دکتر رضا خوش‌رفتار
استادیار دانشگاه زنجان
دکتر حسین عساکره
استاد دانشگاه زنجان
کژال غفوری
دانش‌آموختهٔ ژئومورفولوژی، دانشگاه زنجان

جایگاه آب مجازی در مدیریت منابع آب

چکیده

یکی از معضلات قرن بیست‌ویکم که آیندهٔ زندگی بشر در این کرهٔ خاکی را به شدت مورد تهدید قرار می‌دهد، معضل کمبود آب است. میزان آبی که در طی فرایند تولید یک محصول مصرف می‌شود، آب مجازی نهفته در آن محصول نامیده می‌شود. هنگامی که تجارت جهانی کالاها انجام می‌شود، در واقع آب مجازی نهفته در آن‌ها نیز خرید و فروش می‌شود که سبب به‌وجود آمدن یک جریان مجازی از آب بین کشورهای مختلف خواهد شد. با توجه به اینکه کشور ما از نظر منابع آب در وضعیت بحرانی قرار دارد، توجه به این امر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف این پژوهش بررسی آب مجازی به‌عنوان راهکاری برای مقابله با بحران آب در کشورِ عمدتاً خشک و کم‌آب ایران است. با آگاهی از مقادیر آب مصرفی در محصولات، می‌توان سیاست مدیریتی مناسبی برای واردات آب مجازی و صادرات محصولات دارای آب مجازی پایین، اتخاذ کرد. در این پژوهش اسنادی - تحلیلی، ابتدا داده‌های مورد نیاز از منابع متعدد فارسی و انگلیسی انتخاب و بررسی شدند و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به اهمیت کمبود منابع آب در ایران، در برنامه‌ریزی‌های کلان، آب مجازی باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت منابع آبی، امنیت غذایی، آب مجازی، تجارت جهانی، بحران آب، ردپای آب، آبرانه، آب آبی، آب سبز، آب خاکستری

آب مجازی، آب جاسازی شده در محصولات است و به آب مورد نیاز برای تولید آن محصول مربوط می‌شود. با تأمین آب مجازی می‌توان تقاضا برای آب را در مناطق خشک و نیمه خشک پایین نگه داشت. اصطلاح آب مجازی بیانگر مقدار آبی است که برای تولید مواد غذایی یا کالاهای تجاری به مصرف می‌رسد

مقدمه

نگرش انسان به آب، به فراوانی آن بستگی دارد؛ در صورتی‌که فراوان باشد از نظر برخی موهبتی الهی تصور می‌شود که در هر زمان و به هر مقصودی آزادانه می‌توان از آن بهره‌مند شد و اگر کمیاب باشد به‌عنوان کالایی بس ارزشمند مورد توجه عموم قرار می‌گیرد و به مسئله‌ای برای ستیز و حتی جنگ بین استفاده‌کنندگان آن تبدیل خواهد شد (خوشرفتار، ۱۳۷۲). آب، مهم‌ترین عامل محدودکننده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و از جمله ایران به شمار می‌رود و تعیین‌کننده‌ترین عامل در میزان کارایی و بهره‌وری سایر منابع نیز به حساب می‌آید (بخشنده، ۱۳۸۸). در حال حاضر، کمبود آب به یکی از اضطراری‌ترین و نگران‌کننده‌ترین مشکلات جهان تبدیل شده است. در سطح جهان تقاضا برای آب همگام با رشد جمعیت، با سرعتی زیاد که ناشی از رشد استانداردهای زندگی است، افزایش چشمگیری داشته است (Hans, 2001). در سال‌های اخیر به دلایل مختلفی، اعم از رشد جمعیت، رشد اقتصادی، تغییر اقلیم و بروز خشک‌سالی‌های پی‌درپی، برای دستیابی به منابع آب شیرین بین کشورها رقابتی ایجاد شده است که خود باعث کاهش منابع آب شیرین در سطح منطقه‌ای و بین‌المللی شده و به مشکل کم‌آبی در کشورهای مختلف دامن زده است (رنجبر و فتوکیان، ۲۰۱۵). حدود یک دهه است که تجارت آب مجازی به عنوان ابزاری برای ارتقای بهره‌وری آب و کمک به رفع محدودیت‌های منطقه‌ای منابع آب در راستای ایجاد امنیت آبی و غذایی مطرح شده است (تهامی‌پور زرندی و قربانی، ۱۳۹۵).

آب مجازی، آب جاسازی شده در محصولات است و به آب مورد نیاز برای تولید آن محصول مربوط می‌شود. با تأمین آب مجازی می‌توان تقاضا برای آب را در مناطق خشک و نیمه خشک پایین نگه داشت. اصطلاح آب مجازی بیانگر مقدار آبی است که برای تولید مواد غذایی یا کالاهای تجاری به مصرف می‌رسد. اگر این مواد غذایی یا کالاها به یک منطقهٔ خشک صادر شوند، دیگر در آن منطقهٔ خشک نیازی به مصرف آب برای تولید این مواد نیست (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۰). تجارت جهانی کالاها یک جریان بین‌المللی از آب مجازی را به وجود می‌آورد. کشورهای کم‌آب می‌توانند با واردات محصولات آب‌بر، نظیر مواد غذایی، آبی را که برای تولید آن نیاز است در بخش‌های دیگر مصرف کنند. این تجارت با در نظر گرفتن مزیت نسبی کشورهای صادرکننده در تولید محصولات غذایی صورت می‌گیرد. از این‌رو کشوری به صادرات مواد غذایی می‌پردازد که از نظر منابع و عوامل تولید شرایط بهتری در تولید محصولات نسبت به کشورهای وارد کننده داشته باشد. واردات آب مجازی بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی یک کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با امنیت غذایی آن ارتباط مستقیم دارد (اردکانیان و سهرابی، ۱۳۸۵). براساس یافته‌های راک استرم[1] و گردن[2] (۲۰۰۱)، برای تولید کل محصولات کشاورزی در جهان، سالیانه حدود ۵۴۰۰ میلیارد مترمکعب آب مصرف می‌شود که بخشی از آن به صورت مجازی جابه‌جا می‌شود. در نتیجه، حدود سیزده درصد از کل آب مورد استفاده برای تولید محصولات کشاورزی در جهان برای مصارف داخلی نیست، بلکه برای صادرات به صورت مجازی استفاده می‌شود.

از جمله مطالعات نسبتاً جامع در خصوص مبحث آب مجازی می‌توان به مطالعهٔ هوکسترا[3] و هانگ[4] (۲۰۰۲) اشاره کرد. در این مطالعه به کمی کردن جریان تجارت آب مجازی بین ملت‌ها با توجه به تجارت بین‌المللی محصولات زراعی در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ پرداخته شده است. محاسبات نشان داده‌اند که سیزده درصد از آب مصرفی برای تولید محصولات در جهان، برای مصرف داخلی استفاده نمی‌شود، بلکه (به شکل مجازی) صادر می‌شود. می‌یاکه[5] و همکاران (۲۰۰۲)، حجم مبادلات بین‌المللی آب مجازی در سال ۲۰۰۰ را با توجه به دو دیدگاه متفاوت (محل تولید محصول در کشورهای صادرکننده و واردکننده) به ترتیب ۶۸۳ و ۱۱۳۸ میلیارد متر مکعب برآورد کردند. براساس نتایج این مطالعه، صرفه‌جویی جهانی آب در اثر مبادلات بین‌المللی محصولات غذایی در سال ۲۰۰۰، ۴۵۵ میلیارد متر مکعب به دست آمد که این رقم تقریباً معادل هشت درصد حجم مصرف جهانی آب است. چاپگین[6] و هوکسترا (۲۰۰۳) به کمی‌سازی روند تجارت آب مجازی جهانی با توجه به تجارت دام و تولیدات دامی پرداخته‌اند. این مطالعه ضمن اشاره به اینکه تا آن زمان هیچ روش واضح و مشخصی برای ارزیابی حجم آب مجازی برای انواع متنوع دام و تولیدات دامی وجود نداشته، روشی را به این منظور پیشنهاد کرده است.

رنولت (۲۰۰۳) کاربرد آب مجازی را به مصرف سرانهٔ غذا نیز تعمیم می‌دهد و بیان می‌کند که ترکیب جیرهٔ غذایی مورد استفادهٔ انسان حاوی آب مجازی است. طبق برآورد وی، مصرف سرانهٔ 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 به افزایش بهره‌وری در تولیدات کشاورزی وابسته است. در یک بررسی اوکی[7] و کانایی[8] (۲۰۰۴)، تجارت جهانی آب مجازی را کمی‌سازی کرده و به تخمین و ارزیابی آن پرداخته‌اند. به نظر فرایچر[9] و همکاران (۲۰۰۴)، کشورهای کم‌آب می‌توانند با واردات غلات، نقش قابل توجهی در حفظ منابع آب و خاک کشورشان ایفا کنند. آن‌ها در بررسی واردات غلات دو کشور مصر و ژاپن، دریافتند که در سال ۱۹۹۵، این دو کشور به ترتیب با واردات ۷/۵ و ۲۷ میلیون تن انواع غلات، توانستند از منابع آب داخلی خود به ترتیب ۹/۹ و ۳۷ کیلومترمکعب آب را ذخیره کنند. سینگ[10] و کومار[11] (۲۰۰۵) با

بررســی ارتباط بین تجارت آب مجازی و مقدار آب قابل دسترس در بین ۱۴۶ کشور جهان، نشان دادند که جریان مبادلهٔ آب مجازی بین کشورها براســاس میزان فراوانی آب در آن کشورها انجام نمی‌گیرد. برخی از کشورها که دارای آب فراوانی بوده‌اند، واردکنندهٔ مواد غذایی و در نتیجه آب مجازی بوده‌اند.

