داده-ستانده به‌عنوان یک رویکرد بالا به پایین استفاده شده است.

مروری بر برخی سوابق پژوهش

همان‌گونه که اشاره شد مفاهیم آب مجازی و ردپای آب، به‌ترتیب از سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۲ وارد ادبیات حوزه آب شده است. بنابراین مطالعات مرتبط با این مفاهیم سابقه چندان طولانی ندارند. با این وجود تعداد مطالعات این حوزه به شدت رو به افزایش بوده و پژوهشگران زیادی با رویکردهای مختلف به بررسی این مفاهیم در کشورهای مختلف پرداخته‌اند. در ادامه به چند مورد از این مطالعات اشاره شده است.

Chapagain و Hoekstra (۲۰۰۴) میزان تجارت آب مجازی و ردپای آب ۱۸۱ کشور مختلف طی دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۷ را برآورد کردند و کل حجم جریان آب مجازی مربوط به تجارت بین‌المللی کالاها را ۱۶۲۵ میلیارد متر مکعب در سال و ۸۰ درصد آن را مربوط به تجارت کالاهای کشاورزی عنوان کردند. کل ردپای آب جهانی معادل ۷۴۵۰ میلیارد متر مکعب در سال و ۱۲۴۰ متر مکعب به ازای هر نفر بوده است. کشورهای با درآمد ناخالص بالا به‌طور نسبی ردپای آب سرانه بالاتری دارند که اغلب ناشی از مصرف بالای گوشت و محصولات صنعتی است. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند متوسط ردپای آب هر ایرانی معادل ۱۶۲۴ متر مکعب در سال بوده که بیشتر از متوسط جهانی است و حدود ۹۴ درصد آن مربوط به مصرف کالاهای کشاورزی است. طی این دوره کشور ایران به‌طور متوسط، سالانه ۱۴/۶۳ میلیارد متر مکعب واردات خالص (واردات منهای صادرات) آب مجازی داشته که نزدیک به ۱۰۰ درصد آن مربوط به واردات کالاهای کشاورزی است.

Zhao و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از جدول داده-ستانده مفهوم رد پای آب را در بخش‌های اقتصادی کشور چین ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد سرانه ردپای آب ملی چین در سال ۲۰۰۲ معادل ۳۸۱ متر مکعب به ازای هر نفر بوده است. بر اساس این نتایج، چین در سال مورد بررسی حدود ۲۳۷۳۳ میلیون متر مکعب خالص صادرات آب مجازی داشته است.

Zhang و Anadon (۲۰۱۴) ساختار تجارت آب مجازی و ردپای آب در استان‌های مختلف کشور چین را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد در سال ۲۰۰۷ کل حجم استخراج آب مجازی و مصرف آب مجازی نهفته در تجارت میان استان‌های چین به‌ترتیب حدود ۱۸۴ و ۱۰۱ میلیارد متر مکعب بوده است.

Zhang و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل داده-ستانده چندمنطقه‌ای مصرف و تبادل آب را در صنایع و مناطق مختلف کشور چین از منظر تقاضا بررسی کردند و نشان دادند کل مصرف مستقیم آب توسط صنایع چین در سال ۲۰۰۷ حدود ۵۹/۳ میلیارد متر مکعب بوده و صنعت «تولید و عرضه برق، گاز و آب» نسبت به سایر صنایع بیشترین سهم را داشته است. در بین ۳۰ منطقه که بررسی شدند، ۱۵ منطقه صادر کننده آب مجازی هستند و جیانگسو[5] با صادرات ۳۸۴۶ میلیون متر مکعب بزرگ‌ترین صادرکننده آب مجازی بین‌منطقه‌ای است. در مقابل ۱۵ منطقه دیگر وارد کننده آب مجازی هستند، گوانگدونگ[6] با واردات ۲۴۱۲ میلیون متر مکعب بزرگ‌ترین وارد کننده آب مجازی است. محققان معتقدند تعدیلات صنعتی برای محدود کردن تولید صنایع با آب‌بری بالا در مناطق کم‌آب، می‌تواند باعث کاهش تقاضای آب در این مناطق شود. همچنین می‌توان از طریق تجارت بین‌منطقه‌ای و جریان یافتن آب مجازی از مناطق پرآب به مناطق کم‌آب، ناهماهنگی بین توزیع مکانی منابع آب و توزیع جمعیت و فعالیت‌های صنعتی را از بین برد و از این طریق فشار بر منابع آب داخلی را کاهش داد.

