

## بررسی رد پای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران

اعظم عربی یزدی\*<sup>۱</sup> - امین عزیزاده<sup>۲</sup> - فرشاد محمدیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۱

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۲۱

### چکیده

عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب در کشور مدیریت منابع آب را، بخصوص در بخش کشاورزی، با چالش روبرو ساخته است. در این ارتباط مبادلات بین‌المللی محصولات کشاورزی و جابجایی آب نهفته در آن‌ها که به آن آب مجازی گفته می‌شود می‌تواند یکی از راه‌کارهای مدیریت آب باشد. مبادلات آب مجازی برای هر کشور باید براساس بهینه‌سازی و در نظر گرفتن سیاست‌های اجتماعی-اقتصادی و مزیت‌های اقلیمی آن کشور صورت گیرد. برای این منظور قبل از هر گونه برنامه‌ریزی لازم است بر اساس الگوهای غذایی و مصرف مورد قبول کشور، رد پای اکولوژیک آب محاسبه شود و مشخص گردد که برای جمعیت کشور از نظر تأمین موادغذائی و رفع آلودگی‌های حاصل از مصرف آن‌ها به چه میزان آب مورد نیاز است. در این مقاله رد پای اکولوژیک آب بر مبنای داده‌های صادرات و واردات مواد غذایی در سال ۱۳۸۵ محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که رد پای اکولوژیک آب کشور در سال مذکور ۱۰۴ میلیارد مترمکعب بوده است. در سال ۱۳۸۵ کشور با واردات خالص آب مجازی و کسر صادرات آب مجازی بدون در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۱۲ و بر مبنای راندمان آبیاری ۶۰ درصد ۲۰ میلیارد مترمکعب از منابع آب داخلی خود را ذخیره کرده است که اگر قرار بود این مقدار محصول در داخل کشور تهیه شود لازم بود ۱۱۲ میلیارد آب در کشاورزی مصرف شود که چنین مقداری در دسترس نمی‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آب مجازی، رد پای آب، شاخص شدت مصرف، واردات، صادرات، شاخص خود کفائی

### مقدمه

در ایران مثلاً برابر ۲۵۰ میلی متر و یا حجم آب تجدید پذیر کشور ۱۳۰ میلیارد مترمکعب است خود جای سؤال دارد و لذا دقیقاً نمی‌توان گفت که در ایران اصولاً چقدر بارندگی و یا چه مقدار آب برای استفاده در اختیار داریم. با این وجود ارقامی مشابه اعداد فوق از طرف سازمان‌های رسمی کشور اعلام می‌گردد و ما به ناچار باید برنامه‌ریزی‌ها و ارائه راه‌کارها را بر اساس آنها انجام دهیم.

شواهد موجود نشان می‌دهد که با توجه به رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، گسترش صنعت و ارتقاء سطح بهداشت و رفاه عمومی، سرانه منابع آب تجدید شونده کشور رو به کاهش است. اگر سرانه منابع آب تجدید شونده سالانه

کشور در سال ۱۳۳۵، رقمی در حدود ۷۰۰۰ مترمکعب بوده است اکنون با توجه به جمعیت ۷۲ میلیونی کشور این رقم به حدود ۱۸۰۰ رسیده و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۱۴۱۰ به ۸۰۰ مترمکعب و یا کمتر از آن تنزل یابد که این رقم به مراتب پایین تر از مرز کم‌آبی است که در عرف بین‌المللی برای یک کشور تعریف می‌شود (۵).

مسلماً رشد جمعیت، نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی را ایجاد می‌کند و در این راستا کشاورزی، باغداری و دامپروری به عنوان اصلی‌ترین منابع تأمین‌کننده موادغذایی داخلی به شمار

معمولاً اکثر مقالات و رساله‌های علمی که در زمینه کشاورزی نوشته می‌شوند با این مضامین آغاز می‌گردند که ایران کشوری خشک و کم‌آب بوده و برای افزایش محصول باید چاره‌اندیشی شود و در نهایت نسخه‌ای را برای تولید بیشتر محصول ارائه می‌کنند، بدون اینکه به مسئله از دید کلان نگریسته شود و بدانند که ایران از نظر اکولوژیک در چه جایگاهی قرار دارد و آیا نسخه‌های توصیه شده تا چه حد می‌توانند راه‌گشا باشند. اصولاً اینکه ما پهنه ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربعی کشور را یک صفحه مسطح فرض کرده و با داده‌های حاصل از تعداد معدود ایستگاه‌های هواشناسی و بدون توجه به دقت و صحت آمار آنها و یا پستی و بلندی‌های سرزمین، برای کشور خطوط همباران رسم کرده و به این نتیجه برسیم که میانگین سالانه بارندگی

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، استاد و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان (E-mail: azamarabi@gmail.com)

\*- نویسنده مسئول:

توسعه منابع آب جدید مانند بهره‌برداری بهینه از منابع آب باقیمانده، استفاده مجدد از فاضلاب، شیرین کردن آب‌های شور، افزایش ظرفیت تولید منابع موجود، در نظر گرفتن راهبردهای صرفه‌جویی آب در بخش‌های مختلف اقتصادی، و یا توسعه روش‌های مدیریت کارآمد جدید اشاره نمود(۵). در هر حال کمتر به آب نهفته در محصولات کشاورزی یا اصطلاحاً آب مجازی، که با مبادلات تجاری وارد کشور شده یا از آن خارج می‌شود، توجه می‌گردد. در صورتی که چنین به‌نظر می‌رسد جابجائی آب نهفته در هر واحد تولیدات کشاورزی در آینده از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری کلان آب کشور برخوردار خواهد بود. مبادلات بین‌المللی آب مجازی می‌تواند به عنوان راهکاری جهت مدیریت کم‌آبی نه تنها در ایران بلکه در بسیاری از کشورهای کم آب خاور میانه به کار گرفته شود (۱۹ و ۲۰). مفهوم آب مجازی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مفید در محاسبه مقدار آب واقعی مصرفی کشور به کار گرفته شود که اگر مبادلات بین‌المللی آب مجازی ناشی از صادرات و واردات کالاهای کشاورزی کشور را نیز منظور گردد، به کمک آن و محاسبه نمایه رد پای آب (Water footprint) می‌توان تقاضای واقعی آب کشور را در اثر الگوی مصرف مردم از منابع آب جهانی تعیین نموده و در نهایت نشان داد که آیا منابع آب داخلی کشور تأمین‌کننده نیازهای آبی جمعیت کنونی یا آینده خواهد بود یا خیر و اینکه اصولاً کشور به چه میزان به منابع آب کشورهای صادرکننده محصولات کشاورزی وابسته می‌باشد. در این پژوهش، استفاده از مبادلات آب نهفته در محصولات کشاورزی به منظور حصول امنیت غذایی و آبی کشور مورد بررسی قرار گرفته است. مسلماً سایر مایحتاج زندگی مانند محصولات دامی یا صنعتی و خدماتی و غیره نیز نیاز به آب دارند که به دلیل گستردگی کار در این پژوهش به آنها پرداخته نشده است.

### بررسی منابع

هوکسترا و هانگ(۲۴) و چاپاگین و هوکسترا(۲۱)، پژوهش‌گران مؤسسه مهندسی هیدرولیک در هلند، حجم مبادلات آب مجازی بین‌المللی در دوره ۱۹۹۹-۱۹۹۵ با توجه به میزان آب مصرفی در کشور صادرکننده بالغ بر ۱۰۴۰ میلیارد مترمکعب برآورد نمودند که ۶۷ درصد آن مربوط به مبادلات بین‌المللی انواع محصولات زراعی و باغی، ۲۳ درصد مربوط به تولیدات دامی و ۱۰ درصد مربوط به تولیدات صنعتی است. رینالت (۲۷) و زیمر و رینالت (۳۳)، حجم مبادلات جهانی آب بین کشورها را در سال ۲۰۰۰، بر پایه میزان آب مورد نیاز در کشور واردکننده قریب ۱۳۴۰ میلیارد متر مکعب گزارش دادند که حدود ۶۰ درصد حجم آب مجازی مربوط به مبادلات محصولات کشاورزی، ۱۴ درصد محصولات دریایی و شیلات، ۱۳ درصد تولیدات دامی و ۱۳ درصد تجارت گوشت بوده است. اوکی و

می‌روند. در حال حاضر این بخش از فعالیت‌های اقتصادی کشور که بیش از ۹۰٪ از کل منابع آب تجدیدشونده کشور را به خود اختصاص می‌دهد حدود ۱۲ تا ۱۳ درصد تولید ناخالص ملی و ۲۳ درصد اشتغال را نیز در بردارد (۹). در واقع بخش کشاورزی تکیه‌گاه اساسی در تأمین نیازهای غذایی کشور بوده و در این مورد نقش آب به عنوان مهمترین عامل محدودکننده در توسعه بخش کشاورزی، اهمیت اقتصادی آن را بسیار تعیین‌کننده نموده است. پیش‌بینی شده است که جمعیت ایران تا سال ۱۴۱۰، به مرز ۱۰۰ میلیون نفر خواهد رسید، که در این صورت برای تأمین نیازهای غذایی این جمعیت، بر مبنای حدود ۲۶۰۰ کیلوکالری انرژی روزانه به بیش از ۱۵۰ میلیارد متر مکعب آب سالانه نیاز خواهد بود که این مقدار در سبد آبی کشور موجود نمی‌باشد (۱۸). اما باید دید که حتی در حال حاضر آیا با همین جمعیت موجود اگر قرار باشد برخی محصولات و فرآورده‌های غذایی را که سالانه برای غذای مردم به کشور وارد می‌شود در داخل کشور تولید گردد، به چه مقدار آب در بخش کشاورزی نیاز خواهد بود و اصولاً آیا این مقدار آب هم اکنون برای این جمعیت در کشور موجود است یا خیر. این امر می‌تواند ما را راهنمایی کند که مشخص کنیم سطح خودکفایی در تولید هر یک از محصولات مختلف کشاورزی باید در چه حد باشد و اصولاً از دیدگاه مصرف آب، تولید کدام محصول در داخل از درجه اهمیت بیشتر یا کمتری برخوردار است. برخی از متخصصان به مسئله آب و تولیدات کشاورزی از بعد جهانی نگاه کرده و از این نظر وابستگی کشورها را به یکدیگر اجتناب‌ناپذیر می‌دانند. مثلاً حتی با فرض اینکه مقدار آب شیرین موجود در دنیا برای تولید مواد غذایی جمعیت جهان کافی باشد، به نظر می‌رسد که ایران برای رفع بخشی از نیازهای غذایی خود چاره‌ای جز چشم دوختن به منابع آب شیرین در سایر کشورهای جهان نخواهد داشت زیرا ایران با بیش از یک درصد جمعیت جهان تنها ۰/۳۶ درصد منابع آب شیرین و تجدید شونده جهان را در اختیار دارد (۱۶).