چاپگین و همکاران (۲۰۰۵)، سرگذشت جریان‌های آب مجازی را بر ذخایر آب جهانی و ملی در دورهٔ ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ با در نظر گرفتن اقلیم، کارایی مصرف آب و مدل کشــت هر محصول در هر کشــور بررسی کردند و حجم آب مجازی ناشی از مبادلهٔ محصولات کشاورزی را در ســال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱، حدود ۱۲۶۳ میلیارد مترمکعب در سال برآورد کردند. آلدایا[۱۲] و همکاران (۲۰۰۸) ضمن بررسی اهمیت آب ســبز در تجارت آب مجازی در طی ســال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ دریافتند که بیشترین سهم از آب مجازی گندم، ذرت و سویا مربوط به آب سبز است که به‌طور دیم کشت و از ایالت 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. مراد[۱۳] و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که اردن سالانه ۷۷ میلیون مترمکعب آب مجازی وارد و ۲۹ میلیون مترمکعب صادر می‌کند. تحلیل نتایج از دیدگاه مدیریت جامع منابع آب نشان می‌دهد کــه یک راه برای افزایش مقدار محصول تولیدی به ازای آب مصرفی وجود دارد و آن، مصرف کود بیشتر تا ده درصد است و به‌طور کلی باید از روش‌هایی برای بهینه‌سازی تولید بهره جست تا مقدار آب مجازی به ازای محصول تولیدی کاهش یابد.

هاناســاکی[۱۴] و همکاران (۲۰۱۰) وضعیت صــادرات و واردات آب مجازی محصولات عمدهٔ کشــاورزی و دامــی را در مقیاس جهانی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HO8 مورد بررسی قرار دادند. این مدل می‌تواند آب سبز و آب آبی را هم‌زمان در مناطق گوناگون برآورد کند. نتایج این پژوهش نشــان داد که صــادرات آب مجازی پنج محصول کشاورزی (جو، ذرت، برنج، سویا و گندم) و سه محصول دامی (گوشت گاو، گوشت خوک و مرغ) ۵۴۵ کیلو مترمکعب در سال است. شی[۱۵] و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعهٔ خود به محاسبه و تجزیه و تحلیل جریان آب مجــازی برای ۲۷ محصول در چیــن پرداختند. طبق نتایج این مطالعه، کشــور چین واردکنندهٔ آب مجازی از مناطق پرآب شــمال آمریکا، و جنوب آمریکا صادرکنندهٔ آب مجازی به مناطق کم‌آب آسیا، آفریقا و اروپاســت. به طوری که واردات آب مجازی بسیار بزرگ‌تر از صادرات آن اســت و غلات بیشترین ســهم را در تجارت آب مجازی دارد. لیــو[۱۶] و همکاران (۲۰۱۵)، جریان آب مجازی مربوط به تجارت غلات و عوامل مؤثر بر آن‌ها را مورد بررســی قــرار دادند. جعفری و زارعی (۱۳۸۵) وضعیت صادرات و واردات آب مجازی ایران را در طول ســال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۳ بررسی کردند. طبق نتایج این مطالعه در طول دورهٔ یادشده، مقدار صادرات کل پانزده محصول عمدهٔ کشاورزی کشــور حدود ۱۱/۸ میلیون تن و همچنین مقدار واردات نُه محصول کشاورزی عمدهٔ وارداتی ۱۱۸/۵ میلیون تن بوده است.

روحانی و همکاران (۱۳۸۷)، مبادلهٔ محصولات غذایی و آب مجازی را بــا توجه به منابع آب موجود در کشــور مــورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشــان داد که از میان ۲۱ محصول غذایی بررسی شــده، غلات، حبوبات، خشکبار و دانه‌های روغنی براساس میزان آب مجازی برآوردشدهٔ آن‌ها محصولاتی پرمصرف‌اند، در حالی‌که میوه‌ها، سبزی‌ها و محصولات صنعتی کم‌مصرف‌اند و مبادلهٔ آب مجازی باید با توجــه کامل به مقدار مصرف آب، به صــورت آگاهانه انجام گیرد. عــرب یزدی و همکاران (۱۳۸۸)، ردپــای اکولوژیک آب را بر مبنای صادرات و واردات مواد غذایی در ســال ۱۳۸۵ کشــور ایران محاسبه کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشــان می‌دهد کــه ردپای اکولوژیک آب کشور در این ســال، ۱۰۴ میلیارد مترمکعب بوده است. باغستانی و همکاران (۱۳۸۹) در یک مطالعه با هدف بررســی میزان ســازگاری ایران با برنامه‌ریزی پیرامون آب مجازی به محاسبهٔ میزان آب مجازی در محصولات عمدهٔ وارداتی و صادراتی کشــاورزی پرداختند. در این پژوهش که برای سال‌های حدفاصل ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ انجام شده، نشان داده شــده که ایران در طی این سال‌ها همواره واردکنندهٔ خالص آب مجازی بوده است. از جمله مطالعات دیگر، می‌توان به مطالعهٔ محمدی کانی گلزار (۱۳۹۱) اشــاره کرد که میزان مبادلــهٔ آب مجازی را در خصوص ۳۲ محصول عمدهٔ کشاورزی برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ بررسی کرده است.

از میان ۲۱ محصول غذایی بررسی شده، غلات، حبوبات، خشکبار و دانه‌های روغنی براساس میزان آب مجازی برآوردشدهٔ آن‌ها محصولاتی پرمصرف‌اند، در حالی‌که میوه‌ها، سبزی‌ها و محصولات صنعتی کم‌مصرف‌اند و مبادلهٔ آب مجازی باید با توجه کامل به مقدار مصرف آب، به صورت آگاهانه انجام گیرد

شناخت آب

آب را همواره مایهٔ حیــات نامیده‌اند، به این معنا که حیات در آب شــکل‌گرفته اســت و برای تداوم و تحول خود نیز همواره به مقدار مشــخصی از آن نیاز دارد. البته برای تحــول و تداوم موجودات زندهٔ امروزی که تعدادشــان در آب و خشکی بی‌شمار است، علاوه بر آب، هوا و خاک نیز اهمیت اساســی دارند (ولایتی، ۱۳۹۲ :۱). از مجموع کل آب‌های جهان، ۹۷/۴ درصد آن‌ها را آب شور دریاها و اقیانوس‌ها تشــکیل می‌دهند که به دلیل شوری در عمل قابل استفاده نیستند. به این ترتیب از مجموع منابع آبی جهان، ذخایر آب شیرین تنها ۲/۶ درصد کل حجم ذخایر آب‌های ســطح زمین را شــامل می‌شود که بخــش اعظم آن به صورت یخ در قطب‌های کرهٔ زمین و یخچال‌های طبیعی (۱/۹۸ درصد) و آب‌های زیرزمینی (۰/۵۹ درصد) وجود دارند

که در دســـترس نیستند. بنابراین از مجموع آب‌های کرهٔ زمین تنها ۰/۰۱۴ درصد آب قابل اســـتفاده است و در واقع حیات آدمی وابسته به همین مقدار اندک آب است. از این مقدار نیز حدود ۰/۰۰۱ درصد، آب موجود در اتمسفر، رودخانه‌ها، گیاهان و جانوران، ۰/۰۰۵ درصد رطوبت خاک و ۰/۰۰۷ درصد آب شـــیرین موجود در دریاچه‌هاست (کشاورز و صادق‌زاده، ۱۳۷۹).

یکی از مشـــکلاتی که موجودات زندهٔ خشـــکی‌زی و انسان با آب شـــیرین دارند، این اســـت که این مایهٔ حیـــات اولاً در همه‌جا یافت نمی‌شـــود و ثانیاً در یک منطقه مقدار آن خیلی زیاد و در منطقه‌ای دیگر مقدار آن بســـیار اندک اســـت (ولایتی، ۱۳۹۲: ۱). در سراسر تاریخ بشـــر دسترسی مطمئن به آب، یک شرط اولیه و اساسی برای توسعهٔ اجتماعی، اقتصادی و پایداری فرهنگ و تمدن بوده است. به گفتهٔ آب‌شناسان، آب، دیگر یک کالای فراوان و فاقد ارزش اقتصادی نیســـت، بلکه یک کالای بدون جایگزین و با ارزش اقتصادی زیاد در همهٔ زمینه‌های مصرف اســـت (صادقـــی، ۱۳۸۵). موضوع منابع آب به عنوان یک موضوع با اهمیت در صحنهٔ سیاســـت داخلی کشورها به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌آب جهان از دیرباز همواره مطرح بوده و هم‌اکنون نیز اهمیت خود را حفظ کرده اســـت (زیباکلام، ۱۳۸۷: ۱۱۲). کمبود آب با استفادهٔ ناصحیح آن به دلیل افزایش صنعتی‌شدن و شهرنشینی و افزایش تقاضا برای زمین‌های کشاورزی و فراورده‌های جنگلی در ارتباط است (Hans, 2001). با افزایش جمعیت، نیاز به آب نیز بیشـــتر می‌شود و حتی اگر سرانهٔ آب افزایش نیابد (که می‌یابد)، نرخ ناپایدار رشـــد جمعیت انسان به زودی موجب کمبود آب خواهد شد (Bliss, 2002).