تفضلی (۱۳۹۲) اولین مطالعه داخلی در زمینه سنجش ردپای آب با رویکرد تعادل عمومی (بالا به پایین) را انجام داد، که در آن با استفاده از جدول داده-ستانده سال ۱۳۸۵ ردپای آب کشور ایران به تفکیک بخش‌های اقتصادی محاسبه شد. نتایج این محاسبات نشان می‌دهد کل ردپای آب ایران در سال ۱۳۸۵ حدود ۷۰۹۴۷ میلیون متر مکعب بوده که حدود ۲۳ درصد آن خارجی است. در این سال کشور ایران به‌طور خالص صادرکننده ۳۳۴۰ میلیون متر مکعب آب مجازی بوده است.Banouei و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل داده-ستانده ردپای آب ملی کشور ایران، برخی شاخص‌های مرتبط به آن را در سال ۱۳۸۵ برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد سرانه ردپای آب ملی در ایران به ازای هرنفر حدود ۱۴۳۳ متر مکعب است که نسبت به متوسط جهانی رقم بالایی است. همچنین آن‌ها نشان دادند کشور ایران یک صادرکننده خالص آب مجازی با حجم حدود ۱۲۶۲۷ میلیون متر مکعب است. صادقی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM) به مطالعه اثرات مصرف واسطه‌ای بخش‌های اقتصادی بر ردپای آب در ایران پرداختند. یافته‌های این پژوهش کل ردپای آب کشور ایران در سال ۱۳۹۰ را ۹۷/۷ میلیارد متر مکعب نشان داد که ۸۸ درصد آن داخلی و ۱۲ درصد دیگر وارداتی است. تهامی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) وضعیت آب مجازی در تجارت محصولات صنعتی ایران با شرکای عمده تجاری را تحلیل کردند و عنوان کردند روند خالص صادرات آب مجازی وضعیت مطلوبی را نشان نمی‌دهد. به‌طوری‌که کشور ایران از وارد کننده خالص آب مجازی در سال ۱۳۹۰ (با حجم ۱۱۲ میلیون متر مکعب) به صادرکننده خالص آب مجازی (با حجم ۱۱۵ میلیون متر مکعب) در سال ۱۳۹۳ تبدیل شده است. بیشترین حجم صادرات و واردات آب مجازی به‌ترتیب مربوط به کشورهای امارات متحده عربی و چین به‌ترتیب با ۱۱۹ و ۹۹ میلیون متر مکعب بوده است.

روش پژوهش و داده‌ها

داده-ستانده، مدلی تحلیلی است که روابط بین بخشی فعالیت‌های اقتصادی را به شکل تفصیلی و در قالب یک جدول به تصویر می‌کشد. در جدول (۱) چارچوب ساده یک مدل داده-ستانده ارائه شده است. ناحیه (۱) این جدول بیانگر ماتریس مبادلات بین بخشی است. سطرهای این ماتریس نشان می‌دهد تولید هر بخش اقتصادی چگونه بین بخش‌های دیگر توزیع می‌شود (عرضه)، ستون‌های آن نشان می‌دهد هر بخش اقتصادی برای تولید محصولاتش چه مقدار از محصولات بخش‌های دیگر را به‌عنوان نهاده مصرف کرده است (تقاضا). باتوجه‌به بیان ماتریسی، هر رقم در سطر، رقمی در ستون است، در نتیجه تولید هر بخش نهاده‌ای برای بخش دیگر به حساب می‌آید (جهانگرد، ۱۳۹۳). ناحیه (۲) بردار تقاضای نهایی خالص است و مقداری از ستانده هر بخش که به‌عنوان کالای نهایی به مصرف می‌رسد را نشان می‌دهد. عناصر این بردار شامل مصرف نهایی خانوار، مصرف نهایی دولت، تشکیل سرمایه ناخالص و خالص صادرات (صادرات منهای واردات) است. ناحیه (۳) میزان عوامل تولید اولیه (سرمایه و نیروی کار) به‌کار گرفته شده در هر بخش را نشان می‌دهد که می‌توان آن را نمایانگر ارزش افزوده قلمداد کرد.