مسئله عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب در کشور، مدیریت منابع آب را پیچیده تر کرده است. مدیریت منابع آب در جریان تحول و در شرایط دامنه عمل خود با محدودیت‌های جدیدی روبه‌روست که قبل از آن به هیچ وجه در این ابعاد مطرح نبوده است. به دلیل رشد جمعیت، رشد بخش کشاورزی و گسترش شهرنشینی، برداشت از منابع آب زیرزمینی در اغلب مناطق از حد مجاز فراتر رفته است. هزینه‌های نهایی تأمین آب اضافی و آلودگی منابع آب، شتابی فزاینده پیدا کرده است. لذا حرکت برای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب در شرایط اقلیمی و جغرافیایی متفاوت و نیازهای در حال تحول مناطق مختلف کشور، صرفاً با اتکاء به بعد مدیریت عرضه و تکیه بر احداث تأسیسات جدید و جنبه‌های سخت‌افزاری نمی‌تواند مشکلات را تخفیف داده یا از عهده آنها برآید (۱۲).

در پاسخگویی به تقاضاهای روز افزون آب در کشور، می‌توان به

نظر داشت که واردات مواد غذایی به منظور استفاده از مبادله آب مجازی، بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست یک کشور را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و با امنیت غذایی و فرهنگ کشور ارتباط مستقیم دارد. بنابراین لازم است کشورهای کم آب با توجه به شرایط، ظرفیت‌ها و نیازهای داخلی و همچنین ملاحظات امنیت غذایی خود، نقطه بهینه‌ای را برای میزان واردات آب مجازی پیدا کنند.

اکثر متخصصان، مبادلات بین‌المللی محصولات غذایی را یکی از راه‌حل‌های اساسی در کنترل مصرف جهانی آب می‌دانند. راک استورم و گوردن (۲۹) حجم آب مورد نیاز سالانه برای تولید محصولات کشاورزی در جهان را ۵۴۰۰ میلیارد مترمکعب برآورد نمودند که بخشی از آن می‌تواند به صورت مجازی جابجا شود. تخمین اوکی و همکاران (۲۶) از حجم جهانی آب ذخیره شده طی دوره ۱۹۹۵-۱۹۹۹ در اثر مبادلات مواد غذایی حدود ۴۴۵ میلیارد مترمکعب در سال بوده که این رقم معادل ۸ درصد صرفه‌جویی در مصرف جهانی آب است. چپاگین و هوکسترا (۲۲) میزان متوسط جریان آب مجازی در ارتباط با مبادله محصولات کشاورزی را طی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۷، حدود ۱۲۶۳ میلیارد مترمکعب در سال برآورد کردند. همچنین چپاگین و همکاران (۲۶) نشان دادند که در فاصله سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۰۱ آب مورد نیاز برای تولید داخلی برخی از محصولات کشاورزی و دامی (۲۸۵ نوع محصول کشاورزی و ۱۲۳ نوع محصول دامی) مورد نیاز کشورهای وارد کننده، ۱۶۰۵ کیلومترمکعب در سال بوده است اما به واسطه مبادله آب مجازی، آب مصرف شده برای تولید این محصولات به ۱۲۵۳ کیلومترمکعب کاهش یافته که خود حکایت از صرفه‌جویی ۳۵۲ کیلومترمکعب در مصرف آب جهانی دارد. حجم آب صرفه‌جویی شده معادل ۲۸ درصد از کل مبادلات آب مجازی ناشی از تجارت محصولات کشاورزی در سطح بین‌المللی بوده که حدود ۶ درصد از کل آب مصرفی کشاورزی در جهان را شامل می‌شود.

با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که تجارت آب مجازی باعث کاهش مصرف آب در سطح جهانی می‌شود در ایران بیشترین مقدار مصرف آب مربوط به تولید غلات که اساسی‌ترین محصولات استراتژیک کشورند می‌باشد. در دنیا نیز مقدار آبی که صرف تولید گندم می‌شود از اهمیت زیادی برخوردار است. مبادله غلات با ذخیره ۲۲۲ میلیارد مترمکعب آب در سال بیشترین سهم را در ذخیره جهانی آب دارد. پس از آن، دانه‌های روغنی بخصوص سویا، ۶۸ میلیارد مترمکعب در سال و محصولات دامی، ۴۵ میلیارد مترمکعب در سال آب ذخیره می‌کنند (۲۲). ایران در فاصله سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۷ با واردات عمده غلات، دانه‌های روغنی و شکر سالانه حدود ۳۷ میلیارد مترمکعب آب صرفه‌جویی کرده است. طبق آمارهای دوفرچر و همکاران (۲۰۰۴)، تولید انواع غلات وارد شده به ایران در سال ۱۹۹۵ نیازمند ۲۶/۵ کیلومترمکعب آب از منابع آب داخلی بوده و ایران با این مبادله ۱۵/۸۶ کیلومترمکعب مصرف آب جهانی را کاهش داده

همکاران (۲۰۰۳)، حجم مبادلات بین‌المللی آب مجازی در سال ۲۰۰۰ را با لحاظ نمودن محل تولید محصول در کشورهای صادر کننده و وارد کننده به ترتیب ۶۸۳ و ۱۱۳۸ میلیارد متر مکعب برآورد کردند که بر اساس آن میزان صرفه‌جویی جهانی آب در اثر مبادلات بین‌المللی محصولات غذایی، ۴۵۵ میلیارد متر مکعب بوده است.

فریچر و همکاران (۲۳) در بررسی خود که روی واردات غلات در دو کشور مصر و ژاپن صورت گرفت دریافتند که در سال ۱۹۹۵، مصر و ژاپن به ترتیب با واردات ۷/۵ و ۲۷ میلیون تن از انواع غلات، به ۹/۹ و ۳۷ کیلومترمکعب منابع آب داخلی خود را برای این منظور مصرف نکرده‌اند و یا اصطلاحاً خیره کرده‌اند. اما باید به این نکته نیز توجه داشت که اگر محصولات تولیدی در کشورهای صادر کننده نسبت به کشورهای وارد کننده آب بیشتری نیاز داشته باشد مصرف آب جهانی افزایش می‌یابد. بطور مثال، در سال ۱۹۹۵، واردات بالغ بر ۲/۳ میلیون تن غلات از هند به اندونزی حدود ۰/۷ کیلومترمکعب مصرف جهانی آب را افزایش داده است، زیرا تولید این مقدار غلات در اندونزی ۱۶/۷ کیلومترمکعب و در هند ۱۷/۴ کیلومترمکعب آب نیاز دارد.

اردکانیان و سهرابی (۱)، در رابطه با تجارت آب مجازی، با بیان ضرورت و کاربرد این تجارت در ایران، به معرفی برخی زمینه‌های مطالعاتی در کشور پرداخته‌اند. پیشنهاد آنها برای کشور این است که با دخالت دادن تجارت آب مجازی در سیاست‌های آبی، علاوه بر اینکه میزان دسترسی کشور به منابع آب جهانی افزایش می‌یابد، از افزایش فشار بر منابع محدود داخلی نیز کاسته می‌شود. در تمام این مطالعات همواره به نقش آب به عنوان یکی از عوامل کلیدی در تولید محصولات پرمصرف آب تأکید شده و توصیه شده است که در تجارت آب مجازی، باید با حفاظت آب و مصرف آن برای تولید محصولات کلیدی و سرمایه‌گذاری در بخش‌های اقتصادی در تخصیص و استفاده بهینه از آن تلاش کرد. این نگاه جدید به آب می‌تواند بسیاری از الگوهای مصرف آب و تخصیص یارانه‌ها را در این زمینه تغییر دهد.

بنا بر مطالعات هوکسترا و هانگ (۲۴) ایران با واردات حدود ۲۹/۱ میلیارد مترمکعب آب طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۹ در ردیف نوزدهمین کشور بزرگ واردکننده آب مجازی بوده است. آمریکا، کانادا و تایلند بزرگترین صادرکنندگان آب مجازی و سریلانکا، ژاپن و هلند بزرگترین واردکنندگان آب مجازی در این دوره هستند. حتی کشورهای پرآب نیز به عنوان یک ضرورت در حفظ منابع آبی خود اقدام به واردات کالاهایی می‌کنند که برای تولید آنها در کشور خود نیاز به صرف مقدار فراوانی آب باشد. مثلاً ورما و همکاران (۳۱) جریان آب مجازی ناشی از مبادلات محصولات در ایالات مختلف هند طی دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۷ را بیش از ۱۰۶ میلیارد مترمکعب و یا ۱۳ درصد حجم کل آب مصرفی در آن کشور برآورد نمودند. البته باید در

محاسبه آب خاکستری معادل حجم آبی است که برای رفع آلودگی آب و رسیدن کیفیت آن به سطح استاندارد و قابل قبول نیاز است. در این پژوهش رد پای اکولوژیک آب در کشور مورد بررسی قرار گرفته است.

بر اساس گزارش‌های وزارت نیرو و بر اساس آمار و اطلاعات استخراج شده از یافته‌های درازمدت شبکه آب سنجی کشور، ریزش‌های جوی به میزان متوسط ۲۵۰ میلی‌متر یا کمی بیشتر در سال در پهنه جغرافیایی منشأ اصلی منابع آب کشور می‌باشد که حدود ۳۰ درصد آن به صورت برف و بقیه به صورت باران است. به این ترتیب، با توجه به وسعت کشور، میانگین سالانه ریزش‌های جوی ۴۱۲ میلیارد مترمکعب است که از این میزان حدود ۲۰۵ میلیارد مترمکعب به صورت نفوذ و رطوبت خاک و ۱۱۵ میلیارد مترمکعب به صورت تبخیر پس از بارش از دسترس خارج می‌شود و میزان ۹۲ میلیارد مترمکعب به صورت رواناب سطحی جاری می‌شود. از ۴۱۲ میلیارد مترمکعب ریزش جوی حدود ۲۶ میلیارد مترمکعب به طور مستقیم صرف تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی و حدود ۱۲ میلیارد مترمکعب دیگر نیز از جریان‌های زیرسطحی وارد آبخوان‌های زیرزمینی می‌گردد که با احتساب این رقم، میزان کل آب تجدیدشونده سالانه کشور حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب، معادل ۳۱ درصد ریزش‌های جوی است.