هم‌اکنون بیش از یک میلیارد نفر، یعنی یک ششم جمعیت جهان و یک نفر از هر پنج نفر در جهان در حال توسعه، به آب سالم دسترسی ندارند. طبق تخمین‌های موجود، تعداد افرادی که در کشورهای مواجه با کمبود آب زندگی می‌کنند، از هفت‌صد میلیون نفر کنونی تا قبل از سال ۲۰۲۵ به بیش از سه میلیارد نفر خواهد رسید

بحران آب

بحران آب به وضعیتی اطلاق می‌شـــود که مشکل دسترسی به آب وجود داشته باشد. با افزایش جمعیت، بسیاری از کشورهای جهان در حـــال حاضر در وضعیت بحران آب قرار دارند یا در ســـال‌های آینده در جرگهٔ کشورهای بحرانی قرار خواهند گرفت. بحران آب در جهان تنها شـــامل منطقهٔ غرب آسیا و شامل آفریقا نیست، بلکه بسیاری از کشورهای دیگر در سایر مناطق جهان نیز گرفتار این بحران خواهند شد (رحیمی و خالدی، ۱۳۷۹). در سرتاسر جهان، منابع آب شیرین در طی دههٔ گذشته به دلیل افزایش جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی و در نتیجه افزایش آن‌ها در تخصیص آب، کمیاب‌تر شده‌اند (Postel et al 1996). در جهان امروز، عواملی همچون افزایش چشمگیر جمعیت کرهٔ زمین و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع محیط زیســـت برای تأمین نیازهـــای اقتصادی، تأثیر خاص خود را در ارتباط با منابع آب برجای گذارده است به‌طوری‌که از دیدگاه سازمان ملل متحد، مسائل مربوط به بحران و مدیریت آب پس از مشکل جمعیت، دومین مسئلهٔ اصلی جهان شناخته شده است.

باید توجه داشـــت که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان و حل این بحران وجود ندارد و تنها کاری که می‌توان کرد، بهبود روش‌های اســـتفاده از آب است (ببران و هنربخش، ۱۳۸۷). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که تا ســـال ۲۰۲۵، حدود ۴۸ کشـــور جهان با بیش از ۲/۸ میلیارد نفـــر جمعیت تحت تأثیر تنش یا کمبـــود آب قرار خواهند گرفت. همچنین این احتمـــال وجود دارد که جمعیت ایران از ۶۸/۴ میلیون نفر در سال ۱۹۹۵ با متوسط نرخ رشد ۱/۸ درصد به ۱۲۸/۳ میلیون نفر در ســـال ۲۰۲۵ برسد و در طی همین زمان، سرانهٔ آب از ۱۷۱۹ مترمکعب به ۹۱۶ مترمکعب کاهش یابد (Hamrick & Godt, 1997). محدودیت منابع آب شیرین و در دسترس بودن فیزیکی آب و بحران سیاسی در بسیاری از کشورها به یک معضل جدی تبدیل شده اســـت به طوری که این محدودیت توانسته است رشد این کشورها را تحت‌الشعاع قرار دهد. براساس گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۰۷، کاهش ســـالانهٔ منابع آب شیرین بین ســـال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ در جهان ۳ هزار و ۸۰۷ میلیارد و ۴۰۰ میلیون مترمکعب بوده که از این میزان ۷۰ درصد مربوط به کشـــاورزی، ۲۰ درصد مربوط به صنعت و ۱۰ درصد مربوط به مصارف داخلی بوده اســـت. براساس مطالعات و آمار ارائه شده توسط برنامهٔ عمران سازمان ملل متحد، تقریباً نیمی از جمعیت جهان برای رفع نیازهای ابتدایی خود، به آب کافی دسترسی ندارند.

هم‌اکنون بیش از یک میلیارد نفر، یعنی یک ششم جمعیت جهان و یک نفر از هر پنج نفر در جهان در حال توسعه، به آب سالم دسترسی ندارند. طبق تخمین‌های موجود، تعداد افرادی که در کشورهای مواجه با کمبود آب زندگی می‌کنند، از هفت‌صد میلیون نفر کنونی تا قبل از سال ۲۰۲۵ به بیش از سه میلیارد نفر خواهد رسید (بزی و همکاران، ۱۳۸۹). ایـــن بحران، بـــه رغم فراگیر بودن آن، شـــاید در هیچ جای دیگری به اندازهٔ خاورمیانه ابعاد سیاسی - امنیتی نیافته است. کمبود طبیعی، توزیع نامتوازن، اشـــتراکی و بی‌جایگزین بودن منابع آب در کنار مسائلی نظیر افزایش بی‌رویهٔ جمعیت و مصارف آبی در کشورهای خاورمیانه، اقتصاد متکی بر کشـــاورزی، سوء مدیریت کلی و جمعی و تخاصمات ارضی، مرزی، قومی و ایدئولوژیکی این کشـــورها و فقدان

قوانین بین‌المللی حاکم بر آب‌های مشترک، از جمله عوامل این بحران هستند که آن را به یک منبع عمدهٔ تولید خشونت تبدیل می‌کند. در منطقهٔ خاورمیانه که یکی از مناطق کم‌آب جهان به‌شمار می‌رود، شمارِ مواردی که آب یک دلیل مهم برای بروز اختلاف یا منازعه شده، ظاهراً در حال افزایش است. به طوری که در سال‌های اخیر بین ترکیه، سوریه و عراق بر سر فرات، بین اردن، اسرائیل و لبنان به دلیل سرچشمهٔ رود اردن، میان ایران و افغانستان بر سر رود هیرمند و میان نُه کشور ساحلی رود نیل، اختلافات در حال افزایش است. براساس آمار فائو در حالی که این منطقه چهارده درصد مساحت کرهٔ زمین را به خود اختصاص داده است، تنها ۲ درصد از منابع آب را در اختیار دارد (بزی و همکاران، ۱۳۸۹).

ایران کشوری با اقلیم عمدتاً گرم و خشک است. رشد سریع جمعیت مهم‌ترین عامل کاهش سرانه آب تجدیدشوندهٔ کشور در قرن گذشته بوده است. جمعیت ایران در طی این هشت دهه، از حدود ۸ میلیون نفر در سال ۱۳۰۰ تا ۱۳۰۶به ۷۸ میلیون نفر تا پایان سال ۱۳۹۲ رسید. بر این اساس، میزان سرانهٔ آب تجدیدپذیر سالانهٔ کشور از میزان حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۰۰ به حدود ۱۴۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۹۲ تقلیل یافته و در صورت ادامهٔ این روند، وضعیت در آینده به مراتب بدتر خواهد شد (ببران و هنربخش، ۱۳۸۷). منابع آب تجدیدپذیر کل ایران به ۱۳۰ میلیارد مترمکعب می‌رسد. مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهند که در سال ۱۳۸۶ از کل منابع آب تجدیدشوندهٔ کشور حدود ۵/۸۹ میلیارد مترمکعب برای مصارف بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن و خانگی برداشت می‌شده است که حدود ۸۳ میلیارد مترمکعب آن (۹۳ درصد) به بخش کشاورزی، ۵/۵ میلیارد مترمکعب (۶درصد) به بخش خانگی و مابقی به بخش صنعت و نیازهای متفرقهٔ دیگر اختصاص داشته است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

ایران به دلیل واقع‌شدن در اقلیم خشک و نیمه خشک و همچنین با رشد روزافزون مصارف آب، در سال‌های آینده با خطر بروز بحران آب مواجه است. لذا برای مقابله با آن باید نسبت به انواع مصرف آب با حساسیت بیشتری برخورد شود. از جملهٔ این مصارف، آب مجازی است (باغستانی و همکاران، ۱۳۸۹).

اصطلاح آب مجازی اولین بار توسط تونی آلن[۱۷] در سال ۱۹۹۳ ارائه شد که بیانگر مقدار آب موجود و قابل دسترس در سیستم جهانی از طریق مبادلهٔ کالاهای کشاورزی است. آلن مقدار آب موجود در غلات، شیر و محصولات دامی را براساس مقدار آب مورد نیاز برای تولید آن‌ها شرح داد. سپس، این مفهوم به‌عنوان یک ابزار اقتصادی برای کاهش مشکلات کمبود آب در سطح اقتصادهای ملی عنوان شد (Al-lan,2003). مفهوم آب مجازی بعد از نزدیک به یک دهه از زمان معرفی به یک مفهوم شناخته شده در سطح امنیت منطقه‌ای و جهانی آب تبدیل شد. اولین نشست بین‌المللی در مورد بررسی موضوع آب مجازی در دسامبر ۲۰۰۲ در دلف[۱۸] هلند برگزار شد. حدود چهار ماه بعد در مارس ۲۰۰۳ نشست ویژه‌ای در سومین اجلاس جهانی آب به موضوع تجارت آب مجازی اختصاص داده شد (Hoekstra, 2003). شرایط جدید منابع و مصارف آب، شیوه‌های نو در برنامه‌ریزی منابع آب را طلب می‌کند. در این راستا مفاهیم و شاخص‌های متعددی توسعه‌یافته یا در حال توسعه است که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به آب مجازی اشاره کرد (سهرابی و همکاران، ۱۳۹۳).

آب مجازی

آب مجازی آبی است که یک کالا یا یک فراوردهٔ کشاورزی در طی فرایند تولید مصرف می‌کند تا به مرحلهٔ تکامل برسد و مقدار آن معادل جمع کل آب مصرفی در مراحل مختلف زنجیرهٔ تولید از لحظهٔ شروع تا پایان است. صفت مجازی در این تعریف به این معناست که بخش عمدهٔ آب مصرف‌شده در طی فرایند 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. نکتهٔ مهم اینکه صفت مجازی به معنای غیرواقعی نیست، بلکه صریحاً باید گفت که آب مجازی آب کاملاً واقعی است. شرایط اقلیمی و فرهنگی مکان تولید و مدیریت و برنامه‌ریزی در میزان و حجم آب مجازی کالا تأثیر دارد و قطعاً مقدار آن در مورد یک کالا در مناطق مختلف جهان متفاوت است. مثلاً مردم آسیا به‌طور میانگین ۱۴۰۰ لیتر آب مجازی در طول روز استفاده می‌کنند و این در حالی است که اروپاییان و مردم شمال آمریکا روزانه حدود ۴۰۰۰ لیتر آب مجازی مصرف می‌کنند (شاملونژاد و قزل سوفلو، ۱۳۸۸).

