

آب مجازی

بررسی تجارب و مطالعات انجام شده

در ایران و جهان

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی
دفتر: مطالعات زیربنایی

کد موضوعی: ۲۵۰
شماره مسلسل: ۱۴۹۴۴
مردادماه ۱۳۹۵

به نام خدا

فهرست مطالب

۱.....	چکیده
۲.....	مقدمه
۴.....	فصل اول - مبانی و مفاهیم آب مجازی
۴.....	۱-۱. مبانی و مفاهیم آب مجازی
۴.....	۱-۱-۱. مفاهیم آب مجازی
۶.....	۱-۲. ارتباط مفهوم آب مجازی و بهره‌وری آب
۸.....	۱-۳. رهیافت‌های کلی اندازه‌گیری و تحلیل آب مجازی
۹.....	فصل دوم - مطالعات انجام شده خارجی در مورد آب مجازی
۹.....	۲. مطالعات انجام شده خارجی در مورد آب مجازی
۹.....	۲-۱. مطالعات خارجی با رهیافت فنی - پایه
۱۳.....	۲-۲. مطالعات خارجی با رهیافت تعادل فراگیر جدول داده - ستانده
۱۴.....	فصل سوم - مطالعات انجام شده داخلی در مورد آب مجازی
۱۴.....	۳. مطالعات انجام شده داخلی در مورد آب مجازی
۱۵.....	۳-۱. مطالعات داخلی با رهیافت فنی - پایه
۲۲.....	۳-۲. مقایسه سهم انواع آب در تولید یک تن محصول در ایران و متوسط ۱۷۶ کشور جهان
۲۵.....	۳-۳. مطالعات داخلی با رهیافت تعادل فراگیر جدول داده - ستانده
۲۶.....	نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۲۸.....	منابع و مآخذ



آب مجازی

بررسی تجارب و مطالعات انجام شده در ایران و جهان

چکیده

پیشرفت و توسعه بشر به همراه رشد جمعیت و افزایش تقاضا از یک طرف و محدودیت عرضه منابع طبیعی از طرف دیگر باعث شده است استفاده بهینه و مناسب از این منابع از اهمیت زیادی برخوردار باشد. در این میان منابع آب به دلیل روند رو به رشد مصارف آب به ویژه در کشورهای در حال توسعه، از اهمیت مضاعفی برخوردار است و چشم انداز تولید و دستیابی به امنیت غذایی را در این کشورها به شدت تهدید می کند.

رویکرد تجارت آب مجازی به عنوان رویکردی که به نهاده آب در تولید و مصرف کالاهای مختلف اهمیت می دهد تقریباً دو دهه است که معرفی شده و مورد بحث قرار می گیرد. این رویکرد به این موضوع می پردازد که به ازای کالاهایی که تولید یا مصرف می شود چقدر منابع آب استفاده شده است. براساس این مفهوم، بحث تجارت آب مجازی اهمیت پیدا کرده و کشورها به این موضوع علاقمند شده اند که بدانند در تجارت کالاهای کشاورزی و صنعتی که انجام می دهند چه میزان آب صادر و یا چه میزان آب وارد می کنند؟ همچنین چقدر در تأمین امنیت غذایی و تولید کالاهای مورد نیاز داخلی خود به آب های داخل کشورشان متکی هستند؟ بنابراین، در پاسخ به سؤالات مذکور، تجارت آب مجازی به عنوان یکی از رویکردهای مدیریت منابع آب مورد پذیرش قرار گرفت و در کشورهای زیادی مطالعات به سمت محاسبه ردپای آب مجازی کالاهای تجارت شده سوق پیدا کرد.

از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی و تحلیل مطالعات انجام شده داخلی و تجربیات کشورهای دیگر انجام شد تا نقش تجارت آب مجازی در مدیریت منابع آب را بررسی کند. همچنین مشخص شود که چه حجمی از منابع آب کشورها از طریق تجارت و به صورت مجازی انتقال داده می شود. به عبارت دیگر، تجارت آب مجازی چقدر در مدیریت منابع آب نقش دارد و چه انتظاری می توان از آن داشت؟

نتایج بررسی مطالعات انجام شده داخلی و خارجی در گزارش حاضر نشان داد که حجم تجارت شده آب مجازی سهم بسیار زیادی از کل منابع آب تجدیدپذیر ندارد، ولی برخی کشورها بر اساس آینده نگری که دارند، درصد خودکفایی از آب های داخلی را کاهش و به واردات محصولات آب بر کشاورزی رو آورده اند. در این ارتباط، پژوهش های مختلفی میزان صرفه جویی در منابع آب از طریق واردات محصولات کشاورزی و صنعتی توسط ایران را گزارش کرده اند. از جمله این مطالعات می توان به مطالعه چاپگین (۲۰۰۴) اشاره کرد که براساس آن ایران از طریق واردات محصولات کشاورزی طی دوره زمانی ۱۹۹۷-۲۰۰۱، حدود ۱۹ میلیارد

متر مکعب آب صرفه‌جویی کرده است. پژوهش‌هاکسترا (۲۰۰۳) نیز این رقم را برای دوره زمانی ۱۹۹۵-۱۹۹۹ حدود ۲۹/۱ میلیارد متر مکعب محاسبه کرده است. در مطالعات داخلی نیز، یافته‌های پژوهش جعفری و زارعی (۱۳۸۶) نشان می‌دهد که خالص واردات آب مجازی ایران در طول سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۳ حدود ۱۲/۸ میلیارد مترمکعب بوده است. علاوه بر این، نتایج مطالعه محمدی کانی گلزار (۱۳۹۱) نشان می‌دهد که ایران در طول دوره ۱۳۸۰-۱۳۸۸ برای ۳۲ محصول عمده کشاورزی، واردکننده خالص آب مجازی بوده و سالیانه ۱۳/۷ میلیارد متر مکعب آب از این مبادلات ذخیره کرده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که میزان صرفه‌جویی در منابع آب از طریق تجارت آب مجازی در ایران بین ۱۰ تا ۲۵ درصد کل منابع تجدیدپذیر سالیانه بوده است. همچنین طبق پژوهشی که توسط چاپگین و هاکسترا (۲۰۰۴) انجام شده است، متوسط جریان بین‌المللی آب مجازی در طول دوره ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ حدود ۱۶۲۵ میلیارد متر مکعب در سال بوده است که از این میزان، سهم محصولات کشاورزی و دامی حدود ۷۸ درصد و سهم محصولات صنعتی ۲۲ درصد است. علاوه بر این، این میزان آب مجازی تجارت شده، تقریباً معادل ۱۶ درصد کل آب مصرف شده در جهان بوده است.

با وجود این، استفاده از رویکرد تجارت آب مجازی به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت منابع آب مورد پذیرش اکثر محققین است و بر این نکته تأکید کرده‌اند و راهکارهای مختلفی برای دستیابی به آن بیان نموده‌اند. اگرچه لازم است به میزان اثرگذاری آن در جلوگیری از بحران آب توجه شود. بر این اساس، لازم است یک بهینه‌سازی اقتصادی در مورد تجارت آب مجازی یا تراز بین صادرات و واردات آب مجازی با عنایت به حفظ سطح درآمد تولیدکنندگان کالاها و خدمات، مسائل محیط زیستی و مسائل اجتماعی آن صورت گیرد تا بتوان تأثیرگذاری این ابزار را در کنترل بحران منابع آب افزایش داد.

مقدمه

امروزه کمبود آب مشکلات زیادی را برای تأمین آب شرب سالم، تولید کافی محصولات کشاورزی و روند عمومی زندگی انسان‌ها به‌وجود آورده است. طبق آمارهای بین‌المللی، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ میلادی، حداقل نیمی از مردم جهان با تنش آب و مشکلات ناشی از کم‌آبی مواجه شوند. این شرایط برای کشورهای واقع شده در نواحی خشک و نیمه‌خشک مانند ایران وخیم‌تر است. کشور ایران در مقایسه با متوسط جهانی، حدود یک‌سوم بارش سالیانه و حدود سه برابر تبخیر دارد. همچنین توزیع بارش بسیار ناهمگون بوده و عمدتاً ریزش‌ها در مناطق کوهستانی رخ می‌دهد و انطباق لازم بین دوره‌های بارندگی با دوره‌های تولید محصولات کشاورزی در دشت‌ها نیز وجود ندارد. از این‌رو، لازم است از طریق ابزارهای مختلف برای جلوگیری و تشدید بحران در منابع آب کشور اقدام شود.

یکی از ابزارهایی که در دهه اخیر مورد توجه کشورهای جهان قرار گرفته است، تجارت آب مجازی



است. آب یک نهاده مهم و حیاتی در تولید محصولات کشاورزی و همچنین بسیاری از محصولات صنعتی و خدماتی است. هر واحد تولید این محصولات دربرگیرنده مصرف مقادیر متنابهی آب بوده که از آن با عنوان آب مجازی (Virtual Water) یاد می‌شود. به عبارت دیگر، آب مجازی مقدار آبی است که یک فرآورده کشاورزی یا تولید صنعتی در مراحل مختلف زنجیره تولید از لحظه شروع تا پایان مصرف می‌کند. صفت مجازی در این تعریف بدان معناست که بخش عمده آب مصرف شده طی فرآیند تولید، در محصول نهایی وجود فیزیکی ندارد و در حقیقت بخش بسیار ناچیزی از آب مصرفی در پایان به عنوان آب واقعی در بافت محصول باقی خواهد ماند.

در این راستا می‌توان با به کارگیری مفهوم آب مجازی و با توجه به نقش نهاده آب در تولید، اصلاحاتی در ترکیب فعالیت‌های مصرف‌کننده آب و نحوه تخصیص آب بین فعالیت‌ها و محصولات به وجود آورد که به کاهش اتلاف منابع آب و افزایش راندمان آب منجر شود. بدین ترتیب مفهوم آب مجازی و به کارگیری اصول اقتصادی در تجارت آن می‌تواند سرآغاز روندی نو در شکل‌دهی سیاست‌های اقتصادی دولت برای تخصیص این منبع کمیاب و مدیریت شوک‌های کم‌آبی و خشکسالی در جهت استفاده پایدار از آب با توجه به ظرفیت کشور باشد. طبق نظریه‌های تجارت بین‌الملل دو طرف تجارت با به کارگیری اصل مزیت نسبی می‌توانند از تجارت منتفع شوند. در مورد نهاده آب نیز می‌توان از این اصل بهره جست. چنانچه ناحیه‌ای دارای مزیت نسبی منابع آبی است، می‌تواند به تولید محصولات آب‌بر^۱ بپردازد و با ناحیه دیگر که از این مزیت نسبی برخوردار نیست، مبادله انجام دهد.

اما نکته قابل توجه این است که درخصوص تجارت آب مجازی دو دیدگاه کلی وجود دارد. در دیدگاه اول تجارت آب مجازی می‌تواند جایگزین مناسبی به جای انتقال بین حوضه‌ای آب در کشورها باشد. بر این اساس، می‌توان به جای سرمایه‌گذاری برای انتقال فیزیکی آب، آن را به صورت مجازی وارد یا صادر کرد که این روش ارزان‌تر از سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بزرگ مقیاس انتقال بین حوضه‌ای آب است. در تئوری تجارت آب مجازی، برای کاهش فشار بر منابع آب، به کشورهای کم‌آب توصیه شده که به جای تولید مواد غذایی از منابع آب داخلی، به واردات مواد غذایی مبادرت ورزیده و منابع آب داخلی را برای فعالیت‌های تجاری پر سود اختصاص دهند. در واقع گزینه تجارت مجازی آب از طریق تبادل کالاهای کشاورزی، چه داخلی و چه خارجی، راهکاری است که می‌توان با استفاده از آن از بحران و کمبود آب در سطح ملی، منطقه‌ای و جهانی جلوگیری کرد و مانع تبعات منفی اقتصادی، اجتماعی و سیاسی آن شد. در دیدگاه دوم خودکفایی نسبی و سرمایه‌گذاری برای امنیت غذایی بر تجارت آب مجازی اولویت داده شده است. دلایل ارائه دیدگاه دوم این است که تجارت آب مجازی وضعیت اقتصادی آبی کشاورزان را نادیده گرفته و وابستگی درآمدی زارعین به کشاورزی را لحاظ نمی‌کند. از سوی دیگر،

مشکلات به وجود آمده ناشی از بیکار شدن بخشی از جامعه بیشتر از منافع حاصل از تجارت آب مجازی است. بنابراین، از الزامات استفاده از ابزار تجارت آب مجازی برای مدیریت منابع آب آن است که به هر دوی دیدگاه‌های مشاوره شده در بالا توجه شود. برای مثال، اگر براساس رویکرد اول قرار است برای یک محصول مشخص، واردات جایگزین تولید شود، حتماً برای ایجاد اشتغال جایگزین و یا پیشنهاد یک محصول جایگزین با مصرف آب پایین، برنامه‌ریزی شده باشد.