وضعیت کنونی بهره برداری از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی، شرایط را به سمتی هدایت کرده است که اکثر دشت‌ها توسط وزارت نیرو به عنوان دشت‌های ممنوعه اعلام و صدور مجوز جدید بهره برداری از آنها ممنوع شده است. شواهد موجود حاکی از بحرانی بودن وضعیت این منابع می‌باشد. این مسئله ضرورت توجه بیشتر به موضوع مدیریت آب و استفاده بهتر از آن را طلب می‌نماید (۸). وزارت نیرو (۱۳۸۲)، میزان تخلیه سالانه آب‌های زیرزمینی را بالغ بر حدود ۵۲ میلیارد مترمکعب اعلام کرده است که قریب ۴۰ میلیارد مترمکعب آن در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. از آنجائی که در مدیریت آب، بیشتر راه‌های فیزیکی توسعه منابع آب و بهره‌برداری بیشتر از آن‌ها در جهت خود کفایی کشور در تولید محصولات کشاورزی مطرح بوده و این راه‌حل‌ها اغلب به صورت احداث تأسیسات جدید، کارهای زیربنایی و ایجاد عرضه بیشتر در بخش آب نمود پیدا می‌کند بنظر می‌رسد لازم باشد به مدیریت آب مجازی و تقاضای آب از طریق وضع قوانین، تدوین آئین‌نامه‌ها، استفاده از ابزارهای اقتصادی و برنامه‌ریزی و نظارت و مشارکت بهره‌برداران نیز توجه گردد (۷). افزایش تقاضا برای آب و خدمات وابسته به آن، کاهش کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، تخریب محیط‌زیست ناشی از شهرنشینی، صنعتی شدن و تغییر کاربری اراضی، منابع آب موجود را در تنگناها و فشارهای فزاینده‌ای قرار داده و مدیریت آن را با شرایط پیچیده‌ای رو- به‌رو نموده است. در این شرایط بحرانی، ایجاد تعادل پایدار و موزون

است. طبق پیش‌بینی آن‌ها ایران در سال ۲۰۲۵ حدود ۱۱/۳۶ میلیون تن انواع غلات را به کشور وارد نموده و بالغ بر ۴۷/۲۷ کیلومترمکعب از منابع آب داخلی خود را حفظ می‌کند. اگر ایران این حجم غلات را در داخل تولید می‌کرد، باید بیش از ۱۲/۷۲ کیلومترمکعب از آب مورد نیاز خود را از طریق آب‌های تنظیم‌شده به‌منظور آبیاری اراضی کشاورزی تأمین می‌نمود. بر اساس یافته‌های فریچر و همکاران (۲۳)، به دلیل آنکه بهره‌وری آب محصولات کشاورزی بین واردکنندگان و صادرکنندگان متفاوت است، لذا مبادله غلات موجب صرفه جویی ۱۶۴ میلیارد مترمکعب در مصرف جهانی آب شده است که از این مقدار ۱۱۲ میلیارد مترمکعب آن مربوط به آب آبیاری است. این نتایج نشان می‌دهد که بدون مبادله محصولات، مصرف جهانی آب در تولید غلات، حدود ۶ درصد و مصرف آب آبیاری به میزان ۱۱ درصد افزایش می‌یافت.

واقعیت آن است که کل آبی که در یک کشور مصرف می‌شود، میزان دقیقی از تخصیص منابع جهانی آب به آن کشور نیست. با واردات محصولات به کشور، حجم آب مجازی مورد نیاز برای تولید محصولات به منابع آب داخل کشور اضافه می‌شود. به طور مشابه صادرات یک کشور نیز معادل آب مجازی خروجی از کشور است که باید از منابع آبی داخل کشور کسر شود. بنابراین جمع آب مصرفی کشور و خالص واردات آب مجازی، شاخص واقعی‌تری از مصرف آب در کشور است که به آن ردپای آب کشور اطلاق می‌شود. هوکسترا و هانگ (۲۵) با معرفی شاخص ردپای آب توانستند اطلاعات مفیدی را در ارتباط بین الگوی مصرفی افراد و به دنبال آن میزان آب مصرفی در تولید محصولات مختلف، مبادلات جهانی آب و مدیریت منابع آب، ارائه دهند. علاوه بر رد پای آب واکر و ری (۳۲) نمایه دیگری بنام رد پای اکولوژیک معرفی کردند که شاخصی برای تعیین هکتار زمین مورد نیاز جهت تولید محصولات کشاورزی برای جمعیت یک کشور است. در حالیکه رد پای آب فقط حجم آب مصرفی (مترمکعب در سال) جمعیت آن کشور از منابع جهانی آب را نشان می‌دهد. مطالعات واکر و ری (۳۲) نشان می‌دهد که رد پای اکولوژیک در برخی کشورها کوچکتر از وسعت کنونی آن کشورها و در برخی دیگر بزرگتر از وسعت آن کشورهاست. این بدان معنی است که بعضی کشورها برای تأمین مواد غذایی و کالاهای و خدمات مصرفی ملت خود علاوه بر منابع آبی خود به اراضی دیگر کشورها نیز نیاز دارند. بنا به نظر ون اول و همکاران (۳۰)، ردپای آب شامل سه مؤلفه است: ردپای آب آبی، سبز و خاکستری. ردپای آب آبی حجم آبی است که از منابع جهانی آب آبی (آب‌های جاری در رودخانه‌ها، آب زیرزمینی و غیره) برای تولید کالا و خدمات مصرفی ساکنان یک کشور مصرف می‌شود. ردپای آب سبز از منابع جهانی آب سبز (بارش ذخیره شده در خاک به عنوان رطوبت خاک) مصرف می‌شود و ردپای آب خاکستری حجم آبی است که به واسطه تولید کالا در بخش‌های مختلف کشور آلوده می‌شود. نحوه

منظور ۶۲۹ دشت کشاورزی کشور در نظر گرفته شد و داده‌های مربوط به نوع محصولات و سطح زیر کشت آنها از وزارت جهاد کشاورزی تهیه و در بانک اطلاعات ذخیره گردید. با توجه به تعداد زیاد محصولات کشاورزی تنها ۳۱ محصول عمده مورد بررسی قرار گرفتند که عبارتند از: گروه غلات (گندم، جو، ذرت و برنج)، محصولات صنعتی (چغندرقد، نیشکر، پنبه، توتون و تنباکو)، میوه‌ها (پرتقال، انگور، انار، سیب، انواع آلو، پسته، گردو، بادام، موز و کیوی)، دانه‌های روغنی (سویا و آفتابگردان)، حبوبات (انواع لوبیا، عدس، نخود و ماش)، صیفی‌جات (سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی)، نباتات علوفه‌ای (ذرت علوفه‌ای، سورگوم و یونجه)، چای و خرما.

داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های معرف هر دشت به صورت روزانه طی دوره آماری ۳۰ ساله در یک بانک اطلاعات ذخیره گردید. نیاز خالص آبی هریک از محصولات در شرایط غیر استاندارد بر اساس روش فائو-پنمن-مونیت با در نظر گرفتن روش‌های متداول آبیاری و کیفیت آب و خاک محاسبه و با استفاده از داده‌های دفتر تامین آب جهاد کشاورزی در مورد راندمان‌های آبیاری، نیاز آبیاری این محصولات محاسبه گردید. محاسبات نیاز آبی منطبق بر سند آبیاری کشور می‌باشد. از روی این محاسبات پارامترهای زیر استخراج گردید.

۱ - متوسط نیاز آبی و نیاز آبیاری محصولات کشاورزی در سطح کشور. در رابطه (۱)، متوسط نیاز آبی هر محصول در سطح کشور، با استفاده از روش میانگین وزنی در کلیه دشت‌های کشور محاسبه می‌شود:

$$\overline{CWR}_c = \frac{\sum_{i=1}^n CWR_{c,i} * A_{c,i}}{TA_c} \quad (1)$$

در این رابطه،  $CWR_{c,i}$  نیاز آبی محصول  $c$  در دشت  $i$  (متر مکعب در هکتار)،  $A_{c,i}$  سطح زیر کشت محصول  $c$  در دشت  $i$  (هکتار) و  $TA_c$  کل سطح زیر کشت محصول  $c$  در تمام دشت‌های کشور است. کلیه محصولات کشاورزی مورد بررسی تحت کشت آبی هستند (چون قریب ۹۰٪ محصولات خام کشاورزی از زمین‌های فاریاب حاصل می‌شود).

۲ - مقدار آب مجازی در هر محصول (رابطه ۲)، به صورت نسبتی از متوسط نیاز آبی به متوسط عملکرد آن محصول (مترمکعب آب به ازای هر تن محصول) بدست می‌آید:

$$SWD_c = \frac{\overline{CWR}_c}{CY_c} \quad (2)$$

که در آن،  $SWD_c$  نیاز ویژه آبی گیاه  $c$  (مترمکعب آب به ازای هر تن محصول)،  $\overline{CWR}_c$  متوسط نیاز خالص آبی (صرف نظر از باران مؤثر) در سطح کشور برای محصول  $c$  (مترمکعب در هکتار)، و

بین عرضه و تقاضا، تولید و مصرف آب به یک معضل اساسی در مسیر توسعه و آبادانی کشور مبدل خواهد شد. در سال‌های اخیر مسئولان و برنامه‌ریزان حوزه آب، مدیریت تقاضا و حفظ منابع آبی را در دستور کار خود قرار داده‌اند به نحوی که در حوزه مدیریت جدید (تقاضای آب) مفاهیم آب مجازی نیز ارائه شده است. اما قبل از آن لازم است رد پای اکولوژیک آب در ایران مورد مطالعه قرار گیرد که در این مقاله به بررسی امکان بهره‌گیری از مبادلات آب مجازی برای حصول امنیت غذایی و آبی و برآورد شاخص رد پای آب و مؤلفه‌های آن پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### داده‌ها

آمار، اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در این پژوهش که از مراجع ذیربط اخذ شده است عبارت بوده‌اند از:

۱ - مشخصات ۶۲۹ دشت کشاورزی کشور از نظر موقعیت، نوع منابع آب و خاک‌های غالب (از وزارتخانه‌های جهاد کشاورزی و نیرو).

۲ - داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی ایران در دوره آماری ۳۰ ساله (از سازمان هواشناسی کشور)

۳ - آمار سطح زیر کشت و میزان تولیدات کشاورزی محصولات فاریاب در هر یک از دشت‌های کشاورزی و استان‌های کشور برای سال ۱۳۸۵ که مبنای محاسبات این پژوهش بوده است.

۴ - روش‌های آبیاری مرسوم و راندمان‌های آبیاری در دشت‌های کشاورزی که در برنامه چهارم توسعه اقتصادی کشور مورد استفاده بوده است (از دفتر تامین آب کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی).