جدول ۱- چارچوب ساده جدول داده-ستانده (جهانگرد-۱۳۹۳)

	رشته فعالیت	تقاضای نهایی خالص	ستانده کل
رشته فعالیت	(ناحیه ۱) x_{ij}	(ناحیه۲) y_j	x_i
ارزش افزوده	(ناحیه ۳) v_{ij}		
نهاده (داده)	x_j		
کل			

رابطه اساسی مدل داده-ستانده و فرم ماتریسی آن به شکل رابطه (۱) نمایش داده می‌شود:

$$x_i = \sum_j x_{ij} + y_i = \sum_j a_{ij} x_j + y_i, \qquad a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \qquad (۱)$$

در این رابطه، x_{ij} نشان‌دهنده ارزش کل نهاده‌ای است که بخش i به بخش j واگذار می‌کند (ناحیه ۱ جدول) و x_j کل تولیدات بخش j است. عنصر a_{ij} نشان می‌دهد برای تولید یک واحد ستانده در بخش j چقدر از نهاده بخش i نیاز است. y_i نیز تقاضای نهایی بخش iام است (ناحیه ۲ جدول). فرم ماتریسی این رابطه به‌صورت رابطه (۲) نوشته می‌شود:

$$X = AX + Y \qquad (۲)$$

که در آن X، بردار روابط بین‌بخشی و A ماتریس ضرایب فنی نامیده می‌شوند. Y نیز نشان‌دهنده بردار تقاضای نهایی بخش‌های اقتصادی است. با حل ماتریسی رابطه (۲)، رابطه (۳) به‌دست می‌آید:

$$X = (I - A)^{-1} Y \qquad (۳)$$

که در آن، I ماتریس همانی است و $(I - A)^{-1}$ ماتریس معکوس لئونتیف نامیده می‌شود. عنصر l_{ij} از این ماتریس نشان می‌دهد برای افزایش یک واحد پولی در تقاضای نهایی بخش j، چقدر از نهاده i به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم مصرف می‌شود[۷].

جهت دستیابی به اهداف پژوهش، لازم است جدول داده-ستانده داخلی (بدون واردات واسطه‌ای) استان یزد به روش قابل اعتمادی تهیه شود. برای این منظور از روش سهم مکانی خاص صنعتی فلگ[۸] (SFLQ) استفاده شده و جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۰ استان یزد تهیه شد. این جدول شامل ۲۰ بخش اقتصادی به شرح جدول (۲) است[۹].

مرحله اول محاسبات این پژوهش، سنجش آب‌بری مستقیم هر بخش اقتصادی است. این کار با استفاده از رابطه (۴) و از تقسیم کل حجم آب مصرفی به ستانده (محصول) آن بخش به‌دست می‌آید:

$$w_j^d = \frac{w_j}{x_j} \qquad (۴)$$

که در آن، w_j و x_j به‌ترتیب کل مصرف آب و ستانده بخش jام طی دوره بررسی را نشان می‌دهند. W_{jd} آب‌بری مستقیم بخش jام نامیده می‌شود و نشان‌دهنده مقدار آبی است که بخش jام به‌منظور یک واحد پولی افزایش در ستانده خود به‌طور مستقیم مصرف می‌کند. مرحله بعدی محاسبه آب‌بری کل (مستقیم و غیرمستقیم) است. به‌عبارت دیگر، در این مرحله همه آب مصرف شده در تمامی حلقه‌های زنجیره تامین یک محصول محاسبه می‌شود. این شاخص از طریق رابطه (۵) به‌دست می‌آید:

$$w_j^t = \sum_{i=1}^{n} w_i^d \times l_{ij} \qquad (۵)$$

که در آن، l_{ij} عناصر ماتریس معکوس لئونتیف در جدول داده-ستانده استان است. w_j^t آب‌بری کل (مستقیم و غیرمستقیم) هر بخش را نشان می‌دهد. این شاخص نشان می‌دهد برای ایجاد یک واحد تقاضای نهایی در بخش jام چه میزان آب به شکل مستقیم و غیرمستقیم (آب موجود در حلقه‌های زنجیره تامین محصولات) مصرف می‌شود. آب‌بری غیرمستقیم از تفاوت آب‌بری کل و مستقیم به‌دست می‌آید.

