2020, Vol.7, No.3, Pages 1 to 12
Journal of Water and Sustainable Development

سال هفتم، شماره ۳، ۱۳۹۹، صفحات ۱ تا ۱۲
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Conceptual

نوع مقاله: مفهومی

Basic Principles of Water Footprint Assessment and Existing Challenges in Iran

S. Razavi Kahnamuee

MSc of Water Science and Engineering, Hydrotechtoos Consulting Engineers' Firm (Knowledge-based), Mashhad, Iran.

Email: razavi.sadjad@gmail.com

Received: 21-02-2020
Accepted: 08-06-2020

اصول اساسی ارزیابی ردپای آب و چالش‌های موجود در ایران

سیدسجاد رضوی کهنموئی

کارشناس ارشد علوم و مهندسی آب، شرکت دانش‌بنیان مهندسین مشاور هیدروتک توس، مشهد، ایران.

E-Mail: razavi.sadjad@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۹

Abstract

The supply chain of a product to a user is a temporal and spatial process. This chain has a local to global scope, in which water is consumed and eventually polluted. Water footprint is a multidimensional indicator. Water footprint describes the direct and indirect consumption of water by a consumer or a production process and describes contaminated water in the production chain. The complete assessment of water footprint is done in four stages: setting goals, calculation stage, water footprint sustainability assessment and codification of policy making rules. In the framework of "water footprint assessment", the comprehensive and final objectives of the study (creating awareness, improving consumption pattern, achieving sustainability or policy decisions) must be specified first. The spatial / temporal scale and studied (person, product, or geographic area) should also be specified. In the next step, the study approach (calculation of direct or indirect consumption, blue, green or gray footprint) is specified. This paper explains the basic principles of this framework and possibility of its implementation in Iran. Because without these structures in water footprint studies and virtual water calculations, the results obtained for policy decisions are not reliable. As a result, it will not be possible to accurately estimate the water footprint of an area in order to plan to reduce water consumption. Therefore, the need to be familiar with such a framework is important.

Keywords: Virtual Water Exchange, Supply Chain, Inland, Direct and Indirect Consumption.

چکیده

زنجیره عرضه یک محصول به یک کاربر، یک فرایند زمانی و مکانی است. این زنجیره گستره‌ای محلی تا جهانی دارد و در آن، آب مصرف و در نهایت آلوده می‌شود. ردپای آب یک شاخص چند بعدی است. ردپای آب مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب توسط یک مصرف‌کننده یا یک فرایند تولید را بیان و آب آلوده‌شده در زنجیره تولید را توصیف می‌کند. ارزیابی کامل ردپای آب در چهار مرحله تعیین اهداف، مرحله محاسبات، ارزیابی پایداری ردپای آب و تدوین قواعد سیاست‌گذاری، انجام می‌شود. در چارچوب «ارزیابی ردپای آب» ابتدا باید اهداف جامع و نهایی مطالعه (ایجاد آگاهی، اصلاح الگوی مصرف، تحقق پایداری یا تصمیم‌گیری‌های سیاستی) مشخص شود. همچنین باید مقیاس مکانی/زمانی و جامعه هدف مورد مطالعه (فرد، محصول یا محدوده جغرافیایی) تعیین شود. در گام بعد رویکرد مطالعه (محاسبه مصرف مستقیم یا غیرمستقیم، ردپای آبی، سبز یا خاکستری) مشخص می‌شود. این مقاله اصول اساسی این چارچوب و امکان پیاده‌سازی آن را در ایران بیان می‌کند. ازآنجایی‌که بدون رعایت این ساختارها در مطالعات ردپای آب و محاسبات آب مجازی، نتایج به‌دست آمده برای تصمیم‌گیری‌های سیاستی قابل اتکا نمی‌باشد، در نتیجه امکان برآورد دقیق ردپای آب یک منطقه به‌منظور برنامه‌ریزی برای کاهش مصرف آب، وجود نخواهد داشت. بنابراین ضرورت آشنایی با چنین چارچوبی، اهمیت پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تبادل آب مجازی، زنجیره عرضه، درون‌مرزی، مصرف مستقیم و غیرمستقیم.