۵ - آمار صادرات و واردات محصولات کشاورزی و کشورهای صادر کننده هریک از این محصولات در سال ۱۳۸۵ از آرشیو سازمان فائو.

۶ - حجم منابع آب تجدیدشونده کشور و میزان تخصیص منابع آب به بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت (از وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی).

۷ - نیازهای غذایی جمعیت کشور مطابق با الگوی پیشنهادی بهینه در طرح امنیت غذایی کشور که توسط فرهنگستان علوم کشور تهیه شده است.

### محاسبات

در اولین گام این پژوهش، به محاسبه آب نهفته در محصولات کشاورزی پرداخته شده و پس از آن، شناسایی جهت جریان آب مجازی و برآورد میزان مبادلات آب مجازی کشور، شاخص رد پای آب و دیگر نمایه‌های مربوطه مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این

$CY_c$  متوسط عملکرد محصول  $c$  (تن در هکتار) است.

۳- بهره وری آب کشاورزی (رابطه ۳) به صورت عکس مقدر آب مجازی تعریف می‌شود.

$$CWP = \frac{1}{SWD} \quad (۳)$$

۴- مبادله مقدار آب مجازی کشور به ازای واردات یا صادرات هر محصول، که از حاصل ضرب مقدار کمی واردات یا صادرات آن محصول، در میزان آب مجازی آن محصول بدست می‌آید. آب مجازی هر محصول بر مبنای کشور وارد کننده در نظر گرفته شده است.

۵- واردات و صادرات ناخالص آب مجازی (حاصل جمع همه واردات و صادرات محصولات کشاورزی کشور)

۶- رد پای داخلی و خارجی آب بر اساس روش پیشنهادی ون اول و همکاران (۳۰).

۷- شاخص کم‌آبی کشور  $WS$ ، از نسبت کل مصارف آبی کشور در بخش کشاورزی  $WU$  (متر مکعب در سال)، به کل منابع آب موجود کشور  $WA$  (متر مکعب در سال) بهره می‌گیریم که در رابطه (۴) ارائه شده است:

$$WS = \frac{WU}{WA} \times 100 \quad (۴)$$

در رابطه (۴)،  $WS$  کمبود آب در کشور (بر حسب درصد)،  $WU$  کل آب مصرفی کشور (مترمکعب در سال) و  $WA$  منابع آب موجود کشور است. از آنجا که این پژوهش بر پایه مطالعات محصولات بخش کشاورزی استوار است، لذا  $WS$  مربوط به بخش کشاورزی محاسبه شده و  $WU$  معادل حجم مصرفی منابع آب آبی در بخش کشاورزی در نظر گرفته شده است.  $WS$  می‌تواند بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر باشد. هر چه  $WS$  به سمت ۱۰۰ میل کند بدین معنی است که شدت مصرف آب کشور در بخش کشاورزی بیشتر است.

۸- شاخص وابستگی به واردات آب مجازی یا به اختصار وابستگی به آب<sup>۳</sup> وابستگی به منابع آب خارجی را نشان می‌دهد و به صورت نسبت واردات خالص آب مجازی به کل آب تخصیص یافته در بخش‌های مختلف کشور تعریف می‌شود. در این تحقیق شاخص وابستگی به واردات آب مجازی از بعد محصولات کشاورزی و منابع آبی مصرفی در بخش کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته و در رابطه (۵) ارائه شده است:

$$WD = \begin{cases} \frac{NVWI}{WU + NVWI} \times 100 & \text{if } NVWI \geq 0 \\ 0 & \text{if } NVWI < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

محدوده این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است. اگر  $WD = 0$ ، یعنی واردات و صادرات ناخالص آب مجازی در تعادل بوده و یا اینکه ما صادر کننده آب مجازی هستیم. در صورتی که وابستگی به آب یک کشور به ۱۰۰ درصد نزدیک شود، آنگاه آن کشور کاملاً به واردات آب مجازی وابسته است.

۹- در مقابل شاخص وابستگی به آب، شاخص خودکفایی آب<sup>۴</sup>، طبق رابطه (۳-۱۷) تعریف می‌شود:

$$WSS = \begin{cases} \frac{WU}{WU + NVWI} \times 100 & \text{if } NVWI \geq 0 \\ 100 & \text{if } NVWI < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

در واقع شاخص  $WSS$  در کشور، مبین آنست که کشور تا چه حدی می‌تواند نیازهای آبی ملت خود را در رابطه با تولید کالا و خدمات از منابع داخلی تأمین نماید. در حالتی که  $WSS = 100$ ، کشور کل منابع آبی مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات را در داخل مرزهای خود در اختیار دارد و اگر  $WSS = 0$  یعنی کشور به شدت به واردات منابع آبی به فرم مجازی وابسته است  
۱۰- نیازهای غذایی جمعیت کشور مطابق با الگوی پیشنهادی بهینه در طرح امنیت غذایی کشور (۱۳۷۹)، محاسبه شده است.

## نتایج و بحث

بنا بر گزارش‌های طرح جامع آب کشور (۱۳۸۵) بالغ بر ۱۴/۶۵ میلیون هکتار اراضی قابل آبیاری در اختیار بخش کشاورزی قرار دارد که بیش از ۸/۴ میلیون هکتار از اراضی کشور زیر کشت محصولات زراعی و باغی فاریاب بوده و حدود ۶/۷ میلیون هکتار آن زیر کشت محصولات زراعی فاریاب قرار داشته و بالغ بر ۱/۲ میلیون محصولات دائمی باغی بوده است. همچنین مساحت دیم‌زارهای کشور بالغ بر ۶/۶ میلیون هکتار است که با توجه به هدف پژوهش، محصولات تحت کشت دیم بررسی نشده‌اند. از سطح کشت زراعت‌های آبی کشور در سال ۱۳۸۵، قریب ۵۰ درصد به کشت غلات مشتمل بر گندم، جو، شالی و ذرت دانه‌ای اختصاص داشته است، ۵ درصد زیر کشت نباتات صنعتی چغندر قند، پنبه، نیشکر، توتون و تنباکو قرار داشته است، ۱۱ درصد به کشت انواع نباتات علوفه‌ای تخصیص یافته و سطح باغ‌ها مشتمل بر نخیلات، مرکبات، انواع میوه و میوه‌جات خشک و چای ۲۰ درصد بوده است. همچنین قریب ۱۴ درصد به کشت محصولاتی چون دانه‌های روغنی، حبوبات، انواع جالیز و سبزیجات و سایر محصولات اختصاص داشته است. از کل سطح زیر کشت آبی کشور، جمعاً ۷۷/۵ میلیون تن محصول خشک و خام

1- National water scarcity (%)

2- National water availability

3- water dependency (%)

4- Water self-sufficiency (%)

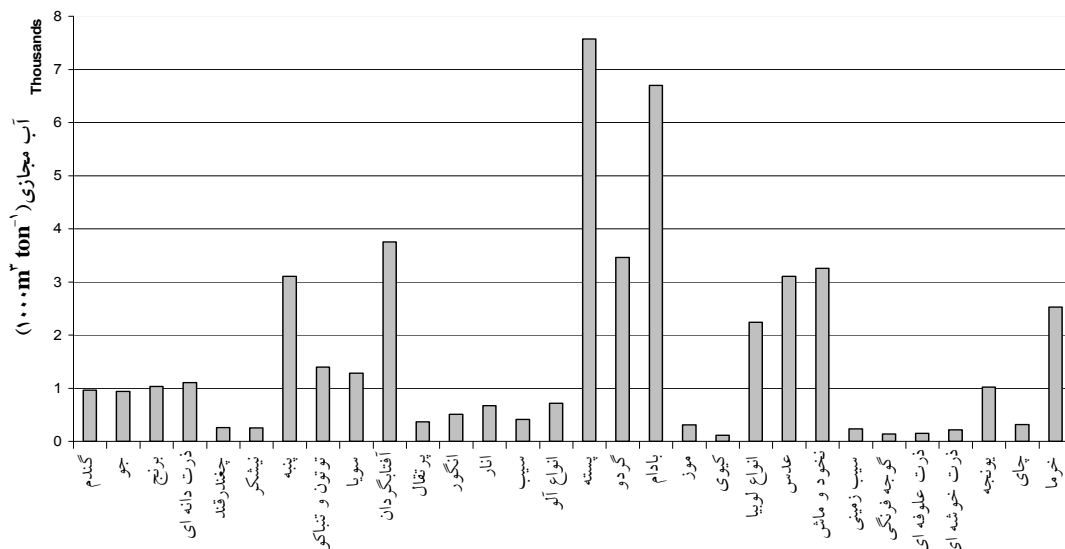
متوسط تولید محصولات سالانه و دائمی به ازای یک مترمکعب آب مصرفی کاهش یابد (۱۰).

با در نظر گرفتن عملکرد محصولات مختلف در سال ۱۳۸۵، میزان آب مجازی محصولات مختلف برآورد شده است. متوسط آب مجازی محصولات مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. جدول ۱ نیز نتایج محاسبات مربوط به آب مجازی در محصولات زراعی و باغی را نشان می‌دهد. آب مجازی محصولات کشاورزی متأثر از نیاز آبی و عملکرد محصول می‌باشد که خود به شرایط اقلیمی محل کشت وابسته است. در بین محصولات مورد مطالعه میوه‌های خشک نظیر پسته، بادام و گردو بیشترین میزان آب مجازی را دربر دارند.

آفتابگردان، حبوبات، پنبه و خرما نیز دارای آب مجازی بالایی هستند. مقدار بهره‌وری آب کشاورزی در مجموعه محصولات فوق بین ۰/۱۳۲ تا ۸/۸۵۲ کیلوگرم در هر مترمکعب متغیر است. البته این ارقام بر اساس نیاز آبی محصولات و بدون در نظر گرفتن راندمان آبیاری است. میانگین وزنی آب مجازی و بهره‌وری آب کشاورزی محصولات مورد بررسی در سال ۱۳۸۵، به ترتیب ۰/۶۳۸ و ۱/۵۶۶ کیلوگرم در مترمکعب است. اگر متوسط آب مجازی محصولات و میزان کل تولید محصولات کشاورزی را در سال ۱۳۸۵ در نظر بگیریم، برای تولید حدود ۷۲ میلیون تن انواع محصولات کشاورزی، نیاز به ۴۰ میلیارد مترمکعب آب می‌باشد. در حالیکه بیش از ۸۶ میلیارد مترمکعب آب و ۶ میلیارد متر مکعب اضافه برداشت از منابع آب زیر زمینی صرف بخش کشاورزی کشور می‌شود. با احتساب حجم واقعی مصرفی آب کشور برای تولید این مقدار محصول، میزان بهره‌وری آب کشاورزی به ۰/۶۷ کاهش خواهد یافت.