پس از محاسبه آب‌بری غیرمستقیم، ردپای آب هر بخش قابل محاسبه خواهد بود. این شاخص شامل دو بخش داخلی و خارجی است. ردپای آب داخلی نشان می‌دهد برای تولید محصولات مصرفی شهروندان استان یزد، چه مقدار از منابع آبی داخلی این استان مصرف خواهد شد. ردپای آب خارجی نشان می‌هد برای تولید این محصولات چه مقدار از منابع آب خارجی مصرف خواهد شد. مطابق روش ارائه شده توسط Zhao و همکاران (۲۰۰۹)، برای محاسبه ردپای آب داخلی از رابطه (۶) استفاده می‌شود:

$$T=[t_j], \qquad t_j = w_j^t \times f_j \qquad (۶)$$

در این رابطه f_j نشان‌دهنده بخشی از تقاضای نهایی بخش j است که در داخل استان مصرف می‌شود. t_j ردپای آب داخلی بخش jام است. ردپای آب خارجی مطابق روابط زیر به دو قسمت واسطه‌ای و نهایی تقسیم می‌شود:

$$ENWF = S^f + S^{in} \qquad (۷)$$

$$S^f=[s_j^f] \qquad s_j^f = w_j^t \times m_j^f \qquad (۸)$$

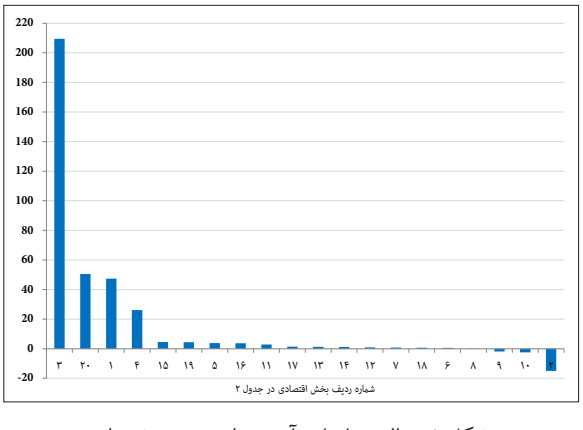
$$S^{in}=[s_j^{in}] \qquad s_j^{in} = \left(\sum_{i=1}^{n} w_i^t \times m_j\right) \times v_j \qquad (۹)$$

در روابط فوق، S_j^f حجم آب مجازی است که مستقیما برای تامین مصارف نهایی داخلی وارد می‌شود. S_j^{in} واردات واسطه‌ای آب مجازی، m_j^f ارزش واردات نهایی بخش j و m_{ij} ارزش محصولات وارداتی بخش iام است که به‌عنوان نهاده واسطه‌ای در بخش j استفاده می‌شود. عنصر v_j نسبت تقاضای نهایی منهای صادرات بر کل تقاضای نهایی است و به‌عنوان ضریب تعدیل در رابطه (۹) وارد می‌شود.

نتایج پژوهش

نتایج به‌دست آمده از محاسبات پژوهش در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس این نتایج در سال ۱۳۹۰ کل مصرف آب در استان یزد برای تولید محصولات اقتصادی حدود ۱۱۹۹ میلیون متر مکعب بوده است. درحالی‌که کل ردپای آب استان یزد در این سال، حجمی حدود ۱۵۳۹ میلیون متر مکعب داشته است. به‌عبارت‌دیگر آب مورد نیاز برای مصرف شهروندان یزدی (ردپای آب) حدود ۲۰ درصد بیش از آب مورد نیاز برای تولیدات این استان است. بر اساس این نتایج، حدود نیمی از کل ردپای آب استان یزد (حدود ۵۰/۱ درصد) خارجی است و از منابع آبی خارج از استان تامین شده است. باتوجه‌به جمعیت استان در سال ۱۳۹۰ سرانه این شاخص در استان یزد ۱۴۳۲ متر مکعب به ازای هر نفر بوده است. سهم بخش کشاورزی از کل ردپای آب در استان یزد به حدود ۶۵/۳ درصد می‌رسد. پس از بخش «کشاورزی» بخش‌های «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» و «خدمات» با ۲۴/۴ درصد و ۴/۸ درصد بیشترین سهم از کل ردپای آب استان یزد را به خود اختصاص داده‌اند.