محتوای آب مجازی برای هر محصول به شرایط محیطی و جوی در محل تولید محصول، وابستگی مستقیم دارد. مثلاً برای تولید یک کیلوگرم از غلات به صورت دیم و در شرایط جوی مطلوب، بین یک تا دو مترمکعب آب نیاز است، در حالی‌که برای تولید همین مقدار غله در شرایط جوی نامطلوب (دما و تبخیر تعرق بالا) بین سه تا پنج مترمکعب آب مصرف می‌شود. نیاز آبی برای تولید محصولات دامی نسبت به محصولات کشاورزی به مراتب بیشتر است. به عنوان مثال برای تولید یک کیلوگرم پنیر به ۵ تا ۵/۵ مترمکعب آب و برای تولید یک کیلوگرم گوشت گاو تقریباً به ۱۶ مترمکعب آب نیاز است (یوسفی‌نژاد، ۱۳۹۵).

محاسبهٔ آب مجازی

برای محاسبهٔ مقدار آب مجازی محصولات (کشاورزی، صنعتی و غیره) لازم است کلیهٔ منابع آبی را که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم (اعم از باران، آب سطحی یا آب زیرزمینی) در تولید محصول مؤثر بوده‌اند، در محاسبات مورد توجه قرار داد.

(مقدار محصول تولید شده)/ (کل حجم آب مورد نیاز برای تولید)= آب مجازی

محصولات غذایی آب را به‌عنوان بخشی از فرایند تولید مصرف می‌کنند، اما میزان آب مورد نیاز در واحد تولید به مقدار زیادی به نوع محصول بستگی دارد (یوسفی‌نژاد، ۱۳۹۵).

رابطهٔ آب مجازی و بهره‌وری آب

آب مجازی و بهره‌وری آب نسبت به هم رابطهٔ معکوس دارند (شکل ۱). طبق تعریف، بهره‌وری آب عبارت است از مقدار محصول تولید شده از واحد حجم آب و واحد آن معمولاً به صورت کیلوگرم بر مترمکعب تعریف می‌شود، در حالی‌که آب مجازی مقدار آب مصرف شده برای تولید مقدار معینی محصول را مورد توجه قرار می‌دهد و واحد آن لیتر بر کیلوگرم (مترمکعب بر کیلوگرم) است. به عبارت دیگر در بهره‌وری تأکید بر مقدار تولید از آب و در آب مجازی، برعکس،

تأکید بر مقدار آب (مصرف شـــده) در تولید محصول است. بنابراین با افزایش بهره‌وری آب، مقدار آب مجازی در محصول یا کالای مورد نظر کاهش خواهد یافت و برعکس. به عبارتی در جریان تجارت محصولات کشاورزی جریانی از آب مجازی به وجود خواهد آمد. این جریان، یک جریان درون‌منطقه‌ای و بین‌المللی است. با توجه به ارتباط آب مجازی و بهـــره‌وری آب، افزایش بهره‌وری آب در کشـــاورزی می‌تواند ابزاری کارآمد در صرفه‌جویی آب مجازی باشد (abnama.nww.ir).

شکل ۱: رابطهٔ بین آب مجازی و بهره‌وری آب
(منبع: abnama.nww.ir)

آب مصرفی کشاورزی و دام

در ایران حدود دوازده میلیون هکتار زمین زراعی وجود دارد که هشت میلیون هکتار آن به صورت فاریاب و بقیه به صورت دیم کشت می‌شود. حجم آب مصرفی کشاورزی حدود ۹۴ درصد آب مصرفی کشور است. به بیان دیگر از ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آب مصرفی، سالانه حدود ۱۲۲ میلیارد مترمکعب آن تنها به کشاورزی اختصاص دارد. چنین تخصیصی از آب برای کشاورزی عاقلانه به نظر نمی‌رسد، چون به طور معمول در جهان، تنها حدود شصت درصد از آب مصرفی هر کشور به کشاورزی اختصـــاص می‌یابد (ولایتی، ۱۳۹۲: ۲۳۴). میزان مصرف آب دام‌ها نیز برای گاو شیرده، از شصت لیتر در روز تا ۰/۱ لیتر در روز برای مرغ متغیر است (جدول ۱) (تابئی و چمنی، ۱۳۸۴ : ۲۱۵).

آب مصرفی تجاری و صنعتی

آب مصرفی تجاری و صنعتی شامل مصارف مراکز تجاری و صنعتی کوچک از قبیـــل دکان‌هـــا و کارگاه‌های کوچک واقـــع در محدودهٔ شهرهاست (وزارت نیرو، ۱۳۸۲). صنایع بزرگ و مؤسسه‌های دامداری در صورتـــی در این طبقه‌بندی قـــرار می‌گیرند که آب مورد نیاز آن‌ها توســـط شبکهٔ شهری تأمین شـــود. میانگین روزانهٔ مصارف تجاری و صنعتی در طول یک ســـال به ازای هر نفر از جمعیت شهر، «متوسط مصرف ســـرانهٔ تجاری و صنعتی آب» نامیده می‌شود. این مقدار برای کشـــور معادل حداقل ۱۰ و حداکثر ۴۵ لیتر بـــه ازای هر نفر در روز، پیشنهاد شده است (مظفری، ۱۳۸۹: ۱۱۹).

جدول ۱. مقادیر آب مجازی برای برخی از محصولات

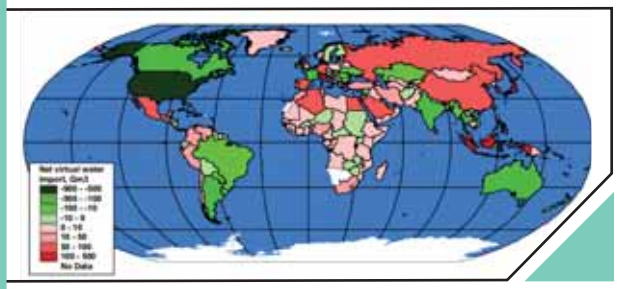
ردیف	کالا	آب مجازی (لیتر)
۱	یک لیوان شیر (۲۰۰ میلی‌لیتر)	۲۰۰
۲	یک فنجان چای (۲۵۰ میلی‌لیتر)	۳۵
۳	یک فنجان قهوه (۱۲۵ میلی‌لیتر)	۱۴۰
۴	یک عدد سیب (۱۰۰ گرمی)	۷۰
۵	یک عدد سیب‌زمینی (۱۰۰ گرمی)	۲۵
۶	یک پیراهن نخی در اندازهٔ متوسط	۴۱۰۰
۷	یک کاغذ A4	۱۰
۸	یک عدد تخم مرغ (۴۰ گرمی)	۱۳۵
۹	یک عدد گوجه‌فرنگی (۷۰ گرمی)	۱۳
۱۰	یک عدد پرتقال (۱۰۰ گرمی)	۵۰
۱۱	یک جفت کفش با چرم گاو	۸۰۰۰
۱۲	ساندویچ همبرگر (۲۵۰ گرمی)	۲۴۰۰
۱۳	یک کیلوگرم گندم	۱۳۰۰
۱۴	یک کیلوگرم جو	۱۴۰۰
۱۵	یک قالب پنیر (۵۰۰ گرمی)	۲۵۰۰
۱۶	یک کیلوگرم گوشت گاو	۱۵۰۰۰
۱۷	یک کیلوگرم گوشت مرغ	۴۰۰۰
۱۸	گوش پاک‌کن (۰/۳۳ گرمی)	۳/۶
۱۹	یک کیلوگرم پلاستیک	۱۹۰
۲۰	یک برش نان (۳۰ گرمی)	۴۰
۲۱	خودروی مسافرتی (۱۱۰۰ کیلوگرمی)	۴۰۰
۲۲	یک کیلوگرم برنج	۵۰۰۰
۲۳	یک کیلوگرم کود شیمیایی (در پروسهٔ تولید در کارخانه)	۶۰۰
۲۴	یک کیلوگرم کاغذ (در پروسهٔ تولید در کارخانه)	۲۵۰
۲۵	یک کیلوگرم فولاد (در پروسهٔ تولید در کارخانه)	۳۰۰

منبع: موسوی و همکاران، ۱۳۸۸

تجارت آب مجازی

تجارت جهانی کالاهـــا، جریانی بین‌المللی از آب مجازی را به‌وجود می‌آورد که اصطلاحاً «تجارت آب مجازی[۱۹]» نامیده می‌شود (شکل ۲) (Postel et al 1996). البته تجارت آب مجازی مفهوم تازه‌ای نیســـت، بلکه پیشـــینهٔ آن به دورانی برمی‌گردد کـــه مبادلهٔ محصولات انجام می‌شده، ولی با توجه به شـــرایط و تنش‌های آبی به‌وجود آمده، این مفهوم به‌عنوان یک اصـــل مدیریتی در مطالعات مدیریت منابع آب، خود را نشان داد و محاسبات کمی در این زمینه آغاز شد. مطالعهٔ آب

مجازی اهداف مختلفی را دنبال می‌کند که می‌توان به بالا بردن آگاهی عموم مردم و مسئولان، سیاست‌گذاری و شناسایی محصولات تأثیرگذار بر سیاست‌های تخصیص آب اشاره کرد (رنجبر و فتوکیان، ۲۰۱۵).