به‌دست آمده است. محصولات عمده تولیدی کشور در سال مذکور، ۱۰ میلیون تن گندم، ۲ میلیون تن جو، ۲/۵ میلیون تن شالی، ۰/۳ میلیون تن پنبه، ۱۱/۵ میلیون تن چغندر قند و نیشکر، ۴/۲ میلیون تن سیب‌زمینی، ۱۴ میلیون تن انواع علوفه، ۱۶ میلیون تن انواع جالیز و سبزیجات و ۱۳/۵ میلیون تن انواع میوه (محصولات درختی) و بقیه را سایر انواع محصولات تشکیل داده است (مرجع: آمار از وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۵).

بر اساس اطلاعات موجود مصارف آب کشور حدود ۹۳ میلیارد مترمکعب است. از این حجم آب مصرفی، سهم مصارف شرب و صنعت به ترتیب برابر با ۶ و ۱ میلیارد مترمکعب بوده و بقیه به مصرف کشاورزی رسیده است. گزارش‌های رسمی کشور در این سال حاکی از آن است که متوسط آب مصرفی در مزارع حدود ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال و راندمان کل آبیاری کشور ۳۶ درصد است. با احتساب و پیش بینی راندمان ۴۸ درصد برای سال ۱۴۰۰ حجم آب مورد نیاز بخش کشاورزی ۴۷ میلیارد مترمکعب و معادل ۵۶۰۰ مترمکعب در هکتار برآورد می‌شود (گزارش طرح جامع آب، ۱۳۸۵). البته اگر نیاز آبی گیاهان را در نظر بگیریم و فرض بر این باشد که سالانه حجم ۶ میلیارد مترمکعب (۱۲) اضافه برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد، راندمان آبیاری به‌مراتب بیشتر از ۳۶ درصد بوده و به رقمی نزدیک ۶۰ درصد می‌رسد. چنانچه راندمان ۳۶ درصد لحاظ شود باید عملاً حجمی معادل ۱۱۰ میلیارد مترمکعب آب مصرف شود، حال آنکه نیاز واقعی مزارع با توجه به کم آبیاری‌ها حدود ۴۰ میلیارد مترمکعب بوده و مقدار متوسط نیاز آبی در هر هکتار ۴۷۰۰ مترمکعب در هکتار است. بنابراین انتظار می‌رود که در بخش وسیعی از مزارع کشور کم‌آبیاری با راندمان ۵۰ تا ۷۰ درصد صورت گیرد (۱۷). این کمبود آب باعث می‌شود تا



شکل ۱- متوسط آب مجازی محصولات کشاورزی در ایران

جدول ۱- آب مجازی و بهره‌وری آب کشاورزی در سال ۱۳۸۵

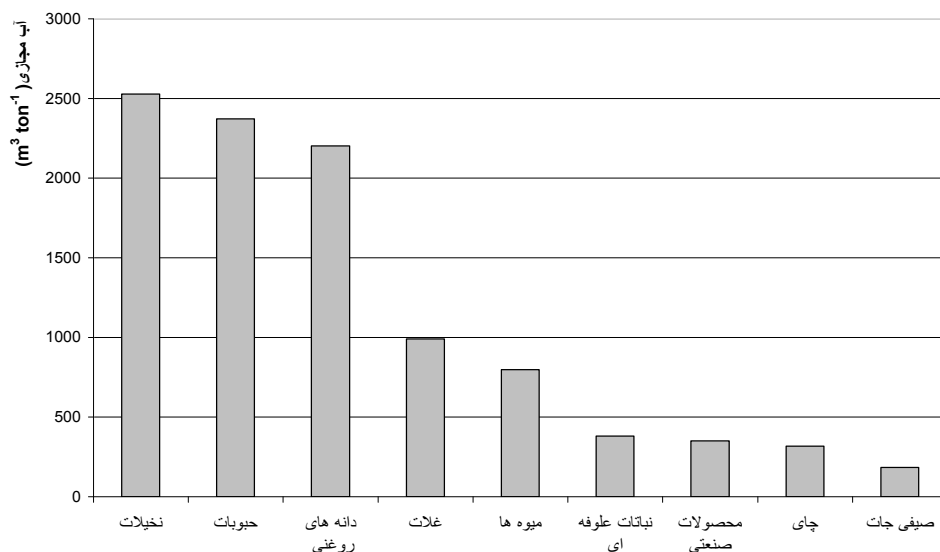
محصول	سطح زیر کشت (ha)	عملکرد (kg/ha)	حجم کل تولید (ton)	نیاز آبی (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	میزان آب مجازی (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	بهره‌وری آب کشاورزی (kg m <sup>-3</sup> )
گندم	۲۷۰۶۹۹۶	۳۷۴۵	۱۰۱۳۷۷۰	۳۶۱۵	۹۶۵/۳	۱/۰۳۶
جو	۶۲۴۴۹۱	۳۱۵۸	۱۹۷۳۳۹۹	۲۹۶۴	۹۳۸/۶	۱/۰۶۵
برنج	۶۳۰۵۶۲	۴۱۴۳	۲۶۱۲۱۷۴	۴۲۷۵	۱۰۳۱/۹	۰/۹۶۹
ذرت دانه ای	۲۹۱۷۶۳	۷۴۲۳	۲۱۶۵۸۷۹	۸۲۰۸	۱۱۰۵/۷	۰/۹۰۴
چغندر قند	۱۸۵۸۸۸	۳۶۰۹۲	۶۷۰۹۱۱۲	۹۳۸۸	۲۶۰/۱	۰/۸۴۴
نیشکر	۶۶۵۴۹	۷۴۵۱۵	۴۹۵۸۸۶۷	۱۸۹۲۴	۲۵۴	۳/۹۳۸
پنبه	۱۱۳۳۴۵	۲۴۶۴	۲۷۹۳۳۸	۷۶۴۴	۳۱۰/۱/۸	۰/۳۲۲
توتون و تنباکو	۶۹۴۵	۱۶۸۴	۱۱۶۹۱	۲۳۵۳	۱۳۹۷/۹	۰/۷۱۵
سویا	۶۱۱۰۰	۲۴۴۹	۱۴۹۶۶۴	۳۱۴۵	۱۲۸۴	۰/۷۷۹
آفتابگردان	۶۵۸۳۲	۱۳۵۰	۸۸۸۶۷	۵۰۶۱	۳۷۴۹/۳	۰/۲۶۷
پرتقال	۹۶۶۶۳	۱۷۸۵۵	۱۷۲۵۸۹۱	۶۵۳۲	۳۶۵/۸	۲/۷۳۳
انگور	۲۱۸۴۸۹	۱۲۳۱۵	۲۶۹۰۶۷۳	۶۲۵۶	۵۰۸	۱/۹۶۹
انار	۵۵۳۷۱	۱۲۵۸۶	۹۶۹۹۲۰	۸۴۵۶	۶۷۱/۸	۱/۴۸۸
سیب	۱۶۱۹۰۸	۱۶۳۸۰	۲۶۵۱۹۸۶	۶۷۳۲	۴۱۱	۲/۴۳۳
انواع آلو	۱۲۳۰۹	۷۹۳۴	۹۷۶۵۷	۵۶۷۱	۷۱۴/۸	۱/۳۹۹
پسته	۳۳۷۹۰۶	۶۸۰	۲۲۹۶۵۳	۵۱۷۴	۷۵۷۳/۷	۰/۱۳۲
گردو	۹۲۲۸۹	۲۵۹۲	۲۹۳۲۵۱	۸۹۷۱	۳۴۶۰/۴	۰/۲۸۹
بادام	۷۱۵۰۷	۱۰۹۵	۷۸۲۸۱	۷۳۳۳	۶۶۹۸/۴	۰/۱۴۹
موز	۲۴۷۷	۳۰۱۶۴	۷۴۶۷۸	۹۴۰۴	۳۱۱/۹	۳/۲۰۶
کیوی	۳۵۲۹	۲۴۵۹۴	۸۶۷۸۵	۲۷۷۹	۱۱۳	۸/۸۵۲
انواع لوبیا	۹۲۹۸۱	۲۱۷۷	۲۰۲۳۷۷	۴۸۸۰	۲۲۴۲/۱	۰/۴۴۶
عدس	۱۳۳۷۸	۱۲۴۶	۱۶۶۶۳	۳۸۷۰	۳۱۰۷/۱	۰/۳۲۲
نخود و ماش	۱۳۷۴۳	۱۱۷۶	۱۶۱۵۹	۳۸۲۷	۳۲۵۴/۴	۰/۳۰۷
سیب زمینی	۱۵۹۸۷۵	۲۶۱۹۷	۴۱۸۸۲۰۷	۶۱۴۵	۲۳۴/۶	۴/۲۶۳
گوجه فرنگی	۱۴۶۸۳۷	۳۴۴۲۵	۵۰۵۴۸۳۰	۴۸۶۳	۱۴۱/۳	۷/۰۷۹
ذرت خوشه ای	۲۶۵۲۹۸	۳۱۸۵۴	۸۴۵۰۷۵۴	۶۹۶۶	۲۱۸/۷	۴/۵۷۲
یونجه	۵۸۳۲۶۳	۸۶۸۱	۵۰۶۳۱۹۵	۸۸۹۷	۱۰۲۴/۹	۰/۹۷۶
چای	۳۹۱۷	۸۷۲۶	۳۴۱۷۵	۲۷۷۶	۳۱۸/۱	۳/۱۴۴
خرما	۱۷۵۹۳۰	۵۴۵۹	۹۶۰۴۷۳	۱۳۷۹۴	۲۵۲۶/۶	۰/۳۹۶

داشته باشد (شکل ۲).

در بین محصولات زراعی گروه غلات، تولید بیش از ۱۰ میلیون تن گندم از ۳۳ درصد سطح اراضی زیر کشت آبی کشور اهمیت این محصول را در الگوی غذایی کشور نشان می‌دهد (مرجع: محاسبات تحقیق). در شکل ۳ به بررسی آب مجازی محصول گندم در استان‌های کشور پرداخته شده است. با توجه به آمار حجم تولید و عملکرد گندم در استان‌های کشور، میزان آب مجازی گندم در استان‌های گیلان، یزد، سیستان و بلوچستان، خراسان و کرمان بیشتر از دیگر نقاط کشور بوده و در استان‌های آذربایجان شرقی، لرستان، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال و بختیاری، زنجان و فارس در حد میانگین کشور است.