DOI: 10.22067/jwsd.v7i3.85710

مقدمه

توزیع غیریکنواخت بارش و کمبود آب در بخش‌های زیادی از کره زمین، مشکلات زیادی را برای تولید محصولات کشاورزی و حتی تامین آب شرب سالم به‌وجود آورده است. به‌طوری‌که برخی از سناریوها پیش‌بینی می‌کنند، تا سال ۲۰۲۵ میلادی، ۶۰ درصد از مناطق کره زمین به‌دلیل افزایش بهره‌برداری از منابع آب دچار تنش آبی شوند. بیشتر این مناطق در آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین قرار دارند (Alcamo و همکاران، ۲۰۰۰). کشور ایران از نظر اقلیمی جز مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود، نه تنها از این قاعده مستثنی نیست بلکه در حال حاضر با بحران آب مواجه است. اضافه برداشت‌ها و مصرف بیش از حد مجاز (بیشتر از آب تجدیدپذیر سالانه) منجر به کسری مخازن آب زیرزمینی در سال‌های گذشته در دشت‌های مختلف کشور شده است. Yang و همکاران (۲۰۰۳) ایران را جز کشورهایی قرار داداند که بعد از سال ۲۰۰۰ میلادی دچار کسری آب شده و تا سال ۲۰۳۰ منابع آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۵۰۰ مترمکعب برای هر نفر در سال خواهد داشت. Smakthin و همکاران (۲۰۰۴) باتوجه‌به شاخص برداشت آب نسبت به پتانسیل آب در حوضه و با در نظر گرفتن نیازهای محیط‌زیستی و اکولوژیکی (آب تجدیدپذیر تحت مدیریت)، ایران را به‌عنوان یک کشور با تنش آبی بالا معرفی می‌نمایند. Alizadeh و Keshavarz (۲۰۰۵) آب مورد نیاز برای تامین غذایی جمعیت در سال ۱۴۰۰ را ۱۵۰میلیارد مترمکعب تخمین زدند. این مقدار برداشت از منابع آب داخلی برای تامین نیاز غذایی جمعیت، افزایش تنش آبی در کشور را به دنبال دارد. در مقیاس جهانی مصرف عمده آب در بخش کشاورزی است اگرچه در بخش صنعت و خانگی مقادیر قابل توجهی آب مصرف و یا آلوده می‌شود (WWAP، ۲۰۰۹). بخش عمده مصرف آب در زنجیره تولید یک محصول به‌صورت غیرمستقیم است. Hoekstra وChapagain (۲۰۰۸) بیان کردند، توجه به تجارت آب مجازی، دیدگاه جدیدی در مدیریت آب شیرین در جهان ایجاد کرده و تصویر واقعی‌تری از پتانسیل منابع آب منطقه‌ای به‌دست می‌دهد. زنجیره عرضه یک کالا یک فرایند زمانی-مکانی پیچیده است. ۸۴ درصد از لباس‌های کتانی مردم اروپا از جنس پنبه است و این محصول در خارج از مرزهای اروپا در ازبکستان و هندوستان کشت می‌شود (Chapagain و همکاران، ۲۰۰۶). این موضوع، در وضعیتی که، ۵۳ درصد از مزارع پنبه در جهان به‌صورت آبی کشت می‌شوند، اهمیت پیدا می‌کند (Soth و همکاران، ۱۹۹۹). این مزارع آبی به‌طور عمده در مناطق خشک جهان از جمله مصر، ازبکستان و پاکستان قرار دارند. دریاچه آرال نمونه بارزی است که علت اصلی خشک‌شدن آن برداشت آب برای آبیاری مزارع پنبه بوده است. بنابراین برای بررسی صرفه تولید یک محصول از نظر مصرف آب در هر محدوده جغرافیایی، باید به مواردی از جمله حجم تولید محصول، عملکرد و راندمان تولید، میزان صادرات محصول، نوع آب مصرف‌شده و منبع تامین این آب توجه کرد. برای تبیین مبادله آب در اشکال گوناگون، مفهوم ردپای آب در سال ۲۰۰۲ مطرح شد. ردپای آب شاخصی از مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب شیرین توسط یک مصرف‌کننده یا یک فرایند است. یک شاخص چندبعدی است و حجم آب مصرف و یا آلوده‌شده در زنجیره تولید و عرضه محصول را باتوجه‌به منشا آن و زمان و مکان مصرف، تعیین می‌کند (Hoekstra، ۲۰۰۳). شاخص «ردپای آب» را می‌توان مفهوم گسترش‌یافته «آب مجازی» دانست که توسط Allan (۱۹۹۷) راهکاری برای مدیریت آب در کشورهای خاورمیانه و آفریقا معرفی شده بود.