بخش «کشاورزی» استان در سال ۱۳۹۰ با صادرات ۳۵۵/۷ میلیون متر مکعب آب بزرگترین صادرکننده آب مجازی است. این بخش با واردات ۴۰۳/۱ میلیون متر مکعب، بزرگ‌ترین واردکننده آب مجازی به‌شمار می‌رود. اما اگر خالص صادرات (صادرات منهای واردات) و خالص واردات (واردات منهای صادرات) در نظر گرفته شود، بخش «معدن» با صادرات ۱۵/۱ میلیون متر مکعب آب بزرگترین صادرکننده خالص و بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» با واردات ۲۰۹/۵ میلیون متر مکعب بزرگ‌ترین واردکننده خالص آب مجازی استان در سال ۱۳۹۰ بوده‌اند. در کل بخش‌ها استان یزد در این سال با ورود ۳۳۹/۷ میلیون متر مکعب یک واردکننده خالص آب مجازی به شمار می‌آید. در شکل (۱) خالص واردات آب مجازی در بخش‌های مختلف استان یزد ارائه شده است.



شکل ۱- خالص واردات آب مجازی در بخش‌های اقتصادی استان یزد- ۱۳۹۰ (میلیون متر مکعب)

مجموع ردپای آب خارجی یک منطقه واردات آب مجازی آن را نشان می‌دهد. صادرات آب مجازی هر بخش با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$U=[u_j] \qquad u_j = w_j^t \times e_j \qquad (۱۰)$$

که در آن e_j ارزش کل صادرات محصولات و u_j حجم کل صادرات آب مجازی بخش jام را نشان می‌دهند. بنابراین خالص واردات آب مجازی (NVWI) برابر است با:

$$NVWI = (S^f + S^{in}) - U \qquad (۱۱)$$

لازم به ذکر است داده‌های مصرف آب بخش‌های اقتصادی استان یزد، از منابع مختلف آماری شامل سازمان جهاد کشاورزی استان یزد، نتایج طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی مرکز آمار ایران، نتایج طرح آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری مرکز آمار ایران و شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران گردآوری و در برخی از بخش‌ها تخمین زده شده است. همچنین ارزش صادرات و واردات بخش‌های اقتصادی استان، با درنظر گرفتن برخی مفروضات، به‌عنوان بخشی از ناحیه ۲ جدول داده-ستانده (ناحیه تقاضای نهایی) برآورد شده است[۱۰].