با توجه به مطالب بیان شده، سؤالات زیادی درخصوص نقش و جایگاه تجارت آب مجازی در مدیریت منابع آب می‌تواند مطرح باشد. ازجمله اینکه کشورها چه پتانسیلی برای حفظ منابع آب‌های خود از طریق بهینه‌سازی تولید و تجارت دارند؟ و یا اینکه تا چه حد می‌توان از رویکرد تجارت آب مجازی برای کاهش اتلاف منابع آب و جلوگیری از بحران‌های آبی انتظار داشت؟ بنابراین، هدف از انجام مطالعه حاضر، آن است که از طریق بررسی مطالعات انجام شده داخلی و تجربیات جهانی، جایگاه تجارت آب مجازی در مدیریت منابع آب مورد ارزیابی قرار گیرد و از این بررسی، پیشنهادهایی برای بهره‌برداری از این ابزار در مدیریت منابع آب کشور ارائه شود.

فصل اول – مبانی و مفاهیم آب مجازی

۱. مبانی و مفاهیم آب مجازی

در این فصل ابتدا به تعریف آب مجازی و سیر تاریخی مفاهیم و ادبیات مرتبط به آن پرداخته می‌شود. سپس ارتباط آب مجازی با بهره‌وری مورد بررسی قرار گرفته و در انتها به‌طور مختصر رهیافت‌های کلی محاسبه آب مجازی در سطح جهان مرور می‌شود.

۱-۱. مفاهیم آب مجازی

در ارتباط با آب مجازی تعاریف و مفاهیم متعددی ارائه شده است و هر یک برآند تا از منظری متفاوت میان تولید و مصرف آب رابطه‌ای برقرار کنند. آب مجازی به مقدار آبی گفته می‌شود که یک کالا یا یک فرآورده کشاورزی طی فرآیند تولید، مصرف می‌کند تا به مرحله تکامل برسد. به عبارت دیگر، به‌طور ساده می‌توان آب مجازی را مقدار آبی تعریف کرد که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم برای تولید کالا مورد نیاز است. صفت مجازی در این تعریف به آن معنا است که بخش عمده آب مصرف شده طی فرآیند تولید، در محصول نهایی وجود فیزیکی ندارد و در حقیقت بخش بسیار ناچیزی از آب مصرفی در پایان به‌عنوان آب واقعی در بافت محصول باقی خواهد ماند.



برای نخستین بار مفهوم آب مجاز توسط تونی آلن^۱ در سال ۱۹۹۳ معرفی شد. قبل از سال ۱۹۹۳ از واژه آب جاسازشده^۲ استفاده می‌شد، اما مورد توجه مدیران، سیاستگذاران و برنامه‌ریزان قرار نگرفته بود. در سال ۱۹۹۷ آلن در مقاله خود از این مفهوم به‌عنوان یک راه‌حل راهبردی برای کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا استفاده کرد. این مفهوم ارتباطی بین پایداری منابع در دست آب و محل (جغرافیایی) تولید محصولات آب‌بر و محل (جغرافیایی) مصرف آن کالا برقرار می‌کند (آلن، ۲۰۰۳). برخی از کلیدواژه‌های مهم در این ارتباط به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

آب مجازی:^۳ آب مجازی، جمع کل آب مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول (کالا)، با توجه به شرایط اقلیمی، مکانی، زمان تولید و راندمان می‌باشد.

ردپای آب:^۴ ردپای آب، شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید کالا و یا ارائه هر گونه خدمات به مصرف می‌رسد. آب مجازی تنها به حجم آب استفاده شده در تولید محصول اشاره دارد در حالی که ردپای آب علاوه بر آن حجم به اینکه چه نوع آبی در آن محصول استفاده شده و کی و کجا استفاده شده است هم اشاره می‌کند.

تجارت آب مجازی:^۵ تجارت جهانی کالاها یک جریان بین‌المللی از آب مجازی را به وجود می‌آورد که اصطلاحاً تجارت آب مجازی نامیده می‌شود.

تعادل آب مجازی:^۶ تعادل آب مجازی در یک منطقه جغرافیایی مشخص (برای مثال یک کشور یا یک حوضه آبریز) در یک بازه زمانی مشخص، به‌عنوان خالص واردات آب مجازی در آن دوره تعریف می‌شود که برابر است با واردات ناخالص آب مجازی منهای صادرات ناخالص آن. تعادل مثبت در آب مجازی به مفهوم خالص جریانات آب مجازی وارد شده به داخل کشور از سایر کشورها است و تعادل منفی به معنی خالص جریانات خروجی آب مجازی است.

صادرات آب مجازی:^۷ صادرات آب مجازی از یک منطقه جغرافیایی مشخص (برای مثال یک کشور یا یک حوضه آبریز) حجمی از آب مجازی مرتبط با صادرات کالاها یا خدمات از آن منطقه است. **واردات آب مجازی:**^۸ واردات آب مجازی به یک منطقه جغرافیایی مشخص (برای مثال یک کشور

۱. J.A. (Tony) Allan : tony.allan@kcl.ac.uk متولد ۲ جولای ۱۹۳۷، جغرافی‌دان بریتانیایی و برنده جایزه آب استکهلم (Stockholm Water Prize) در ۲۰۰۸ به‌دلیل ارائه مفهوم آب مجازی و عضو مدرسه مطالعات آفریقا و خاورمیانه و کینگ کالج لندن در دانشگاه لندن (King's College London) است.

2. Water Embedded

3. Virtual Water

4. Water Footprint

5. Virtual Water Trade

6 Virtual-water Balance

7 Virtual-water Export

8 Virtual-water Import

یا یک حوضه آبریز) حجمی از آب مجازی است که با واردات کالاها یا خدمات به یک منطقه مرتبط است. **جریان آب مجازی:**^۱ جریان آب مجازی بین دو منطقه مشخص جغرافیایی (برای مثال دو کشور) حجم آب مجازی است که از یک منطقه به منطقه دیگر در نتیجه تجارت محصولات منتقل می‌شود. در این فصل ابتدا به ارتباط بین مفهوم آب مجازی و بهره‌وری پرداخته می‌شود. سپس به‌طور مختصر به ادبیات نظری پیرامون مفهوم آب مجازی و روش‌شناسی محاسبه آن پرداخته می‌شود.

۱-۲. ارتباط مفهوم آب مجازی و بهره‌وری آب

آب مجازی میزان کل آبی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در تولید یک واحد محصول به‌کار گرفته شده است. با توجه به اینکه آب به‌عنوان نهاده‌ای اولیه در تولید استفاده می‌شود، بسته به نوع تکنولوژی تولید، میزان مصرف آب متفاوت خواهد بود. برخی تکنولوژی‌ها آب‌بر و برخی دیگر آب‌اندوز هستند. چنانچه تکنولوژی تولید دارای ساختاری آب‌بر باشد استفاده از آب در تولید افزایش یافته و بهره‌وری آب را پایین خواهد آورد (احسانی و همکاران، ۱۳۸۲).

در تولیدات صنعتی از آنجا که تکنولوژی تولید فقط ماهیت مکانیکی - فنی دارد، میزان بهره‌وری آب و در نتیجه میزان تقاضای آن قابل مدیریت است. اما در تولید محصولات کشاورزی به‌دلیل وجود ساختار بیولوژیکی (علاوه بر ماهیت فنی) در تکنولوژی تولید میزان استفاده از آب (تقاضای آب) چندان قابل کنترل و مدیریت نیست. به عبارت دیگر، استفاده از سیستم‌های آبیاری پیشرفته هر چند میزان بهره‌وری آب را بهبود می‌بخشند، ولی لزوماً میزان مصرف کل را کاهش نمی‌دهند. استفاده از تکنولوژی‌های آبیاری دارای دو اثر است. از یک طرف با افزایش راندمان آبیاری باعث ذخیره کردن (اندوختن^۲) آب می‌شوند و از طرف دیگر این امکان را فراهم می‌کنند که بتوان همان منبع آب را برای تولید محصولات بیشتری به کار برد.

به بیان دیگر، بهره‌وری ارتقا یافته، اما میزان مطلق استفاده از آب بدون تغییر باقی مانده است. در واقع، کشاورزان با انگیزه افزایش درآمد زمین‌های دیگری را زیرکشت می‌برند که تا قبل از آن مزیت کشت در آنها وجود نداشت. اما با داشتن آب اضافه این امکان برای آنها وجود خواهد داشت که دست به این کار بزنند. در نتیجه در کنار بهره‌وری نیاز به مفهوم تازه‌ای برای استفاده اقتصادی آب احساس می‌شود که تحت عنوان آب مجازی مطرح شده است.

بهره‌وری آب، میزان تولید محصول به ازای مصرف هر واحد آب را نشان می‌دهد که نمایانگر مفهوم تولید متوسط است، ولی با مفهوم آب مجازی رابطه عکس دارد. زیرا آب مجازی در واقع میزان استفاده

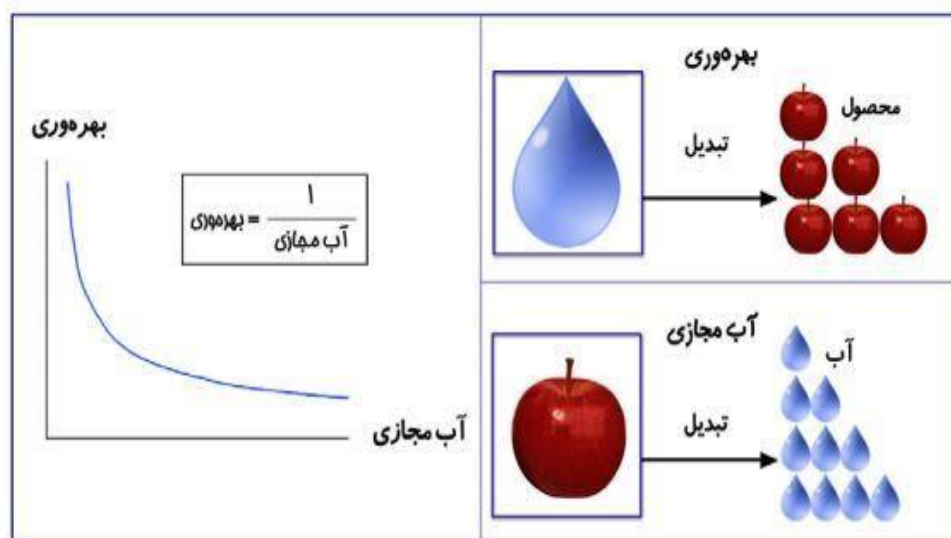
1. Virtual-water Flow

2. Saving



از آب در هر واحد محصول است و تأکید مفهوم آب مجازی بر میزان استفاده از آب در فرآیند تولید است. در شکل زیر ارتباط معکوس بین این دو مفهوم نمایش داده شده است.

شکل ۱. ارتباط بین مفهوم آب مجازی و بهره‌وری



مأخذ: پرتال جامع مدیریت مصرف آب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی مصرف منابع آب، شاخص بهره‌وری آب است که نشان می‌دهد به ازای هر واحد تولید آب مصرفی چه مقدار محصول تولید شده است. برای محاسبه این شاخص تولید ناخالص هر بخش اقتصادی بر مقدار آب مصرف شده در بخش مزبور تقسیم می‌شود و عدد حاصل به عنوان شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار این شاخص به تبعیت شرایط و ساختار اقتصادی کشورها متفاوت است.