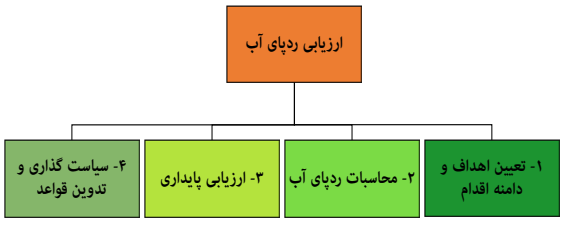
در چارچوب «ارزیابی ردپای آب » اهداف مطالعه ردپای آب، مقیاس مطالعه ردپای آب (فرد، محصول، جامعه)، نوع مطالعه (ردپای مستقیم، غیرمستقیم، ردپای آبی، سبز، خاکستری) تعیین می‌شود (Hoekstra و همکاران، ۲۰۱۱). یکی از شاخه‌های مطالعات ردپای آب، تبادل آب مجازی به‌واسطه صادرات و واردات کالا است که سهم زیادی در جابه‌جایی و ذخیره آب در سطح جهانی دارد. باتوجه‌به رابطه تجارت آب مجازی با مسائلی همچون امنیت غذایی و تعاملات سیاسی کشورها، شاخص‌های اقتصادی تجارت، وضعیت تولید و اشتغال کشور و... باعث شده در برخی مواقع به‌جای توجه به مفهوم جامع ردپای آب، تنها به معایب/مزایای تجارت آب مجازی پرداخته شود. لازم به ذکر است، کاربردهای تجارت آب مجازی از جمله جریان آب مجازی درون کشور (جابه‌جایی آب مجازی بین مناطق مختلف کشور به‌واسطه تبادل محصولات مختلف) غفلت شده است. برنامه جامع تولید محصولات باید براساس مزیت‌ها و پتانسیل‌های تولید محصول در مبدا تنظیم شود و مقادیر آب مجازی منتقل شده به مقصد در برنامه جامع مدیریت منابع آب مدنظر باشد. تعیین چارچوب ارزیابی ردپای آب یک منطقه، اولین گام در مطالعات مبتنی بر ردپای آب می‌باشد. اگرچه در حوزه مدیریت آب رویکردهای جامع، همچون مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) و یا مدیریت یکپارچه حوضه آبریز (IRBM) مطرح است. بااین‌وجود ارزیابی ردپای آب اصولا جایگزینی برای IWRM یا IRBM نیست اما به‌عنوان یک ابزار تحلیلی، می‌تواند به‌عنوان دانش پایه برای مدیریت یکپارچه، استفاده شود (Hoekstra و همکاران، ۲۰۱۱). در دنیا مطالعات بسیاری براساس چارچوب ردپای آب انجام گرفته است. Kuiper و همکاران (۲۰۱۰)، براساس تقسیم‌بندی‌های جغرافیایی مختلف، مروری بر این مطالعات انجام دادند. اسپانیا به‌عنوان اولین کشور، تحلیل ردپای آب را در تصمیمات و سیاست‌گذاری رسمی کشور در

مدیریت منابع آب، دخالت داد (Aldaya و همکاران، ۲۰۰۹). چارچوب ارزیابی ردپای آب از چهار مرحله اصلی «تعیین اهداف»، «محاسبات»، «ارزیابی پایداری» و «تدوین قواعد»، تشکیل شده است. مطالعات انجام‌شده در این زمینه در ایران، برای رسیدن به اهداف کلی و ایجاد آگاهی نسبت به اهمیت موضوع مناسب است و در نهایت تا مرحله محاسبات پیش رفته‌اند. برای نمونه می‌توان به برخی مطالعات اشاره کرد. روحانی و همکاران (۱۳۸۷) آب مجازی ۲۱ محصول کشاورزی را بررسی و محصولات پرمصرف را شناسائی کردند و مبادله آب مجازی را به‌عنوان یک تدبیر اساسی در مدیریت منابع آب معرفی نمودند. احسانی و همکاران (۱۳۸۷) در کتاب مقدمه‌ای بر آب مجازی، مفاهیم آب مجازی را بررسی و نحوه محاسبه آب مجازی را تشریح کردند. عربی و همکاران (۱۳۸۸) آب مجازی زراعت آبی و محصولات دامی استان خراسان را محاسبه و تنها بر اساس تبادلات صورت گرفته از گمرک استان، آب مجازی مبادله شده از استان را تخمین زدند. باغستانی و همکاران (۱۳۸۹) آب مجازی محصولات کشاورزی عمده کشور را محاسبه و ایران را به‌عنوان واردکننده آب مجازی در سال‌های ۱۳۷۵ -۱۳۸۵ معرفی کردند. دهقان و همکاران (۱۳۹۲) مقادیر آب مجازی محاسبه‌شده در مقصد را با انتقال آب بین‌حوضه‌ای جایگزین کردند، سود حاصل از این عدم انتقال در مبدا را نیز محاسبه و توجه به پتانسیل آب مجازی را راه‌کاری برای کاهش طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای معرفی نمودند. محمدی (۱۳۹۱)، در یک مطالعه موردی در استان فارس، نتیجه گرفت سیاست آزادسازی تجارت، منجربه کاهش خالص صادرات آب مجازی می‌شود. شرزه‌ای و برقعی (۱۳۹۲)، رابطه شاخص‌های اقتصادی با ردپای آب را بررسی و نشان دادند درآمد سرانه عامل مهمی در میزان افزایش ردپای آب سرانه در بخش صنعت و ردپای آب خارجی است. تهامی‌پور و قربانی (۱۳۹۵) تجارت آب مجازی کشور در بخش صنعت و معدن را بررسی و ایران را واردکننده خالص در بخش صنعت و صادرکننده خالص در بخش معدن، معرفی کردند. سادات‌حسینی و همکاران (۱۳۹۵) پیشنهاداتی برای الگوی کشت دشت بهار و بیشینه کردن واردات آب مجازی؛ با مطالعه پنج محصول عمده در منطقه، ارائه دادند. حکمت‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) آب مجازی کشت خرما در سیستان و بلوچستان را بررسی و بر بهره‌وری پایین این محصول در منطقه، تأکید داشتند. موحدنژاد و همکاران (۱۳۹۸)، آب مجازی محصولات دامی در سه استان از کشور را محاسبه و نتیجه‌گیری کردند، ردپای آب در تولیدات دامی کشور، بالاتر از متوسط جهانی است. اویسی و همکاران (۱۳۹۸)، ردپای آب گندم در استان اصفهان را بررسی و نشان دادند، این استان واردکننده آب مجازی برای گندم در سال‌های ۹۴- ۸۷ و صادرکننده آب مجازی در سال ۱۳۸۶ بوده است.