شکل ۲: تجارت آب مجازی در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۱۹۹۵، رنگ سبز (صادرات) و رنگ قرمز (واردات) (منبع: چاپگین و هوکسترا، ۲۰۰۳)

تجارت آب مجازی در طی چهل سال اخیر به‌طور دائم در حال افزایش بوده است. در حدود پانزده درصد آب مورد مصرف در جهان به صورت آب مجازی در حال صادرات است. از آنجا که در سطح جهانی، کشاورزی بزرگ‌ترین بخش اقتصادی از لحاظ مصرف آب است، بنابراین تجارت محصولات کشاورزی جزء اصلی تجارت آب مجازی است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). تحقیقات هوکسترا و چاپگین (۲۰۰۲) نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ میزان متوسط سالانهٔ آب مجازی در حال جریان توسط تجارت برخی از محصولات آب‌بر، ۱۰۳۱ کیلومتر مکعب بوده که ۶۹۵ کیلومتر مکعب آن مربوط به تجارت محصولات کشاورزی و ۳۳۶ کیلومتر مکعب آن مربوط به تجارت دام و محصولات مشتق‌شده از آن بوده است. این نشان می‌دهد که سیزده درصد آب مصرف شده برای تولید کالاهای کشاورزی به صورت مجازی وارد بازار تجارت شده است. با در نظر گرفتن تجارت دام و محصولات آن می‌توان گفت که در مجموع بیست درصد آب مصرف‌شده برای تولید محصولات کشاورزی و دامی در جریان مجازی آب بین کشورها مشارکت داشته است (جدول ۲) (اردکانیان و سهرابی، ۱۳۸۵).

جدول ۲: تجارت جهانی آب مجازی بین کشورها برای ده محصول کشاورزی اول در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹

محصول	درصد از تجارت جهانی آب مجازی
گندم	۳۰/۲۰
سویا	۱۷/۰۷
برنج	۱۵/۳۶
ذرت	۸/۸۵
شکر خام	۷/۲۰
جو	۴/۸۸
آفتابگردان	۲/۷۱
سورگوم	۲/۰۱
موز	۱/۹۷

منبع: موسوی و همکاران، ۱۳۸۸

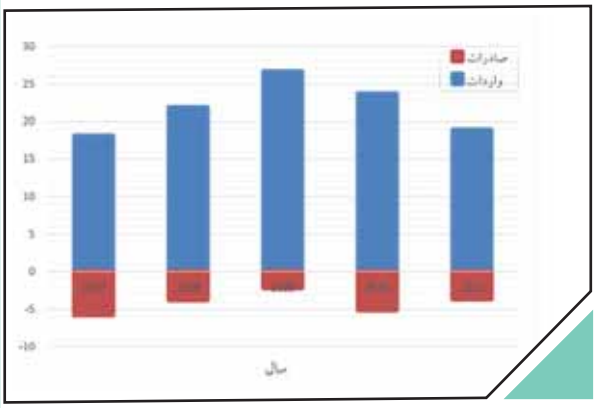
آمریکا، کانادا و تایلند، به ترتیب، سه کشور اول صادرکننده و سریلانکا، ژاپن و هلند سه کشور اول واردکنندهٔ آب مجازی براساس آمار سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ هستند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸).

ایران به دلیل واقع‌شدن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و همچنین با رشد روزافزون مصارف آب، در سال‌های آینده با خطر بروز بحران آب مواجه است. لذا برای مقابله با آن باید نسبت به انواع مصرف آب با حساسیت بیشتری برخورد شود. از جملهٔ این مصارف، آب مجازی است

تجارت آب مجازی بین کشورها را ۱۳۴۰ میلیارد مترمکعب در سال ۲۰۰۰ تخمین زده‌اند که ۶۰ درصد مربوط به محصولات کشاورزی، ۱۴ درصد مربوط به تجارت ماهی و غذاهای دریایی، ۱۳ درصد مربوط به تجارت دام و ۱۳ درصد مربوط به تجارت گوشت بوده است (Zimmer & Renault, 2003). با این همه، تحقیقات اوکی و کانایی در سال ۲۰۰۴ نشان می‌دهد که در همان سال این تجارب موجب ذخیره‌سازی ۴۵۰ میلیارد مترمکعب آب به شکل مجازی در سطح جهان شده است (Oki & Kanae, 2004).

در مطالعات داخلی نیز، یافته‌های پژوهش جعفری و زارعی (۱۳۸۵) نشان می‌دهد که خالص واردات آب مجازی ایران در طول سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۳ حدود ۱۲/۸ میلیارد مترمکعب بوده است. علاوه بر این، مطالعات نشان می‌دهد که ایران در طول دورهٔ ۱۳۸۰- ۱۳۸۸ برای ۳۲ محصول عمدهٔ کشاورزی، واردکنندهٔ خالص آب مجازی بوده و سالیانه ۱۳/۷ میلیارد مترمکعب آب حاصل از این مبادلات را 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 (تهامی‌پور زرندی و قربانی، ۱۳۹۵).

همان‌گونه که مشاهده می‌شود (شکل ۳) از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ افزایش واردات و کاهش صادرات در آب مجازی را داشته‌ایم که باعث افزایش واردات خالص آب مجازی شده است، اما متأسفانه به دلیل مدیریت نادرست، با تولید و صادر کردن محصولات با نیاز آبی بالا، سهم صادرات آب مجازی افزایش یافت و از سوی دیگر با نادیده گرفتن سیاست آب مجازی، میزان خالص واردات آب مجازی کاهش یافت (رنجبر و فتوکیان، ۲۰۱۵).



شکل ۳: صادرات و واردات آب مجازی در ایران (۲۰۱۱-۲۰۰۷) (منبع: رنجبر و فتوکیان، ۲۰۱۵)

حجم آب مجازی محاسبه شده برای محصولات صادراتی و وارداتی مهم و منتخب در جدول ۳ ارائه شده‌اند. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، کمترین آب مجازی محصول صادرشده در این دوره مربوط به کیوی، برابر ۳۰۳ لیتر بر کیلوگرم و بیشترین آن مربوط به زعفران، معادل ۶۱۶۷۵۲ لیتر بر کیلوگرم بوده است. متوسط وزنی حجم آب مجازی محصولات صادراتی منتخب برای دورهٔ مورد مطالعه، حدود ۳۴۶۸ لیتر بر کیلوگرم شده است. همچنین کمترین آب مجازی محصول واردشده در این مدت مربوط به محصول آناناس (۲۸۶ لیتر بر کیلوگرم) و بیشترین آن مربوط به آفتابگردان (۹۵۵۴ لیتر بر کیلوگرم) بوده است. متوسط وزنی حجم آب مجازی محصولات وارداتی منتخب نیز برای دورهٔ مورد مطالعه، حدود ۲۷۱۴ لیتر بر کیلوگرم برآورد شده است (زارعی و جعفری، ۱۳۹۴).

جدول ۳: میانگین آب مجازی محصولات کشاورزی منتخب در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (Lit/ Kg)

محصولات صادراتی		محصولات وارداتی	
محصول	آب معادل	محصول	آب معادل
انگور	۱۲۶۷	آناناس	۲۸۶
بادام	۱۰۱۳۵	بادام‌زمینی	۲۰۱۰
پسته	۱۲۰۳۶	برنج	۲۷۴۸
پیاز	۴۸۴	جو	۲۲۳۵
خربزه	۹۹۴	دانهٔ کنجد	۸۴۳۳
خرما	۳۷۴۴	دانهٔ آفتابگردان	۹۵۵۵
خیار	۴۲۶	دانهٔ سویا	۳۹۸۴
زعفران	۶۱۶۷۵۲	ذرت	۲۱۷۸
زیره	۴۳۲۲	سیب‌زمینی	۹۵۱
سیب	۳۵۱۲	عدس	۷۲۷۳
سیب‌زمینی	۹۵۱	گندم	۲۵۶۱
کیوی	۳۰۳	لوبیا	۵۰۴۵
گوجه‌فرنگی	۴۴۳	مرکبات	۸۷۰
مرکبات	۸۷۰	موز	۲۲۴۲
نخود	۵۸۱۵	نارگیل	۵۶۳۰
هندوانه	۴۸۴	نخود	۵۸۱۶

منبع: زارعی و جعفری، ۱۳۹۴.

مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی به‌عنوان مثال برای تولید یک کیلوگرم گندم حدود هزار لیتر آب است. به این ترتیب در صورتی‌که گندم به کشورهای دیگر صادر شود، به این معناست که این میزان آب از کشور خارج شده است. کشورهایی که با بحران آب مواجه‌اند، بهتر است محصولات پرمصرف را تولید نکنند و آن‌ها را از کشورهای دیگر وارد کنند. با این کار از استفادهٔ زیاد آب جلوگیری و آبی که به مصرف می‌رسد ذخیره می‌شود. در کشور ایران که ذخایر آب زیرزمینی آن از حدود اوایل دههٔ ۱۳۴۰ تا ۱۳۵۰ به این طرف با کمبود و بحران مواجه شده است، برنامه‌ریزی در خصوص توجه و تأکید بر آب مجازی بسیار حائز اهمیت است.