بررسی این شاخص در بین کشورهای مختلف جهان تفاوت‌های آشکاری را بین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه نشان می‌دهد به طوری که طبق جدول زیر، مقدار کل این شاخص بین ۲۸/۲ در کشورهای با درآمد بالا تا ۰/۸ در کشورهای با درآمد پایین در نوسان بوده است. براساس اطلاعات منتشر شده توسط بانک جهانی در سال ۲۰۰۶، متوسط این شاخص طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۴ در ایران برای بخش‌های کشاورزی، صنعت و برای کل اقتصاد به ترتیب معادل ۰/۲، ۲۶/۲ و ۱/۶ بوده است که نسبت به کشورهای توسعه یافته و متوسط جهانی ارقام پایین‌تری را نمایان می‌سازد (به استثنای بخش صنعت).

جدول ۱. میانگین شاخص بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، صنعت و کل طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۴

(یک مترمکعب به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی به دلار در سال پایه ۲۰۰۰)

شرح	کشاورزی	صنعت	کل اقتصاد
جهان	۱	۱۸/۷	۸/۶
کشورهای با درآمد بالا	۲/۷	۳۳/۶	۲۸/۲
کشورهای با درآمد متوسط	۰/۶	۱۹	۳/۳
کشورهای با درآمد پایین	۰/۳	۰/۷	۰/۸
ایران	۰/۲	۲۶/۲	۱/۶
ترکیه	۱	۱۰/۴	۵/۳
ازبکستان	۲/۵	۰/۱	۰/۳
هند	۰/۲	۳/۵	۰/۸
مصر	۰/۳	۰/۸	۱/۶
ارمنستان	۰/۶	۲۱/۶	۸/۳
پاکستان	۰/۱	۴/۷	۰/۵

مأخذ: بانک جهانی، ۲۰۰۶.

جدول فوق همچنین نشان می‌دهد که بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران (۰/۲) پایین‌تر از برخی کشورهای همسایه در منطقه است. برای مثال بهره‌وری آب در کشور ترکیه و ارمنستان به ترتیب ۱ و ۰/۶ دلار تولید به ازای هر واحد متر مکعب مصرف آب در بخش کشاورزی است.

۳-۱. رهیافت‌های کلی اندازه‌گیری و تحلیل آب مجازی

برای محاسبه آب مجازی دو رهیافت کلی در مطالعات ارائه شده است که شامل رهیافت تعادل فراگیر استفاده از جدول داده - ستانده و رهیافت فنی - پایه هستند. در رهیافت فنی - پایه با تحلیل مفهوم آب مجازی و به کارگیری روابط فنی، فیزیکی و همچنین به طور خاص روابط فیزیولوژی، رابطه‌هایی برای محاسبه آب مجازی به تفکیک نوع محصول (کشاورزی و یا صنعتی) ارائه می‌شود. در رهیافت تعادل فراگیر جدول داده - ستانده با توجه به اینکه بخش‌های مختلف و رشته فعالیت‌های اقتصادی با یکدیگر رابطه بسیار گسترده‌ای دارند و هر فعالیت اقتصادی نیازمند به کارگیری نهاده‌ها از سایر بخش‌ها و فعالیت‌های اقتصادی است، جریان آب مجازی در یک تعادل فراگیر در کل اقتصاد دیده می‌شود و روابط بین بخش‌های اقتصادی مد نظر قرار می‌گیرد.



فصل دوم - مطالعات انجام شده خارجی در مورد آب مجازی

۲. مطالعات انجام شده خارجی در مورد آب مجازی

همان‌طور که در فصل قبل عنوان شد، در به کار بستن مفهوم آب مجازی از دو رهیافت کلی فنی پایه و رهیافت تعادل فراگیر جدول داده - ستانده پیروی می‌شود. در ادامه، با تشریح پژوهش‌ها و مطالعات تجربی پیرامون آب مجازی، رهیافت‌های مذکور بررسی می‌شود.

۲-۱. مطالعات خارجی با رهیافت فنی - پایه

تجارت محصولات، دربرگیرنده تجارت عوامل مؤثر در تولید آنها به صورت مجازی است. این موضوع را اولین بار لئونتیف (۱۹۵۳) در آزمون مشهورش درباره محتوای عوامل تولید، مورد اشاره قرار داد. اعتبار این نظریه بعدها توسط دیردرف (۱۹۸۲)، ایثر (۱۹۸۴) و هلیمن (۱۹۸۴) مجدداً آزمون و تأیید شد. هرچند در آزمون‌های این افراد به نهاده آب و نقش آن در تولید کالا، به ویژه محصولات کشاورزی اشاره نشده است، اما بروز بحران‌ها و کمبودهای منطقه‌ای آب در نقاط مختلف جهان موجب شده که بحث آب در مجامع جهانی اهمیت خاصی پیدا کرده و توجه زیادی به آن شود. به همین دلیل تحقیق درباره ابعاد مختلف کمیابی آب، مورد توجه محققان قرار گرفته و راهکارهای مقابله با آن بررسی و ارائه شده است. تجارت مجازی آب به عنوان راهکار مقابله با بحران آب برای اولین بار توسط آلن (۱۹۹۳) مطرح شد. وی آب مجازی را به معنای آب محاط شده در کالاها تعریف کرد. به عبارت دیگر، آب مجازی کل آبی است که مصرف شده تا یک واحد کالا و خدمات (اعم از کشاورزی و غیر کشاورزی) تولید شود. در واقع، آن واحد کالا در برگیرنده مقدار آب مصرف شده جهت تولیدش است. آلن (۱۹۹۷) تجارت آب مجازی را به عنوان راهکاری برای مقابله با بحران کم آبی در کشورهای خشک و نیمه خشک خاورمیانه پیشنهاد کرد.

به طور کلی از زمانی که آلن بحث آب مجازی را مطرح کرد تا زمانی که این مهم مورد توجه مجامع علمی قرار گیرد، قریب ۱۰ سال فاصله وجود دارد. اولین گردهمایی جهانی درخصوص این موضوع در سال ۲۰۰۲ در شهر دلف هلند برگزار شد. نشست ویژه‌ای هم در سومین اجلاس جهانی آب در کشور ژاپن در سال ۲۰۰۳ به موضوع آب مجازی اختصاص یافت.

قسمت زیادی از ایجاد و ابداع این روش و کاربردی کردن آن توسط مطالعات گسترده و مستمر گروهی از مدل‌سازان در شورای جهانی آب^۱ وابسته به فائو ایجاد شده است که کار خود را در دهه اول قرن بیست و یکم در کشور هلند آغاز کرده‌اند. آرجن‌هاکسترا دانشمند برجسته در زمینه آب است که مدیریت این گروه را به عهده دارد. مدل‌سازی او به ویژه در جلب توجه دانشمندان حوزه آب نقش بسیار مهمی داشته است. هاکسترا

1. World Water Council

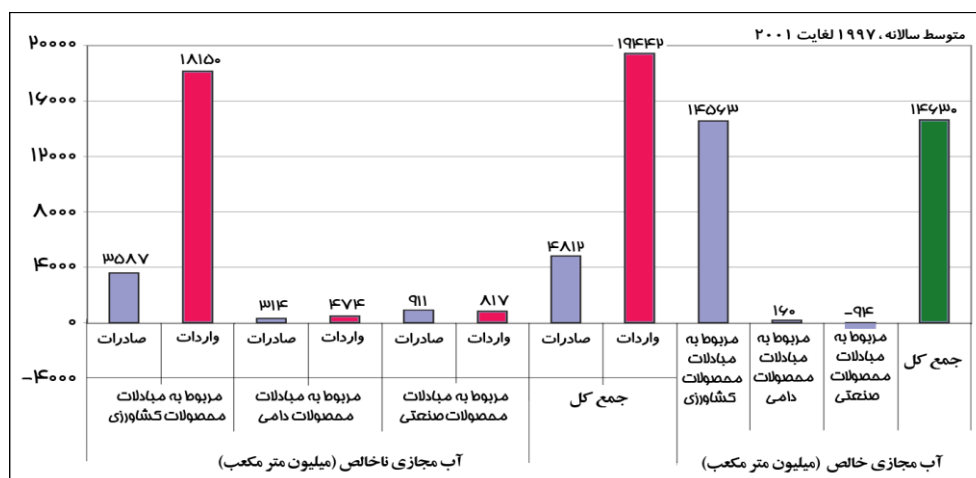
و همکاری‌هایش در این مؤسسه بین‌المللی هلندی میزان مصرف، استفاده و تجارت آب را در ۱۴۰ کشور (از ۲۰۰ کشور جهان) بررسی می‌کنند. این ۱۴۰ کشور شامل همه کشورهای صنعتی، کشورهای بریکس و تقریباً دوسوم از کشورهای در حال توسعه است (آلن، ۲۰۱۱).

به‌نظر هاکسترا وهانگ (۲۰۰۳) آب مجازی یک ابزار ضروری در محاسبه آب واقعی استفاده شده در یک کشور است. این مفهوم معادل کل آب داخلی مورد استفاده به علاوه آب مجازی وارداتی، منهای آب مجازی صادراتی یک کشور است که اصطلاحاً به آن، آب مصرفی پایه یا ردپای آب^۱ گفته می‌شود. آب مصرفی پایه هر کشور یک شاخص مفید تقاضای آب است و معادل کل آب مجازی محاط شده در محصولات، کالاهای و خدمات مصرفی است. این دو محقق حجم آب مجازی را که بین کشورها مبادله می‌شود، برای دوره زمانی ۱۹۹۵-۱۹۹۹ بر اساس رهیافت پایه‌ای، محاسبه کردند. بدین منظور، آنان از حاصل‌ضرب کل تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی (تن در سال) در محتوای آب مجازی آنها (مترمکعب بر تن) کل آب مجازی را که بین کشورها مبادله می‌شود، تخمین زدند. بر اساس یافته‌های آنان طی دوره مورد مطالعه، سالیانه حدود ۶۹۵ میلیارد متر مکعب آب مجازی بین کشورها مبادله شده است. براساس یافته‌های راک استرم و گردن (۲۰۰۱)، برای تولید کل محصولات کشاورزی در جهان سالیانه ۵۴۰۰ میلیارد مترمکعب آب مصرف می‌شود. با توجه به این رقم، حدود ۱۳ درصد از کل آب مورد استفاده برای تولید محصولات کشاورزی در جهان جهت مصارف داخلی نیست، بلکه برای صادرات به‌صورت مجازی است. طی دوره مورد مطالعه، هاکسترا وهانگ، کشورهای آمریکا، کانادا، تایلند، آرژانتین و هند جزء صادرکنندگان خالص آب مجازی و در مقابل کشورهای سریلانکا، ژاپن، هلند، کره جنوبی و چین جزء واردکنندگان خالص آب مجازی بوده‌اند.

چاپگین و هاکسترا (۲۰۰۳) روشی را برای اولین بار بر مبنای رهیافت پایه‌ای محاسبه آب مجازی برای اندازه‌گیری آب مجازی دام و محصولات دامی ابداع و استفاده کرده‌اند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که در بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ تجارت آب مجازی بین کشورهای مختلف بیش از ۱۰۴۰ میلیارد متر مکعب بوده است. این مطالعات بر اساس مبنا قرار دادن کشور مبدأ یعنی صادرکننده بوده است که به مفهوم این است که با همان شرایط تولید و تکنولوژی کشور صادرکننده در حد فاصل این سال‌ها میزان ۱۰۴۰ میلیارد مکعب آب در پایداری منابع آب جهان و امنیت غذایی از کشور صادرکننده به کشور واردکننده انتقال داده شده است. در شکل زیر مبادله آب به تفکیک بخش‌های کشاورزی، دامپروری و صنعتی ارائه شده است.