هدف این مقاله بررسی اصول اساسی چارچوب ردپای آب در یک ساختار منسجم است. ضرورت آشنایی با چنین چارچوبی؛ در این واقعیت نهفته است که در مطالعات ردپای آب و محاسبات آب مجازی بدون رعایت این ساختارها؛ نتایج به‌دست آمده برای تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها قابل اتکا نخواهد بود. در نتیجه امکان برآورد دقیق ردپای آب یک منطقه برای برنامه‌ریزی‌های کمی وجود نخواهد داشت. این مقاله با تبیین مراحل و بخش‌های مختلف ارزیابی ردپای آب در یک چارچوب کامل، ضرورت رویکرد جامع را یادآوری می‌کند. همچنین محدودیت‌های موجود در کشور، از دیدگاه امکان‌سنجی دست‌یابی به اهداف از پیش تعیین‌شده باتوجه‌به داده‌های موجود، بررسی و جمع‌بندی شد. امید است مقدمه‌ای برای عبور از مطالعات کلی، و رهنما به‌سوی پژوهش‌های دقیق و رهگشا باشد.

چارچوب نظری

در این مقاله به تبیین چارچوب ارزیابی ردپای آب براساس دستورالعمل‌های تهیه شده توسط Hoekstra و همکاران (۲۰۰۹ و ۲۰۱۱) پرداخت شده است. این دستورالعمل‌ها توسط شبکه ردپای آب در کشورهای مختلف استفاده می‌شود. این شبکه در سال ۲۰۰۸ با همکاری نخبگان و پیشگامان بخش‌های مختلف از کسب‌وکارها، جامعه مدنی، سازمان‌های چندجانبه و دانشگاهی، به‌منظور ارزیابی ردپای آب برای پایان دادن به استفاده ناپایدار از منابع آب تاسیس شد. از جمله مطالعاتی که توسط این شبکه در سطح بین‌المللی انجام شده است، تهیه چارچوب ردپای آب برای کشورهای غنا، کنیا، مالی، موزامبیک، رواندا، بنین و اتیوپی می‌باشد. همچنین پروژه‌های مشترکی بر اساس چارچوب ارزیابی ردپای آب توسط این شبکه با سازمان محیط‌زیست انگلستان در ۳۵ زیرحوضه این کشور، انجام شده است. مطالعاتی نیز در زمینه ارزیابی پایداری ردپای آب برخی از محصولات در کشورهای مختلف اروپایی به انجام رسیده است. چشم‌انداز این شبکه، اشتراک آب سالم بین تمام مردم جهان با حفظ پایداری منابع آب جهانی می‌باشد و ماموریت آن ارائه راهکار علمی و راهبردی برای آگاه‌کردن دولت‌ها، سازمان‌ها، شرکت‌ها و مردم برای استفاده پایدار از منابع آب جهانی است. این مقاله در جزئیات و محاسبات متمرکز نشده و بیشتر به تبیین کلیات و مشخص‌کردن یک چارچوب کلی و ارائه مثال‌های کاربردی پرداخته است. همچنین در این مقاله وضعیت ایران از نظر وجود داده و مطلوبیت دستیابی به اهداف، بررسی شده است. مراحل ارزیابی ردپای آب در چهار فاز در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- مراحل ارزیابی ردپای آب

