تحلیل مصرف آب در اقتصاد ایران با یک رویکرد مبتنی‌بر مصرف (دیدگاه ردپای آب)

مهران زارعی* و زهرا نصراللهی**

تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۷/۱۰	تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۵/۳

امروزه مسئله کمبود آب به یکی از نگران‌کننده‌ترین مسائل پیش روی کشور ایران تبدیل شده است. ازآنجاکه حجم بسیار زیادی از منابع آبی کشور صرف تولید محصولات اقتصادی می‌شود، تحلیل چگونگی مصرف آب در بخش‌های مختلف اقتصادی، در جهت مدیریت صحیح این منابع امری ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات سال‌های اخیر نشان می‌دهند که در مباحث مربوط به رابطه بین محیط زیست (و به‌طور خاص آب) و اقتصاد، رویکردهای مبتنی‌بر مصرف می‌توانند دیدگاه روشن‌بینانه‌ای ارائه دهند. در این راستا هدف پژوهش حاضر، تحلیل مصرف آب در بخش‌های اقتصادی ایران با یک رویکرد مبتنی‌بر مصرف است. برای این منظور از شاخص ردپای آب و مدل داده ـ ستانده استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با رویکرد مبتنی‌بر مصرف، وضعیت مصرف آب در بسیاری از بخش‌های اقتصادی به‌طور چشمگیری نسبت به رویکردهای سنتی تغییر می‌کند. براساس شاخص ردپای آب، اگرچه بخش کشاورزی همچنان در رده اول مصرف آب قرار دارد، اما سهم آن از کل مصرف، از حدود ۹۱/۴ درصد در رویکردهای سنتی به کمتر از ۵۳ درصد می‌رسد. در طرف مقابل، بخش صنایع مواد غذایی قرار دارد که سهم آن از ۰/۷۶ درصد به حدود ۳۳/۶۸ درصد افزایش می‌یابد. سایر محاسبات نشان می‌دهد که سرانه ردپای آب هر ایرانی در سال ۱۳۹۰ حدود ۱۲۷۵ مترمکعب به ازای هر نفر بوده است. همچنین کشور ایران در این سال حدود ۸۱۱۵ میلیون مترمکعب خالص واردات آب مجازی داشته است.

کلیدواژه‌ها: رویکرد مبتنی‌بر مصرف؛ ردپای آب؛ مدل داده ـ ستانده؛ کشور ایران؛ بخش‌های اقتصادی

---

* دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)؛
Email: mehr.zarei114@gmail.com

** دانشیار دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد؛
Email: nasr@yazd.ac.ir

مقدمه

امروزه مسئله کمبود آب به یکی از بزرگ‌ترین و نگران‌کننده‌ترین مسائل پیش روی جامعه جهانی تبدیل شده است. گزارش‌هایی که هر ساله نهادهای معتبر بین‌المللی منتشر می‌کنند ابعاد مختلف این مسئله را به‌خوبی نمایان می‌سازند. به‌عنوان مثال در گزارش سال ۲۰۱۵ مجمع جهانی اقتصاد با عنوان «خطرات جهانی ۲۰۱۵»، بحران آب به‌عنوان بزرگ‌ترین خطر جهانی از منظر تأثیر شناخته شده است (مجمع جهانی اقتصاد،[1] ۲۰۱۵: ۹). همچنین براساس پیش‌بینی سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، در صورت ادامه روند فعلی، در سال ۲۰۵۰ بیش از ۴۲ درصد جمعیت جهان با تنش آبی شدید مواجه خواهند شد (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). این مسئله در مناطق خشک و نیمه‌خشک اقلیمی ازجمله ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است به‌طوری‌که به اعتقاد بسیاری از کارشناسان، براثر تغییرات اقلیمی، این مناطق در آینده خشک‌تر شده و با چالش‌های شدیدتری در حوزه آب مواجه خواهند شد.[2]

کشور ایران با قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، از مناطق کم‌باران دنیا به‌حساب می‌آید به‌طوری‌که میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۲۵۰ میلیمتر و تقریباً یک‌سوم متوسط جهانی است. ناهمگونی فضایی و زمانی بارش‌های باران عامل دیگری است که ایران را با شرایط نامساعد اقلیمی مواجه کرده است به‌طوری‌که حدود ۷۰ درصد از میزان بارندگی سالیانه کشور به ۲۵ درصد از سطح آن اختصاص دارد (ذاکری و مومنی، ۱۳۹۴: ۵). علاوه‌بر عرضه محدود و توزیع ناهمگون، طی چند دهه گذشته افزایش شهرنشینی و تغییر الگوی مصرف، رشد جمعیت، افزایش تولیدات اقتصادی و سیاست‌های مرتبط با امنیت غذایی در ایران، منجر به افزایش شدید تقاضا برای منابع آبی این کشور شده است به‌طوری‌که سرانه منابع آب شیرین تجدیدپذیر آن از حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۰۰ به حدود ۱۷۱۸ مترمکعب در سال ۱۳۹۰ رسیده است (ببران و هنربخش، ۱۳۸۷: ۱۹۸). براساس پیش‌بینی مؤسسه منابع جهانی،[3] تحت شرایط معمولی تجارت، کشور ایران در سال ۲۰۴۰ با تنش آبی بسیار بالا مواجه خواهد شد که از این لحاظ در بین ۱۶۱ کشور مورد بررسی در رتبه ۱۳ قرار خواهد گرفت.[4]

---

1. World Economic Forum
2. Okadera and et al., 2015: 149.
3. World Resources Institute (WRI)
4. Luo, Youang and Reig, 2015: 1-15.

در راستای مسئله موجود، طی سال‌های اخیر اقدامات بسیاری برای مقابله با مسئله کمبود آب در ایران انجام شده که بسیاری از آنها نیز به مرحله اجرا درآمده است. با نگاهی بر این اقدامات، مشاهده می‌شود که آنها عمدتاً در جهت گسترش ظرفیت آب در دسترس بوده‌اند بدون اینکه به طرف تقاضای آن توجه شده باشد. این در حالی است که با توجه به پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و تبعات محیط زیستی رویکردهای عرضه ـ محور، امروزه به‌منظور دسترسی پایدار به منابع آب، مدیریت طرف تقاضا، به‌عنوان یک رویکرد جایگزین به‌جای افزایش عرضه، مورد توجه قرار گرفته است (سازمان ملل،[1] ۲۰۰۶: ۱۵).

با توجه به اینکه حجم عمده تقاضای آب در ایران مربوط به سیستم اقتصادی بوده و هرساله مقادیر بسیار زیادی از منابع آبی کشور صرف تولید محصولات اقتصادی (شامل کشاورزی، صنعت و خدمات) می‌شود، بررسی چگونگی مصرف این حجم عظیم از منابع آبی، می‌تواند در راستای مدیریت صحیح این منابع بسیار ارزشمند باشد. در این راستا، سؤال‌هایی از قبیل اینکه: ۱. این حجم آب در چه بخش‌هایی مصرف می‌شود؟، ۲. کدام بخش‌ها به ازای هر ریال محصول تولیدی خود آب بیشتری مصرف می کنند (آب‌بری بالاتری دارند)؟، ۳. مصرف غیرمستقیم آب در این بخش‌ها چگونه است؟، ۴. برای تولید محصولات مصرفی هر بخش چقدر آب استفاده می‌شود (ردپای آب[2] مربوط به هر بخش)؟، ۵. چه میزان از این آب به شکل مجازی، از مناطق دیگر وارد شده است (واردات آب مجازی)؟، ۶. چقدر از آب مصرفی کشور برای تولید کالاهای صادراتی استفاده شده است (صادرات آب مجازی)؟، ۷. کدام بخش‌های اقتصادی واردکننده (صادرکننده) عمده آب مجازی هستند؟ سؤال‌هایی است که پاسخ به آنها می‌تواند کمک ارزشمندی به سیاستگذاران کشور در زمینه مدیریت صحیح منابع محدود آب کشور باشد. پژوهش حاضر به‌دنبال پاسخ به سؤال‌های فوق با یک رویکرد مبتنی‌بر مصرف[3] و با اتکا بر مفهوم «ردپای آب» به تحلیل مصرف آب در سیستم اقتصادی ایران پرداخته است. برای این منظور از مدل داده ـ ستانده استفاده شده است.

پس از بیان مقدمه، مطالب این پژوهش در پنج قسمت سازماندهی شده است. اول،

---

1. United Nations
2. Water Footprint
3. Consumption-Based Approach

ادبیات موضوع و مبانی نظری پژوهش تشریح شده است. دوم به مرور برخی مطالعات پیشین پرداخته شده و در قسمت سوم، روش و داده‌های پژوهش تشریح شده‌اند. چهارم، نتایج مطالعه را ارائه داده و در آن سعی شده است، به سؤال‌های مطرح شده در سطرهای پیشین پاسخ روشنی داده شود. در نهایت به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از یافته‌های پژوهش پرداخته است.

۱. ادبیات موضوع و مبانی نظری

۱-۱. رابطه بین مصرف آب و سیستم اقتصادی

به‌طورکلی، سابقه مطالعاتی که سیستم اقتصادی را به سیستم طبیعی و محیط زیست ربط می‌دهند، به دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد.[1] شدت گرفتن تبعات محیط زیستی فعالیت‌های اقتصادی در این دهه، کارشناسان اقتصادی را متقاعد ساخت که لازم است در سیستم حساب‌های ملی، به نوعی مسائل محیط زیستی نیز وارد شود. پیشنهاد مطالعات اولیه در این زمینه به طراحی سیستمی موسوم به سیستم یکپارچه حساب‌های محیط زیستی و اقتصادی[2] منجر شد.[3] با وجود همه مزایای سیستم یکپارچه حساب‌های محیط زیستی و اقتصادی، تحلیل‌های آن تنها آثار مستقیم فعالیت‌های اقتصادی بر محیط زیست را درنظر گرفته و آثار غیرمستقیم این ارتباط را مورد توجه قرار نمی‌دهد. این در حالی است که با توجه به روابط متقابل بین بخش‌های مختلف، فعالیت‌های اقتصادی علاوه‌بر آثار مستقیم به شکل غیرمستقیم نیز محیط زیست و منابع طبیعی را متأثر می‌کند. مدل داده ـ ستانده با ارائه تصویر کاملی از روابط متقابل بین بخش‌های مختلف اقتصادی، امکان محاسبه آثار غیرمستقیم فعالیت‌های اقتصادی بر محیط زیست را به‌وجود آورده است. بر این اساس، با گسترش مدل‌های داده ـ ستانده برپایه داده‌های محیط زیستی، طی سال‌های گذشته مطالعات زیادی به بررسی تأثیر فعالیت‌های اقتصادی بر محیط زیست و منابع طبیعی انجام شده است.

در سال‌های اخیر به‌ویژه از نیمه دوم دهه گذشته میلادی (۲۰۱۰-۲۰۰۰)، تعداد

1. Vela´zquez, 2006: 227.
2. System of Integrated Environmental and Economic Accounts (SEEA)
3. Wang, Xiao and Lu, 2009: 894.

مطالعاتی که به‌طور خاص به بررسی رابطه آب و اقتصاد پرداخته‌اند شتاب قابل ملاحظه‌ای گرفته است.[1] مروری بر مطالعات موجود در این زمینه نشان می‌دهد که این مطالعات غالباً از جنبه تولید به مسئله آب توجه کرده‌اند. به‌عبارت‌دیگر این تحقیقات به بررسی ارتباط بین تولید اقتصادی و مصرف آب پرداخته‌اند. این در حالی است که تحقیقات اخیر نشان می‌دهند در بحث‌های مربوط به ارتباط بین رشد اقتصادی و محیط زیست، معیارهای مبتنی‌بر مصرف (نه تولید) دیدگاه روشنگرانه‌تری ارائه می‌دهند.[2] براساس این رویکرد، رفتار مصرفی به‌عنوان نقطه انتهایی فرایند تولید به کاهش منابع و تخریب محیط زیست منجر می‌شود.[3] درواقع، در یک دیدگاه سنتی مبتنی‌بر تولید، آثار فعالیت‌های اقتصادی بر محیط زیست و منابع طبیعی براساس موقعیت جغرافیایی منابع بررسی می‌شود، درحالی‌که در دیدگاه مبتنی‌بر مصرف، این آثار براساس مسئولیت مصرف‌کننده مورد تحلیل قرار می‌گیرد.[4] این نوع دیدگاه در مورد منابع آب، در قالب مفهوم «ردپای آب» مطرح شده و مبنای نظری محاسبات این پژوهش نیز بر این اساس قرار دارد.