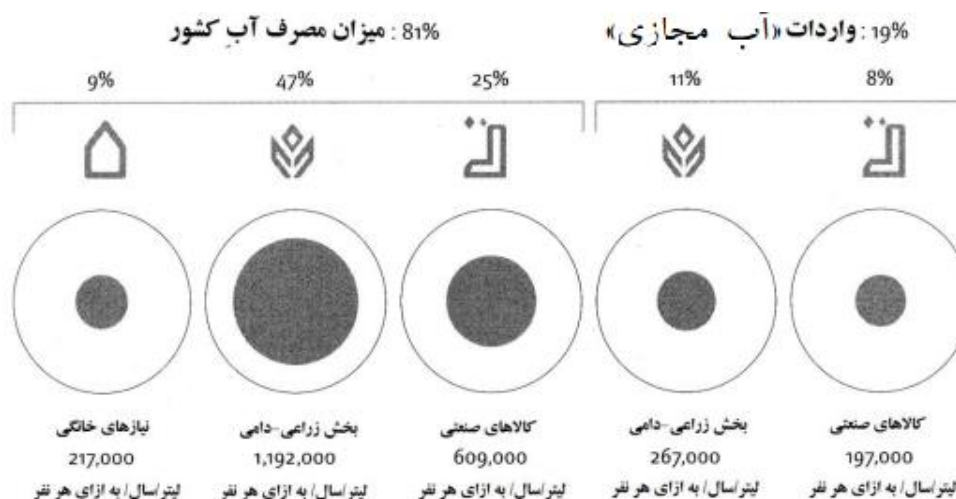
شکل ۲. متوسط مبادله سالیانه آب مجازی کشورهای جهان



مأخذ: چابکین و هاگسترا، ۲۰۰۳.

همچنین بر اساس این مطالعه در نمودار زیر نشان داده شده است که هر یک دسته‌بندی کالاها و نیازها در ایالات متحده چه درصدی از مصرف یا واردات آب مجازی را به خود اختصاص می‌دهند. برای مثال بخش صنعتی در مجموع ۳۳ درصد مصرف آب را در اختیار دارد که ۲۵ درصد از محل آب‌های داخلی و ۸ درصد آن با آب کشورهای دیگر یا همان آب مجازی تأمین می‌شود.

شکل ۳. میزان استفاده آب ایالات متحده در بخش‌های مختلف



مأخذ: همان.

فریچر و همکارانش (۲۰۰۴) به بررسی اثر تجارت جهانی غلات در صرفه‌جویی آب پرداختند. به عبارت دیگر، آنها به نقش تجارت بین‌المللی آب مجازی و اثر آن روی صرفه‌جویی در مصرف آب در

جهان توجه کردند. بر اساس یافته‌های آنان، به دلیل آنکه بهره‌وری آب در محصولات کشاورزی بین کشورهای صادرکننده متفاوت است، لذا تجارت غلات موجب صرفه‌جویی در مصرف جهانی آب به میزان ۱۶۴ میلیارد متر مکعب می‌شود (این رقم شامل بارندگی مؤثر و آب آبیاری است) که از این مقدار ۱۱۲ میلیارد متر مکعب مربوط به آبیاری است. این ارقام به‌طور ضمنی به این مسئله اشاره می‌کنند که در حالت نبود تجارت بین‌المللی، مصرف جهانی آب برای تولید این محصولات حدود ۶ درصد و آب آبیاری خالص به میزان ۱۱ درصد باید افزایش یابد. به‌نظر آنان ملاحظات سیاسی و اقتصادی، استفاده از تجارت مجازی آب را به‌عنوان ابزاری مناسب برای مقابله با کمبود آب محدود کرده است.

ری‌نالت (۲۰۰۳) کاربرد آب مجازی را به مصرف سرانه غذا نیز تعمیم داده و بیان می‌کند که ترکیب جیره غذایی مورد استفاده انسان حاوی آب مجازی است. طبق برآورد وی، مصرف سرانه آب مجازی از طریق مواد غذایی روزانه در اتحادیه اروپا در سال ۱۹۶۱ برابر ۵۴۰۰ لیتر در روز بوده است و این رقم در سال ۲۰۰۰ به ۳۶۰۰ لیتر کاهش یافته که این امر مدیون افزایش بهره‌وری در تولیدات کشاورزی است. پژوهش زیمر و ری‌نالت (۲۰۰۳) میانگین حجم کل آب مجازی را برای ۱۵ مورد مبادله جهانی محصولات کشاورزی و دامی در سال ۲۰۰۰ میلادی معادل با ۱۳۴ میلیارد متر مکعب در سال برآورد کرد. چاپکین و همکاران (۲۰۰۶) بیان می‌کنند که کشورهای مختلف دنیا می‌توانند از طریق واردات محصولات آب بر و صادرات محصولات کم آب بر، در استفاده از منابع آب خود صرفه‌جویی کنند. براساس مطالعه آنها ایران از طریق واردات غلات، شکر و دانه‌های روغنی در طی دوره زمانی ۱۹۹۷-۲۰۰۱، حدود ۳۷ میلیارد متر مکعب آب صرفه‌جویی کرده است. پژوهش هوکسترا (۲۰۰۳) در خصوص میزان صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق واردات آب مجازی توسط ایران، برای دوره زمانی ۱۹۹۵-۱۹۹۹ رقم ۲۹/۱ میلیارد متر مکعب را نشان می‌دهد. چاپکین (۲۰۰۴) نیز در مطالعه دیگری میزان خالص واردات آب مجازی ایران برای دوره زمانی ۱۹۹۷-۲۰۰۱ را ۱۹ میلیارد متر مکعب تخمین زده است.

آل‌دیا و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی اهمیت آب سبز در تجارت آب مجازی در طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۴ پرداختند. نتیجه کار این پژوهشگران این بوده است که بیشترین سهم از آب مجازی گندم، ذرت و سویا مربوط به آب سبز است که به‌طور دیم کشت و از ایالات متحده، کانادا، استرالیا و آرژانتین صادر می‌شوند. مطابق با تحقیق این پژوهشگران آب سبز در تأمین امنیت غذایی و کاهش تنش و بحران آبی در جهان بیشترین سهم را داراست.

نووو و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی این سؤال پرداختند که «کم آبی نسبی در کشور اسپانیا چه تأثیری بر جریان آب مجازی در تجارت غلات دارد؟» برای بررسی این تأثیر، میزان و ارزش اقتصادی جریان آب مجازی در تجارت غلات کشور اسپانیا در دوره ۱۹۹۷-۲۰۰۵ را محاسبه کرده سپس با شرایط اقلیمی و جوی آن سال‌ها مقایسه کردند. نتایج پژوهش حاکی از این بود که کشور اسپانیا در تجارت



غلات در آن دوره واردکننده آب مجازی بوده و دوم اینکه با ارزشگذاری آب آبی برای دوره مذکور براساس قیمت سایه‌ای مشخص شد که صادرات آب آبی بین ۰/۷ تا ۳۴/۲ میلیون متر مکعب به ترتیب برای یک سال مرطوب و یک سال خشک در نوسان بوده است. سوم اینکه از آنجا که با کاهش بارش‌های جوی میزان واردات آب مجازی افزایش یافته، نتیجه‌ای که این محققین گرفتند این است که می‌توان انتظار داشت که تجارت غلات با کم آبی نسبی متناسب است. در نهایت این محققان نتیجه گرفتند که رابطه‌ای بین صادرات غلات با کم آبی برقرار نیست که با تحلیل‌های بیشتر اعلام داشتند که عوامل دیگری چون کیفیت محصول و تقاضای صادراتی وجود دارد که بر تصمیمات تجاری اثرگذار است که در ارتباط با مفهوم تجارت آب مجازی در تجارت در نظر گرفته نمی‌شود.

چاپگین و هاکسترا (۲۰۰۴) در یک مطالعه به بررسی ردپای آب (آبرانه)^۱ پرداختند. مطابق مطالعه آنها ردپای آب به مقدار مصرف (بسته به درآمد سرانه ناخالص داخلی)، الگوی مصرف (میزان و ترکیب مصرف فرآورده‌های کشاورزی و دامی)، اقلیم (شرایط بیولوژیکی رشد و تولید کشاورزی و دامپروری) و تکنولوژی کشت و بهره‌وری کشاورزی در استفاده از منابع آب بستگی دارد. طبق این پژوهش متوسط میزان ردپای آب در جهان ۱۶۴۰ متر مکعب در سال به ازای هر نفر است. در این میان میزان ردپای آب ایران ۱۲۴۰ (متر مکعب در سال به ازای هر نفر) بوده است. همچنین ایالات متحده با ۲۴۸۰ (متر مکعب در سال به ازای هر نفر) بیشترین و چین با ۷۰۰ (متر مکعب در سال به ازای هر نفر) کمترین متوسط ردپای آب در جهان را دارا هستند.

۲-۲. مطالعات خارجی با رهیافت تعادل فراگیر جدول داده - ستانده

سابقه مطالعات انجام شده در ایالات متحده برای بررسی میزان آب استفاده شده و محاسبه آن با استفاده از ماتریس داده - ستانده به دهه ۱۹۷۰ در مطالعه موردی برای ایالت آریزونا توسط فینستر برمی‌گردد (چانان و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین دیزنورث و باند (۲۰۱۰) از روش جدول داده - ستانده برای محاسبه سهم صنعت ماهیگیری در غرب ایالات متحده از کل اقتصاد و تأثیر آن بر روی استفاده آب عمومی استفاده کرده‌اند. میزان استفاده آب مستقیم و غیرمستقیم توسط مطالعات دیگری در بخش‌های مختلف ایالات متحده محاسبه شده که می‌توان از مطالعه بلک هرست و همکاران (۲۰۱۰) یاد کرد که میزان آب مستقیم و غیرمستقیم بخش صنعت ایالات متحده را برآورد کرده است.

مطالعه لنزن و فوران (۲۰۰۱) از اولین پژوهش‌ها در ارتباط با آب مجازی و محاسبه آن با روش جدول داده - ستانده است. طبق این مطالعه استرالیا صادرکننده خالص آب مجازی بوده است و میزان استفاده این کشور از آب به‌طور متوسط سالیانه ۲۲۰۰۰ میلیارد لیتر است که ۳۰ درصد آن نیاز آبی

۱. ردپای آب دارای مفهوم نزدیکی با آب مجازی است. ردپای آب مجموع آبی است که توسط ساکنان یک کشور یا منطقه استفاده و مصرف می‌شود.

برای تولید نیاز غذایی داخلی است و ۳۰ درصد دیگر آن برای تولید محصولات غذایی صادراتی استفاده می‌شود. آنها همچنین پیش‌بینی کردند با توجه به اینکه رابطه‌ای قوی بین نیاز آبی و هزینه سرانه وجود دارد، اگر تا سال ۲۰۵۰ مطابق با برآوردهای افزایش جمعیت سالیانه استرالیا به ۲۵ میلیون نفر برسد و هزینه سرانه ۲ برابر شود ممکن است نیاز سالیانه آب به بیش از ۲ برابر و ۵۰۰۰۰ میلیارد لیتر، معادل با نیمی از جریان آب کشور افزایش پیدا کند.

ژائو و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی ردپای آب با روش داده - ستانده در چین در سال ۲۰۰۲ پرداخته‌اند. نتیجه این بررسی نشان داد که در سال ۲۰۰۲ میزان ردپای آب در چین، ۳۸۱ متر مکعب در سال برای هر نفر بوده است. مهمترین ابداع این مطالعه به‌دست دادن یک شاخص جدید و مستقل از مقدار ردپای آب ملی برای بخش‌های مختلف اقتصاد بوده که شدت استفاده از آب را در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد. همچنین آنها در این مطالعه با بررسی تجارت آب مجازی نشان دادند که کشور چین در تمام بخش‌ها صادرکننده خالص آب مجازی است (موباکو و همکاران، ۲۰۱۳).

وانگ و همکاران (۲۰۰۹) منطقه ژانگه که جزو مناطق خشک و کم آب چین است را برای مطالعه خود انتخاب کرده و با استفاده از جدول داده - ستانده به میزان استفاده آب در بخش‌های اقتصادی آن پرداختند. نتیجه مطالعه نشان داد که بر خلاف شرایط منابع آب این منطقه، اقتصاد منطقه به فعالیت‌های آب‌بر وابسته است.