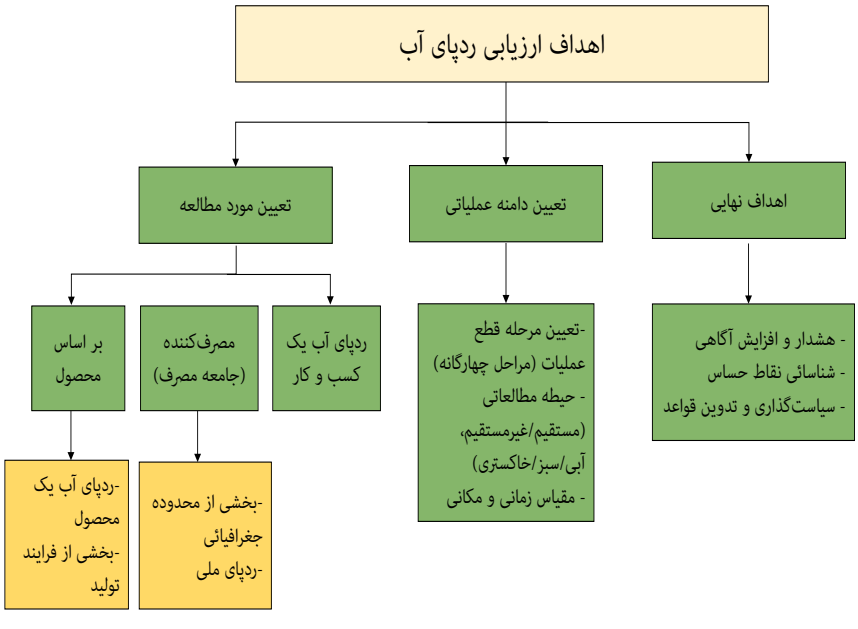
اولین قدم در هر مطالعه با ردپای آب، تعیین اهداف و دامنه اقدام مرتبط است. در مرحله محاسبه، ابتدا سطح داده‌های موجود بررسی می‌شود. انتخاب دقت داده‌ها به هدف انتخاب شده در مرحله اول و میزان دستیابی به اهداف به دقت داده‌ها بستگی دارد. در مرحله ارزیابی پایداری، تاثیرات ردپای آب از جنبه‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی ارزیابی می‌شود و در مرحله آخر گزینه‌های پاسخگویی، برنامه‌های راهبردی و سیاست‌گذاری‌ها به‌صورت کمی و دقیق بیان می‌شود.

۱- مرحله تعیین اهداف

در شکل (۲) اهداف قابل انتظار از ارزیابی ردپای یک نمونه مطالعاتی (منطقه جغرافیایی، مصرف‌کننده، تولیدکننده و..)، در چارچوب نمودار دسته‌بندی شده است.

- اهداف عمومی:

اهداف عمومی در قالب‌های مختلف تعریف می‌شود. این دسته‌بندی شامل اهداف نهایی، تعیین فاز قطع عملیات و تعیین نوع ردپای آب است. اهداف نهایی را می‌توان به‌صورت بالا بردن آگاهی عموم/کارشناسان/مسئولین، شناسایی نقاط حساس و کلیدی تاثیرگذار بر برنامه‌های تخصیص آب و هشدار به مسئولین، سیاست‌گذاری و تدوین قواعد برای کاهش ردپای آب و تنظیم دقیق و کمی برنامه عمل برای دستیابی به پایداری منابع آب، تنظیم کرد. علاوه‌بر اهداف نهایی، تعیین فاز قطع عملیات ارزیابی (مراحل چهارگانه شکل ۱) جز اهداف عمومی است. تعیین نوع ردپای آب آبی، سبز و یا خاکستری و تعیین بررسی مصارف مستقیم و یا ردپای غیرمستقیم و مقیاس زمانی (یکسال/متوسط چند سال/سری زمانی) در این مرحله قرار دارد.

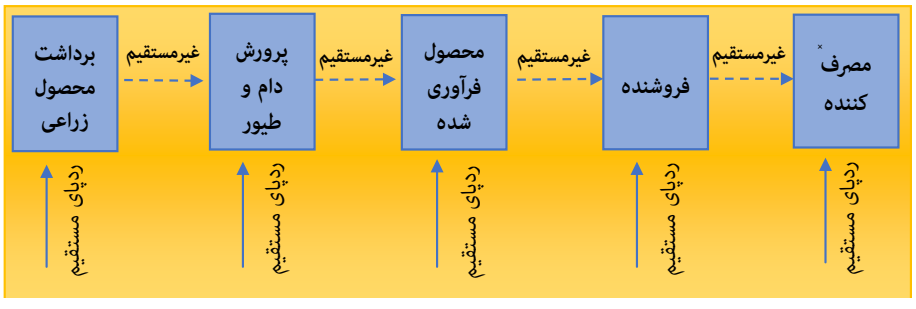


شکل ۲- دسته‌بندی اهداف ارزیابی ردپای آب

ارزیابی ردپای آب محصول/فرایند تولید یک محصول، با یک مصرف‌کننده (تعیین جامعه مصرف)