۲-۱. ردپای آب در مقابل شاخص‌های سنتی مصرف آب

شاخص‌های سنتی که به‌منظور بیان وضعیت منابع آب و میزان کمبود آن در یک منطقه به‌کار می‌روند شامل مواردی ازجمله کل حجم و سرانه منابع آب تجدیدپذیر، درصد برداشت از این منابع در یک دوره خاص، آب مورد نیاز برای تولید کالای (کالاهای) خاص و سایر موارد مشابه می‌شود. این شاخص‌ها اگرچه می‌توانند نمایی کلی از وضعیت آب هر کشور را ارائه دهند اما اطلاعات چندانی در مورد نیاز حقیقی جمعیت آن کشور به منابع آب در اختیار نمی‌گذارند.[5] شاخص‌های مزبور عمدتاً بر میزان ذخایر آب داخلی یک کشور تأکید کرده و حجم آبی که به‌واسطه تجارت کالاها و خدمات بین یک کشور و سایر مناطق جهان مبادله می‌شود را نادیده می‌گیرند. این شیوه استفاده از منابع آب، به‌وسیله

1. Duarte and Yang, 2011: 345.
2. Bagliany, Bravo and Dalmazzone, 2008: 650.
3. Zhao, Chen and Yang, 2009: 245.
4. Bagliany, Bravo and Dalmazzone, 2008: 651.
5. Hoekstra and Chapagain, 2007: 35.

مفهومی به نام آب مجازی[1] بیان می‌شود. واژه آب مجازی که نخستین بار آلن[2] در اوایل دهه ۱۹۹۰ معرفی کرد، به حجم آبی اشاره دارد که در طول مراحل مختلف فرایند تولید یک کالا یا خدمت مصرف می‌شود.[3]

بسیاری از کالاهایی که ساکنان یک کشور مصرف می‌کنند در کشورهای دیگر تولید شده‌اند، بنابراین تقاضای حقیقی آب توسط ساکنان یک کشور ممکن است بسیار بالاتر از میزان برداشت از منابع آب داخلی آن کشور باشد. بر این اساس، در سال ۲۰۰۲ مفهوم جدیدی توسط هوکسترا و هانگ[4] معرفی کردند که استفاده از آب در یک سرزمین را به مصرف ساکنان آن سرزمین ارتباط می‌دهد (نصراللهی و زارعی، ۱۳۹۴: ۳۸۶). این مفهوم که به ردپای آب معروف است به‌عنوان «کل حجم آب شیرین مورد استفاده برای تولید محصولات مصرف شده توسط ساکنان یک کشور (یا هر ناحیه جغرافیایی دیگر)» تعریف می‌شود.[5]

با مروری بر ادبیات موجود در زمینه شاخص ردپای آب و تفاوت آن با شاخص‌های سنتی، به‌طورکلی می‌توان سه ایراد اساسی زیر را برای شاخص‌های سنتی برشمرد که مفهوم ردپای آب قادر است تا حد زیادی این ایرادها را برطرف کند:[6] ۱. این شاخص‌ها فقط به مصرف مستقیم آب توجه دارند درحالی‌که مصرف غیرمستقیم آب در بسیاری از بخش‌ها قابل توجه و حتی چندین برابر مصرف مستقیم آن است. ۲. در شاخص‌های سنتی، مصرف آب بخش‌های اقتصادی از دیدگاه تولید مورد سنجش قرار می‌گیرند درحالی‌که مطالعات اخیر نشان داده‌اند که رویکرد مبتنی‌بر مصرف می‌تواند دیدگاه روشن‌بینانه و مفیدی در این زمینه ارائه دهد. ۳. این شاخص‌ها عمدتاً بر میزان ذخایر داخلی آب یک کشور توجه کرده و به صادرات و واردات آب مجازی توجهی نمی‌کنند. در ادامه می‌توان تفاوت این رویکردها را در قالب یک مثال ساده، به‌صورت واضح توضیح داد.

---

1. Virtual Water
2. Allan
3. Hoekstra and Chapagain, 2007: 36.
4. Hoekstra and Hung
5. Hoekstra and Chapagain, 2007: 36.
۶. برای کسب اطلاعات بیشتر رک.: Hoekstra and et al., 2011؛ Hoekstra and Chapagain, 2007؛ Zhao, Chen and Yang, 2009.

مطابق جدول ۱، فرض می‌شود در یک اقتصاد بسته (بدون صادرات و واردات) تنها دو بخش A و B وجود دارد که مقدار ستانده هرکدام از آنها ۱۰۰ واحد است. همچنین فرض می‌شود که برای تولید محصولات این بخش‌ها ۱۰۰ لیتر آب استفاده می‌شود که ۷۰ لیتر آن در تولید کالای A و ۳۰ لیتر نیز برای تولید کالای بخش B مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین براساس شاخص‌های سنتی ارزیابی منابع و مصارف آب، بخش A با مصرف کردن ۷۰ درصد کل آب مصرفی، متهم است که بیشتر منابع آبی این اقتصاد فرضی را صرف تولیدات خود می‌کند. اگر این مصرف آب نسبت به مقدار ستانده تعدیل شود آب‌بری‌های مستقیم هر بخش به‌دست می‌آید که بازهم آب‌بری بخش A (۰/۷ لیتر به ازای هر واحد ستانده) بیش از دو برابر آب‌بری بخش B (۰/۳ لیتر به ازای یک واحد ستانده) است. بنابراین در صورت محدودیت منابع آب و یکسان بودن سایر شرایط، سیاست‌های مدیریت منابع آب، بر کاهش تولیدات بخش A متمرکز خواهند بود.

جدول ۱. روابط متقابل بین بخش‌های اقتصادی (جدول داده ـ ستانده) در یک اقتصاد فرضی

بخش	A	B	تقاضای نهایی	ستانده کل
A	۱۰	۸۰	۱۰	۱۰۰
B	۱۰	۱۰	۸۰	۱۰۰
ارزش افزوده	۸۰	۱۰		
ستانده کل	۱۰۰	۱۰۰		
مصرف آب	۷۰	۳۰		

چنانچه در این اقتصاد فرضی روابط متقابل بین بخش‌های A و B درنظر گرفته شود، نمای متفاوتی از مصرف آب در این دو بخش آشکار خواهد شد. بخش A برای تولید ۱۰۰ واحد ستانده خود، علاوه‌بر ۷۰ لیتر آب (مصرف مستقیم)، نیاز دارد که ۱۰ واحد از محصولات بخش B و ۱۰ واحد از محصولات خود را به‌عنوان نهاده مصرف کند که برای تولید آنها به‌ترتیب ۳ و ۷ لیتر آب مصرف شده است. بنابراین بخش A در این مرحله ۱۰ لیتر آب به شکل غیرمستقیم مصرف خواهد کرد. اما برای تولید ۱۰ واحد محصول A نیز لازم

است که یک واحد کالای A و یک واحد کالای B مصرف شود که درنتیجه بازهم ۰/۷ و ۰/۳ لیتر آب به شکل غیرمستقیم مصرف می‌شود. تولید ۱۰ واحد محصول B نیز نیاز به مصرف هشت واحد کالای A و یک واحد کالای B دارد که برای تولید آنها به‌ترتیب ۵/۶ و ۰/۳ لیتر آب استفاده می‌شود. بازهم برای تولید هشت و یک واحد از محصولات A و B، مقادیر دیگری نهاده و آب مصرف می‌شود که این زنجیره تا بی‌نهایت ادامه دارد. با درنظر گرفتن برخی مفروضات ساده‌کننده، مدل داده ـ ستانده قادر است تا آب نهفته در تمامی حلقه‌های این زنجیره را محاسبه کند.[۱] با احتساب این مصارف غیرمستقیم به‌وسیله مدل داده ـ ستانده، آب‌بری کل (مستقیم و غیرمستقیم) دو بخش A و B به‌ترتیب ۰/۹ و ۱/۱۴ لیتر به ازای هر واحد ستانده به‌دست می‌آید. بنابراین، مشاهده می‌شود که با درنظر گرفتن مصارف غیرمستقیم، این بخش B است که آب‌بری بالاتری نسبت به بخش دیگر دارد.

اگر یک گام جلوتر رفته و همین آب‌بری کل، از دیدگاه مصرف بررسی شود (رویکرد ردپای آب)، دیدگاه‌ها نسبت به مصرف آب در این بخش‌ها بازهم تغییر می‌کند. مطابق جدول ۱، از ۱۰۰ واحد ستانده بخش A تنها ۱۰ واحد آن برای تأمین مصارف نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بقیه به‌عنوان نهاده در سایر بخش‌ها (بخش B) مصرف می‌شود. با توجه به تعریف ردپای آب، تنها منابع آبی که برای تولید این ۱۰ واحد ستانده استفاده شده است، مربوط به بخش A بوده و بقیه آن را نباید به این بخش نسبت داد. اما در بخش B ۸۰ درصد تولیدات آن صرف تقاضای نهایی می‌شود. بر این اساس از ۱۰۰ لیتر آب استفاده شده در این اقتصاد، تنها حدود ۹ لیتر آن برای تولید کالاهای مصرفی بخش A استفاده می‌شود و ۹۱ لیتر آن مربوط به مصارف بخش B است.[۲] این نتایج در جدول ۲ خلاصه شده‌اند.

---

۱. برای اطلاع بیشتر در این رابطه رجوع شود به قسمت سوم مقاله (روش‌شناسی و داده‌های پژوهش).

۲. چگونگی انجام این محاسبات در بحث محاسبه ردپای آب ملی (۲-۳) تشریح شده است.

جدول ۲. مصرف آب در یک اقتصاد فرضی براساس دیدگاه‌های سنتی و شاخص ردپای آب

بخش	کل مصرف مستقیم آب (دیدگاه سنتی) ـ لیتر	آب‌بری مستقیم ـ لیتر بر هر واحد تولید	آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم (ضرایب فزاینده آب) ـ لیتر بر هر واحد تقاضای نهایی	کل مصرف آب از دیدگاه مبتنی‌بر مصرف (ردپای آب) ـ لیتر
A	۷۰	۰/۷۰	۰/۹۰	۹
B	۳۰	۰/۳۰	۱/۱۴	۹۱

ملاحظه می‌شود که نتایج مصرف آب مرتبط با بخش‌های اقتصادی براساس دیدگاه ردپای آب (مبتنی‌بر مصرف) تفاوت چشمگیری با نتایج مبتنی‌بر شاخص‌های سنتی دارد. براساس شاخص‌های سنتی، ۷۰ درصد مصارف آب این اقتصاد مربوط به بخش A است. درحالی‌که از منظر شاخص ردپای آب، تنها حدود ۹ درصد کل آب مصرفی به این بخش مربوط می‌شود. هرکدام از این نتایج، سیاست‌های متفاوتی ایجاب می‌کند که پیامدهای متفاوتی به‌دنبال خواهند داشت. بنابراین، چنانچه دیدگاه روشن‌بینانه و کاملی از مصارف آب در بخش‌های مختلف وجود نداشته باشد، سیاستگذاری‌های مرتبط با مدیریت و تخصیص منابع آب نیز نتایج مطلوبی به همراه نخواهند داشت.