کو-ايشانگ فنگ و همکاران (۲۰۱۱) رودخانه زرد را براساس ویژگی‌های متفاوت منابع آبی، ساختار اقتصادی، درآمد خانوار به سه منطقه فوقانی، میانی و پایینی تقسیم کرده و با به‌کارگیری جدول داده - ستانده چند منطقه‌ای به بررسی الگوی تجارت آب مجازی به تفکیک آب سبز و آبی و همچنین خانوار شهری و روستایی پرداختند. نتیجه این مطالعه حاکی از این بوده که هر سه منطقه صادرکننده آب مجازی هستند و تولیدات خارج از این منطقه به منابع آب رودخانه زرد فشار می‌آورد. پیشنهاد این محققین برای کاهش فشار به منابع آب رودخانه کاهش صادرات آب مجازی از طریق تولید کالاهای ذخیره‌کننده آب با ارزش افزوده بالاتر در منطقه پایین‌دست که کم‌آب‌ترین منطقه است و واردات تولیدات غذایی و فرآورده‌های آب‌بر از جنوب چین که دارای منابع آب غنی‌تری است، بوده است.

فصل سوم - مطالعات انجام شده داخلی در مورد آب مجازی

۳. مطالعات انجام شده داخلی در مورد آب مجازی

در این بخش نیز ابتدا به توضیح مطالعات تجربی که بر اساس رهیافت فنی - پایه انجام شده پرداخته می‌شود و سپس مطالعات انجام شده بر اساس رهیافت تعادل فراگیر بررسی می‌شود.



۳-۱. مطالعات داخلی با رهیافت فنی - پایه

در راستای آب مجازی پژوهش‌های مختلفی در ایران صورت گرفته که مبتنی بر استفاده از روش‌های پژوهش عملیات و برنامه‌ریزی بوده و با در نظر گرفتن جزئیات متفاوت برای الگوهای کشت سعی بر در نظر گرفتن آب مجازی (یا در قید مسئله و یا بررسی تغییرات آن در سناریوهای متفاوت) داشته‌اند.

صباحی و سلطانی (۱۳۸۷) با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی و با توجه به آب مجازی به تعیین الگوی کشت در سطح حوضه با نگاه به آب مجازی، مزیت نسبی محصولات و پتانسیل آبی حوضه آبریز در تولید محصولات زراعی پرداخته‌اند. از ویژگی‌های این مطالعه این است که مدل برنامه‌ریزی خود را با تأکید بر الگوی کشت بهینه، استفاده بهینه از آب آبیاری و تقویت خالص واردات آب مجازی بنا کرده‌اند و مدل به گونه‌ای طرح‌ریزی شده که امکان تغییر الگوی سطح زیرکشت محصولات را برای افزایش واردات آب مجازی داشته باشد. حداکثر شدن منافع اجتماعی در این مطالعه الزاماً در راستای افزایش خالص واردات آب مجازی تعریف نشده است همچنین کاهش سطح زیرکشت یک محصول در چارچوب منافع اجتماعی به معنی کاهش در سطح محصولات وارداتی دیگر و یا افزایش سطح زیرکشت محصولات صادراتی تلقی نشده است. سود اجتماعی بسته به عملکرد واقعی محصول است و از آنجا که عملکرد قابل مشاهده دارای انحرافی است که از سیاست‌های حاکم بر بخش کشاورزی ناشی می‌شود، مانند سیاست سهمیه‌بندی و یا برقراری یارانه بر کودهای شیمیایی که عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین محققین برای به‌دست آوردن عملکردی که تنها تحت تأثیر رابطه آب و خاک با گیاه تعیین شود از رابطه آلن استفاده کرده‌اند. به دلیل اینکه مدل برنامه‌ریزی ۴۵ فعالیت با سطوح مختلف کم آبیاری را بررسی می‌کنند، مسئله بهینه‌یابی آنها دارای ۴۵ قید است که به وسیله نرم‌افزار ^۱GAMS حل شده است. در مرحله بعد پژوهشگران مدل برنامه‌ریزی ارائه شده را با تکنیک ^۲HSJ که یک روش معمول به‌دست آوردن بهینه تقریب برنامه‌ریزی خطی است، حل نموده‌اند. در این روش نخست مسئله اصلی حل شده و مقدار تابع هدف در نقطه بهینه تعیین می‌شود و در قدم بعد درصدی از تابع هدف به محدودیت‌های مسئله اضافه می‌شود.

دهقانپور و بخشوده (۱۳۸۷) در یک مطالعه دیگر به بررسی جنبه‌های محدودکننده آب مجازی و تأثیر افزایش خالص واردات آب مجازی بر کاهش اشتغال در بخش کشاورزی پرداختند. این بررسی به منطقه دشت مرودشت و حوزه آبریز منطقه محدود شد. در ابتدا ضروری بود که مقدار و میزان آب مجازی با توجه به تکنولوژی منطقه برای هر محصول محاسبه شود. این محاسبه از طریق روابط معمول پایه‌ای - فنی انجام شد. در ادامه الگوی کشت توسط یک برنامه‌ریزی خطی و در نظر گرفتن آب مجازی، بهینه‌یابی شد. مطابق با این مطالعه در حوزه آبریز منطقه مرودشت تنها گندم از لحاظ سود اجتماعی دارای مزیت

1. General Algebraic Modeling Systems

2. Hop-skip-jump

نسبی است، ولی از منظر استفاده از آب، گوجه فرنگی کمترین میزان آب مجازی را داراست. برخی از مهمترین نتایج این مطالعه در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۲. آب مجازی محصولات زراعی مرودشت استان فارس

مورد بررسی	محصول				
	گندم	جو	برنج	ذرت دانه‌ای	گوجه فرنگی
آب مصرفی یک هکتار محصول (متر مکعب در هر هکتار)	۹۱۰۰	۷۶۰۵	۳۲۰۰۰	۲۴۰۰۰	۳۴۲۰۰
عملکرد (کیلوگرم در هر هکتار)	۵۳۳۶	۲۵۷۱	۴۴۳۴	۶۵۴۰	۵۵۷۶۷
آب مجازی به ازای هر کیلوگرم محصول (متر مکعب در کیلوگرم)	۱/۷	۲/۹	۷/۲	۳/۷	۰/۶
آب مجازی به ازای هر هزار ریال محصول (متر مکعب برای هزار ریال)	۰/۳۴	۰/۲	۲/۸	۱/۱	۱
سود خالص اجتماعی جاری هر فعالیت (میلیون ریال)	۱۰/۳	-۷/۴	-۲۵/۴	-۱۵/۲	-۳۵
چغندر قند					۲۶۰۰۰

مأخذ: دهقان پور و بخشوده، ۱۳۸۷.

الگوی برنامه‌ریزی خطی این مطالعه، الگوی کشت بهینه را تنها شامل گندم و ذرت تعیین کرد که مقدار بسیار بیشتری نسبت به سطح زیرکشت زمان مطالعه داشت و سود اجتماعی در الگوی کشت بهینه دو برابر بیشتر از مقدار الگوی کشت واقعی بود؛ همچنین در الگوی کشت بهینه میزان آب مجازی ۵۰ درصد افزایش داشت. دلیل افزایش استفاده از آب را می‌توان این موضوع عنوان کرد که در تابع هدف الگو حداقل کردن میزان آب مجازی نبوده، بلکه حداکثر کردن میزان سود اجتماعی است که میزان استفاده از آب در کل پروسه تولید با قیمت‌های اجتماعی آب به‌عنوان هزینه در نظر گرفته شده است که تفاوت آن از میزان درآمد اجتماعی باید حداکثر می‌شده است. پژوهشگران این مطالعه با توجه به اینکه میزان اشتغال در الگوی کشت بهینه از ۴۳۳۹۸۶۴ روز نفر به ۱۸۲۱۴۳۷ روز نفر کاهش داشت نسبت به این امر که کاهش استفاده از آب منجر به کاهش اشتغال خواهد شد هشدار داده و این امر را از یک موضع ارزشی، مطلوب ارزیابی نمی‌کنند. اما این نتیجه ناشی از یک پیش‌فرض بوده است که «محصولات تولیدی با استفاده بالا از آب، نیروی کار بیشتری نیز نیاز دارد». همچنین این خطا وجود دارد که کشاورزی را بدون در نظر گرفتن مسائلی چون نسبت اشتغال به سطح زیرکشت بخشی مناسب برای اشتغال می‌دانند. به‌دلیل فوق پژوهشگران همین الگو را با افزودن قیدی برای نگاه داشتن سطح اشتغال فعلی برای برنامه و تدوین الگوی کشت پیشنهاد کرده و به تفسیر نتایج آن می‌پردازند. در این الگوی بهینه کشت فقط گندم و گوجه فرنگی حضور دارد که نسبت به الگوی پیشین سطح زیرکشت بیشتری دارند که باعث کاهش ۵۰۰ میلیارد ریال در خالص سود اجتماعی شده و میزان واردات آب مجازی ۷۴۲ میلیون متر مکعب کاهش یافته است.



روحانی و همکاران (۱۳۸۷) مبادله آب مجازی در ارتباط با منابع آب موجود را به عنوان راهی برای کاهش تنش در ایران ارزیابی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که از ۲۱ محصول کشاورزی مورد مطالعه، غلات، حبوبات، خشکبار (پسته و گردو) و دانه های روغنی براساس میزان آب مجازی برآورد شده محصولات آب بر بوده در حالی که میوه ها، سبزی ها و محصولات صنعتی کم مصرف هستند. به اعتقاد این پژوهشگران مبادله آب مجازی در ایران طی دو دهه گذشته با در نظر گرفتن میزان مصرف و بهره‌وری آب تقریباً ناآگاهانه صورت گرفته است. برای مثال، گندم با سهم ۵۸/۵ درصد در واردات آب مجازی بزرگ‌ترین محصول وارداتی در سال‌های ۱۳۶۲-۱۳۸۲ بوده است. به نحوی که با واردات ۱۰/۴ میلیون تن گندم طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۸۲ معادل ۱۱/۶ میلیارد متر مکعب آب در کشور ذخیره شد. این در حالی است که خودکفایی ایران در سال ۱۳۸۴ در تولید گندم فشار زیادی را بر منابع آب داخلی وارد آورد.

جعفری و زارعی (۱۳۸۶) وضعیت صادرات و واردات آب مجازی ایران را در طول سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۳ بررسی کردند. طبق نتایج این مطالعه در طول دوره یاد شده، مقدار صادرات کل ۱۵ محصول عمده کشاورزی کشور حدود ۱۱/۸ میلیون تن و همچنین مقدار واردات ۹ محصول کشاورزی عمده وارداتی ۱۱۸/۵ میلیون تن بوده است. بر این اساس، کل آب مجازی صادر شده در این دوره ۳۳/۸ میلیارد متر مکعب و کل آب مجازی وارد شده ۴۶/۱ میلیارد متر مکعب بوده است. همچنین متوسط آب مجازی به ازای هر تن کالای صادر شده و وارد شده به ترتیب ۲۸۶۹ و ۸۳۹۳ متر مکعب بوده است.

باغستانی و همکاران (۱۳۸۹) در یک مطالعه با هدف بررسی میزان سازگاری ایران با برنامه‌ریزی پیرامون آب مجازی به محاسبه میزان آب مجازی در محصولات عمده وارداتی و صادراتی کشاورزی پرداختند. در این پژوهش که برای سال‌های حد فاصل ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ انجام شده، نشان داده شده که ایران در طی این سال‌ها همواره واردکننده خالص آب مجازی بوده است. روش محاسبه آب مجازی در مطالعه مذکور، به کارگیری فرمول‌های پایه برای محصولات کشاورزی است که تحت عنوان محاسبه تقاضای آب ویژه برای هر محصول با استفاده از فرمول فائو پنمن-مانتیت^۱ برآورد شده است. محصولات صادراتی مورد بررسی این مطالعه ۹۳/۷ درصد از کل ارزش صادراتی محصولات کشاورزی و محصولات وارداتی ۷۲/۳ درصد از کل ارزش محصولات وارداتی کشاورزی را شامل می‌شود. نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که محصولات عمده صادراتی به طور متوسط تقاضای ویژه آب بیشتری در مقایسه با محصولات وارداتی کشاورزی داشته‌اند.