در ابتدا باید هدف بررسی مشخص شود. دو حالت وجود دارد: ۱- بررسی ردپای آب کل فرایند، ۲- بررسی بخشی از یک فرایند. این موضوع به اطلاعات موجود از میزان مصرف آب در مراحل مختلف تولید وابسته است. در بررسی میزان ردپای آب یک فرایند مشخص در خط تولید یک محصول، باید منطقه جغرافیایی محصول تولیدی مد نظر باشد. زیرا تولید همان محصول در یک منطقه دیگر، ردپای دیگری خواهد داشت. باتوجه‌به هدف مطالعه و داده‌های موجود، یک نام تجاری خاص و یا طیف وسیعی از محصولات، ردپای آب یک کارخانه یا یک مزرعه و یا چند کارخانه یا شرکت و یا ردپای آب کل تولیدات یک ناحیه

صنعتی برای بررسی انتخاب می‌شوند. در شکل (۳) نمونه‌ای از زنجیره تولید یک محصول غذایی (دامی) ارائه شده است. در هر مرحله آب مورد استفاده به‌عنوان ردپای آب مستقیم بوده و برای مرحله بعد ردپای غیرمستقیم محسوب می‌شود.



شکل ۳- مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب در مراحل مختلف تولید

در فرایند تولید، باید نیروی کار مد نظر قرار گیرد. نیازهای یک کارگر، لباس، غذا و آب شرب می‌باشد. بنابراین مصرف مستقیم و غیرمستقیم نیروی کار، به‌عنوان ردپای غیرمستقیم یک محصول تولیدی به‌حساب می‌آید. این امر ممکن است در محاسبه ردپای یک جامعه مشکل ایجاد کند و ردپای افراد دوبار محاسبه شود. یک کارگر می‌تواند مصرف‌کننده کالای تولیدی خود باشد. همچنین حمل و نقل باید در نظر گرفته شود، اگر زنجیره محاسبات ادامه پیدا کند، باید میزان آب مصرفی برای تولید سوخت مشخص شود. برای محاسبه ردپای آب محصول نهایی باید تمام آب مصرف‌شده در مراحل مختلف زنجیره تولید با یکدیگر جمع بسته‌شوند و برای محاسبه ردپای آب یک فرد تمام محصولات مصرف شده توسط او مد نظر قرار گیرد. در مواردی که یک فرایند مشخص در چند محصول مختلف وجود دارد باید سهم فرایند در هرکدام از محصولات مشخص شود.

- ارزیابی ردپای آب کسب و کار:

در این بخش به عناوین مهم در ارزیابی ردپای آب کسب و کار، اشاره می‌شود. ۱- تعیین مقیاس مطالعه (بخشی از یک کارخانه/ یا تمام بخش‌های یک کارخانه)، ۲- ارزیابی ردپای فرایندها به تنهایی یا/توام با ردپای آب کارکنان و نیروی انسانی، ۳- زمینه مورد مطالعه: ارزیابی ریسک‌های پیش‌روی کسب‌وکار در رابطه با آب قابل دسترس، ارزیابی شفافیت مصرف آب در زنجیره تولید که می‌تواند منجر به طراحی برچسب مصرف آب بر روی محصولات شود، ارائه گزارش‌های محیط‌زیستی، صدور مجوزهای تولید و... برخی از اهداف متصور است.

- ارزیابی ردپای آب در یک محدوده جغرافیایی:

بسته به نوع محدوده انتخابی، اهداف ارزیابی ردپای آب در یک محدوده جغرافیایی شامل مراحل ذیل می‌باشد:

۱- ارزیابی توازن آب مجازی ناحیه (واردات و صادرات آب مجازی از طریق کالاها) و تأثیرات آن بر افزایش و یا کاهش منابع آب محدوده مورد مطالعه، ۲- چگونگی تخصیص منابع آب به اهداف مختلف، ۳- بررسی تأثیر ردپای آب درون یک ناحیه بر روی حقابه‌های محیط‌زیستی و استاندارد های کیفی آب.

- ارزیابی ردپای آب در سطح ملی:

برای ارزیابی ردپای آب ملی اهدافی از قبیل بررسی بحران آب در سطح ملی و نقش تولیدات در پایداری منابع آب، تاثیرات صادرات آب مجازی برروی ذخیره منابع آب داخلی و بررسی میزان وابستگی به منابع آب خارجی، لازم است پیگیری شود. باید به تفاوت ردپای آب در داخل کشور و ردپای آب ملی در اثر مصرف ملی (ساکنان کشور) توجه کرد. مقدار آب استفاده شده برای تولید کالا و ارائه خدمات جهت مصرف ساکنان یک کشور، ردپای آب ملی ساکنان آن کشور است و شامل مصرف آب در داخل و واردات کالای تولیدشده در خارج کشور می‌شود. ردپای آب در داخل کشور، کل آب شیرین مصرف شده و یا آلوده‌شده در داخل مرزهای کشور است و دربرگیرنده مصرف آب برای محصولاتی که در داخل تولید شده حتی اگر به خارج از کشور صادر شود.