۳-۱. ردپای آب و نظریه تجارت بین‌الملل

یکی از مهمترین نظریات مطرح در حوزه تجارت بین‌الملل، نظریه هکشر ـ اوهلین[1] است. در این نظریه آمده است هر کشور کالایی را صادر می‌کند که در تولید آن نیاز به عامل به نسبت فراوان و ارزان دارد و در مقابل کالایی را وارد می‌کند که در تولید آن نیاز به استفاده از عامل نسبتاً گران و کمیاب دارد (شاکری و امیدوار، ۱۳۸۹: ۸۵). مطابق این نظریه، تعیین‌کننده‌های اصلی مزیت نسبی کشورها برای تجارت با یکدیگر، تفاوت در فراوانی (کمیابی) نسبی عامل تولید در این کشورها و نیز شدت عامل‌بری[2] کالاهای

1. Heckscher-Ohlin Theory
2. Factor Intensities

مختلف است.[1] در ساده‌ترین حالت این نظریه (دو کشور، دو کالا و دو عامل)، نشان داده می‌شود که الگوی تولید در هر کشور به‌وسیله فراوانی نسبی عوامل تولید تعیین می‌شود. درواقع فراوانی بیشتر یک عامل تولید در کشور «الف»، باعث افزایش تولید کالایی می‌شود که به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر این عامل تولید متکی است و در مقابل، ستانده بخش دیگر (که اتکای کمتری بر این عامل دارد) را کاهش می‌دهد.[2]

کاهش شدید منابع آبی تجدیدپذیر کشورها طی سال‌های گذشته و نیز نقش این منابع در تولید محصولات اقتصادی (به‌عنوان یکی از عوامل تولید)، باعث شده است که مفهوم تجارت آب مجازی وارد تحلیل‌های تجارت بین‌الملل شود. مطابق با نظریه هکشر ـ اوهلین، انتظار بر این است که کشورهای کم‌آبی چون ایران، در تجارت خود با سایر کشورها، محصولات با آب‌بری پایین را صادر و محصولات با آب‌بری بالا را وارد کنند. درواقع انتظار می‌رود این کشورها واردکننده خالص آب مجازی باشند. براساس این دیدگاه، کشورهای خشک اقلیمی می‌توانند با واردات آب مجازی مسئله کمبود آب خود را برطرف کنند. این موضوع را نخستین بار آلن (۱۹۹۴) مطرح کرد. او ایده واردات آب مجازی از طریق وارد کردن محصولات با آب‌بری بالا را به‌عنوان یک راه‌حل مناسب برای مسئله کمبود آب در خاورمیانه مطرح کرد.[3]

با توجه به توانایی مدل داده ـ ستانده در محاسبه شدت عامل‌بری کالاها و خدمات، این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای آزمون تجربی نظریه هکشر ـ اوهلین مورد استفاده قرار گیرد، چه آنکه اولین تلاش برای آزمون این فرضیه را واسیلی لئونتیف[4] با استفاده از همین مدل انجام داده است (همان). با کاربرد این مدل در محاسبه شاخص ردپای آب، می‌توان نظریه هکشر ـ اوهلین را در زمینه منابع آب (به‌عنوان یک عامل تولید) مورد آزمون قرار داد که این کار در پژوهش حاضر با عنوان «خالص واردات آب مجازی» انجام شده است.

---

1. Sayan, 2003: 219.
2. Benz, Larch and Zimmer, 2014: 1.
3. Chapagain and Hoekstra, 2004: 12.
4. W. Leontief

۲. مطالعات پیشین

در مطالعات گذشته برای محاسبه ردپای آب دو رویکرد پایین به بالا و بالا به پایین[1] به‌کار گرفته شده است.[2] تفاوت این روش‌ها در چگونگی جمع مصارف غیرمستقیم آب در طول زنجیره تأمین یک کالاست. در رویکردهای پایین به بالا برای محاسبه ردپای آب یک بخش (یا محصول)، تمامی زنجیره تأمین درنظر گرفته نمی‌شود و به اصطلاح خطای برش[3] وجود دارد.[4] بنابراین در این روش‌ها بخشی از مصارف غیرمستقیم آب نادیده گرفته می‌شود. در طرف مقابل، رویکردهای بالا به پایین قرار دارند که به تحلیل داده ـ ستانده اشاره داشته و برای محاسبه ردپای آب، تمامی حلقه‌های زنجیره تأمین یک محصول را درنظر گرفته و بنابراین از بروز خطای برش جلوگیری می‌کنند. در ادامه به چند مورد از مرتبط‌ترین مطالعات انجام شده پیرامون موضوع مورد بررسی اشاره شده است.

لنزن و فوران[5] (۲۰۰۱) در مقاله خود با استفاده از جدول داده ـ ستانده ۳۷ بخشی سال ۱۹۹۵ و داده‌های مصرف آب مربوط به سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۹۳، به بررسی و تحلیل مصرف آب در بخش‌های اقتصادی کشور استرالیا پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ۳۰ درصد نیاز آبی کشور استرالیا به تولید محصولات غذایی اختصاص دارد که بیش از ۳۰ درصد این محصولات از کشور صادر می‌شود. بر این اساس سالانه به‌طور متوسط حدود ۴ میلیارد مترمکعب کسری تجاری خالص آب در این کشور وجود دارد (صادرات خالص آب مجازی). محققان این مطالعه معتقدند که با به‌کارگیری مفهوم آب مجازی، جمعیت شهری استرالیا به‌دلیل فعالیت‌های مصرفی و شیوه زندگی خود، به‌طور عمده مسئول همه مصارف آبی این کشور هستند.

ژائو، چن و یانگ (۲۰۰۹) با استفاده از جدول داده ـ ستانده ۲۳ بخشی سال ۲۰۰۲ کشور چین، به ارائه چارچوبی محاسباتی برای سنجش ردپای آب ملی در بخش‌های اقتصادی این کشور پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که سرانه ردپای آب ملی

---

1. Bottom-Up and Top-Down Approaches
2. Feng and et al., 2011: 271.
3. Truncation Error
4. Ibid.: 382.
5. Lenzen and Foran

چین در سال ۲۰۰۲ معادل ۳۸۱ مترمکعب به ازای هر نفر بوده است. براساس شاخص شدت ردپای آب، بخش‌های «کشاورزی»، «تولید و عرضه برق، گاز و آب» و «معادن سنگ‌های فلزی» بیشترین شدت مصرف آب را داشته‌اند. همچنین با در نظر گرفتن تبادل آب مجازی، بخش‌های «کشاورزی» و «ساختمان» به‌عنوان بزرگ‌ترین واردکنندگان خالص آب مجازی و بخش‌های «منسوجات» و «پوشاک» به‌عنوان بزرگ‌ترین صادرکنندگان خالص آب مجازی در کشور چین شناخته شدند. درکل بخش‌های اقتصادی، این کشور یک صادرکننده خالص آب مجازی (حدود ۲۳۷۳۳ میلیون مترمکعب) است.

فنگ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود به ارزیابی ردپای آب از دو منظر تولید و مصرف در مناطق مختلف بریتانیا پرداختند. در این مقاله با استفاده از مدل داده ـ ستانده چندمنطقه‌ای[1] و داده‌های مصرف آب سال ۲۰۰۶، ردپای آب تولید[2] به‌عنوان کل حجم آب مصرف شده از منابع داخلی توسط فعالیت‌های تولیدی و ردپای آب مصرف[3] به‌عنوان کل آب مصرف شده از منابع داخلی و خارجی برای تأمین مصرف نهایی داخلی بریتانیا محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سرانه ردپای آب تولید بریتانیا، سالانه ۴۳۹ مترمکعب به ازای هر نفر است که ۸۵ درصد آن صرف تأمین مصرف نهایی خود این کشور شده است. ردپای آب مصرف این کشور نیز بیش از سه برابر بزرگ‌تر از ردپای آب تولید آن است. در حدود نیمی از آب استفاده شده برای مصرف ساکنان بریتانیا، مربوط به واردات محصولات از کشورهای غیرعضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[4] بوده که بسیاری از این کشورها خود با کمبود آب مواجه‌اند. نتایج همچنین نشان می‌دهد که ردپای آب در مناطق جغرافیایی بریتانیا به شکل چشمگیری متغیر بوده و متناسب با متوسط سطح درآمد در این مناطق است.

مکونن[5] و هوکسترا (۲۰۱۱) در مطالعه خود با یک رویکرد پایین به بالا به برآورد و تحلیل ردپای آب ملی کشورهای مختلف طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۶ پرداختند. براساس نتایج این مطالعه، کل ردپای آب جهانی در دوره مورد بررسی معادل ۹۰۸۷ میلیارد مترمکعب در

1. Multi-Region Input-Output
2. Production Water Footprint
3. Consumption Water Footprint
4. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
5. Mekonnen and Hoekstra

سال بوده که ۹۲ درصد آن به محصولات کشاورزی مربوط است. کل جریان بین‌المللی آب مجازی در تجارت محصولات کشاورزی و صنعتی معادل ۲۳۲۰ میلیارد مترمکعب در سال بوده که ۷۶ درصد آن به تجارت محصولات کشاورزی مربوط است. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که متوسط جهانی ردپای آب هر مصرف‌کننده در دوره مورد بررسی معادل ۱۳۸۵ مترمکعب در سال بوده است. درحالی‌که مقدار این شاخص برای هر شهروند ایرانی به حدود ۱۸۶۶ مترمکعب در سال می‌رسیده که از این میزان، حدود ۱۷/۸ درصد آن خارجی بوده و از منابع آب سایر کشورها استفاده شده است.

لوتر[1] و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه خود به ارزیابی ردپای آب و تبادل آب مجازی در اتحادیه اروپا طی سال ۲۰۰۷ و با تأکید بر محصولات زراعی پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد که اتحادیه اروپا سالانه به‌طور غیرمستقیم مقادیر زیادی آب به شکل مجازی از طریق تجارت با سایر مناطق جهان وارد می‌کند که این حجم واردات آب مجازی به مراتب بیشتر از آب واقعی مصرف شده از منابع داخلی این اتحادیه است. مصرف کالاها و خدمات اتحادیه اروپا بیشترین تأثیر را بر مصرف آب کشورهای چین، برزیل و اسپانیا داشته است (به‌ترتیب ۴۶/۴، ۴۵/۳ و ۴۳/۴ میلیارد مترمکعب). به‌طورکلی ۶۵ درصد آب استفاده شده برای تولید کالاها و خدمات مصرف شده در اتحادیه اروپا از منابع آب خارجی این اتحادیه تأمین می‌شود که ۳۶ درصد آن مربوط به قاره آسیاست.

چن و همکاران (۲۰۱۷) با کاربرد جدول داده ـ ستانده چندمنطقه‌ای سال ۲۰۰۷، به برآورد ردپای آب در استان‌های مختلف کشور چین و نیز ارزیابی انتقال آب مجازی بین‌استانی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تفاوت چشمگیری بین ردپای آب در استان‌های مختلف وجود دارد. استان‌های با جمعیت و تولید ناخالص داخلی بیشتر، ردپای آب بالاتری دارند. همچنین نسبت ردپای آب خارجی (واردات آب مجازی) از کل ردپای آب در استان‌های توسعه‌یافته‌تر نسبت به استان‌های کمترتوسعه‌یافته بزرگ‌تر است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که انتقال آب مجازی از مناطق پرآب به مناطق کم‌آب رخ نداده بلکه به‌طورکلی از مناطق کم‌آب غربی به سمت مناطق شرقی، از مناطق مرکزی

1. Lutter

به سمت مناطق شرقی و از مناطق توسعه‌نیافته به مناطق توسعه‌یافته اتفاق افتاده است.