مکنون و همکاران (۱۳۹۰) طی یک برنامه مطالعاتی^۲ پس از معرفی آب آبی و سبز به بررسی آب

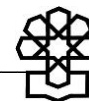
1. Penman - monteith

۲. روزه گیر قلعه نویی، «تبادل آب مجازی بین حوضه‌ای و ارائه روش نظام‌مند اصلاح سیاست‌های توسعه منابع آب (مطالعه موردی: ایران)»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۹.

شکل ۴. وضعیت تجارت منطقه‌ای استان‌ها در گوجه‌فرنگی



مأخذ: مکنون و همکاران، ۱۳۹۰.



شکل ۵. وضعیت تجارت منطقه‌ای استان‌ها در سبب زمینی



مأخذ: همان.

شکل ۶. وضعیت تجارت منطقه‌ای استان‌ها در جو



مأخذ: همان.

شکل ۷. وضعیت تجارت منطقه‌ای استان‌ها در گندم



مأخذ: همان.

شکل ۸. وضعیت تجارت منطقه‌ای استان‌ها در برنج



مأخذ: همان.



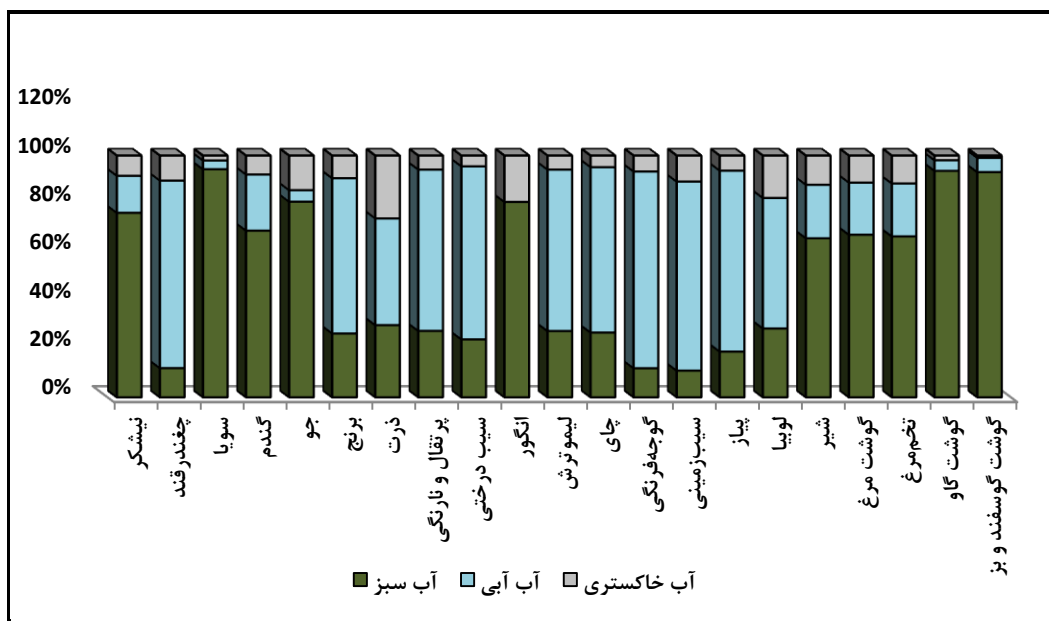
در مرحله سوم نوبت به تأمین نیازهای استان‌های دارای کمبود است که پژوهشگران این مطالعه بعد از تعیین استان‌های صادرکننده و واردکننده به شکل منطقی در مرحله دوم به بررسی یک سناریو منطقی - ریاضی می‌پردازند. این سناریو به این ترتیب سامان داده می‌شود که استان واردکننده از نزدیک‌ترین استان صادرکننده مقدار مورد نیاز خود را تأمین می‌کند که شبیه حل یک مسئله در برنامه‌ریزی اقتصادی حمل‌ونقل در پژوهش عملیاتی است؛ با این سناریو مسیرهای حمل‌ونقل محصولات به‌دست می‌آید. مکنون و همکارانش در آخر نیز ضریب خودکفایی^۱ آب را محاسبه می‌کنند.

محمدخانی (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای به بررسی حساب ردپای آب شامل رد پای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید و مصرف برخی محصولات منتخب پرداخته است. تدوین این گزارش با هدف تأیید یا رد آمار ارائه شده یونسکو نبوده و فقط به جهت اطلاع‌رسانی است تا بتواند به بازنگری تولید کشاورزی ایران براساس توسعه پایدار سبز کمک کند. گزارش یونسکو که برآورد مصرف آب در بخش‌های تولید و خانگی است بیانگر آن است که برای تولید تعدادی از محصولات کشاورزی در ایران و ۱۷۵ کشور دیگر و متوسط جهان چه مقدار از انواع آب (نزولات آسمانی (Green water) زیرزمینی و جاری (Blue water) و آب‌های آلوده و برگشتی (Grey water) مصرف می‌کنند. اطلاعات جداول بیانگر آن است که محصولات کشت پاییزه مانند گندم و جو به‌واسطه برخورداری بیشتر از آب سبز برای الگوی کشت کشور مناسب‌تر از محصولات کشت تابستانه هستند. همچنین جداول پیوست نشان می‌دهد که اکثر تولیدات کشاورزی در ایران به مصرف ذخایر بین نسلی آب (یعنی آب‌های زیرزمینی، جاری، آلوده و برگشتی کشور) وابسته است که علاوه بر مشکلاتی که تا به امروز به کشور تحمیل کرده، ادامه این روند می‌تواند آینده کشور را بسیار بحرانی کند.

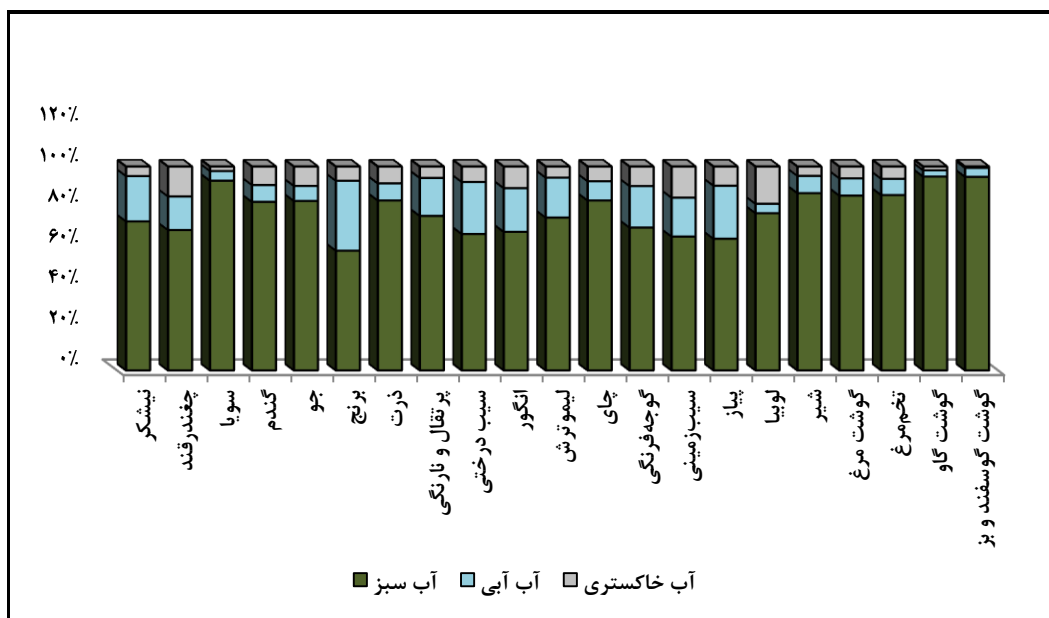
نتایج مطالعه بسیار گسترده است و ذکر همه آنها از حوصله این بحث خارج است، اما نکته قابل توجهی که در مطالعه نامبرده مورد واکاوی قرار گرفته است، سهم هر یک از انواع آب در تولید یک تن محصولات کشاورزی منتخب است. به عبارت دیگر طبق نتایج این مطالعه، بررسی تکنولوژی تولید از منظر استفاده از آب‌های سبز، آبی و خاکستری در برخی محصولات با متوسط جهانی اختلاف فاحشی دارد.

۲-۳. مقایسه سهم انواع آب در تولید یک تن محصول در ایران و متوسط ۱۷۶ کشور جهان

شکل ۹. سهم انواع آب در تولید یک تن محصول در ایران



شکل ۱۰. سهم انواع آب در تولید یک تن محصول در متوسط ۱۷۶ کشور جهان



مأخذ: براساس مطالعات تحقیق مستخرج از گزارش یونسکو (۲۰۱۱).



همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تولید یک تن محصولات کشاورزی مورد بررسی در این مطالعه بیشتر بر منابع آب آبی تکیه دارد، این در حالی است که تولید یک تن محصولات مذکور در متوسط ۱۷۶ کشور جهان بیشتر با استفاده از آب‌های سبز صورت می‌گیرد. به‌طوری که سهم آب سبز در تولید یک تن محصولات «گوجه‌فرنگی»، «چغندر قند»، «چای»، «سیب‌زمینی»، «ذرت»، «لوبیا»، «پرتقال و نارنگی»، «لیموترش»، «پیاز» و «سیب درختی» در ایران، به‌ترتیب ۵۸، ۵۷، ۵۷، ۵۵، ۵۳، ۴۹، ۴۸، ۴۷، ۴۶ و ۴۳ درصد کمتر از متوسط ۱۷۶ کشور جهان است. به‌عبارت دیگر تولید یک تن از محصولات مذکور به مقدار قابل توجهی به منابع آب آبی که ماهیت بین‌نسلی دارد وابسته است.

براساس بررسی‌های صورت گرفته در مطالعه نامبرده مشاهده می‌شود، ایران در بهره‌برداری از منابع آب در تولید اکثر محصولات کشاورزی، بسیار گشاده‌دست از آب‌های زیرزمینی، جاری و برگشتی با بهره‌وری بسیار کم استفاده کرده است. این در حالی است که آمارهای سایر کشورها نشان می‌دهد، اغلب کشورهای جهان محصولات کشاورزی تولیدی خود را متناسب با اقلیم انتخاب می‌کنند و تولید محصولات آب‌بر در مناطق با دریافت نزولات بالا و حاره‌ای انجام می‌شود. لذا تدوین و تصویب سند بلندمدت آب و الگوی مصرف آن در بخش‌های مصرف‌کننده و همچنین تعیین الگوی کشت براساس قابلیت‌های منطقه‌ای و مبتنی بر توسعه پایدار سبز از گسترش و تعمیق بحران آب جلوگیری می‌کند.

مقایسه آمار مذکور نشان می‌دهد کشور به‌شدت نیازمند ترویج کشاورزی پایدار براساس قابلیت‌های اقلیم‌های مختلف کشور و منابع آب است. در این راستا ضروری است دولت با توجه به اینکه اکثر کشاورزان کشور از ناتوانی مالی و فقر امکانات و اطلاعات رنج می‌برند، کمک‌های مناسبی را برای یک دوره ۵ تا ۱۰ ساله در اختیار کشاورزان قرار دهد.

با توجه به شرایط و پراکنش بارش در کشور، به‌نظر می‌رسد کشت‌های پاییزه مانند جو و گندم به‌واسطه برخورداری بیشتر از نزولات آسمانی کشت‌های مناسب‌تری برای کشور باشند و کشت‌های تابستانه در اغلب مناطق ایران از نیاز مصرف آب آبیاری بالایی برخوردار هستند و در صورت ضرورت تولید باید با بهره‌گیری از سرمایه و تکنولوژی در راستای افزایش راندمان آبیاری و کاستن از میزان مصرف آب آنها تلاش شود. ازسوی دیگر اصلاح روش‌های تولید و آبیاری محصولات ازجمله افزایش کشت گلخانه‌ای محصولات آب‌بر مانند گوجه‌فرنگی، سبزی، صیفی و مانند آن می‌تواند به بهبود شرایط و کاستن از مصرف آب آبیاری کمک کند.