جدول ۲- نتایج محاسبات مربوط به تجارت آب مجازی و ردپای آب

ردیف	بخش	کل مصرف آب	کل ردپای آب	واردات آب مجازی	صادرات آب مجازی	خالص واردات آب مجازی	آب‌بری مستقیم	آب‌بری کل
		(میلیون متر مکعب)					(مترمکعب به میلیون ریال)	
۱	کشاورزی	۱۱۲۱/۴	۱۰۰۵/۴	۴۰۳/۱	۳۵۵/۷	۴۷/۳	۶۳/۵۷	۶۳/۸۹
۲	معدن	۱۴/۹	۱/۹	۰/۵	۱۵/۶	-۱۵/۱	۰/۹۲	۱/۰۶
۳	مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات	۸/۰	۳۷۵/۶	۲۶۲/۵	۵۸/۳	۲۰۹/۵	۱/۶۲	۳۴/۶۹
۴	ساخت منسوجات	۱/۷	۲۷/۹	۲۶/۶	۰/۵	۲۶/۱	۰/۴۲	۰/۴۸
۵	صنایع پوشاک، چرم و دباغی	۰/۱	۴/۰	۳/۸	۰/۱	۳/۸	۱/۴۲	۴/۱۵
۶	ساخت چوب و محصولات چوبی	۰/۱	۰/۷	۰/۶	۰/۱	۰/۵	۱/۰۴	۱/۴۳
۷	صنایع، کاغذ، مقوا، چاپ و انتشار	۰/۲	۱/۰	۰/۹	۰/۱	۰/۸	۰/۵۵	۰/۶۳
۸	صنایع شیمیایی، نفت، زغال و سوخت‌های هسته‌ای	۰/۹	۱/۰	۰/۹	۱/۵	-۰/۱	۰/۵۴	۰/۶۷
۹	ساخت محصولات از لاستیک و پلاستیک	۰/۸	۱/۰	۰/۷	۲/۹	-۱/۹	۰/۴۰	۱/۵۳
۱۰	سایر محصولات کانی غیرفلزی	۵/۰	۲/۴	۱/۵	۴/۰	-۲/۵	۰/۴۸	۰/۴۸
۱۱	ساخت فلزات اساسی	۱۱/۹	۱۴/۳	۸/۸	۶/۰	۲/۹	۰/۶۷	۰/۶۸
۱۲	محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین آلات و تجهیزات	۰/۹	۱/۸	۱/۲	۰/۳	۰/۹	۰/۶۸	۰/۷۰
۱۳	ساخت ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر	۱/۰	۲/۶	۲/۱	۱/۰	۱/۲	۰/۸۰	۱/۱۵
۱۴	ساخت دستگاه های برقی و ماشین آلات دفتری	۰/۳	۱/۹	۱/۳	۰/۳	۱/۱	۰/۱۳	۰/۳۲
۱۵	صنایع ارتباطی، پزشکی و سایر ابزار الکترونیکی	۰/۴	۴/۹	۴/۶	۰/۱	۴/۵	۳/۱۳	۳/۳۸
۱۶	ساخت تجهیزات حمل و نقل	۰/۳	۴/۰	۳/۸	۰/۱	۳/۷	۲/۲۱	۲/۶۸
۱۷	ساخت مبلمان، مصنوعات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر و بازیافت	۱/۲	۲/۶	۱/۸	۰/۳	۱/۴	۱/۴۴	۱/۴۶
۱۸	آب، برق و گاز	۵/۸	۶/۳	۰/۷	۰/۰	۰/۷	۰/۹۳	۰/۹۳
۱۹	ساختمان	۱/۶	۶/۲	۴/۵	۰/۰	۴/۵	۰/۱۴	۰/۱۶
۲۰	خدمات	۲۲/۹	۷۳/۴	۵۲/۷	۲/۳	۵۰/۵	۰/۳۷	۰/۳۸
-	کل	۱,۱۹۹/۱	۱,۵۳۸/۸	۷۸۲/۴	۴۴۷/۵	۳۳۹/۷		

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

امروزه پژوهشگران راهکار مقابله با مسئله کم‌آبی را نه رویکردهای افزایشی در عرضه بلکه در مدیریت تقاضا می‌دانند. بنابراین در راستای مقابله با مساله کمبود آب کشور، مدیریت صحیح منابع موجود آب امری حیاتی به‌نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر، استراتژی مبتنی بر مفهوم آب مجازی و تبادلات بین‌منطقه‌ای آب جهت مقابله با مساله کم‌آبی مطرح شده که به شدت مورد توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران مختلف قرار گرفته است. بر اساس این استراتژی، مناطق خشک اقلیمی می‌توانند با وارد کردن محصولات با آب‌بری بالا و تولید و صادرات محصولات با آب‌بری پایین، بخشی از مساله کمبود آب را برطرف کنند. همچنین از اوایل قرن حاضر میلادی رویکرد نوینی از مدیریت منابع آب در قالب مفهوم ردپای آب مطرح شده که مصرف آب را به میزان مصرف ساکنان یک منطقه بدون درنظر گرفتن منبع داخلی و خارجی مرتبط می‌کند. پژوهش حاضر باتوجه‌به رویکردهای فوق تجارت آب مجازی و ردپای آب را در بخش‌های اقتصادی استان یزد (به‌عنوان یکی از خشک‌ترین استان‌های کشور) برآورد کرده است.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد الگوی تجارت در استان یزد به‌طور قابل ملاحظه‌ای به نفع منابع آب داخلی این استان است. به‌عبارت دیگر این الگو باعث شده استان یزد در تجارت خارجی مقادیر زیادی واردات آب مجازی داشته باشد. بر اساس این نتایج، استان یزد در سال ۱۳۹۰ به‌طور خالص حجم آبی بالغ بر ۳۳۹/۷ میلیون متر مکعب به شکل مجازی وارد کرده است. یعنی این استان از طریق تجارت آب مجازی توانسته است حدود ۳۳۹/۷ میلیون متر مکعب از منابع آبی خود را ذخیره کند. این مقدار حدود ۷ برابر آبی است که توسط خانوارهای این استان در همان سال مصرف شده است. چنانچه تجارت استان یزد از الگوی دیگری استفاده می‌نمود و این مقدار آب وارد استان نمی‌شد، تامین آن از منابع داخلی فشار بسیار زیادی بر این منابع وارد می‌آورد. بنابراین به نظر می‌رسد سیاست واردات آب مجازی می‌تواند راهکاری امید بخش برای حل مساله کم‌آبی در ایران و به‌ویژه در استان یزد مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گیرد. بزرگ‌ترین صادرکننده آب مجازی استان یزد بخش «کشاورزی» بوده به‌طوری‌که کل حجم صادرات این بخش به حدود ۳۵۵/۷ میلیون متر مکعب می‌رسد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران یزد، به‌منظور حفظ منابع ارزشمند و کمیاب آب این استان باید تمرکز خود را بر روی محدود کردن بخش کشاورزی معطوف کنند. البته این موضوع باید با در نظر گرفتن مسائل دیگری همچون اشتغال و امنیت غذایی صورت گیرد.