در بین مطالعات داخلی، سنجش و ارزیابی ردپای آب در کشور، بیشتر معطوف به بخش کشاورزی بوده و عمدتاً نیز از رویکردهای پایین به بالا استفاده شده است. ازجمله می‌توان به مطالعه عربی یزدی، علیزاده و محمدیان (۱۳۸۸)، منتصری و همکاران (۱۳۹۵) و علیقلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد. از معدود مطالعات داخلی که به سنجش ردپای آب در سطح کلان و با رویکرد بالا به پایین پرداخته‌اند می‌توان به مطالعه تفضلی (۱۳۹۲) اشاره کرد. در این پژوهش با استفاده از جدول داده ـ ستانده سال ۱۳۸۵ اقدام به محاسبه ردپای آب کشور ایران به تفکیک بخش‌های اقتصادی شده است. نتایج این محاسبات نشان می‌دهد که کل ردپای آب ایران در سال ۱۳۸۵ حدود ۷۰۹۴۷ میلیون مترمکعب بوده که حدود ۲۳ درصد آن خارجی است. در این سال، کشور ایران به‌طور خالص صادرکننده ۳۳۴۰ میلیون مترمکعب آب مجازی بوده است. مقدار سرانه ردپای آب به ازای هر نفر نیز حدود ۱۰۰۷ مترمکعب برآورد شده است.

صادقی و همکاران (۱۳۹۳) نیز با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ به مطالعه تأثیر مصرف واسطه‌ای بخش‌های اقتصادی بر ردپای آب در ایران پرداختند. یافته‌های این پژوهش کل ردپای آب بخش‌های اقتصادی ایران در سال ۱۳۹۰ را حدود ۹۷/۷ میلیارد مترمکعب نشان می‌دهد که ۸۸ درصد آن داخلی و ۱۲ درصد دیگر وارداتی است. تولیدات مربوط به زیربخش‌های «گندم»، «گاو، گاومیش و سایر حیوانات زنده به‌جز ماکیان»، «سایر نباتات صنعتی»، «ساخت محصولات غذایی و انواع آشامیدنی‌ها»، بیشترین ردپای داخلی و وارداتی را داشته‌اند. این بخش‌ها درمجموع ۶۶ درصد از کل ردپای آب و زیربخش‌های خدمات نیز رتبه‌های آخر را در این زمینه به‌خود اختصاص داده‌اند. به‌نظر نگارندگان پژوهش حاضر، نحوه محاسبه ردپای آب در این مطالعه با تعریف این شاخص سازگاری ندارد. براساس تعریف ارائه شده توسط هوکسترا و هانگ (۲۰۰۲) که مبنای محاسبه سایر مطالعات قرار گرفته است، ردپای آب، مربوط به آب استفاده شده برای تأمین «تقاضای نهایی» یک منطقه می‌شود، این در حالی است که در مطالعه صادقی و همکاران، ردپای آب، به «تقاضای واسطه‌ای» مرتبط شده است.

بانویی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از یک مدل داده ـ ستانده، ردپای آب ملی کشور ایران و برخی شاخص‌های مرتبط به آن را به تفکیک بخش‌های مختلف اقتصادی محاسبه کردند. جدول داده ـ ستانده مورد استفاده در این مطالعه شامل هشت بخش اقتصادی و مربوط به سال ۱۳۸۵ است. نتایج آنها نشان می‌دهد که سرانه ردپای آب ملی در ایران حدود ۱۴۳۳ مترمکعب به ازای هر نفر است که نسبت به متوسط جهانی رقم بالایی است. محققان چهار دلیل احتمالی این موضوع را عملکرد ضعیف محصولات زراعی، بهره‌وری بسیار پایین آب، درجه پایین صنعتی بودن کشور (کشاورزی ـ محور بودن تولیدات کشور) و تبخیر بسیار شدید آب در ایران عنوان می‌کنند. نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که ایران یک صادرکننده خالص آب مجازی است. براساس این نتایج، واردات آب مجازی ایران در سال ۱۳۸۵ حدود ۷۴۵۰ میلیون مترمکعب است درحالی‌که صادرات آب مجازی به حدود ۱۲۶۲۷ میلیون مترمکعب می‌رسد. محققان معتقدند که با توجه به کمبود آب در ایران، این نتیجه برخلاف رویکردهای موجود در نظریه تجارت بین‌الملل است.

در پژوهش حاضر، در مقایسه با سه مطالعه داخلی مورد اشاره، ردپای آب به‌عنوان معیاری از رویکردهای مبتنی‌بر مصرف، مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. به‌عبارت‌دیگر در این پژوهش سعی شده است با استفاده از مفهوم ردپای آب و برخی شاخص‌های مرتبط با آن، نشان داده شود که با یک رویکرد مبتنی‌بر مصرف، الگوی مصرف آب در بخش‌های اقتصادی ایران چگونه است و این الگو چه تفاوتی با رویکردهای سنتی دارد. علاوه‌بر این، به دلایلی که در بخش تحلیل نتایج به آنها اشاره شده است، نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات مورد اشاره، دارای تفاوت‌هایی است که توجه به آنها می‌تواند زمینه را برای انجام تحقیقات بیشتر و دقیق‌تر فراهم آورد.

۳. روش‌شناسی و داده‌ها

۳-۱. مدل داده ـ ستانده

توسعه مدل داده ـ ستانده را مرهون تلاش‌های واسیلی لئونتیف در اواخر دهه ۱۹۳۰ می‌دانند.[1]

1. Miller and Blair, 2009: 1.

هسته اصلی مدل داده ـ ستانده را سیستم تعاملات و وابستگی‌های متقابل بین بخش‌های مختلف اقتصادی تشکیل می‌دهد. براساس این سیستم، ستانده یک بخش اقتصادی از طریق مصرف نهاده‌هایی به‌دست می‌آید که این نهاده‌ها به‌نوبه خود می‌توانند ستانده یک بخش دیگر باشند. رابطه (۱) چگونگی آن را به نمایش می‌گذارد:

$$x_i = \sum_j x_{ij} + y_i \qquad (۱)$$

عنصر x_{ij} نهاده‌ای است که از بخش i به بخش j واگذار می‌شود و y_i نشان‌دهنده تقاضای نهایی بخش i است. براساس این رابطه، کل ستانده بخش i (x_i) می‌تواند به‌عنوان نهاده در اختیار سایر بخش‌ها (تقاضای واسطه‌ای) یا مورد استفاده مصرف‌کننده نهایی قرار گیرد (تقاضای نهایی). با درنظر گرفتن فرض تابع تولید خطی، بردار ستانده هر بخش می‌تواند به‌وسیله رابطه (۲) تعریف شود. شکل ماتریسی و فرم حل شده رابطه (۲) نیز به شکل روابط (۳) و (۴) نشان داده می‌شود:

$$x_{ij} = a_{ij} x_j \qquad (۲)$$

$$X = AX + Y \qquad (۳)$$

$$X = (I - A)^{-1} Y \qquad (۴)$$

در این روابط، عنصر a_{ij}، ارزش نهاده بخش i است که بخش j برای تولید یک واحد ستانده خود لازم دارد، X، بردار ستانده بخشی، $[A]_{a_{ij}}$ ماتریس ضرایب فنی تولید (یا ضرایب نهاده) و $[I]_{n\times n}$ ماتریس واحد هستند. $(I-A)^{-1}$ نیز معکوس ماتریس لئونتیف نامیده می‌شود. عنصر l_{ij} از ماتریس معکوس لئونتیف، نشان‌دهنده کل میزان ستانده بخش i است که برای افزایش یک واحد پولی تقاضای نهایی در بخش j مورد نیاز است.

به‌منظور تحقق اهداف مورد نظر در این پژوهش، از به‌روزترین جدول داده ـ ستانده موجود کشور استفاده شده که سال ۱۳۹۰ توسط مرکز پژوهش‌های مجلس به‌هنگام شده است. برای این منظور بخش‌های این جدول که شامل ۷۱ بخش اقتصادی است، با توجه به ساختار تولیدات اقتصاد ایران و به‌ویژه با توجه به داده‌های در دسترس مصرف آب، در ۲۷ بخش به‌شرح جدول ۳ تجمیع شد.

جدول ۳. عناوین بخش‌های اقتصادی کشور در جدول داده ـ ستانده مورد استفاده این پژوهش

نام بخش	شماره بخش	نام بخش	شماره بخش
کشاورزی	۱	ساخت فلزات اساسی	۱۵
نفت خام و گاز طبیعی	۲	ساخت محصولات فلزی فابریکی به‌جز ماشین‌آلات و تجهیزات	۱۶
سایر معادن	۳	ساخت ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر	۱۷
صنایع محصولات غذایی، آشامیدنی و دخانیات	۴	ساخت ماشین‌آلات دفتری، حسابداری و محاسباتی	۱۸
ساخت منسوجات	۵	ساخت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی طبقه‌بندی نشده در جای دیگر	۱۹
ساخت پوشاک، عمل‌آوری و رنگ کردن خز	۶	ساخت رادیو و تلویزیون، دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی	۲۰
دباغی و پرداخت چرم و سایر محصولات چرمی	۷	ساخت ابزار پزشکی، ابزار اپتیکی، ابزار دقیق و انواع ساعت	۲۱
ساخت چوب و محصولات چوبی	۸	ساخت وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم‌تریلر	۲۲
ساخت کاغذ و محصولات کاغذی	۹	ساخت سایر تجهیزات حمل‌ونقل	۲۳
انتشار، چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده	۱۰	ساخت مبلمان، مصنوعات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر و بازیافت	۲۴
ساخت کک، فراورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای	۱۱	آب، برق و گاز	۲۵
ساخت مواد و محصولات شیمیایی	۱۲	ساختمان	۲۶
ساخت محصولات از لاستیک و پلاستیک	۱۳	خدمات	۲۷
سایر محصولات کانی غیرفلزی	۱۴		

مأخذ: ذاکری و مؤمنی، ۱۳۹۴.

۲-۳. محاسبه ردپای آب ملی

به‌طور معمول ردپای آب در سطح یک کشور با عنوان «ردپای آب ملی» شناخته می‌شود.[۱] در این پژوهش ردپای آب ملی به تفکیک بخش‌های اقتصادی کشور ایران با استفاده از

۱. برای کسب اطلاع بیشتر در مورد انواع طبقه‌بندی ردپای آب رک: Hoekstra and et al., 2011.

روش ارائه شده توسط ژائو، چن و یانگ (۲۰۰۹) محاسبه شده است. ذکر این نکته نیز ضروری به نظر می‌رسد که در این پژوهش تنها ردپای «آب آبی» مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عبارت‌دیگر فقط منابع آب شیرین تجدیدپذیر به‌کار رفته در تولید کالاها و خدمات، درنظر گرفته شده و آب بارانی که در تولید محصولات کشاورزی مؤثر بوده (آب سبز)، مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین آلودگی‌های آب ناشی از فعالیت‌های اقتصادی (مربوط به آب خاکستری) نیز در این پژوهش درنظر گرفته نشده است.

با توجه به تعریف ردپای آب ملی، نحوه محاسبه آن را می‌توان با رابطه (۵) نشان داد:

$$NWF = \sum VWC \times (DP + M - E) \qquad (۵)$$

که در آن، NWF ردپای آب ملی است، VWC محتوای آب مجازی است و به‌عنوان کل آب مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول تعریف می‌شود. نمادهای DP، M و E نیز به‌ترتیب نشان‌دهنده تولیدات داخلی، واردات و صادرات یک محصول خاص هستند. برای محاسبه VWC و ردپای آب با استفاده از مدل داده ـ ستانده و با جزئیات مورد نظر، لازم است تا در ساختار متعارف جداول داده ـ ستانده مورد استفاده در ایران، تغییراتی ایجاد شود. جدول ۴ شکل تعدیل‌یافته جدول داده ـ ستانده اقتصاد ایران برای این منظور را نشان می‌دهد.