اگر بر اساس استانداردهای موجود میزان آب مجازی ۱۰۰۰ متر مکعب برای هر تن محصول را حد آستانه قرار دهیم خشکیبار، حبوبات، پنبه، خرما و دانه‌های روغنی جزء محصولات پرمصرف محسوب می‌شوند. از طرفی غلات، میوه‌ها، چای، صیفی‌جات و محصولات صنعتی نظیر چغندر قند و نیشکر محصولات کم مصرفی هستند. خرما و پس از آن حبوبات و دانه‌های روغنی بالاترین میزان آب مجازی را در بر دارند. در گروه دانه‌های روغنی دو محصول آفتابگردان و سویا منظور شده است و عملکرد پائین و در نتیجه میزان آب مجازی بالای آفتابگردان موجب شده است تا متوسط آب مجازی گروه دانه‌های روغنی بیش از گروه غلات (گندم، جو، برنج و ذرت دانه‌ای) شود. عملکرد بالای محصولات سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی موجب شده است تا گروه صیفی‌جات کمترین میزان آب مجازی را





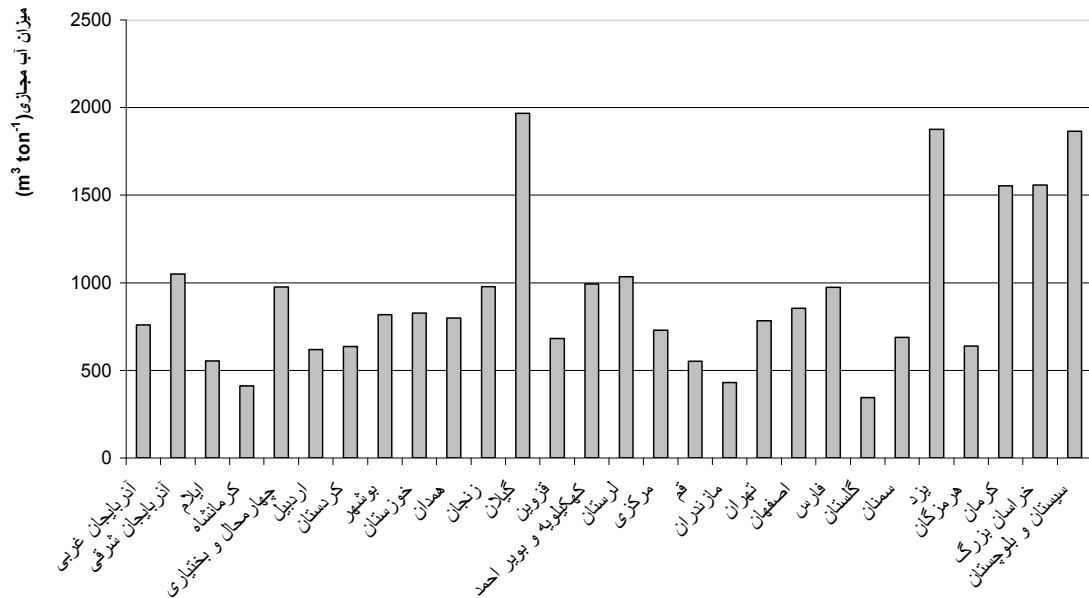
(شکل ۲) - میزان آب مجازی (مترمکعب در هر تن) برای هر گروه از محصولات کشاورزی (سال ۱۳۸۵)

می‌دهد. در گروه میوه‌ها، موز محصول عمده وارداتی و پسته و سیب محصولات عمده صادرات را تشکیل می‌دهند (مأخذ: آمار سازمان فائو، ۲۰۰۷).

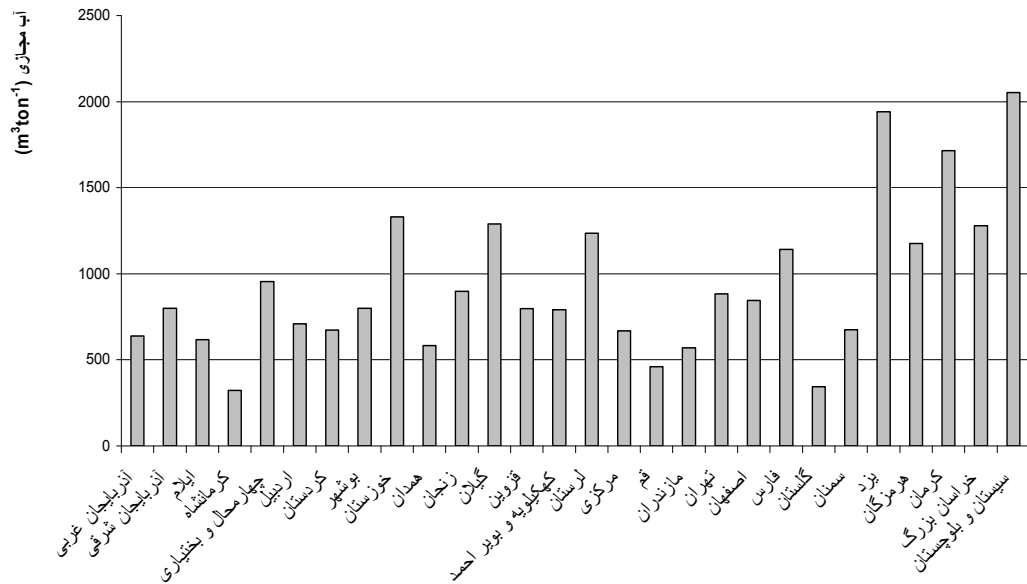
از مجموع ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب واردات آب مجازی در سال ۱۳۸۵، گروه دانه‌های روغنی شامل سویا ۴۸ درصد و آفتابگردان ۳ درصد (در مجموع ۵۱ درصد)، بیشترین سهم واردات آب مجازی را به خود اختصاص داده است. پس از آن گروه غلات شامل گندم ۰/۷ درصد، جو ۷/۶ درصد، برنج ۹ درصد و ذرت ۱۸/۷ درصد دومین گروه عمده محصولات از نظر واردات آب مجازی بوده است. تلاش در راستای خودکفایی در تولید گندم طی دهه اخیر، موجب کاهش واردات گندم و در پی آن واردات آب مجازی از طریق این محصول شده است. اما واردات ذرت به کشور حجم قابل توجهی از واردات آب مجازی را به دنبال دارد. یک دلیل دیگر برتری گروه دانه‌های روغنی بر گروه غلات در این پژوهش، منظور نمودن واردات روغن خام سویا در راستای تأمین نیاز روغن کشور است. با توجه به راندمان استحصال ۱۸ درصد روغن سویا از دانه سویا (۶)، نیاز کشور بر افزایش سطح زیر کشت محصول سویا کاملاً مشهود است. واردات شکر خام با در نظر گرفتن راندمان تولید قند و شکر از چغندر قند و نیشکر، به محصولات اولیه تبدیل شده است. گروه محصولات صنعتی ۱۲ درصد در واردات آب مجازی کشور سهیم بوده که ۵/۴ درصد آن مربوط به چغندر قند و ۳/۴ درصد مربوط به نیشکر و ۳/۲ درصد نیز مربوط به واردات پنبه بوده است. مقادیر واردات آب مجازی گروه میوه‌ها مربوط به واردات موز بوده و در مورد گروه‌های حبوبات و صیفی‌جات، نیاز کشور از تولیدات داخلی تأمین شده است. لذا مقدار واردات آب مجازی این گروه محصولات مطرح نمی‌شود.

از مجموعه عواملی که در میزان آب مجازی هر محصول دخالت دارد می‌توان به نیاز آبی محصول، شرایط اقلیمی، نوع و راندمان آبیاری و عملکرد محصول در واحد سطح کشت اشاره نمود. در شکل-های ۴ و ۵ نیز میزان آب مجازی محصولات جو و چغندر قند در استان‌های کشور ارائه شده که با مقایسه این اعداد میتوان دریافت که کارایی آب کشاورزی (و میزان آب مجازی) در کدام استان‌ها برای تولید محصولات فوق بیشتر (یا کمتر) است.

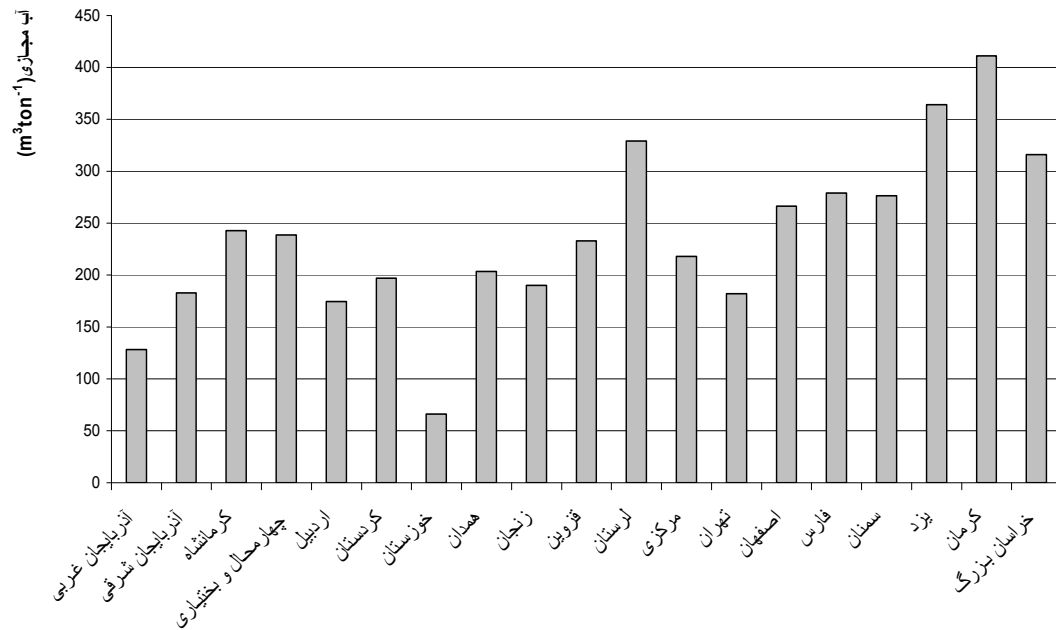
در شکل ۶ حجم واردات و صادرات محصولات عمده کشاورزی در سال مورد بررسی، نشان داده شده است. از آنجایی که میزان قابل توجهی کالای شکر، روغن سویا و رب گوجه‌فرنگی در بین محصولات وارداتی و صادراتی کشور به چشم می‌خورد، با در نظر گرفتن ضرایب استحصال و راندمان تولید کارخانه‌های مربوطه در سال ۱۳۸۵، این اقلام با اعمال ضرایب مربوطه به محصولات اولیه یعنی نیشکر و چغندر قند، سویا و گوجه‌فرنگی تبدیل و پس از آن حجم آب مجازی وارداتی و صادراتی کشور محاسبه شده است. مطابق شکل ۶ بیشترین حجم واردات عمده محصولات کشاورزی در سال ۱۳۸۵ به ترتیب مربوط به گروه دانه‌های روغنی، غلات و محصولات صنعتی است. واردات دانه‌های روغنی، شامل بالغ بر ۷۸۰ هزار تن دانه سویا و ۷۵۰ هزار تن روغن خام سویا، همچنین دانه و روغن خام آفتابگردان است. فرض این پژوهش بر آن است که برای تولید این حجم از روغن وارداتی به چه میزان دانه روغنی نیاز بوده است و منظور کردن حجم محصولات فراوری شده به محصول اولیه باعث شده است تا دانه‌های روغنی در صدر واردات قرار گیرد. در گروه غلات نیز بیشترین حجم واردات به ترتیب مربوط به محصول ذرت، برنج، جو و گندم است و این امر خودکفایی در تولید گندم را نشان