اگر به موضوع آب مجازی و اهمیت آن در کشور توجه می‌شد، کشت چغندرقند و احداث کارخانه‌های فراوری آن در استان خراسان صورت نمی‌گرفت و از آب زیرزمینی بسیار باارزش این استان برای تولید چغندرقند استفاده نمی‌شد. استخراج آب زیرزمینی برای کشت محصولات پرمصرف مانند چغندرقند تا آنجا پیش رفته است که آبخانهٔ دشت‌ها را با کسری زیاد مواجه ساخته است. در حال حاضر، دشت‌هایی مانند جوین، شیروان، تربت‌جام و مشهد که در آن‌ها چغندرقند کشت می‌شود با افت سطح آب زیرزمینی حدود ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در سال مواجه‌اند. البته علاوه‌بر چغندرقند، محصولات آب‌طلب دیگری هم در منطقه کشت می‌شوند که مزید بر علت شده‌اند. مثلاً کشت خیار، گوجه‌فرنگی، هندوانه، خربزه و سبزیجات نیز که جزو کشت‌های استراتژیک (راهبردی) نیستند، در مقیاس زیاد، سبب اضافه برداشت از مخازن آب زیرزمینی و بحران آب می‌شوند (ولایتی، ۱۳۹۲: ۲۴۱).

ردپای آب

به نظر هوکسترا و هونگ (۲۰۰۲) آب مجازی یک ابزار ضروری در محاسبهٔ آب واقعیِ استفاده‌شده در یک کشور است. این مفهوم معادل کل آب داخلی مورد استفاده به‌علاوهٔ آب مجازیِ وارداتی، منهای آب مجازی صادراتی یک کشور است که اصطلاحاً به آن، «آب مصرفی پایه» یا «ردپای آب» گفته می‌شود. آب مصرفی پایهٔ هر کشور یک شاخص مفید برای تقاضای آب است و معادل کل آب مجازی محاط شده در محصولات کالاها و خدمات مصرفی است (Hoekstra & Hung , 2002). ردپای آب در مصارف شخصی، تجاری و ملی به صورت حجم کل آب شیرین مصرف‌شده توسط آن‌هاست. ردپای آب معمولاً به صورت حجم آب مصرفی در سال بیان می‌شود. از آنجا که تمام کالاهایی که در یک کشور استفاده می‌شوند حتماً در همان کشور نیز ساخته نشده‌اند، ردپای آب شامل دو قسمت می‌شود: استفاده از منابع آب محلی و استفاده از منابع آبی خارجی.

ردپای آب شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین استفاده از خاک (در محصولات کشاورزی) می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). چاپگین و هوکسترا (۲۰۰۳) در یک مطالعه به بررسی ردپای آب (آبرانه) پرداختند. مطابق مطالعهٔ آن‌ها ردپای آب به مقدار مصرف (با توجه به درآمد سرانهٔ ناخالص داخلی)، الگوی مصرف (میزان و ترکیب مصرف فراورده‌های 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 مترمکعب در سال به ازای هر نفر است. در این میان میزان ردپای آب ایران ۱۲۴۰ مترمکعب در سال به ازای هر

نفر بوده اســت. همچنین ایالت متحده با ۲۴۸۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر بیشترین و چین با ۷۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر کمترین ردپای آب در جهان را دارا هستند (تهامی‌پور زرندی، ۱۳۹۵).

آب آبی، آب سبز، آب خاکستری

در چرخهٔ هیدرولوژی، منابع آب به دو دستهٔ آب آبی و آب سبز تقسیم می‌شــوند. آب‌های زیرزمینی و آب‌های ســطحی آب آبی را تشکیل می‌دهند، در حالی‌که به رطوبت خاک در مناطق غیراشــباع، آب سبز می‌گویند. منشــأ آب آبی و آب سبز، بارندگی اســت. آب باران بعد از نفوذ در خاک و قبل از اینکه به منطقهٔ اشباع برسد آب سبز را تشکیل می‌دهــد. در حالی‌که آب‌های زیرزمینی (منطقهٔ اشــباع) و همچنین رواناب حاصل از این بارندگی که به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، پشت سدها و تالاب‌ها می‌پیوندد، آب آبی را شامل می‌شوند. کشاورزی دیم عمدتاً از بخش آب سبز حاصل از بارندگی تغذیه می‌کند، در حالی‌که کشاورزی آبی از آب آبی مهارشده‌ای که به زمین‌های کشاورزی هدایت می‌شود سیراب می‌شود. با توجه به نقش این دو در تولید مواد غذایی، می‌توان گفت که منشــأ آب مجازی، آب آبی و آب ســبز است. بر این اساس می‌توان آب مجازی را به آب مجازی آبی و آب مجازی سبز تقسیم کرد (اردکانیان و سهرابی، ۱۳۸۵).

طبق تعریف، آب خاکستری، آبی است که در اثر فعالیت‌های مختلف بشر از قبیل شهرنشینی، فعالیت صنایع یا حتی فعالیت‌های کشاورزی، آلوده شود و از حد استاندارد قابل استفاده پایین‌تر قرار گرفته باشد. این اصطلاح در مفاهیم مرتبط با آب مجازی، شامل آبی است که به سرعت قابل بازگشــت به چرخهٔ استفاده نباشد یا بازگرداندن آن به استاندارد مصرف، نیازمند فرایندی طولانی‌مدت و هزینه‌بر باشــد (ســهرابی و همکاران، ۱۳۹۳). آب سبز برای اولین بار توسط فالکن مارک[۲۰] (۱۹۹۵) معرفی شد تا اینکه بتوان با تفکیک آن از آب آبی با تقسیم‌بندی مناسبی از منابع آب، راحت‌تر آن را مدیریت کرد و با استفاده از این مفهوم جدید بتوان به ارزیابی دقیق‌تری از نقش آب در تولید محصولات کشــاورزی در مناطق نیمه‌خشــک پرداخت. در مقایسه با آب آبی، آب سبز منبع بزرگ‌تری از نظر حجم ذخایر آب شــیرین و مشــارکت در تولید مواد غذایی اســت، چرا که ۶۵ درصد از نزولات آسمانی به آب سبز و باقی به آب آبی تبدیل می‌شــود. همچنین در حدود ۸۰ درصد زمین‌های کشاورزی در جهان زیر کشت دیم هستند که ۶۰ درصد از غذای مردم را تولید می‌کنند.

بهره‌برداری از آب آبی به دلیل نیاز به شــبکه‌های انتقال و توزیع آب بسیار گران‌تر از آب سبز است، اما همین قابلیت انتقال و توزیع، مدیریت آن را ساده‌تر کرده و گزینه‌های بهره‌برداری از آن را (کشاورزی، صنعتی و خانگی) افزایش داده، در حالی که تنها راه بهره‌برداری از آب سبز تولید محصولات دیم اســت. در سال‌های اخیر با ظهور مفهوم آب مجازی و درک نقش تجارت مواد غذایی در توزیع مجدد منابع آب و شناســایی استعداد مناطق در تولید محصولات با شاخص‌های کمی جدید، مدیریت آب سبز آسان‌تر و بر بهره‌برداری بهینه از آن تأکید می‌شود (اردکانیان و سهرابی، ۱۳۸۵).

مقادیر آب مجازی برای برخی از محصولات و مقدار آب قابل مصرف روزانه بیش از آن چیزی است که ما می‌بینیم. واحد اندازه‌گیری محتوای

آب مجازی آبی است که یک کالا یا یک فراوردهٔ کشاورزی در طی فرایند تولید مصرف می‌کند تا به مرحلهٔ تکامل برسد و مقدار آن معادل جمع کل آب مصرفی در مراحل مختلف زنجیرهٔ تولید از لحظهٔ شروع تا پایان است. صفت مجازی در این تعریف به این معناست که بخش عمدهٔ آب مصرف‌شده در طی فرایند 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. صفت مجازی به معنای غیرواقعی نیست، بلکه صریحاً باید گفت که آب مجازی آب کاملاً واقعی است

مجازی آب در تولید کالاها یا خدمات، لیتر است. مفهوم مجازی آب نه تنها در درک وابســتگی ما به سیستم‌های هیدرولوژی کمک می‌کند، بلکه تأثیرش در زندگی روزمره نیز قابل مشاهده است (Greco, ۲۰۱۵ & Antonelli). آب مجازی همراه شده با برخی از کالاها و مواد غذایی پرمصرف دنیا توسط سازمان‌ها و دانشمندان مختلف در مناطق گوناگون جغرافیایی محاسبه شده است. این ارقام کمک خواهد کرد تا به ارزش آب در تولیدات مختلف پی ببریم و دیدگاهی کلی از نحوهٔ مصرف آن‌ها و بهای واقعی‌شان داشته باشیم. تعدادی از محققان معتقدند که واردات آب مجازی (از طریق غذا یا محصولات صنعتی) راه حل مناسبی برای بحران آب، به ویژه برای کشورهای خشک است که کشاورزی آن‌ها فقط بستگی به آبیاری دارد و کارایی مصرف آب محصولات تولیدی آن‌ها نیز پایین است. بنابراین، در عوض مصرف منابع آب کمیاب برای محصولاتی که مصرف آب آن‌ها نیز بالاست، این قبیل کشورها می‌توانند غذای ارزان وارد کنند و از فشار بیش از حد به منابع آب خود بپرهیزند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸).