جدول ۴. جدول داده ـ ستانده تعدیل‌شده اقتصاد ایران

عنوان		رشته فعالیت	تقاضای نهایی		ستانده کل
			مصرف داخلی	صادرات	
رشته فعالیت	منابع داخلی	x_{ij}	f_i	e_i	x_i
	واردات	m_{ij}	m_i^f	m_i^e	m_i
ارزش افزوده		v_j	-	-	-
نهاده (داده) کل		x_j	-	-	-
مصارف آب شیرین		w_j	-	-	-

مأخذ: ژائو، چن و یانگ، ۲۰۰۹.

f_i در جدول ۴، نشان‌دهنده مصرف نهایی داخلی است که از تفاضل صادرات از تقاضای نهایی به‌دست می‌آید ($f_i = y_i - e_i$). همچنین ازآنجاکه ردپای آب ملی به دو

بخش ردپای آب داخلی (استفاده از منابع آب داخلی) و ردپای آب خارجی (استفاده از منابع آب خارجی) تفکیک می‌شود، لازم است که در جدول داده ـ ستانده مورد استفاده، مقدار واردات از ماتریس مبادلات بین‌بخشی و بردار تقاضای نهایی تفکیک شود. کل میزان واردات هر محصول در یک منطقه، مطابق رابطه (۶) به سه قسمت تفکیک می‌شود:

$$m_i = (\sum_{j=1}^{n} m_{ij}) + m_i^f + m_i^e \qquad (۶)$$

که m_{ij}، m_i^f و m_i^e به‌ترتیب واردات واسطه‌ای (واردات از بخش i خارجی به بخش j داخلی)، واردات نهایی و واردات برای صادرات مجدد هستند. با توجه به ساختار اقتصاد ایران، می‌توان در جدول تعدیل‌یافته ملی، واردات برای صادرات مجدد را صفر درنظر گرفت (بانویی، ۱۳۹۱).

در این پژوهش به‌منظور تعدیل جدول داده ـ ستانده ملی مطابق با جدول ۴، با فرض واردات رقابتی، واردات واسطه‌ای و نهایی با استفاده از رابطه (۷) از جدول داده ـ ستانده ملی تفکیک شده است (همان):

$$d = \frac{x-e}{ze+fh} = \frac{x-e}{x-e+m} \qquad (۷)$$

در این رابطه x، e و m به‌ترتیب نشان‌دهنده مقادیر ستانده، صادرات و واردات کشور هستند. ze و fh نیز به‌ترتیب تقاضای واسطه‌ای و تقاضای نهایی (به‌جز صادرات) را نشان می‌دهند. رابطه (۷) درواقع نسبتی از کالاها و خدمات مورد نیاز کشور را نشان می‌دهد که می‌تواند در داخل تهیه شود و ضرب آن در هر متغیر نسبت داخلی آن را به‌دست می‌دهد. در انتهای جدول نیز یک بردار سطری از مقادیر مصرف آب در هر بخش اضافه شده است. پس از انجام تعدیلات مورد نظر در جدول داده ـ ستانده، محاسبات مربوط به ردپای آب ملی طی مراحل زیر انجام شد.

نقطه شروع محاسبات مربوط به آب مجازی و ردپای آب، محاسبه آب‌بری مستقیم بخش‌های مختلف اقتصادی است. میزان آب‌بری مستقیم هر بخش، مطابق رابطه (۸) از تقسیم کل حجم آب مصرفی به ستانده آن بخش به‌دست می‌آید:

$$w_j^d = \frac{w_j}{x_j} \qquad (۸)$$

که در آن، w_j و x_j به‌ترتیب کل مصرف آب و ستانده بخش jام طی دوره مورد بررسی را نشان می‌دهند. w_j^d نیز که آب‌بری مستقیم بخش jام نامیده می‌شود، نشان‌دهنده مقدار آبی است که بخش jام به‌منظور یک واحد پولی افزایش در ستانده خود به‌طور مستقیم مصرف می‌کند. مرحله بعدی در محاسبه NWF، محاسبه ضرایب VWC است. این شاخص از طریق رابطه (۹) به‌دست می‌آید:

$$VWC = [w_j^t], \qquad w_j^t = \sum_{i=1}^{n} w_i^d \times l_{ij} \tag{۹}$$

که در آن، l_{ij} عناصر ماتریس معکوس لئونتیف در جدول داده ـ ستانده تعدیل‌شده است. w_j^t نیز نشان‌دهنده کل آب مصرف شده توسط همه بخش‌های اقتصادی برای تأمین یک واحد پولی تقاضای نهایی در بخش jام است. به‌عبارت‌دیگر این شاخص آب‌بری کل (مستقیم و غیرمستقیم) هر بخش را نشان می‌دهد. ضرایب آب‌بری غیرمستقیم (w_j^{id}) نیز از تفاوت w_j^t و w_j^d به‌دست می‌آید. پس از محاسبه محتوای آب مجازی، ردپای آب ملی داخلی هر بخش با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$T = [t_j] \ , \qquad t_j = w_j^t \times f_j \tag{۱۰}$$

در این رابطه f_j نشان‌دهنده بخشی از تقاضای نهایی است که در داخل مصرف می‌شود. t_j نیز ردپای آب داخلی بخش jام است و به‌عنوان کل آب استفاده شده از منابع داخلی برای تأمین مصارف نهایی داخلی بخش j تعریف می‌شود.

محاسبه ردپای آب خارجی کمی پیچیده‌تر از ردپای آب داخلی است چرا که محصولات وارداتی یک کشور، از کشورها و مناطق مختلف با سطوح متفاوت تکنولوژی وارد می‌شود، اما این تفاوت‌ها در یک مدل داده ـ ستانده متعارف نمی‌تواند مدل‌سازی و تشریح شود. در یک جدول داده ـ ستانده متعارف، یک ستون واردات وجود دارد که کل حجم واردات واسطه‌ای و نهایی هر محصول را نشان می‌دهد بدون اینکه مشخص کند این واردات از چه کشوری وارد شده است. برای حل این مشکل فرض می‌شود که سطح تکنولوژی و شیوه تولید محصولات وارداتی همانند محصولات مشابه داخلی است. این فرض با توجه به اهداف مورد نظر پژوهش و با درنظر گرفتن تعریف رنو[1] (۲۰۰۳) از آب

1. Renault

مجازی، لطمه‌ای به نتایج مطالعه وارد نمی‌آورد. رنو، اعتقاد دارد که آب مجازی تعبیه شده در واردات، مقدار واقعی آب استفاده شده برای تولید آنها نیست، بلکه مقدار آبی است که کشور واردکننده مصرف می‌کرد، اگر این محصولات (وارداتی) در آن تولید می‌شد.[1] این تعریف دقیقاً روشن می‌کند که به‌وسیله واردات محصولات (به‌جای تولید آنها در داخل) چه میزان از مصرف آب داخلی صرفه‌جویی می‌شود.

ازآنجاکه واردات هر بخش شامل دو قسمت واردات واسطه‌ای و واردات نهایی است، بنابراین کل ردپای آب خارجی نیز شامل دو قسمت مجزا می‌شود:

$$ENWF = S^f + S^{in} \qquad (۱۱)$$

که در آن S^f حجم آب مجازی است که مستقیماً برای تأمین مصارف نهایی داخلی وارد می‌شود و مطابق رابطه (۱۲) از حاصل‌ضرب واردات نهایی در محتوای آب مجازی به‌دست می‌آید:

$$S^f = [s_j^f] \qquad s_j^f = w_j^t \times m_j^f \qquad (۱۲)$$

واردات واسطه‌ای آب مجازی (S^{in}) نیز با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$S^{in} = [s_j^{in}] \qquad s_j^{in} = \left(\sum_{i=1}^{n} w_j^t \times m_{ij} \right) \times v_j \qquad (۱۳)$$

که در آن m_{ij} محصولات وارداتی بخش iام است که به‌عنوان نهاده واسطه‌ای در بخش j مورد استفاده قرار می‌گیرد. ازآنجاکه بخشی از واردات واسطه‌ای برای تولید محصولات صادراتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، همه آب مجازی تعبیه شده در واردات واسطه‌ای، به‌وسیله تقاضای نهایی داخلی مصرف نمی‌شود و بخشی از آن صرف تأمین تقاضای خارجی‌ها می‌شود. بنابراین برای محاسبه دقیق‌تر واردات واسطه‌ای آب مجازی، عنصر v_j که از نسبت تقاضای نهایی منهای صادرات بر تقاضای نهایی به‌دست می‌آید، به‌عنوان ضریب تعدیل در رابطه (۱۳) ضرب می‌شود. درنهایت پس از محاسبه ردپای آب خارجی، کل ردپای آب ملی مطابق رابطه (۱۴) از حاصل‌جمع ردپای آب داخلی و خارجی به‌دست می‌آید:

$$NWF = T + S^f + S^{in} = INWF + ENWF \qquad (۱۴)$$

امروزه استراتژی واردات آب مجازی به‌عنوان یک جهت‌گیری سیاسی امیدوارکننده

1. Zhao, Chen and Yang, 2009: 248.

برای رهایی از بحران آب مطرح شده که طبق آن کشورها می‌توانند با واردات آب مجازی، از منابع آب داخلی خود محافظت کنند.[1] در این راستا، بررسی چگونگی تجارت آب مجازی بین بخش‌های اقتصادی یک منطقه با دنیای خارج، از اهمیت بالایی برخوردار است. مجموع ردپای آب خارجی یک منطقه، درواقع واردات آب مجازی آن را نشان می‌دهد. صادرات آب مجازی هر بخش نیز با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$U = [u_j], \qquad u_j = w_j^t \times e_j \tag{۱۵}$$

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 برابر است با:

$$NVWI = (S^f + S^{in}) - U \tag{۱۶}$$

۳-۳. داده‌های پژوهش

داده‌های این پژوهش به دو دسته مختلف تقسیم می‌شوند: ۱. داده‌های مربوط به روابط بین‌بخشی در اقتصاد ایران که این داده‌ها در جدول داده ـ ستانده مورد بررسی موجود است. ۲. داده‌های مربوط به مصرف آب در بخش‌های مختلف اقتصادی کشور در سال ۱۳۹۰. این داده‌ها که از نوع کتابخانه‌ای هستند از منابع مختلف آماری ازجمله مرکز آمار ایران، شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران گردآوری شده‌اند. با توجه به محدودیت‌های موجود در دسترسی به بخشی از داده‌های مصرف آب ازجمله مصرف آب در کارگاه‌های صنعتی کمتر از ۱۰ نفر کارکن سال ۱۳۹۰، این داده‌ها با درنظر گرفتن برخی مفروضات (ثابت بودن بهره‌وری مصرف آب طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۰) برآورد شده‌اند. این نکته نیز قابل ذکر است که عدم دسترسی به داده‌های آماری مصرف آب با طبقه‌بندی مورد نظر در تحلیل‌های اقتصادی (طبقه‌بندی ISIC)، محدودیت مورد اشاره در بسیاری از مطالعات مشابه، حتی در کشورهای توسعه‌یافته بوده است.