لازم به ذکر است، این موضوع که آمارها تا چه اندازه با واقعیت تطابق دارد قابل اندازه‌گیری نیست، ولی باید توجه داشت که قاعداً باید سازمان‌های جهانی آمار خود را از منابع رسمی داخلی کشورها گرفته و تحلیل لازم را ارائه دهند و اگر هم مورد قبول دستگاه‌های مختلف حکومتی هر کشور ازجمله ایران نباشد، باید به‌طور رسمی به سازمان‌های جهانی مذکور، صحت و سقم آنها اعلام گردد. همچنین

به‌نظر می‌رسد، در نظر گرفتن شرایط اقلیمی کشورها در این‌گونه گزارش‌ها می‌تواند به ارائه تصویر واقع‌نمایانه‌تری از وضعیت موجود کشورهای مختلف کمک کند و در این رابطه لازم است مطالعات تطبیقی کامل‌تری انجام شود تا امکان مقایسه نقاطی در ایران را که کشت خاصی انجام می‌شود با کشورهای هم‌اقلیم فراهم نموده و در ادامه تشخیص راهکارهای اصلاحی امکانپذیر گردد.

ذاکری و مؤمنی (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با عنوان سنجش آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران مبتنی بر جدول داده - ستانده سال ۱۳۸۵ به بررسی حجم آب مصرفی در بخش‌های اقتصادی کشور پرداختند. در واقع با توجه به اینکه کشور در سال‌های اخیر با خشکسالی و بحران منابع آبی مواجه شده است، به‌نظر می‌رسد بررسی میزان آب‌بری بخش‌های مختلف اقتصادی، به‌منظور برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و تعیین اولویت‌های مصرف آب، قبل از تشدید بحران کم‌آبی بسیار حائز اهمیت است، لذا در این مطالعه تلاش شده است با به‌کارگیری تکنیک داده - ستانده میزان آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم بخش‌های اقتصادی برآورد و تحلیل شود.

نتایج مطالعه نامبرده نشان می‌دهد در ایران، حدود ۷۷ درصد از حجم کل آب قابل استحصال در سال ۱۳۸۵ مصرف شده است و بخش کشاورزی ایران ۹۱ درصد از کل منابع آب مصرفی را به‌طور مستقیم استفاده می‌کند که بیشتر از متوسط جهانی و متوسط ۱۹ کشور خاورمیانه و شمال آفریقا است. ازسوی دیگر تنها ۳/۵ درصد از کل آب مصرفی به‌صورت مستقیم در سایر بخش‌های اقتصادی ایران استفاده می‌شود. البته یافته‌ها درخصوص آب‌بری غیرمستقیم بخش‌ها تصویر متفاوت‌تری را آشکار می‌کنند و از این منظر، سهم صنایع وابسته به کشاورزی بسیار قابل توجه است. برای مثال، آب‌بری غیرمستقیم بخش «انواع کفش و اجزای آن و سایر محصولات چرمی»، از آب‌بری غیرمستقیم بخش کشاورزی بالاتر است.

بنابراین به‌نظر می‌رسد توجه به آب‌بری مستقیم بخش‌های تولیدی بدون در نظر گرفتن روابط بین‌بخشی و آب‌بری نهاده‌های واسطه نمی‌تواند مبنای تصمیم‌گیری در حوزه منابع آبی قرار گیرد. لذا توصیه می‌شود ضمن اندیشیدن تمهیدات مناسب جهت افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب کشور، در جهت‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای میزان آب‌بری بخش‌ها (به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم) نیز به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار مورد توجه قرار گیرد.

ازجمله مطالعات دیگر می‌توان به مطالعه محمدی کانی گلزار (۱۳۹۱) اشاره کرد که برای ۳۲ محصول عمده کشاورزی میزان مبادله آب مجازی را برای سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ بررسی کرده است. نتایج حاکی از این است که ایران در این بازه بررسی برای محصولات منتخب واردکننده خالص آب مجازی بوده و سالیانه ۱۳/۷ میلیارد متر مکعب آب از این مبادلات ذخیره کرده است.

علاوه بر مطالعات مذکور، در ایران از جنبه‌های مختلفی آب مجازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته



است. از جمله آنها می‌توان به مطالعات فرامرزی و همکاران (۲۰۱۰)، دهقان منشادی و همکاران (۱۳۹۲)، محمدی (۱۳۹۱)، محمدی و تعالی مقدم (۱۳۹۰) اشاره کرد که در آنها به بررسی تجزیه و تحلیل تجارت آب مجازی و آثار رفاهی حاصل از آن پرداخته‌اند.

۳-۳. مطالعات داخلی با رهیافت تعادل فراگیر جدول داده - ستانده

در مطالعه خسروی (۱۳۹۰) با استفاده از جدول داده - ستانده مصرف غیرمستقیم آب محدود به ۸ رشته فعالیت اقتصادی محاسبه شده است. مطابق با نتایج این مطالعه میزان خالص واردات آب مجازی برای ایران به تفکیک بخش‌های زراعت، باغداری، دامپروری، جنگلداری، آبزیان، معدن، صنعت و خدمات در سال ۱۳۸۰ معادل ۱۹۹۳۱ میلیون متر مکعب بوده است که در این میان زراعت، جنگلداری و صنعت واردکننده و بقیه بخش‌ها صادرکننده آب مجازی بوده‌اند.

نحوه محاسبه ضریب فنی در این مطالعه براساس آمارهای «مطالعه جامع سازگاری با اقلیم» بوده است، اما با توجه به اینکه آمار و داده‌های تمام ۷۲ بخش جدول داده - ستانده ارائه شده مرکز آمار برای سال ۱۳۸۰ قابل دسترسی نیست، از روش‌های متفاوتی برای بخش‌های تجمیع شده استفاده شده است. در این مطالعه برای کل اقتصاد ۸ بخش در نظر گرفته شده است که شامل ۵ زیربخش در کشاورزی و ۳ بخش معدن، صنعت و خدمات می‌باشد. همچنین در این مطالعه از سیستم پهنه‌بندی زراعی - اکولوژیکی فائو^۱ استفاده شده که کشور ایران را به ۱۰ ناحیه بر مبنای شباهت اقلیمی (بارش و دما) تقسیم می‌کند. دلیل استفاده از این سیستم توسط این پژوهشگر وجود آمار مورد نیاز براساس این تقسیم‌بندی عنوان شده است و آمارهای مربوط به سطح زیرکشت از کمیته برنامه‌ریزی آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی تهیه شده است.

تهامی پور و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای به بررسی تراز تجاری آب مجازی رشته فعالیت‌های اقتصادی استان گیلان پرداخته‌اند. برای بررسی الگوی تجارت آب مجازی از رهیافت تعادل فراگیر و ابزار جدول داده - ستانده استان که توسط استانداری استان گیلان تهیه شده، استفاده شده است. در این مطالعه میزان آب مصرفی مستقیم و کل، به تفکیک ۴۰ رشته فعالیت مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا برای استفاده از این روش نیاز به محاسبه شدت استفاده آب در هر رشته فعالیت می‌باشد. شدت استفاده از آب از تقسیم میزان استفاده از آب به ستانده کل رشته فعالیت به‌دست آمده است. براساس یافته‌های تحقیق استان گیلان مطابق با انتظار، در بخش کشاورزی صادرکننده خالص آب مجازی بوده است و کل استان نیز در مجموع صادرکننده آب مجازی می‌باشد و تراز تجاری خالص صادرات آب مجازی استان گیلان مثبت است. همچنین مطابق یافته‌های پژوهش صادرات آب مجازی

۱. Agro-Ecological System (AEZ): www.fao.org/nr/land/database/sinformation/en

استان گیلان ۹۶۰ میلیون متر مکعب است که با واردات ۳۲۴ میلیون متر مکعب آب مجازی، خالص صادرات استان ۶۳۶ میلیون متر مکعب است. استان گیلان در بخش کشاورزی ۸۷۴ میلیون متر مکعب صادرات آب مجازی و ۶۳ میلیون متر مکعب واردات آب مجازی داشته است که در مجموع با ۸۱۱ میلیون متر مکعب صادرکننده خالص آب مجازی در بخش کشاورزی بوده است. در بخش صنایع و معادن نیز این استان با صادرات ۸۶ میلیون متر مکعب و واردات ۲۶۰ میلیون متر مکعب آب مجازی از سه گمرک خود در بخش صنایع و معادن واردکننده خالص آب مجازی بوده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از رویکردهایی که در سال‌های اخیر در راستای کمک به مدیریت منابع آب مطرح شده است، تجارت آب مجازی است. بر این اساس کشورها یا مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند به تولید محصولات با محتوای آب مجازی کمتر و واردات محصولات با محتوای آب مجازی بیشتر مبادرت می‌کنند. از آنجا که بهبود تراز آب مجازی مقارن با بهبود بهره‌وری است، لذا هدفمند کردن تجارت آب مجازی دیگر خواسته‌های مطلوب سیاستگذار را نیز تأمین می‌کند. لازم به ذکر است که در صورتی که از این ابزار به شکل مناسب استفاده شود، امنیت غذایی را به مخاطره نمی‌اندازد، بلکه به شکل مطلوب‌تر و با مدیریت کارآمدتر بحران‌های آب آن را با هزینه فرصت کمتری تأمین می‌کند. در واقع آلن (۱۹۹۳) که این مفهوم را معرفی کرد، هدف آن را کمک به تأمین امنیت غذایی کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا نام برد. از این‌رو، جمع‌بندی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مفهوم آب مجازی به‌عنوان یک ابزار سودمند می‌تواند در مدیریت چالش‌های منابع آب مطرح باشد و موارد زیر ازجمله مهمترین توصیه‌هایی است که در مطالعات برای بهبود تراز تجاری آب مجازی و کمک به مدیریت منابع آب با حفظ جوامع امنیت غذایی و مسائل مبتلا به آن، بر آن تأکید شده است:

۱. بهینه‌سازی ترکیب فعالیت‌های اقتصادی در راستای حفظ منابع آب داخلی. با توجه به اینکه سبد کالاهای تجاری در هر بخش اقتصادی دارای ارزش افزوده و محتوای آب مجازی متفاوتی هستند، این امکان وجود دارد که از طریق بهینه‌سازی ترکیب فعالیت‌ها، ضمن حفظ و یا حتی افزایش ارزش افزوده حاصل از تجارت، اتکای به منابع آب داخلی را کاهش داد. در واقع این اقدام از طریق تغییر مبدأ و حجم تولید کالاهای قابل تجارت، تغییر شرکای تجاری و تغییر زمان تجارت امکانپذیر است.

۲. یکی از گزینه‌های اصلاح نظام منطقه‌ای تولید از طریق جایگزین کردن کشت محصولاتی که به آب کمتری نیاز دارند، با محصولاتی با نیاز آبی بالا به‌ویژه برای اصلاح ساختار کشاورزی در مناطق کم آب می‌باشد. برای افزایش کارایی مصرف آب بهتر است محصولاتی با بهره‌وری آب بیشتر به‌جای محصولات با بهره‌وری آب کمتر در مناطق مشخص کاشته شوند و بدین ترتیب آب برای تولیدات دارای



ارزش اقتصادی بالاتر و سایر مصارف ضروری داخلی، ذخیره شود.

۳. اصلاح ترکیب صادرات محصولات کشاورزی از طریق کاهش تولید و صادرات محصولاتی که در تولید آنها نیاز به آب زیادی بوده و از طرف دیگر ارزش اقتصادی ناچیزی در بازارهای جهانی دارند و جایگزین کردن آنها از طریق واردات کالاهای مشابه.

۴. اصلاح اسناد توسعه بخشی به‌ویژه در بخش صنعت به نحوی که صنایعی در افق توسعه هر استان مد نظر قرار گیرند که ضمن انطباق با پتانسیل‌های استان و اصول مزیت نسبی، در تعیین و اولویت‌بندی آنها به منابع آب در دسترس استان و همچنین محتوای آب مجازی تولیدات نیز توجه شود. تا از این طریق در بلندمدت، تراز تجاری آب مجازی کشور در بخش صنعت بهبود پیدا کند.

۵. اصلاح الگوهای کشت محصولات کشاورزی مناطق مختلف کشور به این صورت که الگوهایی مد نظر قرار گیرند که کشت محصولات مختلف در آن منطقه مورد نظر دارای مزیت نسبی بوده و مصرف آب مجازی در تولید محصولات در آنها کمتر باشد تا از این طریق تخصیص بهینه کشت با توجه به محدودیت‌های آب هر منطقه ایجاد شود.