۲- مرحله محاسبات ردپای آب

بعد از تعیین اهداف باید قابلیت دستیابی به آن‌ها براساس داده‌های موجود سنجیده شود. در این مرحله مشخص می‌شود، عملیات تا کدام مرحله پیش خواهد رفت. تعیین نوع ردپای آبی، سبز و یا خاکستری و محاسبه ردپای مستقیم یا غیرمستقیم، مشخص‌کردن مرحله قطع عملیات در طول زنجیره محاسبات (زنجیره طولانی و درختی)، مقیاس زمانی و مکانی مطالعه و تعیین سری داده‌ها، در این مرحله باید مشخص شود. تعیین سطح و کیفیت داده‌های موجود یک گام اساسی برای تعیین کیفیت

دستیابی به اهداف مورد نظر است. در جدول (۱) داده‌ها در سه سطح مختلف و اهداف قابل دسترسی بر اساس داده موجود در آن سطح، دسته‌بندی شده‌اند. در حوزه تولیدات صنعتی مقدار آب تبخیرشده یا وارد فرایند تولید شده و سایر مصارف به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود اما باتوجه‌به تفاوت مقدار آب برداشت شده و پساب خروجی قابل محاسبه است. برای این‌منظور می‌توان از بانک‌های اطلاعاتی موجود استفاده کرد اما این پایگاه‌های داده‌ای فاقد جزئیات مصرف آب توسط هر یک از فرایندها بوده و تنها به تفکیک واحدهای تولیدی، داده‌های مصرف را ارائه می‌دهند. مراجع موجود در این زمینه یا برای مناطق آمریکا بوده و یا به‌طور عمده داده‌های برداشت را شامل می‌شوند و مصرف واقعی را مدنظر قرار نمی‌دهند. (Vander Leeden و همکاران، ۱۹۹۰؛ Gleick، ۱۹۹۳؛ Weidema و Hischier، ۲۰۱۰). در بخش کشاورزی داده‌های برداشت معمولا برای آب آبی، وجود دارد. محاسبه تبخیر-تعرق گیاه که پایه محاسبه نیاز آبی است، پارامتری است که تحقیقات و مقالات مختلفی در رابطه با آن انجام شده است. در این زمینه مراجع جهانی و منطقه‌ای، وجود دارد و توسط شبکه جهانی رد پای آب نیز منتشر شده است.

جدول ۱- سطح‌بندی داده‌ها و اهداف قابل دسترس

سطح داده‌ها	مقیاس مکانی/ زمانی	اطلاعات لازم برای محاسبه آب مصرفی	برخی از اهداف قابل دسترس
A	متوسط جهانی/ مقیاس سالانه	بانک اطلاعاتی و متون در دسترس از میزان مصرف و آلودگی آب در فرایند تولید	بالا بردن آگاهی، شناسایی اجزایی که بیشترین سهم را در ردپای آب دارند به صورت غیر دقیق، مقدمه توسعه طرح‌های جهانی برای مصرف آب
B	ملی،منطقه‌ای یا حوضه‌ای/ سالانه یا ماهانه	مانند منابع ذکر شده برای سطحA اما ثبت در مقیاس ملی، منطقه‌ای و یا حوضه	تعیین پراکندگی مکانی، کسب دانش پایه برای تعیین موضوعات حساس، اخذ تصمیمات تخصیص منابع آب
C	منطقه محلی مشخص/ماهانه یا روزانه	داده‌اندازه‌گیری مستقیم یا مناسب‌ترین تخمین از مصرف در کل سال	کسب دانش پایه برای ارزیابی پایداری با اندازه‌گیری آب مجازی واقعی، تدوین روش کاهش ردپای آب، بررسی تاثیرات محلی ردپای آب و تجارت آب مجازی

۳- مرحله ارزیابی پایداری ردپای آب

چکیده مفهوم ارزیابی پایداری ردپای آب؛ یافتن پاسخ این پرسش است که با چه ردپایی از آب؛ پایداری کره زمین تأمین خواهد شد. این پرسش از چشم‌اندازهای مختلف قابل ارزیابی است:

• از منظر منطقه جغرافیایی، پایداری زمانی محقق خواهد شد که حقابه‌های محیط‌زیستی در حد استانداردهای کیفی تامین شود و یا تخصیص‌ها به‌صورت عادلانه و کارا صورت گیرد.

• از چشم‌انداز فرایند تولید، ناپایداری دارای دو جنبه است: الف- محل انجام فرایند (بخش خاصی از منطقه جغرافیایی/زیرحوضه) یا زمان انجام فرایند (یک فصل یا دوره خشک) ناپایدار باشد. ب- خود فرایند، یک فرایند ناپایدار باشد.