۴. تحلیل نتایج و پاسخ به سؤال‌ها

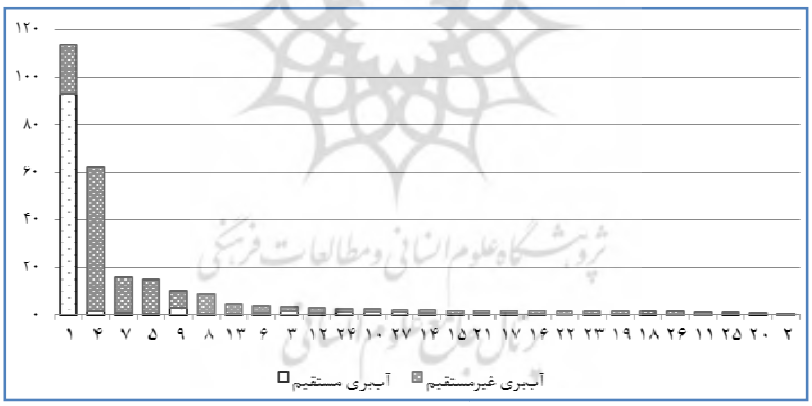
پس از گردآوری داده‌ها و انجام محاسبات، در این بخش با هدف پاسخ به سؤال‌های مطرح

1. Ibid.: 251.

شده در مقدمه، نتایج به‌دست آمده مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. ابتدا نتایج مربوط به محاسبه محتوای آب مجازی (آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم) بخش‌های اقتصادی کشور ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده تأیید می‌کند که با درنظر گرفتن مصرف غیرمستقیم آب تصویر بسیار متفاوتی از شدت آب‌بری بخش‌های اقتصادی آشکار می‌شود. به‌عنوان مثال اگرچه ازنظر مصرف مستقیم آب، بخش کشاورزی نسبت به سایر بخش‌ها از آب‌بری بسیار بالاتری برخوردار است اما با درنظر گرفتن مصارف غیرمستقیم، مصرف آب در بخش‌های «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات»، «دباغی و پرداخت چرم و سایر محصولات چرمی» و «ساخت منسوجات» نیز قابل توجه است. این نتایج در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند که درواقع پاسخ به سؤال‌های دوم و سوم مطرح شده در مقدمه پژوهش را ارائه می‌دهند.

نمودار ۱. آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم بخش‌های اقتصادی ایران

(مترمکعب به میلیون ریال)



مأخذ: یافته‌های تحقیق.

براساس این نتایج، در بسیاری از بخش‌ها میزان مصارف غیرمستقیم آب به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مصرف مستقیم آنهاست. به‌عنوان مثال آب غیرمستقیم مصرف شده برای تولید هر واحد محصول در بخش‌های «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» و «ساخت منسوجات» به‌ترتیب ۴۳/۵ و ۳۶/۲ برابر آب‌بری مستقیم آنهاست.

نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ردپای آب ملی و اجزای آن در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول، واحد اندازه‌گیری متغیرهای کل مصرف آب (W_j)، ردپای آب داخلی (INWF)، ردپای آب خارجی (ENWF)، کل ردپای آب (NWF)، صادرات آب مجازی (U) و خالص واردات آب مجازی (NVWI)، برحسب میلیون مترمکعب است. همچنین آب‌بری مستقیم (w_j^d) و آب‌بری کل (w_j^t) برحسب مترمکعب به میلیون ریال اندازه‌گیری شده‌اند. ستون‌های جدول ۵ پاسخ سؤال اول و سؤال‌های چهارم تا هفتم این پژوهش را به خوبی تبیین می‌کنند. در ستون دوم این جدول کل مصرف آب (پاسخ سؤال اول)، در ستون هفتم کل ردپای آب (پاسخ سؤال چهارم) و در ستون‌های ششم و هشتم کل صادرات و واردات آب مجازی هر بخش (پاسخ سؤال‌های پنجم و ششم) نشان داده شده است. ستون آخر این جدول نیز نشان‌دهنده خالص واردات آب مجازی هر بخش است (پاسخ سؤال هفتم).

جدول ۵. نتایج تفصیلی ردپای آب در بخش‌های اقتصادی ایران

بخش	W_j		w_j^d	w_j^t	INWF	ENWF	NWF		U	NVWI
	کل (mm^3)	درصد (%)	$\frac{m^3}{mIRR}$	$\frac{m^3}{mIRR}$	(mm^3)	(mm^3)	کل (mm^3)	درصد (%)	(mm^3)	(mm^3)
۱	۸۰،۱۶۶	۹۱/۴۴	۹۲/۴۹	۱۱۳/۶۲	۴۳،۸۶۵	۶،۱۶۲	۵۰،۰۲۸	۵۲/۲۳	۷،۶۲۳	-۱،۴۶۰
۲	۲۹	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۲۰	-۱۱	-۱	-۱۲	-۰/۰۱	۲۰۲	-۲۰۳
۳	۱۰۰	۰/۱۱	۱/۴۹	۳/۷۸	۳۱	۹	۳۹	۰/۰۴	۷۹	-۷۰
۴	۶۷۰	۰/۷۶	۱/۴۰	۶۲/۱۸	۲۱،۵۵۱	۱۰،۷۰۵	۳۲،۲۵۶	۳۳/۶۸	۲،۶۸۶	۸،۰۱۹
۵	۲۶	۰/۰۳	۰/۴۱	۱۵/۳۱	۳۹۹	۴۹۳	۸۹۲	۰/۹۳	۳۲۴	۱۶۹
۶	۵	۰/۰۱	۰/۶۶	۴/۱۵	۲۷	۱۷۸	۲۰۴	۰/۲۱	۴	۱۷۳
۷	۵	۰/۰۱	۰/۶۰	۱۵/۸۱	۳۱	۸۸	۱۱۹	۰/۱۲	۹۳	-۵
۸	۸	۰/۰۱	۰/۴۵	۸/۹۳	۷۷	۸۷	۱۶۴	۰/۱۷	۲	۸۵
۹	۵۳	۰/۰۶	۳/۳۶	۱۰/۳۹	۱۰۲	۲۰۰	۳۰۲	۰/۳۱	۴	۱۹۶
۱۰	۱۱	۰/۰۱	۱/۲۰	۲/۹۷	۲	۵	۶	۰/۰۱	۲	۳
۱۱	۵۰	۰/۰۶	۰/۰۹	۱/۳۶	۶	۶	۱۳	۰/۰۱	۳۲۰	-۳۱۳
۱۲	۳۸۶	۰/۴۴	۰/۹۷	۳/۳۶	۸۵	۱۱۷	۲۰۲	۰/۲۱	۵۶۹	-۴۵۳
۱۳	۲۸	۰/۰۳	۰/۴۳	۴/۹۴	۶۰	۷۵	۱۳۴	۰/۱۴	۶۸	۶

بخش	W_j کل (mm^3)	W_j درصد (%)	w_j^d $\frac{m^3}{mIRR}$	w_j^t $\frac{m^3}{mIRR}$	INWF (mm^3)	ENWF (mm^3)	NWF کل (mm^3)	NWF درصد (%)	U (mm^3)	NVWI (mm^3)
۱۴	۱۱۶	۰/۱۳	۰/۷۶	۲/۲۸	۴۱	۲۶	۶۷	۰/۰۷	۵۹	-۳۳
۱۵	۱۲۵	۰/۱۴	۰/۳۸	۲/۰۹	۱۴۸	۱۷۰	۳۱۷	۰/۳۳	۹۹	۷۱
۱۶	۵۵	۰/۰۶	۰/۵۴	۱/۹۸	۹۱	۵۶	۱۴۶	۰/۱۵	۱۳	۴۳
۱۷	۷۷	۰/۰۹	۰/۷۹	۲/۰۱	۱۳۶	۳۲۱	۴۵۷	۰/۴۸	۲۵	۲۹۶
۱۸	۲	۰/۰۰	۰/۲۷	۱/۴۰	۸	۴۸	۵۶	۰/۰۶	۰	۴۸
۱۹	۱۴	۰/۰۲	۰/۲۳	۱/۵۹	۶۲	۶۲	۱۲۴	۰/۱۳	۹	۵۳
۲۰	۳	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۹۶	۶	۴۹	۵۵	۰/۰۶	۱	۴۸
۲۱	۱۰	۰/۰۱	۰/۷۵	۲/۰۶	۲۲	۵۸	۸۰	۰/۰۸	۱	۵۸
۲۲	۳۲	۰/۰۴	۰/۰۹	۱/۷۴	۴۷۳	۳۶۰	۸۳۳	۰/۸۷	۱۰	۳۵۱
۲۳	۶	۰/۰۱	۰/۳۴	۱/۷۴	۲۵	۴۴	۶۹	۰/۰۷	۱	۴۴
۲۴	۸۱	۰/۰۹	۱/۰۹	۳/۰۰	۱۳۰	۹۱	۲۲۱	۰/۲۳	۴۳	۴۸
۲۵	۴۶۲	۰/۵۳	۰/۹۳	۱/۱۱	۱۱۵	۴	۱۱۹	۰/۱۲	۱۰۴	-۱۰۰
۲۶	۱۱۵	۰/۱۳	۰/۱۴	۱/۳۹	۹۸۴	۱۸۹	۱،۱۷۳	۱/۲۳	۰	۱۸۹
۲۷	۵،۰۳۳	۵/۷۴	۱/۲۷	۲/۳۳	۶،۵۹۲	۱،۱۲۶	۷،۷۱۷	۸/۰۶	۲۷۳	۸۵۳
کل	۸۷،۶۶۸	۱۰۰			۷۵،۰۵۶	۲۰،۷۲۷	۹۵،۷۸۳	۱۰۰	۱۲،۶۱۳	۸،۱۱۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

همان‌گونه که از جدول ۵ قابل مشاهده است، براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، کل ردپای آب ملی ایران در سال ۱۳۹۰ معادل ۹۵۷۸۳ میلیون مترمکعب و سرانه آن ۱۲۷۵ مترمکعب به ازای هر نفر بوده است. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت برای تولید محصولات مصرف شده توسط هر ایرانی در سال ۱۳۹۰، به‌طور متوسط حجمی بالغ بر ۱۲۷۵ مترمکعب آب مصرف شده است. این نتایج نشان می‌دهد که براساس شاخص ردپای آب و برمبنای رویکرد مبتنی‌بر مصرف، بیشترین مصرف آب در اقتصاد ایران، به‌ترتیب بخش‌های «کشاورزی»، «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» و «خدمات» مربوط است. برمبنای این رویکرد اگرچه بخش کشاورزی همچنان رتبه اول مصرف آب

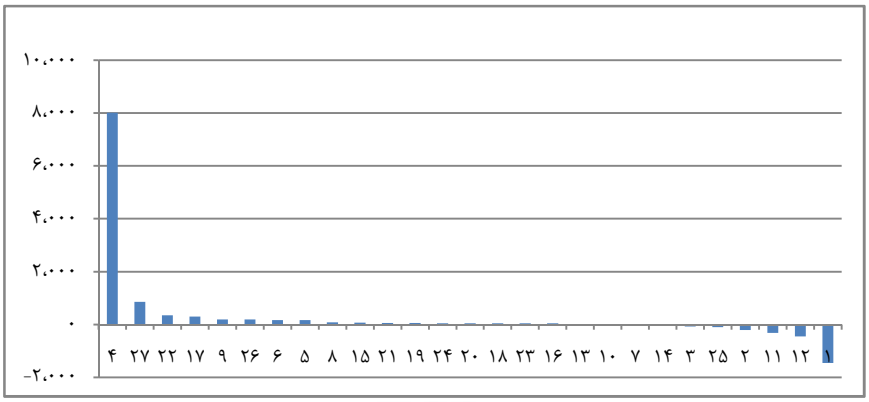
را به خود اختصاص داده است، اما نسبت به رویکردهای سنتی (کل مصرف مستقیم آب)، شدت آن کاهش یافته است. بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۰ حدود ۹۱/۴ درصد از کل آب مصرفی در اقتصاد ایران را به‌خود اختصاص داده درحالی‌که فقط ۵۲/۲ درصد از کل ردپای آب مربوط به این بخش است. در طرف مقابل، بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» تنها حدود ۰/۷۶ درصد از مصارف مستقیم آب را به خود اختصاص داده است درحالی‌که سهم آن از کل ردپای آب ملی به حدود ۳۳/۷ درصد می‌رسد. دقت در این نتایج نشان می‌دهد که در رویکرد مبتنی‌بر مصرف، به‌جز بخش‌های «کشاورزی» و «ساخت مبلمان و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر» که رتبه‌های اول و دهم مصرف آب را به خود اختصاص داده‌اند، رتبه سایر بخش‌ها از مصرف آب، نسبت به رویکرد سنتی به‌طور نسبتاً قابل ملاحظه‌ای تغییر کرده است.