لازم به ذکر است بخش «معدن» با صادرات ۱۵/۱ میلیون متر مکعب آب، بزرگترین صادرکننده خالص و بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» با واردات ۲۰۹/۵ میلیون متر مکعب بزرگ‌ترین واردکننده خالص آب مجازی استان در سال ۱۳۹۰ بوده‌اند.

کل ردپای آب استان یزد در سال ۱۳۹۰ حدود ۱۵۳۹ میلیون متر مکعب به‌دست آمده است. این شاخص باتوجه‌به جمعیت استان در سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد برای تامین کالاها و خدماتی که هر شهروند یزدی در یک سال مصرف می‌کند حدود ۱۴۳۲ متر مکعب آب نیاز است. درحالی‌که آب مورد نیاز برای تولید محصولات ایجاد شده در یزد حدود ۱۱۹۹ میلیون متر مکعب بوده است. به عبارت دیگر آب مورد نیاز برای تامین مصرف شهروندان یزدی حدود ۲۰ درصد بیشتر از آب مورد نیاز برای تولید محصولات ایجاد شده در این استان است. حدود نیمی از کل ردپای آب استان یزد از منابع آبی خارج از استان تامین می‌شود و فشاری بر منابع داخلی آب این استان وارد نمی‌آورد.

بااین‌وجود حدود ۹۳/۵ درصد از آب مصرف شده در سیستم اقتصادی استان یزد (کل مصرف مستقیم آب) به بخش «کشاورزی» اختصاص دارد، فقط حدود ۶۵/۳ درصد از کل ردپای آب استان به این بخش مربوط می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد با رویکرد ردپای آب، دیدگاه‌ها می‌تواند نسبت به آب‌بری بخش‌های اقتصادی تغییر کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در سیاست‌گذاری‌های آبی استان و در راستای مدیریت صحیح این منابع، به مفهوم ردپای آب توجه بیشتری شود و واردات آب مجازی به‌عنوان یک راهکار برای رهایی از کم‌آبی مورد توجه قرار گیرد.

در نهایت باتوجه‌به اینکه پژوهش و برنامه‌ریزی در هر حوزه‌ای از جمله موضوع بااهمیت کم‌آبی نیازمند وجود و در دسترس بودن داده‌های صحیح و به‌روز است، پیشنهاد می‌شود داده‌های مصرف آب در واحدهای مختلف اقتصادی استان‌های کشور با دقت گردآوری و در دسترس پژوهشگران قرار گیرد.

محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است که در استفاده از نتایج آن باید توجه ویژه شود. در ایران به دلیل محدودیت داده‌ها، برآورد جداول داده-ستانده استانی به‌ویژه در ناحیه اجزای تقاضای نهایی (مانند صادرات و واردات) با دشواری‌های زیادی روبه‌رو است. محدودیت دیگر مربوط به داده‌های مصرف آب است. هرچند در این پژوهش داده‌های مورد نظر از همه منابع آماری ممکن گردآوری شده است، اما باتوجه‌به محدودیت‌های موجود، این داده‌ها در بعضی بخش‌ها با درنظر گرفتن برخی مفروضات برآورد شده‌اند.