۶. با توجه به اینکه عملکرد محصولات کشاورزی یکی از عوامل اثرگذار در کاهش میزان آب مصرفی ویژه محصولات زراعی و باغی و در نتیجه کاهش صادرات حجم آب مجازی آنها می‌باشد، لذا افزایش مقدار عملکرد در واحد سطح ضمن حفظ توان صادراتی محصولات، از فشار موجود بر منابع آب می‌کاهد. بنابراین استفاده از تکنولوژی‌های نوین کشاورزی و همچنین بذور اصلاح شده و زیستی، می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد.

۷. اگرچه در مباحث تجارت محصولات کشاورزی، بر بهینه‌سازی ترکیب صادرات و واردات برای کاهش صادرات و افزایش واردات آب مجازی تأکید می‌شود، ولی باید به این نکته توجه شود که تکیه منحصر به فرد بر چنین امری سبب می‌شود که مجبور به کشت محصولات معدودی شد که آب مصرفی کمتری نیاز دارند که این مسئله باعث کاهش اشتغال خواهد شد، لذا ضروری است ضمن پرداختن به الگوهای مبتنی بر کاهش محتوای آب مجازی، به سیاست‌های مبتنی بر ایجاد اشتغال جایگزین مانند توسعه صنایع تبدیلی و سایر فعالیت‌های اشتغال‌زا در مناطق روستایی نیز پرداخت.

با توجه به راهکارها و توصیه‌های بیان شده، برای اینکه رویکرد آب مجازی بتواند وارد معادلات آب، کشاورزی و امنیت غذایی شود و به‌عنوان یک ابزار در مدیریت منابع آب اثرگذار باشد، لازم است چندین اقدام به‌عنوان مسیر ورود این ابزار در برنامه‌ریزی‌های کشور مد نظر قرار گیرد. از جمله مهمترین این اقدامات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) توجه به محتوای آب مجازی علاوه بر هدف کسب ارزش افزوده بالاتر در صادرات محصولات کشاورزی و صنعتی،

ب) توجه به محتوای آب مجازی علاوه بر هدف پوشش خلأهای تولید و مصرف در واردات محصولات کشاورزی و صنعتی،

ج) توجه به محتوای آب مجازی علاوه بر هدف تأمین نیازهای غذایی در برنامه‌ریزی کشت فراسرزمینی،

د) توجه به محتوای آب مجازی علاوه بر هدف کاهش ریسک در سیاست‌های حمایتی از کشاورزان،
ه) توجه به محتوای آب مجازی علاوه بر هدف خودکفایی در پیشنهاد الگوهای کشت محصولات مناطق مختلف.

در نهایت ذکر این نکته ضروری است که موضوع آب مجازی ماهیت چندوجهی داشته و نهادهای مختلفی در آن دخالت دارند. از طرفی در زمینه کاربرد این ابزار در کشور خلأ قانونی وجود دارد. لذا، پیشنهاد می‌شود ضوابط و الزامات قانونی مورد نیاز برای استفاده مناسب از این ابزار در مطالعه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. همچنین به نحوی این الزامات قانونی و اجرای آن مورد توجه قرار گیرد که ماهیت فرادستگاهی داشته و برای تمام ذینفعان و ذیمدخلان قابل اجرا و پیگیری باشد تا مناسب‌ترین نتیجه در راستای اهداف کلان کشور و افزایش منافع جامعه صورت پذیرد.

منابع و مأخذ

۱. احسانی، مهرزاد و هومن، خالدی. شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشور، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. چاپ اول، تهران، ۱۳۸۲.
۲. باغستانی، علی اکبر و همکاران. کاربرد مفهوم آب مجازی در مدیریت منابع آب ایران، مجله تحقیق منابع آب ایران، سال ششم، ش ۱، ۱۳۸۹.
۳. جعفری، علی محمد و قاسم، زارعی. تجارت آب مجازی و نقش آن در مقابله با بحران کم آبی، پیام آب، سال پنجم، ش ۲۸، ۱۳۸۶.
۴. خسروی، زهره. مطالعه میزان تجارت آب مجازی با استفاده از جدول داده - ستانده. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.
۵. دهقانپور، حامد و محمد، بخشوده. بررسی جنبه‌های محدودکننده آب مجازی در منطقه مرودشت. مجله علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۲۲، ش ۱، ۱۳۸۷.
۶. دهقان منشادی، حمیدرضا و محمدحسین، نیک سخن و مجتبی، اردستانی. برآورد آب مجازی حوضه آبخیز و نقش آن در سامانه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، مجله مهندسی منابع آب، سال ۶، ۱۳۹۲.
۷. ذاکری، زهرا و مرضیه، مؤمنی. سنجش آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران مبتنی بر جدول داده - ستانده سال ۱۳۸۵، دفتر مطالعات اقتصادی (گروه کلان و مدلسازی)، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۴.
۸. روحانی، نازنین و همکاران. ارزیابی مبادله محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۸۷.
۹. تهامی‌پور، مرتضی و عباس، صلاح و عباس، عرب مازار. الگوی تجارت آب مجازی در فعالیت‌های اقتصادی استان گیلان:



- کاربرد جدول داده - ستانده گسترش یافته، فصلنامه علوم محیطی، دوره سیزدهم، ش ۳، پاییز ۱۳۹۴.
۱۰. صبوحی، محمود و غلامرضا سلطانی. بهینه‌سازی الگوی کشت در سطح حوزه آبریز با تأکید بر منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی، مجله علوم و فنون کشاورزی، سال ۱۲، ش ۴۳، ۱۳۸۷.
۱۱. محمدخانی، محمدرضا. حساب رد پای آب در برخی محصولات منتخب: رد پای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید و مصرف، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۴.
۱۲. محمدی کانی گلزار، فرهاد. مدیریت مصرف آب بر اساس مبادله آب مجازی در محصولات منتخب کشور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.
۱۳. محمدی، حمید. آثار آزادسازی تجارت بر رفاه مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، مبادله آب مجازی و پایداری منابع، مطالعه موردی در استان فارس، اقتصاد کشاورزی، جلد ۳، ش ۳، ۱۳۹۱.
۱۴. محمدی، حسین و آزاده، تعالی مقدم. تجارت آب مجازی برای محصولات عمده کشاورزی در ایران، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۱۳۹۰.
۱۵. مکنون، رضا و همکاران. آب مجازی آبی و بررسی اقلام مهم کشاورزی و جابجایی آن در ایران. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران اردیبهشت ۱۳۹۰ دانشگاه صنعتی امیر کبیر. تهران، ۱۳۹۰.
16. Aldaya, M.M., Hoekstra, A. Y., and Allan, J. A. Strategic Importance of Green Water in International Grope Trade. UNESCO-IHE value of Water Research Report. Series No. 25, 2008.
17. Allan, J.A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible In: ODA , priorities for water resources allocation and management, ODA, London, 1993.
18. Allan, J.A., Virtual water-the water, food and trade nexus: useful concept or misleading metaphor? Water International 28, 2003.
19. Allan, J.A. Virtual water: Part of an invisible synergy that ameliorates water scarcity, Water Crisis: myth or reality? Edited by Peter P. Rogers, M. Ramon Llamas and Luis Martinez-Cortina, Taylor & Francis publisher. London, 2011.
20. Allan, J.A., Virtual Water: A long-Term Solution for Water-Short Middle Eastern Economies. Paper presented at British Association Festival of Science, 6 September, Leeds, UK, 1997.
21. Blackhurst, M., Hendrickson, C., Vidal, J., Direct and indirect water withdrawals for U.S. industrial sectors. Environmental Science and Technology 44, 2010.
22. Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. Virtual Water Flows between Nations in Relation to Trade in Livestock and Livestock Products. UNESCO-IHE value of Water Research Report. Series No. 13. 2003.
23. Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. Water Footprints of Nations. Value of Water Research Report. UNESCO-IHE value of Water Research Report. Series No. 16, 2004.
24. Chapagain, A.K. "Water footprints of nations: Volume 1&2. Research Report NO. 16. UNESCO. IEIE. Delft, the Netherlands, 2004.
25. Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije. water saving through international trade of agricultural products, Hydrology and Earth System Sciences, 10, 2006.
26. Chanan, A., Kandasamy, J., Sharma, D., A role for input-output analysis in urban water policy decisions in Australia. http://www.iioa.org/pdf/Intermediate-2008/Papers/2f1_Chanan.pdf, 2008.
27. Deardorff, A.V. The general validity of the Heckscher-Ohlin Theorm. *American Economic Review*, 72(4), 1982.
28. Deisenroth, D., Bond, C.A., The economic contribution of the private, recreation based aquaculture industry in the Western United States. Department of Agricultural and Resource Economics, Colorado State University, 2010.
29. Ethier, W.J. Higher dimensional issues in trade theory. In: R. W. Jones & P.B. Kenen (eds.), *Handbook of International Economics*, Vol. I. Amsterdam, the Netherlands: 131-184, 1984.

30. Fraiture, C.D., C. Ximing, U. Amerasinghe, M. Rosegrant and D. Molden. Does international cereal trade save water? The impact of virtual water trade on global water use, research report NO.4. IWMI, Colombo, Srilanka, 2004.
31. Faramarzi, M., Yang, H., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C.R. and Abbaspour, K.C. Analysis of intra-country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, doi:10.5194/hessd-7-2609-2010, 2010.
32. Helpman, E. The factor content of foreign trade. Economic Journal, 94, 1984.
33. Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water: An introduction Virtual Water Trade, proceedings of the international Export meeting on virtual water, IHE Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002. Edited by A.Y. Hoekstra (editor), February 2003.
34. Hoekstra, A. Y., Hung, P.P. 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. UNESCO. IEIE. Delft, the Netherlands, 2002.
35. Kuishuang Feng, Y. L. S., Guan, p., and Habacek, k. Assessing Regional Virtual Water Flows and Water Footprint Geography 32, 2011.
36. Lenzen, M., Foran, B., An input-output analysis of Australian water usage. Water Policy 3, 2001.
37. Leontief, W. Domestic Production and Foreign Trade: The American Capital Position Re-examined, Proceedings of the American Philosophical Society, September, 1953.
38. Novo, P., Garrido, A., Varela-Ortega, C., Are virtual water "flows" in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity? Ecological Economics 68, 2009.
39. Mubako, S., Lahiri, S., Lant, C. Input-output analysis of virtual water transfers: Case study of California and Illinois. Ecological Economics 93, 2013.
40. Renault, D. Value of virtual water in food: Principles and virtues, Value of Water Research Report Series NO. 11. UNESCO. IEIE. Delft, the Netherlands, 2003.
41. Rockstrom, J. and L. Gordon Assessment of green water flows to sustain major biomes of the world: implications for future ecohydrological landscape management, phys. chem. Earth (b) 26, 2001.
42. Wang, Y., Xioa, H.L. and Lu, M.F. Analysis of Water Consumption Using a Regional Input-output Model. Model Development and Application to Zhangge City, North-Western China. Journal of Arid Environment 73, 2009.
43. Zimmer, D. and D. Renault. Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results. PP. 93-107. In: A. Y. Hoekstra (Ed.), Proc. of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12, IHE, Delft, The Netherlands, 2003.
44. Zhao, X., Yang, H., Yang, Z., Chen, B., Qin, Y., Applying the input-output method to account for water footprint and virtual water trade in the Haihe River basin in China. Environmental Science and Technology 44, 2010.



مرکز پژوهش‌ها
مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۱۴۹۴۴

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: آب مجازی بررسی تجارب و مطالعات انجام شده در ایران و جهان

نام دفتر: مطالعات زیربنایی

تهیه و تدوین: مرتضی تهمی پورزند

ناظران علمی: محمدرضا محمدخانی، محسن صمدی

متقاضی: معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی

ویراستار تخصصی: محمدحسن معادی رودسری

واژه‌های کلیدی:

۱. بهره‌وری آب

۲. آب مجازی

۳. شاخص‌ها

۴. رهیافت و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب



تاریخ انتشار: ۱۳۹۵/۵/۲۴