در سال ۱۳۹۰، حدود ۷۸ درصد از کل ردپای آب کشور (معادل ۷۵۰۵۶ میلیون مترمکعب) با استفاده از منابع آب داخلی تأمین شده (ردپای آب داخلی) و حدود ۲۰۷۲۷ میلیون مترمکعب آن نیز خارجی است که این معادل کل حجم واردات آب مجازی به کشور است. در طرف مقابل، حدود ۱۲۶۱۳ میلیون مترمکعب از آب استفاده شده در ایران، برای تولید کالاهایی بوده که از کشور صادر شده‌اند که این نشان‌دهنده کل حجم صادرات آب مجازی است. بر این اساس، کشور ایران در سال ۱۳۹۰ به‌طور خالص واردکننده حجم آبی معادل ۸۱۱۵ میلیون مترمکعب آب بوده است. بنابراین، می‌توان گفت براساس یافته‌های این پژوهش، نظریه هکشر ـ اوهلین در مورد منابع آب ایران تأیید می‌شود که این برخلاف نتیجه به‌دست آمده از مطالعه بانویی و همکاران (۲۰۱۵) است که البته دلایل این اختلاف نتایج نیز تشریح خواهد شد.

بخش کشاورزی ایران با خالص صادرات ۱۴۶۰ میلیون مترمکعب آب مجازی، بزرگ‌ترین صادرکننده خالص آب در کشور بوده است. بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» نیز با واردات ۸۰۱۸ میلیون مترمکعب آب، به‌عنوان بزرگ‌ترین واردکننده خالص آب مجازی شناخته شده است. نمودار ۲ وضعیت تراز تجاری آب مجازی را به تفکیک بخش‌های مختلف نشان می‌دهد.

نمودار ۲. خالص واردات آب مجازی در بخش‌های اقتصادی ایران- ۱۳۹۰

(میلیون مترمکعب)



مأخذ: همان.

با دقت در جدول ۵ مشاهده می‌شود که ردپای آب در بخش «نفت و گاز» منفی شده است. علت این موضوع این است که تقاضای نهایی این بخش در سال ۱۳۹۰ به‌دلیل کاهش شدید موجودی انبار (به‌عنوان قسمتی از سرمایه‌گذاری) منفی بوده است. این موضوع باعث منفی شدن مصرف نهایی داخلی (تقاضای نهایی منهای صادرات) شده و درنتیجه، با ضرب شدن این رقم منفی در محتوای آب مجازی، ردپای آب داخلی و کل ردپای آب در این بخش منفی به‌دست آمده است. با توجه به تعریف ردپای آب ملی، منفی شدن این شاخص بی‌معنی به‌نظر می‌رسد، اما با دقت در مفهوم تغییر موجودی انبار در سیستم حساب‌های ملی می‌توان تفسیر ساده‌ای برای این موضوع ارائه کرد. منفی بودن تغییر موجودی انبار در یک بخش خاص طی یک دوره معین، هنگامی اتفاق می‌افتد که در بازار محصولات آن بخش، مازاد تقاضا وجود داشته باشد (رحمانی، ۱۳۹۲: ۲۶-۱). در این شرایط، بنگاه‌ها جهت پاسخگویی به تقاضای مازاد، بخشی از موجودی انبار خود را که مربوط به تولید دوره‌های گذشته هستند به فروش می‌رسانند. بنابراین بخشی از کالاها و خدمات عرضه و مصرف شده این بخش در دوره جاری، مربوط به تولیدات دوره‌های گذشته است. از طرفی، محصولات موجود در انبار بنگاه‌ها قبلاً با عنوان «تغییر در موجودی

انبار»، به‌عنوان بخشی از سرمایه‌گذاری و با رقم مثبت، در تقاضای نهایی آن دوره مورد سنجش قرار گرفته‌اند. بنابراین با توجه به روش‌های ارائه برای سنجش ردپای آب (ازجمله روش مورد استفاده در این پژوهش)، محصولات موجود در انبار بنگاه‌ها، قبلاً در محاسبه ردپای آب دوره‌ای که تولید و به انبار اضافه شده‌اند، به‌حساب آمده‌اند. اما این محصولات در دوره جاری که از انبار خارج شده‌اند، بازهم در سنجش ردپای آب به‌حساب آمده‌اند (چون این محصولات یا به مصرف نهایی رسیده و مستقیماً از طریق f_j ردپای آب را افزایش می‌دهند و یا به مصرف واسطه رسیده و از طریق w_j^t منجر به افزایش ردپای آب می‌شوند). بنابراین به‌منظور جلوگیری از دوباره‌شماری، این مقدار به‌حساب آمده را باید از ردپای آب دوره جاری کم کرد. در صورت قابل توجه بودن تغییر موجودی انبار، این موضوع باعث می‌شود که ردپای آب در آن بخش منفی شود.

ازاین‌رو نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر جهت سنجش ردپای آب و خالص واردات آب مجازی، با نتایج حاصل از برخی مطالعات مشابه مورد مقایسه قرار گرفته و در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج برخی مطالعات مشابه

پژوهش	دوره پژوهش	روش پژوهش	سرانه ردپای آب (مترمکعب)	صادرات آب مجازی (میلیون مترمکعب)	واردات آب مجازی (میلیون مترمکعب)	خالص واردات (میلیون مترمکعب)
پژوهش حاضر	۱۳۹۰	داده ـ ستانده	۱۲۷۵	۱۲۶۱۳	۲۰۷۲۷	۸۱۱۵
صادقی و همکاران (۱۳۹۳)	۱۳۹۰	ماتریس حسابداری اجتماعی	۱۳۰۰	---	۱۱۹۰۰	---
بانویی و همکاران (۲۰۱۵)	۲۰۱۵	داده ـ ستانده	۱۴۳۳	۱۲۶۲۷	۷۴۵۰	-۵۱۷۷
مکونن و هوکسترا (۲۰۱۱)	۲۰۰۵-۱۹۹۶	رویکرد پایین به بالا	۱۸۶۶	۸۵۳۴	۲۰۰۹۲	۱۱۵۵۸

مأخذ: همان.

سرانه ردپای آب و واردات آب مجازی در مطالعه صادقی و همکاران (۱۳۹۳) به‌رغم دوره زمانی یکسان، اندکی با نتیجه به‌دست آمده از این پژوهش متفاوت است. این تفاوت را می‌توان به‌دلیل تعریف متفاوت شاخص ردپای آب در مطالعه آنها دانست. همان‌گونه که در بخش مطالعات پیشین نیز اشاره شد؛ در مطالعه صادقی و همکاران، ردپای آب برخلاف تعریف متعارف به‌جای تقاضای نهایی به تقاضای واسطه‌ای مرتبط شده است. با این وجود، سرانه ردپای آب در مطالعه مزبور تفاوت چندانی با نتایج حاصل از این پژوهش ندارد.

اختلاف نتایج این پژوهش با مطالعه بانویی و همکاران (۲۰۱۵) اگرچه ازنظر سرانه ردپای آب چندان قابل ملاحظه نیست، اما از لحاظ تجارت آب مجازی و تطابق آن با نظریه‌های تجارت بین‌الملل، این نتایج با یافته‌های مطالعه مزبور دارای اختلاف بسیار زیادی است. این اختلاف نتایج احتمالاً مربوط به سه دلیل است: ۱. دوره زمانی متفاوت (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۸۵)، ۲. تعداد بخش‌های جدول داده ـ ستانده مورد استفاده و ۳. استفاده از پایه‌های آماری متفاوت. در مورد اول باید توجه داشت که ساختار تجاری ایران در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۵ به شکل نسبتاً چشمگیری تغییر کرده و این موضوع باعث تغییر الگوی تجارت آب مجازی کشور شده است. برای تبیین دقیق‌تر موضوع، ازآنجاکه در مطالعه حاضر بخش قابل توجهی از تبادلات آب مجازی ایران مربوط به بخش‌های «کشاورزی» و «صنایع مواد غذایی و آشامیدنی» است، ساختار تجارت خارجی ایران در این دو بخش در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در مطالعه بانویی و همکاران (۲۰۱۵) بخش کشاورزی حدود ۹۵ درصد کل صادرات و ۹۱ درصد کل واردات آب مجازی را به‌خود اختصاص داده است و ازآنجاکه در این سال ارزش صادرات بخش کشاورزی بیشتر از واردات آن (حدود ۱/۳ برابر) بوده، بنابراین خالص واردات آب مجازی در این بخش و درنتیجه کل بخش‌های اقتصادی منفی و نسبتاً قابل ملاحظه بوده است. اما در سال ۱۳۹۰ تراز تجاری بخش کشاورزی منفی شده و ارزش واردات آن بیشتر از صادرات بوده است (۱/۱۴ برابر).[1] همچنین، تراز تجاری بخش صنایع

---

۱. با وجود تراز تجاری منفی این بخش در سال ۱۳۹۰، در پژوهش حاضر میزان صادرات آب مجازی بیشتر از واردات شده است. این به‌دلیل نحوه محاسبه واردات واسطه‌ای آب مجازی در روش مورد استفاده این پژوهش است که با یک ضریب تعدیل محاسبه شده است.

مواد غذایی در سال ۱۳۹۰ به‌شدت منفی بوده است به‌طوری‌که واردات آن بیش از ۳/۶ برابر صادرات آن بوده است. این موضوع با توجه به آب‌بری بالا و نیز حجم قابل توجه تجارت در این بخش باعث شده است که میزان خالص واردات آن به میزان قابل ملاحظه‌ای مثبت باشد. اما در مطالعه بانویی و همکاران (۲۰۱۵) بخش صنایع مواد غذایی با برخی بخش‌های دیگر با عنوان «صنایع مبتنی‌بر کشاورزی» تجمیع شده و واردات آب مجازی در این بخش به‌صورت جداگانه محاسبه نشده است. درواقع یکی از مزیت‌های مطالعه حاضر نسبت به مطالعه مزبور را می‌توان تعداد بیشتر بخش‌های جدول داده ـ ستانده برشمرد که این موضوع می‌تواند باعث افزایش دقت محاسبات شود.

در مورد مطالعه مکونن و هوکسترا (۲۰۱۱) نیز دلیل اختلاف نتایج آشکار است چرا که هم روش محاسبه ردپای آب و هم دوره زمانی مورد مطالعه متفاوت‌اند. علاوه‌بر این، در مطالعه مکونن و هوکسترا (۲۰۱۱)، ردپای آب، علاوه‌بر آب آبی شامل آب سبز و خاکستری نیز می‌شود درحالی‌که در مطالعه حاضر، تنها آب آبی مورد توجه است.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تحولات اقتصادی، اجتماعی و جمعیتی دهه‌های گذشته باعث شده است که تقاضا برای منابع جهانی آب به‌شدت افزایش یافته و این منبع حیاتی را تحت فشار بی‌سابقه‌ای قرار دهند. در حال حاضر روند فزاینده تقاضای آب همچنان ادامه دارد درحالی‌که میزان عرضه آن تقریباً ثابت و افزایش آن نیز پرهزینه است. این شرایط باعث شده است که در سال‌های اخیر، مدیریت طرف تقاضا به‌عنوان یک رویکرد مطلوب در جهت رفع بحران آب مورد توجه جامعه جهانی قرار گیرد.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک اقلیمی ازجمله ایران، افزایش فزاینده تقاضای آب، با محدودیت عرضه این منابع همراه شده و پیش‌بینی می‌شود که براثر تغییرات اقلیمی، این محدودیت عرضه در آینده شدیدتر نیز خواهد شد. همه این موارد به‌علاوه توزیع ناهمگون بارش‌ها، وضعیت آبی ایران را با شرایط پیچیده‌ای مواجه کرده است و ازاین‌رو مدیریت صحیح منابع موجود آب در کشور امری حیاتی به نظر می‌رسد. ازآنجاکه حجم قابل توجهی

از منابع آب کشور برای تولید محصولات اقتصادی به‌کار می‌رود، ارزیابی و تحلیل چگونگی توزیع و مصرف این حجم آب در سیستم اقتصادی، می‌تواند یک زمینه مطالعاتی بسیار ارزشمند پیرامون مدیریت صحیح این منابع باشد. با مروری بر مطالعات داخلی، به‌نظر می‌رسد که این زمینه در مطالعات گذشته نادیده گرفته شده یا کمتر به آن توجه شده است. بر این اساس، پژوهش حاضر کوشیده است تا با یک رویکرد مبتنی‌بر مصرف و با تکیه بر مفهوم ردپای آب به سهم خود گامی در جهت برطرف کردن این خلأ مطالعاتی بردارد. در این راستا، به سنجش و تحلیل متغیرهایی چون آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم، ردپای آب و تجارت آب مجازی در بخش‌های اقتصادی کشور اقدام شده است.