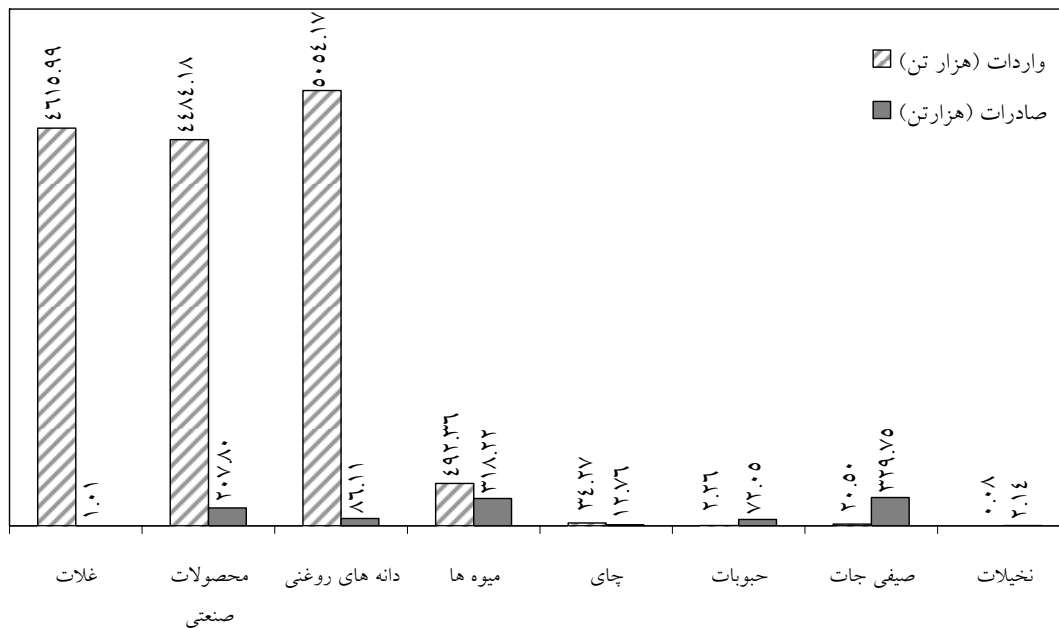
(شکل ۳) - میزان آب مجازی محصول گندم (m³ ton⁻¹) به تفکیک استان‌های کشور (سال ۱۳۸۵)



(شکل ۴) - میزان آب مجازی محصول جو (m³ ton⁻¹) به تفکیک استان‌های کشور (سال ۱۳۸۵)



(شکل ۵) - میزان آب مجازی محصول چغندر قند (m³ ton⁻¹) به تفکیک استان‌های کشور (سال ۱۳۸۵)



(شکل ۶) - میزان واردات و صادرات محصولات کشاورزی در سال ۱۳۸۵

بادام است. پس از گروه میوه‌ها، حبوبات و دانه‌های روغنی به ترتیب با حجمی معادل ۰/۲۳ و ۰/۱۷ میلیارد مترمکعب در ردیف‌های دوم و سوم صادرات آب مجازی قرار دارند. گرچه دانه‌های روغنی هم در واردات و هم در صادرات آب مجازی نقش دارند اما حجم واردات آب

صادرات محصولات کشاورزی کشور در سال ۱۳۸۵، حجمی معادل ۱/۶ میلیارد مترمکعب صادرات آب مجازی را در پی داشته است. حدود ۶۸ درصد آب مجازی صادراتی مربوط به گروه میوه‌ها بوده که از این میزان، ۶۴ درصد پسته، ۳/۴ درصد سیب و ۰/۶ درصد

مجازی مربوط به این گروه بالغ بر ۶/۷۶ میلیارد مترمکعب برآورد شده که حدود ۴۰ برابر بیشتر از میزان صادرات آب مجازی دانه‌های روغنی در سال ۱۳۸۵ است. صادرات محصولات صنعتی و حبوبات نیز به ترتیب ۵۹ و ۴۵ میلیون مترمکعب آب مجازی را از کشور صادر نموده است. گروه غلات، چای، نخیلات و تولیدات علوفه‌ای در مجموع موجب صادرات حدود ۱۱ میلیون مترمکعب آب مجازی از کشور شده‌اند که در مقایسه با گروه‌های عمده صادر کننده آب مجازی رقم ناچیزی به شمار می‌رود.

تراز خالص آب مجازی کشور در اثر مبادلات محصولات عمده کشاورزی در سال ۱۳۸۵، حدود ۱۱ میلیارد مترمکعب محاسبه شده است. در شکل ۷ تراز خالص آب مجازی محصولات مورد بررسی در این پژوهش ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مبادلات سویا و پسته به ترتیب بیشترین حجم آب مجازی را به کشور وارد و خارج می‌کنند. محصولات گروه غلات نیز وارد کننده آب مجازی به کشور هستند. در نتیجه ایران در سال ۱۳۸۵ وارد کننده آب مجازی بوده است.

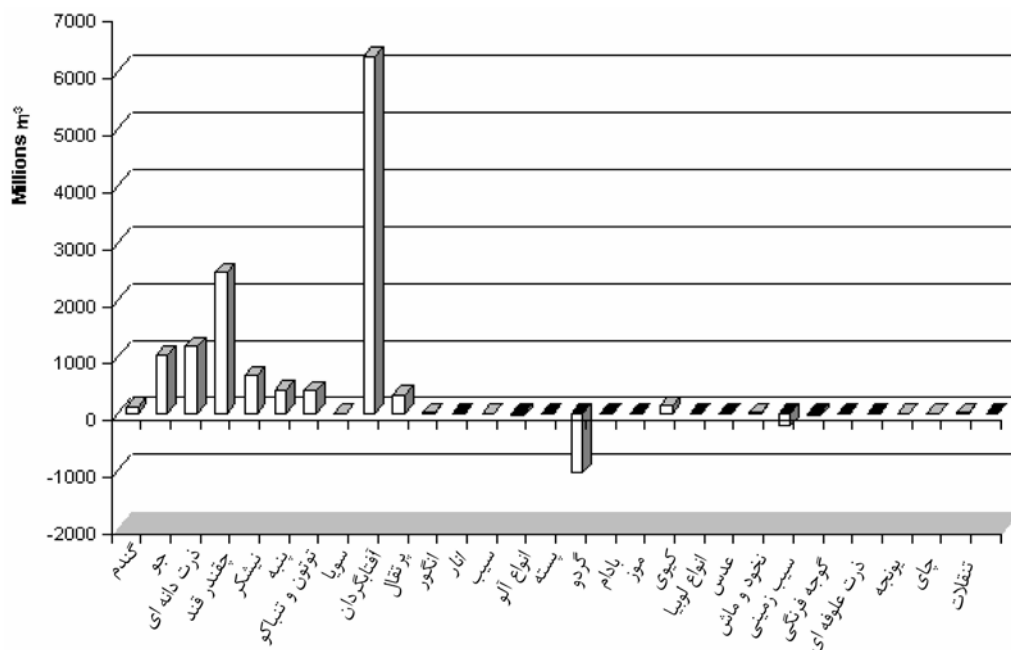
با فرض اینکه حجم اضافه برداشت از آب‌های زیرزمینی (حدود ۶ میلیارد مترمکعب) در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، با افزودن تراز خالص آب مجازی به مصارف داخلی کشور رد پای آب کشاورزی دز سال ۱۳۸۵ بیش از ۱۰۴ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. جمعیت ایزان طبق آخرین سرشماری سال ۱۳۸۵، حدود ۷۰ میلیون نفر بوده است. بنابراین رد پای سرانه آب در کشور ۱۴۷۰ مترمکعب در سال می‌باشد. با احتساب آب مصرفی بخش‌های شرب و صنعت، رد پای آب کشور ۱۱۱ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۵ و رد پای سرانه آب ۱۵۸۰ مترمکعب برآورد شده است.

شاخص رد پای آب کشاورزی شاخصی بر تقاضای آب است که آب مصرفی برای تأمین نیازهای آبی بخش کشاورزی کشور را نشان می‌دهد. اگر الگوی غذایی مطلوب برای کشور را ۲۶۰۰ کیلوکالری انرژی و ۸۰ گرم پروتئین در روز در نظر بگیریم برای تأمین غذای جمعیت کشور بر اساس این الگوی نیاز به ۴۸ میلیون تن انواع محصولات غذایی می‌باشد. گرچه این حجم مواد غذایی کمتر از میزان تولیدات کشور است، و واردات محصولات کشاورزی نیز بر حجم مواد غذایی موجود افزوده، اما ضایعات زیاد محصولات کشاورزی از مرحله تولید تا مصرف، نیاز کشور به تولید محصولات مختلف را افزایش می‌دهد. به عنوان نمونه، بر اساس آمار سال ۱۳۸۲

میزان تولیدات گندم کشور حدود ۱۲/۵ میلیون تن بوده است و میزان ضایعات بعد از برداشت تا مرحله آرد سازی گندم حدود ۱۰ درصد و ضایعات مصرف نان کشور حداقل ۱۶ درصد است که این میزان ضایعات نان برابر ۱۳/۴ درصد کل تولید گندم کشور است. بنابراین حدود ۲/۹ میلیون تن گندم و یا در واقع حدود ۵/۳ میلیارد مترمکعب آب علاوه بر سایر نهاده‌های کشاورزی ضایع شده است (کشاورز و حیدری، ۱۳۸۵).