امنیت غذایی

تعاریف بســیاری از امنیت غذایی ارائه شــده است. برای مثال بنا به تعریف ارائه شده توسط بانک جهانی، امنیت غذایی یعنی «دسترسی همهٔ انســان‌ها در هر زمان به غذای کافی برای داشــتن زندگی سالم و فعال»، که دسترســی به غــذا و توانایی تولید آن، دو رکن اصلی این تعریف است (Wichelns, 2001). کشورها برای افزایش امنیت غذایی خود متناسب با شرایط داخلی و روابط خارجی تصمیم‌گیری می‌کنند که ممکن است از طریق تلاش برای خودکفایی در محصولات کشاورزی یا از طریق ترکیبی از تولیدات داخلی و واردات مواد غذایی به دســت آید. برای نمونه، چین، هند و مالــزی برای تأمین امنیت غذایی خود سعی می‌کنند در تولید محصولات کشاورزی خودکفا شوند، در حالی که بازارهای مواد غذایی مشــابه آن‌ها چون اروپا، آمریکا و ژاپن بیشتر نگران امنیت واردات مواد غذایی هســتند (Ma et al,2006). پتانسیل عظیمی که در تجارت مواد غذایی پنهان اســت آن را مستعد می‌سازد

تا در معادلات دیپلماتیک وارد شود. وابستگی بیش از حد امنیت مواد غذایی کشـــورها به واردات موجب می‌شود که کشورهای صادرکننده توانایی تحمیل خواسته‌های خود و همچنین دخالت در مسائل داخلی کشورهای واردکننده را داشته باشند (Shuva, 1997).

راهکارهای مدیریتی

- جایگزین کردن کشـــت محصولاتی که به آب کمتری نیاز دارند با محصولاتی با نیاز آبی بالا می‌تواند یکی از گزینه‌ها برای اصلاح ساختار کشاورزی باشد.
- افزایـــش تولید و صادرات محصولات پرمصرف با بهره‌وری و ارزش اقتصادی کم در بـــازار بین‌المللی و وارد کردن محصولات کم مصرف، سیاستی زیان‌آور برای آیندهٔ منابع آب و امنیت بلندمدت مواد غذایی درکشور کم‌آبی مانند ایران خواهد بود.
- مهم‌تر از حجم آب مصرفی، میزان آب «آبی» اســـت که از ذخایر بســـیار محدود زمین اســـتفاده می‌شـــود. به همین دلیل، بهتر است محصولات کشـــاورزی از مناطقی تهیه شوند که سهم آب آبی (آبیاری مصنوعی) کمتری دارند.
- هر چه زمان استفاده از اجناس مصرفی دیگر مانند پوشاک، موبایل، رایانه و غیره طولانی‌تر باشـــد، سهم آب مجازی در سرانهٔ مصرف کمتر اســـت. در نتیجه، استفاده از اجناس دســـت دوم به کاهش سرانهٔ آب مجازی آن‌ها می‌انجامد.
- کشوری که منابع آب محدودی در اختیار دارد برای تبدیل «تهدید» به «فرصت» می‌تواند به «تجارت آب مجازی روی آورد و محصولاتی را به کشـــور وارد کند که برای تولیدشان آب قابل توجهی مصرف شده است. این امر باعث حفظ منابع آب کشور می‌شود و فشار بر منابع آب را کاهش خواهد داد.
- تولیـــد و صادرات محصولاتی که نیـــاز فراوانی به آب ندارند، مثل سبزیجات، میوه‌جات و سیب‌زمینی افزایش یابد و از سوی دیگر واردات محصولاتی که با مصرف آبی فراوانی به دست می‌آیند از جمله غلات، مورد توجه جدی قرار گیرد.
- بـــرای تهیهٔ غـــلات از جمله گنـــدم می‌توان از الگوی «کشـــت فراسرزمینی[21]» استفاده کرد. اسپانیایی‌ها برای عبور از بحران کم‌آبی به جای گندم، زیتون تولید کرده و در این بستر ده برابر سود خود را افزایش داده‌اند. آن‌ها گندم مورد نیازشان را با اجاره کردن زمین در کشورهای دیگری از جمله کوبا تولید و به داخل اسپانیا حمل می‌کنند.
- کارخانجات پرشماری برای تولید محصولاتی که نیاز به آب فراوان داده‌اند، در مناطق کم‌آب کشور احداث شده‌اند. با توجه به اینکه برای تولید یک تن فولاد، حداقل ۲۳۰ هزار لیتر آب مصرف می‌شود، بنابراین برپایی کارخانه‌های تولید فولاد در استان‌های کویری و کم‌آب در ترکیب کلی، منفی به‌شمار می‌روند. باید اولویت به تولید محصولات کشاورزی، خدماتی و صنعتی کم‌آب‌بر داده شود و محصولات پرآب‌بر از کشورهای دیگر وارد شوند تا ذخایر آبی کشور افزایش یابند.

نتیجه

ظهور بحث آب مجازی توانســـت توجه مجامع مختلف جهانی را به جریان عظیم مجازی آب که توسط تجارت مواد غذایی در جریان است جلب کند. کشورهای کم‌آب می‌توانند با واردات مواد غذایی دسترسی خود را به منابع آب جهانی افزایش دهند. واردات مواد غذایی بر مبنای نظریه‌ها و سیاســـت‌های تجـــارت بین‌الملل می‌توانـــد علاوه بر حفظ منابع آب ملی، رشـــد اقتصادی و رفاه اجتماعـــی را افزایش دهد. ایران در ســـال‌های اخیر یکی از واردکنندگان بزرگ آب مجازی بوده است. مسلماً در نظر گرفتن آب مجازی در برنامه‌ریزی‌های آبی این کشور در سطوح بین‌المللی و درون‌کشوری قبل از هر چیز نیازمند انجام مطالعات اقتصادی و اجتماعی با در نظر گرفتن امنیت غذایی و کلیهٔ ظرفیت‌ها و شرایط کشور است. ایران در عین کمبود شدید آب وابستگی واردات آب مجازی کمی دارد و این نشان می‌دهد که ایران پتانسیل تجارت آب مجازی را، به‌عنوان کشوری واردکننده داراست.

محصولاتی مانند خرما، آرد گندم، شـــکر، پســـته، چـــای، لبنیات و کشـــمش، هندوانه، خربزه و خیار علی‌رغم اینکـــه آب مجازی زیادی دارند به میزان زیادی از کشـــور صادر می‌شوند که این امر باعث خروج مقدار زیادی آب مجازی از کشـــور می‌شود. پس باید سعی شود که از صادرات بی‌رویهٔ این محصولات جلوگیری شود. البته گفتنی است که صادرات محصولاتی مثل پسته علی‌رغم اینکه باعث خروج مقدار زیادی آب مجازی از کشور می‌شـــوند اما به دلیل داشتن ارزش افزودهٔ فراوان از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌اند. ســـویا، جو، انواع روغن، گوشـــت، چای، عدس و پنبه محصولاتی هســـتند که آب مجازی فراوانی دارند و خوشبختانه میزان زیادی به کشـــور وارد می‌شوند که باعث افزایش واردات آب مجازی به کشور می‌شود و باید روند واردات این محصولات ادامه یابد. انتقال آب مجازی بسیار ارزان‌تر از انتقال آب حقیقی است و به طرح‌های بزرگ، احداث خطوط لولهٔ انتقال آب، احداث مخازن و سدها و انحراف آب از حوزه‌ای به حوزهٔ دیگر که عموماً جزء هزینه‌های سنگین به حساب می‌آیند نیاز ندارد. همچنین این تجارت می‌تواند مشکل آب در حوزه‌های آبخیز مشـــترک بین کشورها را حل و از رویارویی نظامی جلوگیری کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Rockstorm; 2. Gordon; 3. Hoekstra; 4. Hung; 5. Miyake; 6. Chapagain; 7. Oki; 8. Kanae; 9. Fraiture; 10. Singh; 11. Kumar; 12. Aldaya; 13. Murad; 14. Hanasaki; 15. Shi; 16. Liu; 17. Allan; 18. Delft; 19. Virtual water trade; 20. Falkenmark; 21. Extraterritoriality cultivation

منابع

۱. احســـانی، م و خالدی، ه (۱۳۸۲). «شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشـــور». یازدهمین همایش ملی کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران، صص ۶۷۵- ۶۷۴.

۲. اردکانیان، ر و ســـهرابی، ر. ا (۱۳۸۵). «تجارت آب مجازی: ادبیات جهانی و کاربرد در ایران». دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. باغســـتانی، ع. ا و همکاران (۱۳۸۹). «کاربرد مفهوم آب مجازی در مدیریت منابع آب ایران». *مجلهٔ تحقیق منابع آب ایران*، سال ششم، شمارهٔ ۱، صص ۳۸-۲۸.

۴. بیـــران، ص و هنربخـــش، ن (۱۳۸۷). «بحران وضعیت آب در ایـــران و جهان». پژوهش‌نامهٔ مطالعات توســـعهٔ پایدار و محیط زیست، مرکز تحقیقات استراتژیک، سال شانزدهم، شمارهٔ ۴۸، صص ۲۱۲- ۱۹۳.

۵. بخشنده، ا (۱۳۸۸). «بررسی مشکلات و راهکارهای کمبود آب در ایران». دومین همایش ملی اثرات خشک‌سالی و راهکارهای مدیریت آن، صص ۶-۱.

۶. بزی، خ. ر، خســـروی، س، جوادی، م و حســـین‌نژاد، م (۱۳۸۹). «بحـــران آب در خاورمیانه (چالش‌هـــا و راهکارها)». چهارمین کنگرهٔ بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اســـلام، ایران زاهدان، صص ۳۵- ۲۷.

۷. پرتال جامع مدیریت مصرف آب. وزارت نیرو، شـــرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴، http://abnama.nww.ir آخرین تاریخ بازدید ۱۳۹۷/۰۱/۰۵.