پی‌نوشت

1- Virtual Water Trade

2- Water Footprint

3- Bottom-Up Approaches

4- Top-Down Approaches

5- Jiangsu

6- Guangdong

۷- جهت کسب اطلاعات بیشتر در زمینه مدل داده-ستانده رجوع شود به Miller و Blair (۲۰۰۹) و جهانگرد (۱۳۹۳).

8- Industry-Specific Flegg Location Quotient

۹- برای کسب اطلاع بیشتر در زمینه روش‌های سهم مکانی از جمله روش SFLQ در منطقه‌ای سازی جداول داده-ستانده، به نصراللهی و زارعی (۱۳۹۶) رجوع شود.

۱۰- برای اطلاعات بیشتر در مورد چگونگی تخمین این داده‌ها به زارعی (۱۳۹۵) رجوع شود.

منابع

تفضلی، ح. ۱۳۹۲. سنجش ردپای آب در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران با استفاده از رویکرد داده-ستانده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد. دانشگاه علامه طباطبایی. ۱۳۹۲.

تهامی‌پور زرندی، م.، دشتبان فاروجی، س.، جواهردهی، س. ۱۳۹۶. ارزیابی تجارت محصولات صنعتی ایران با کشورهای مختلف از دیدگاه آب مجازی. نشریه علمی-پژوهشی اقتصاد و الگو سازی، ۸(۳۰): ۱۴۳-۱۸۷.

جهانگرد، ا. ۱۳۹۳. تحلیل‌های داده-ستانده: فناوری، برنامه‌ریزی و توسعه (با مقدمه‌ای از دکتر فیروز توفیق). تهران: نشر آماره، چاپ اول.

زارعی، م. ۱۳۹۵. سنجش و بررسی مصرف آب در بخش‌های اقتصادی ایران و استان یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری. دانشگاه یزد. ۱۳۹۵.

صادقی، س.ک.، کریمی تکانلو، ز.، متفکرآزاد، م.ع.، اصغرپور قورچی، ح. و اندایش، ی. ۱۳۹۳. سنجش ردپای آب بخش‌های اقتصادی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM). فصلنامه اقتصاد مقداری. ۱۱(۳): ۸۱-۱۱۱.

نصراللهی، ز. و زارعی، م. ۱۳۹۶. معرفی و ارزیابی روش سهم مکانی خاص صنعتی فلگ (SFLQ) در منطقه‌ای‌سازی جداول داده-ستانده ملی: مطالعه موردی استان یزد ۱۳۹۰. پژوهش‌های اقتصاد و توسعه منطقه‌ای. ۲۴(۱۳): ۱۱۲-۱۴۰.

Allan J.A. 1993. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. Priorities for water resources allocation and management, 13(4): 13-26.

Banouei A.A., Banouei J., Zakeri Z. and Momeni. M. 2015. Using Input-output Model to Measure National Water Footprint in Iran. Business Perspectives, 14(2): 75-87.

Chapagain A. K. and Hoekstra A.Y. 2004. Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series No. 16. Delft., The Netherlands: IHE.

Duarte R. and Yang H. 2011. Input–output and water: introduction to the special issue. Economic Systems Research, 23(4): 341-351.

Feng K., Chapagain A., Suh S., Pfister S. and Hubacek K. 2011. Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the water footprints of nations. Economic Systems Research, 23(4): 371-385.

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. and Chapagain A. K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water resources management, 21(1): 35-48.

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

Mubako S., Lahiri S.and Lant C. 2013. Input–output analysis of virtual water transfers: Case study of California and Illinois. Ecological Economics, 93: 230-238.

Zhang C and Anadon L. D. 2014. A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China. Ecological Economics, 100: 159-172.

Zhang B., Chen Z. M., Zeng L., Qiao H.and Chen B. 2016. Demand-driven water withdrawals by Chinese industry: a multi-regional input-output analysis. Frontiers of Earth Science, 10(1): 13-28.

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