### نتیجه گیری

جدول ۲ نتایج مربوط به محاسبات شاخص‌های کلی و سرانه رد پای آب، شدت مصرف آب، وابستگی و خودکفایی به واردات آب مجازی را بصورت گرد شده نشان می‌دهد. شدت مصرف آب در بخش کشاورزی ۷۰ درصد از منابع آب تجدیدشونده کشور برآورد گردیده است. اگر کل مصارف بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت را در نظر بگیریم، شاخص شدت مصرف آب ۷۶ درصد بدست می‌آید. این ارقام با فرض اضافه برداشت آبی معادل ۶ میلیارد مترمکعب در سال از منابع آب‌های زیرزمینی است که اگر بیش از این رقم برداشت آب وجود داشته باشد شاخص شدت مصرف آب به سمت ۱۰۰ درصد میل خواهد کرد. راسکین و همکاران (۲۸) پژوهشگران کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل، شاخص کمبود منابع آبی را بر حسب میزان برداشت سالانه از منابع آب تجدیدشونده کشور تعریف کردند. بنابراین تعریف اگر میزان برداشت آب یک کشور بیش از ۴۰ درصد کل منابع آب تجدیدشونده باشد، آن کشور با بحران شدید آب مواجه است. هوکسترا و هانگ (۲۵)، شدت مصرف آب ایران برای دوره ۱۹۹۹-۱۹۹۵ را ۷۲/۹ درصد برآورد نمودند. وابستگی کشور به واردات آب مجازی بخش کشاورزی ۱۰ درصد بوده است. این رقم مؤید این است که اگر کشور به جای واردات محصولات کشاورزی آن‌ها را در داخل تولید می‌کرد باید ۱۰ درصد به مصارف آب بخش کشاورزی می‌افزود که با واردات حجم آب مجازی در سال ۱۳۸۵، حدود ۱۲ میلیارد مترمکعب منابع آب داخلی خود را حفظ و در بخش‌های دیگر به مصرف رسانده است. چنانچه راندمان آبیاری را ۶۰ درصد در نظر بگیریم کشور با واردات آب مجازی عملاً ۲۰ میلیارد مترمکعب آب صرفه جویی نموده است که اگر این مقادیر در داخل کشور تولید می‌شد از توان آبی کشور خارج بود.



شکل ۷- تراز خالص آب مجازی محصولات مختلف کشاورزی در سال ۱۳۸۵

جدول ۲- شاخص های محاسبه شده در مورد منابع آب کشور (سال ۱۳۸۵)

مقادیر محاسباتی	شرح
۱۳۰	کل منابع آب در دسترس (میلیارد مترمکعب در سال)
۹۳/۱	کل منابع آب مصرف شده (میلیارد مترمکعب در سال)
۸۶	کل منابع آب مصرف شده در بخش کشاورزی (میلیارد مترمکعب در سال)
۱/۶	صادرات آب مجازی (میلیارد مترمکعب در سال)
۱۳/۳	واردات آب مجازی (میلیارد مترمکعب در سال)
۱۱/۶	خالص واردات آب مجازی (میلیارد مترمکعب در سال)
۱۰۴	شاخص رد پای آب (میلیارد مترمکعب در سال بدون اعمال راندمان آبیاری)
۱۱۲	شاخص رد پای آب (میلیارد مترمکعب در سال با اعمال راندمان آبیاری)
۱۴۷۰	شاخص سرانه رد پای آب (میلیارد مترمکعب در سال به ازای هر نفر)
۷۱	شاخص شدت مصرف آب کشاورزی (درصد)
۱۰/۱	شاخص وابستگی به واردات آب مجازی (درصد)
۸۹/۹	شاخص خودکفایی واردات آب مجازی (درصد)

## منابع

- ۱- اردکانیان ر. و سهرابی ر. ۱۳۸۵. تجارت آب مجازی: ادبیات جهانی و کاربرد در ایران. مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. اصفهان.
- ۲- بی نام. ۱۳۸۶. <http://www.fao.org>، سازمان خواروبار جهانی.
- ۳- بی نام. ۱۳۸۶. <http://www.maj.ir>، وزارت جهاد کشاورزی.
- ۴- بی نام. ۱۳۸۷. <http://www.wmr.ir>، شرکت مدیریت منابع آب ایران، معاونت طرح و توسعه.
- ۵- تجریشی م. و ابریشم چی ا. ۱۳۸۳. مدیریت تقاضای منابع آب در کشور، مجموعه مقالات اولین همایش روشهای پیشگیری از اتلاف منابع ملی.
- ۶- حداد خداپرست م.ح. ۱۳۷۳. تکنولوژی روغنهای خوراکی. چاپ اول، ناشر مؤلف.

- ۷ - رنگانی جهرمی ا. و محمدی ح. ۱۳۸۶، بررسی بهره‌وری و تابع تقاضای آب در زراعت گندم (شهرستان جهرم). فصلنامه خبری-تحلیلی پژوهشی توسعه و بهره‌وری، سال دوم، شماره ۵.
- ۸ - سیدان ه. ۱۳۸۰، صادرات آب یا آبرسانی به مناطق خشک، نشریه خراسان، ۱۳۸۰/۳/۱۰، صفحه ۲
- ۹ - قاسمزاده مجاوری ف. ۱۳۷۹. اقتصاد آب: پیش شرط اقتصاد سبز، اقتصاد سبز، سال اول، اردیبهشت ماه.
- ۱۰ - کاوه ف. ۱۳۸۲ ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی و امنیت غذایی. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی. دی ماه.
- ۱۱ - کشاورز. و حیدری ن. ۱۳۸۳. نگرشی بر اسراف و ضایع نمودن منابع آب کشور در مراحل تولید و مصرف محصولات کشاورزی. مجموعه مقالات همایش پیشگیری از اتلاف منابع ملی. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.
- ۱۲ - گزارش. ۱۳۸۵. کارنامه عملکرد سال ۱۳۸۴ وزارت نیرو. قابل دسترس در <http://www.meo.org.ir>
- ۱۳ - گزارش. ۱۳۸۲. راهبرد سند ملی آب، دولت جمهوری اسلامی ایران
- ۱۴ - گزارش. ۱۳۸۰. طرح جامع آب کشور، گزارش سنتز. شرکت مهندسی مشاور جاماب، وابسته به وزارت نیرو.
- ۱۵ - مظاهری داریوش. ۱۳۸۱، امنیت غذایی در ایران. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.
- ۱۶ - میرئی م. ح. س.، و فرشعی ا. ۱۳۸۲. چگونگی مصرف و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.
- ۱۷ - نی ریزی س. ۱۳۸۲. تحلیلی بر کارایی مصرف آب. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی. دی ماه.
- 18 - Alizadeh A., and Keshavarz A. 2005. Status of agricultural water use in Iran. Water Conservation, Reuse and Recycling: Proc. of an Iranian-American Workshop, [www.nap.edu/catalog/1124.html](http://www.nap.edu/catalog/1124.html).
- 19 - Allan J.A. 1993. 'ODA, Priorities for water resources allocation and management, ODA, London, pp. 13-26.
- 20 - Allan J.A. 2003. 'Virtual water eliminates water wars? A Case Study from the Middle East. 'Value of Water, Research Report Series No. 12 UNESCO-IHE, Delft. The Netherlands.
- 21 - Chapagain A.K., and A.Y., Hoekstra. 2004. Water footprint of nations. Value of the Water, Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft. The Netherlands.
- 22 - Chapagain A.K., Hoekstra A.Y. and Savenije H.H.G. 2005. Saving water through global trade. Value of Water, Research Report Series No. 17, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- 23 - Fraiture C. de; Cai X., Amarasinghe U., Rosegrant M. and D. Molden. 2004. Does international cereal trade save water? The impact of virtual water trade on global water use. Comprehensive Assessment Research Report 4. Colombo, Sri Lanka, Comprehensive Assessment Secretariat.
- 24 - Hoekstra A.Y. (Ed.). 2003. Virtual water trade: processing of the international expert meeting on virtual water trade. Value of the Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- 25 - Hoekstra A.Y. and Hung P.Q. 2002. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of the Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE, Delft.
- 26 - Hoekstra A.Y., and Hung P.Q. 2005. Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade". Global Environmental Change, 15(1):45-56.
- 27 - Renault D. 2003. Value of virtual water in food: Principles and virtues. Value of the Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- 28 - Raskin P., Gleick p., Kirshen P., Pontius G., and Strzepek K. 1997. Water futures: Assessment of long range patterns and problems Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world, Stockholm Environmental Institute, Stockholm, Sweden.
- 29 - Rockstorm J., and Gordon L. 2001. Assessment of green water flows to sustain major biomes of the world: implications for future eco-hydrological landscape management, phys. chem. Earth (b) 26:834-851.
- 30 - Van oel P.R., Mekonnen M.M., and Hoekstra A.Y. 2008. The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment. Value of Water Research Report Series No. 33, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- 31 - Verma S., Kampman D.A., Van der Zaag P., and Hoekstra A.Y. 2008. Going against the flow: A critical analysis of virtual water trade in the context of India's national river linking program. Value of Water Research Report Series No. 31, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- 32 - Wackernagel M. and Rees W. 1996. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth New Society Publishers, Gabriola Island, B. C., Canada.
- 33 - Zimmer D., and Renault D. 2003. Virtual, water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results. Value of the Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.



## Study on Ecological Water Footprint in Agricultural Section of Iran

A. Arabi-Yazdi<sup>1\*</sup> - A. Alizadeh<sup>2</sup> – F. Mohammadian<sup>3</sup>

### Abstract

Demand and supply of water in Iran is unbalanced. This situation has caused a great challenge in water resources management. In order to overcome this problem, the role of international trade of virtual water has been ignored. Virtual water trade is one of the key solutions for water scarcity. Each country should adapt virtual water trade based upon its socio-cultural, economical, and climatic condition of the country. However, before any action is implemented, there is a need to evaluate ecological water footprint (EWF) of the country. EWF is the amount of water which is needed for the population and consumptive use and remediation of all pollution related to this consumption. In this study EWF of Iran has been calculated for the year 2007. The results showed that EWF in Iran is 104 billion cubic meter (bcm) of water in agricultural section. In 2007, Iran has imported 12 bcm of water due to virtual water trade. In this computation, irrigation efficiency has not been included. Considering the amount of 60% for irrigation efficiency virtual water trade in the above mentioned year was 20 bcm. Without this trade, the country had to spend 112 bcm of water for producing all required food in the country which was out of reach.

**Key words:** Virtual water, Water footprint, Use intensity index, Import, Export, Food security

---

1,2,3 – Former M. S. Student, Professor and Former M. S. Student, Repectively. College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\* - Corresponding author Email: azamarabi@gmail.com)