۸. تائبی، ا و چمنی، م، ر (۱۳۸۴). *شبکه‌های توزیع آب شهری*. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۹. تهامی‌پور زرندی، م و قربانی، م (۱۳۹۵). «اندازه‌گیری و تحلیل جایگاه تجارت آب مجازی در بخش صنعت و معدن ایران». نشریهٔ آب و توسعهٔ پایدار، سال سوم، شمارهٔ ۱، صص ۷۲- ۵۹.
۱۰. جعفری، ع.م و زارعی، ق (۱۳۸۵). «تجارت آب مجازی و نقش آن در مقابله با بحران کم‌آبی». دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، اصفهان.
۱۱. خوش‌رفتار، ر (۱۳۷۲) «ژئوپلیتیک و منابع آب خاورمیانه». رشد آموزش جغرافیا، شمارهٔ ۳۴، صص ۲۷-۲۳.
۱۲. رحیمی، ح و خالدی، ه (۱۳۷۹). «بحران آب در جهان و ایران و راه‌های مقابله با آن». اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی، جهاد دانشگاهی استان کرمان، صص ۹۵۱-۹۴۱.
۱۳. رنجبر، ا و فتوکیان، م.ر (۲۰۱۵). بررسی روند صادرات و واردات آب مجازی در ایران». مجلهٔ *International Conference Environmental Science, Engineerig & Technologies* (CESET 2015), 5-6 May, University of Tehran, Tehran, Iran.
۱۴. روحانی، ن، یانگ، ه، سیچانی، س ا، افیونی، م و موسوی، ف (۱۳۷۸). «ارزیابی مبادلهٔ محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران». *فصلنامهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، شمارهٔ ۴۶، اصفهان، صص ۴۳۲- ۴۱۷.
۱۵. زارعی، ق و جعفری، ع.م (۱۳۹۴). «نقش واردات و صادرات محصولات مهم زراعی و باغی در تجارت مجازی آب و ردپای آب در کشاورزی ایران». نشریهٔ آبیاری و زهکشی ایران، شمارهٔ ۵، ج ۹، صص ۷۹۷- ۷۸۴.
۱۶. زیباکلام، ص (۱۳۸۷). *ما چگونه ما شدیم، ریشه‌یابی علل عقب‌ماندگی ایران*. انتشارات روزنه.
۱۷. سهرابی، ح، نجفی، ع و حاجی مرادی، ع (۱۳۹۳). گاهنامهٔ الکترونیکی گروه آب و توسعهٔ پایدار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۸. شاملونژاد، ع. ر و قزل سوفلو، ع.ع (۱۳۸۸). «آب مجازی، راهکاری جهت حل بحران آب در کشورهای خشک و نیمه خشک». دومین همایش ملی اثرات خشک‌سالی و راه‌کارهای مدیریت آن، اصفهان.
۱۹. صادقی، س.ش.ا (۱۳۸۵). «هیدرولیک و بحران آب». اطلاعات سیاسی و اقتصادی، شمارهٔ ۱۱۶-۱۱۵.
۲۰. عبداللهی، ز، زهتابیان، غ.ر، خسروی، ح و جعفری، م (۱۳۹۰). «مفهوم آب مجازی و نقش آن در مدیریت منابع آب و اقتصاد جهانی». پژوهش‌های بررسی منابع آب ایران، دومین کنفرانس ملی.
۲۱. عرب یزدی، ا، علیزاده، ا و محمدیان، ف (۱۳۸۷). «بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران». *نشریهٔ آب و خاک* (علوم کشاورزی و صنایع غذایی)، دانشگاه فردوسی مشهد، ج ۲۳، شمارهٔ ۴، صص ۱۵-۱.
۲۲. کشاورز، ع و صادق‌زاده، ک (۱۳۷۹). «وضعیت موجود چشم‌اندازهای آینده و راهکارهایی جهت بهینه‌سازی آن». نشریهٔ ۳۸ کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران در دهمین همایش ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۲۳. محمدی کانی گلزار، ف (۱۳۹۱). «مدیریت مصرف آب براساس مبادلهٔ آب مجازی در محصولات منتخب کشور». پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و توسعهٔ کشاورزی، دانشگاه تهران.
۲۴. مظفری، غ.ع (۱۳۸۹). *هیدرولوژی شهری*. انتشارات دانشگاه یزد.
۲۵. موسوی، س.ن.ا، اکبری، س.م.ر، سلطانی، غ.ر و زارع مهرجردی، م (۱۳۸۸). «آب مجازی، راهکاری نوین در جهت مقابله با بحران آب». همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
۲۶.وزارت نیرو (۱۳۸۲)، گزارش عملکرد صنعت آب و برق.
۲۷. ولایتی، س.ا (۱۳۹۲). *منابع و مسائل آب در ایران با تأکید بر بحران آب*. مشهد: انتشارات پانا.
۲۸. یوسفی‌نژاد، م (۱۳۹۵). بررسی آب مجازی و مدیریت منابع آب. *مطالعات علوم زیستی و زیست‌فناوری*، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، صص ۲۴-۱۸.
29. Aldaya, M.M, Hoekstra A.Y, Allan J.A. 2008, Strategic Importance of Green Water in International Grope Trade, UNESCO-IHE value of Water Research Report, Series No, 25.
30. Allan, J.A. 2003, Virtual water – the water, food, and trade nexus useful concept or misleading metaphor? Water International, 28, pp 106-113.
31. Bliss, B, 2002, The pending water crisis, Quaker Eco-Bulletin, 2, pp1_4.
32. Chapagain, A. K, Hoekstra, A.Y, Savenije H. G, 2005, Water saving through international trade of Agriculture products, Hydrology and Earth System Sciences. 2, pp 2219_2251.
33. Chapagain, A.K, Hoekstra A.Y, 2003, Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products, virtual water trade, proceedings of the international Export meeting on virtual water, Value of Water Research Report, IHE delft The Netherlands, Eddited by A.Y. hockestra (editor), pp 49_76.
34. Fraiture,C.D, Ximing, C, Amerasinghe, U, Rosegrant, M, Molden, D, 2004, Does international cereal trade save water? The impact of virtual water trade on global water use, Research Report NO.4. IWMI, Colombo, Srilanka.
35. Greco,F, Antonelli, M, 2015, Not All Drops of Water Are the Same, The Water We Eat, Combining Virtual Water and Water Footprints, Springer Water, Springer International Publishing Switzerland 2015, Editors Francesca Greco and Marta Antonelli, pp 3_15.
36. Hamrick, J.L, Godt, M.J.W, 1997, Allonym diversity in cultivated crops, Crop Science, 37, pp 26-30.
37. Hanasaki, N, Inuzuka, T, Kanae, S, Oki, T, 2010, An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model, Hydrology Journal 384, pp 232_244.
38. Hans, A, 2001, Locating women's rights in the Blue Revolution, Future 33, pp 753_768.
39. Hoekstra A.Y, hung P.Q, 2002, Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, virtual water trade, proceedings of the international Export meeting on virtual water, Value of Water Research Report, IHE delft The Netherlands, Eddited by A.Y. hockestra (editor), pp 25_47.
40. Hoekstra, A.Y, 2003, Virtual water: An introduction, virtual water trade, proceedings of the international Export meeting on virtual water, Value of Water Research Report, IHE delft The Netherlands, Eddited by A.Y. hockestra editor, pp 113_23.
41. Kumar, M, Dinesh, Singh, O.P, 2005, Virtual water in global food and water policy making: Is there a need for
42. Liu, J, Wu, P, Wang, Y, Zhao, X, Sun, Sh, and Cao, X, 2015. Virtual Water Flows Related to Grain Crop Trade and Their Influencing Factors in Hetao Irrigation District in China, Journal of Agricultural Science and Technology 17, pp 201_211.
43. Ma, J, Hoekstra, A.Y, Wang, H, Chapagain, A.K, Wang, D, 2006, Review Virtual versus real water transfers within China, J. Phil, Trans, R. Soc, B 361,pp 835–842.
44. Miyake, M, Oki, T, Mushiake, K, 2002. Basic study of virtual water trade of Japan. Symposium of Water Resources, pp 728_733.
45. Murad, K A, Gaese, H. and Jabarin, A. S. 2010. Economic Value of Tree Fruit Production in Jordan valley from a Virtual Water Perspective, Water Resources Management Journal, 24, pp 2021_2034.
46. Oki, T, Kanae, S, 2004, Virtual water trade and world water resources, Water Science and Technology49(7), pp 203_209.
47. Postel, S.L, Daily, G.C, and Ehrlich, P.R, 1996, Human appropriation of renewable fresh water, Science 271, pp 785-788.
48. Renault, D, 2003, Value of virtual water in food: Principles and virtues In: virtual water trade, proceedings of the international Export meeting on virtual water, Value of Water Research Report, IHE delft The Netherlands, Eddited by A.Y, hockestra (editor), pp 77_91.
49. Rockstorm, J, Gordon, L, 2001, Assessment of green water flows to sustain major biomes of the world: Implications for future ecohydrological landscape management, Phys. Chem. Earth26, pp 834_851.
50. Shi, J, Liu, J, Pinter. A.L, 2014, Recent evolution of China's virtual water trade: analysis of selected crops and considerations for policy, Hydrology and Earth System Sciences 18, pp 1349_1357.
51. Shuva, H, 1997, Concepts of water security, food security, water stress and virtual water for arid contries. Proceedings of the IXth World Water Congress-International Water Resources AssociationMontreal, Canada.
52. Wichelns, D, 2001, The role of virtual water in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt, J. Agric, Water Manage 49, pp 131–151.
53. Zimmer, D, Renault, D, 2003, Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issue and preliminary results, virtual water trade, proceedings of the international Export meeting on virtual water, Value of Water Research Report, IHE delft The Netherlands, Eddited by A.Y. hockestra (editor), pp 93–109.
54. Falkenmark.M 1995. Coping with water Scarcity under rapid population growth conference of SADC minister pretoria. novamber 23-24