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که کل ردپای آب ایران در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۹۵۷۸۳ میلیون مترمکعب است که حدود ۲۱/۶ درصد آن خارجی است و از منابع آب سایر کشورها تأمین می‌شود. به‌عبارت‌دیگر در سال ۱۳۹۰ حدود ۲۰۷۲۷ میلیون مترمکعب آب مجازی از سایر کشورها وارد و در طرف مقابل، صادرات آب مجازی کشور حدود ۱۲۶۱۳ میلیون مترمکعب بوده است. بنابراین در سال ۱۳۹۰ به‌طور خالص حجم آبی در حدود ۸۱۱۵ میلیون مترمکعب وارد کشور شده که این مقدار، بیش از دو برابر آبی است که خانوارهای کشور در همان سال مصرف کرده‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد که می‌توان از تجارت آب مجازی به‌عنوان یک استراتژی مناسب برای مقابله با کمبود آب کشور استفاده کرد. بخش کشاورزی با صادرات حدود ۱۴۶۰ میلیون مترمکعب آب مجازی، به‌عنوان بزرگ‌ترین صادرکننده خالص و بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» با واردات ۸۰۱۸ میلیون مترمکعبی به‌عنوان بزرگ‌ترین واردکننده خالص آب مجازی شناخته شده‌اند. براساس این نتایج می‌توان گفت که برخلاف یافته‌های مطالعه بانویی و همکاران (۲۰۱۵)، نظریه تجارت بین‌الملل هکشر ـ اوهلین در مورد منابع آب ایران، تأیید می‌شود.

با احتساب مصارف غیرمستقیم آب، تصویر کاملاً متفاوتی از میزان آب‌بری بخش‌های اقتصادی نمایان می‌شود. به‌عنوان مثال برای تولید یک میلیون ریال محصول بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» حدود ۱/۴ مترمکعب آب به شکل مستقیم مصرف می‌شود، این درحالی است که بیش از ۶۰ مترمکعب آب نیز به‌صورت

غیرمستقیم از منابع داخلی مصرف می‌شود. بنابراین نادیده گرفتن این مصارف غیرمستقیم، واقعیت مصرف آب در بخش‌های مختلف را پنهان می‌سازد و امکان مدیریت صحیح و تخصیص بهینه این منابع را با دشواری روبه‌رو خواهد ساخت.

بخش «کشاورزی» حدود ۹۱/۴ درصد از کل مصرف آب در اقتصاد کشور را به خود اختصاص داده است (دیدگاه سنتی). درحالی‌که براساس شاخص ردپای آب، تنها ۵۲/۲ درصد از کل این مصارف به این بخش مربوط می‌شود. برخی بخش‌های دیگر ازجمله بخش «صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات» در نقطه مقابل قرار دارند. سهم این بخش از کل ردپای آب کشور بیش از ۴۴ برابر سهم آن از مصرف مستقیم آب است. بنابراین، می‌توان گفت براساس دیدگاه مبتنی‌بر مصرف، سهم هریک از بخش‌های اقتصادی در مصارف آب ملی نسبت به رویکردهای سنتی به‌طور چشمگیری متفاوت است.

در انتها، براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش پیشنهاد می‌شود که در سیاستگذاری‌های اقتصادی و همچنین در برنامه‌های مرتبط با مدیریت منابع آب، رویکردهای مبتنی‌بر مصرف مورد توجه قرار گیرند. همچنین استراتژی واردات آب مجازی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار امیدوارکننده برای رفع کمبود آب مورد توجه سیاستگذاران کشور قرار گیرد. در این راستا پیشنهاد می‌شود که براساس یک برنامه‌ریزی بلندمدت، الگوی تجارت در کشور، برمبنای واردات حداکثری و صادرات حداقلی آب مجازی قرار گیرد (با درنظر گرفتن سایر عوامل مانند مزیت نسبی، اشتغال‌زایی و امنیت غذایی).

منابع و مآخذ

۱. بانویی، علی‌اصغر (۱۳۹۱). «ارزیابی شقوق مختلف نحوه منظور کردن واردات و روش‌های تفکیک آن با تأکید بر جدول متقارن سال ۱۳۸۰»، نشریه *سیاستگذاری اقتصادی*، ۴(۸).

۲. ببران، صدیقه و نازلی هنربخش (۱۳۸۷). «بحران وضعیت آب در جهان و ایران»، فصلنامه *راهبرد*، ۱۶(۴۸).

۳. پایگاه اینترنتی شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر مطالعات پایه منابع آب، http://wrbs.wrm.ir.

۴. پایگاه اینترنتی شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران، http://www.nww.ir.

۵. پایگاه اینترنتی مرکز آمار ایران. پایگاه اطلاعاتی نشریات، https://amar.sci.org.ir.

۶. تفضلی، حامد (۱۳۹۲). «سنجش ردپای آب در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران با استفاده از رویکرد داده ـ ستانده»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی.

۷. ذاکری، زهرا و مرضیه مؤمنی (۱۳۹۴). «سنجش آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران: مبتنی‌بر جدول داده ـ ستانده سال ۱۳۸۵»، مرکز پژوهش‌های مجلس، شماره مسلسل ۱۴۲۷۰.

۸. رحمانی، تیمور (۱۳۹۲). *اقتصاد کلان*، جلد اول، چاپ بیستم، تهران، انتشارات برادران.

۹. شاکری، عباس و سیروس امیدوار (۱۳۸۹). «آزمون نظریه هکشر ـ اوهلین در مورد صادرات و واردات چین»، *پژوهشنامه اقتصادی*، ۱۰(۴).

۱۰. صادقی، سیدکمال، زهرا کریمی تکانلو، محمدعلی متفکرآزاد، حسین اصغرپور قورچی و یعقوب اندایش (۱۳۹۳). «سنجش ردپای آب بخش‌های اقتصادی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM)»، فصلنامه *اقتصاد مقداری*، ۱۱(۳).

۱۱. عربی یزدی، اعظم، امین علیزاده و فرشاد محمدیان (۱۳۸۸). «بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران»، *نشریه آب و خاک*، ۲۳(۴).

۱۲. علیقلی‌نیا، توحید، حسین رضایی، جواد بهمنش و مجید منتصری (۱۳۹۵). «تخمین و ارزیابی ردپای آب آبی و سبز محصولات عمده مورد کشت در حوضه آبریز دریاچه ارومیه»، نشریه *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۳).

۱۳. محمدجانی، اسماعیل و نازنین یزدانیان (۱۳۹۳). «تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن»، فصلنامه *روند*، ۲۱(۶۶-۶۵).

۱۴. منتصری، مجید، نگار رسولی مجد، جواد بهمنش و حسین رضایی (۱۳۹۵). «ارزیابی تغییرات ردپای آب محصولات زراعی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش LMDI»، *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۵(۳/۲).

۱۵. نصراللهی، زهرا و مهران زارعی (۱۳۹۴). «ردپای آب شاخصی نوین در مدیریت منابع آب»، *اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران*، یزد، دانشگاه یزد.

16. Allan, J. A. (1994). "Overall Perspectives on Countries and Regions", P. Rogers and P. Lydon, *Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

17. Bagliani, M., G. Bravo and S. Dalmazzone (2008). "A Consumption-based Approach to Environmental Kuznets Curves Using the Ecological Footprint Indicator", *Ecological Economics*, 65(3).

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

19. Benz, S., M. Larch and M. Zimmer (2014). "The Structure of Europe: International Input–Output Analysis with Trade in Intermediate Inputs and Capital Flows", *Review of Development Economics*, 18(3).

20. Chapagain, A. K. and A. Y. Hoekstra (2004). Water Footprints of Nations. Value of Water Research Report Series No. 16, Delft, the Netherlands: IHE.

21. Chen, W., S. Wu, Y. Lei and S. Li (2017). "China's Water Footprint by Province, and Inter-provincial Transfer of Virtual Water", *Ecological Indicators*, 74.

22. Duarte, R., J. Sanchez-Choliz and J. Bielsa (2002). "Water use in the Spanish Economy: an Input–output Approach", *Ecological Economics*, 43(1).

23. Duarte, R. and H. Yang (2011). "Input–output and Water: Introduction to the Special Issue", *Economic Systems Research*, 23(4).

24. Feng, K., K. Hubacek, J. Minx, Y. L. Siu, A. Chapagain, Y. Yu, D. Guan and J. Barrett (2010). "Spatially Explicit Analysis of Water Footprints in the UK", *Water*, 3(1).

25. Feng, K., A. Chapagain, S. Suh, S. Pfister and K. Hubacek (2011). "Comparison of Bottom-up and Top-down Approaches to Calculating the Water Footprints of Nations", *Economic Systems Research*, 23(4).

26. 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 Series No. 11, Delft, The Netherlands: IHE.

27. Hoekstra, A. Y. and A. K. Chapagain (2007). "Water Footprints of Nations: Water Use by People as a Function of their Consumption Pattern", *Water Resources Management*, 21(1).

28. Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen (2011). "*The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*", Water Footprint Network, London, UK.

29. Lenzen, M. and B. Foran (2001). "An Input–output Analysis of Australian Water Usage", *Water Policy*, 3(4).

30. Luo, T., R. Young and P. Reig (2015). "Aqueduct Projected Water Stress Rankings, Technical Note", Washington, DC: World Resources Institute.

31. Lutter, S., S. Pfister, S. Giljum, H. Wieland and C. Mutel (2016). "Spatially Explicit Assessment of Water Embodied in European Trade: A Product-level Multi-regional Input-output Analysis", *Global Environmental Change*, 38.

32. Mekonnen, M.M. and A. Y. Hoekstra (2011). National Water Footprint Accounts: the Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption. Value of Water Research Report Series No. 50, Delft, the Netherlands, IHE.

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

34. Okadera, T., Y. Geng, T. Fujita, H. Dong, Z. Liu, N. Yoshida and T. Kanazawa (2015). "Evaluating the Water Footprint of the Energy Supply of Liaoning Province, China: A Regional Input–output Analysis Approach", *Energy Policy*, 78.

35. Renault, D. (2003). "Value of Virtual Water in Food: Principles and Virtues". Value of Water Research Report Series No. 12, Delft, the Netherlands: IHE.

36. Sayan, S. (2003). "H–O for H2O: Can the Heckscher–Ohlin Framework Explain the Role of Free Trade in Distributing Scarce Water Resources Around the Middle East?", *Review of Middle East Economics and Finance*, 1(3).

37. United Nations (2006). "Water Demand Management Strategy and Implementation Plan for JABALPUR", Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya.

38. Velazquez, E. (2006). "An Input–output Model of Water Consumption: Analysing Intersectoral Water Relationships in Andalusia", *Ecological Economics*, (56).

39. Wang, Y., H. L. Xiao and M. F. Lu (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).

40. World Economic Forum (2015). "Global Risks 2015- 10th Edition", Available from www.Weforum.org/Risks. Accessed At 10/08/2015.

41. Zhao, X., B. Chen and Z. F. Yang (2009). "National Water Footprint in an Input–output Framework- a Case Study of China 2002", *Ecological Modelling*, 220(2).