به‌ندرت پیش می‌آید، ردپای آب یک محصول، یک فرایند و یا یک فرد به‌تنهایی باعث ناپایداری در یک منطقه جغرافیایی شود، بلکه این تأثیرات تجمعی تمام فرایندهای موجود در یک منطقه است که تأثیرگذار خواهد بود. بهترین محدوده جغرافیایی برای ارزیابی پایداری ردپای آب، حوزه آبریز است تا تاثیرات مجموع این فرایندها بر پایداری حوضه سنجیده شود و از جنبه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی بررسی شود.

در هر یک از مقیاس‌های مطالعاتی، مراحل ارزیابی پایداری شامل بندهای ذیل است:

۱- شناسایی و کمی‌سازی شاخص‌های پایداری اولین گام در ارزیابی پایداری است.

۲- دومین مرحله، شناسایی نقاط حساس درون حوزه آبریز است و دوره‌ای از سال است که عدم پایداری وجود دارد. نقاط حساس بخش‌هایی از حوضه است که باتوجه‌به شاخص‌های پایداری از لحاظ کمی/کیفی کمبود دارد. علت ناپایداری می‌تواند به سبب مخاطرات محیط‌زیستی، عدم رعایت استانداردهای کیفی آب، تخصیص‌های ناعادلانه و یا ناکارآمد از لحاظ اقتصادی باشد. بنابراین در این نقاط ردپای آب پایدار نبوده و این ناپایداری به‌صورت کمبود آب، آلودگی یا تعارضات، بروز می‌کند.

۳- مرحله سوم مشخص‌کردن تأثیرات اولیه ناپایداری است. از مهمترین تأثیرات اولیه در حوزه آبریز، تأثیر بر حقابه‌های محیط‌زیستی و کیفیت آب است (چه مقدار آب آبی باید در جریان باشد تا شاخص‌های محیط‌زیستی و کیفی آب در حد استانداردهای تعیین شده باشد.)

۴- در آخر تأثیرات ثانویه ناپایداری مشخص می‌شود. تأثیرات ثانویه از جنس تأثیرات اکولوژیکی، اجتماعی، کاهش تنوع محیط‌زیستی و کاهش امنیت غذایی است.

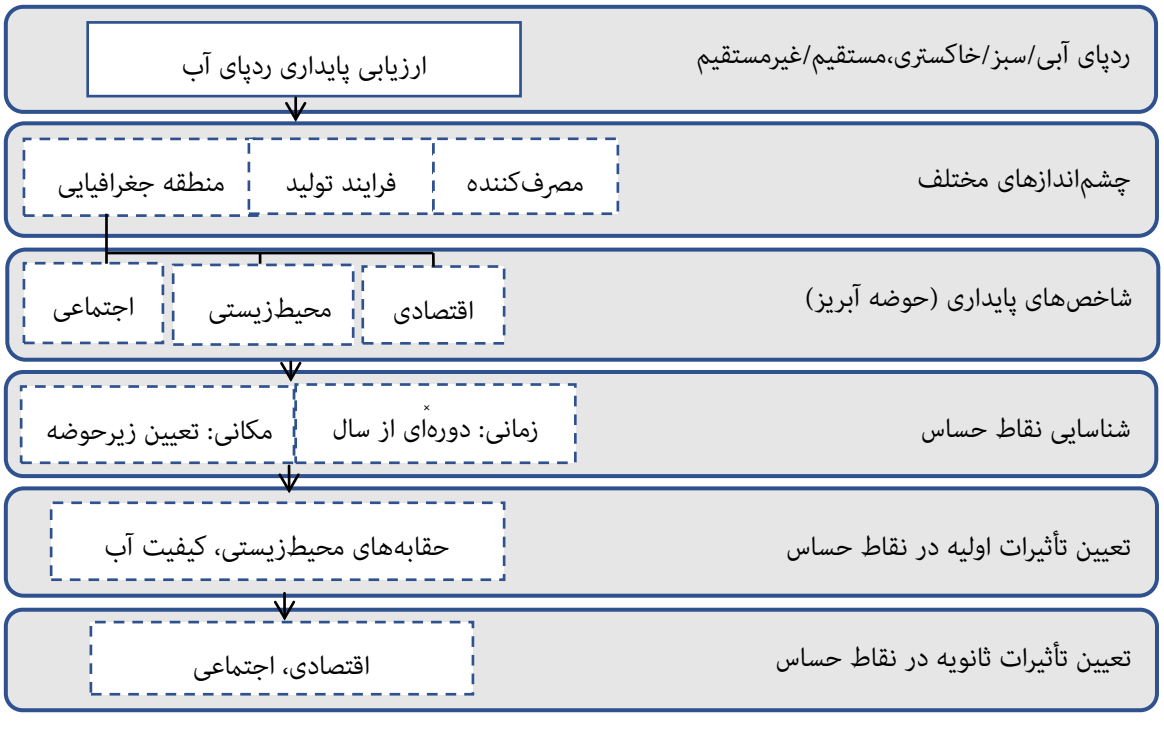
مثال‌هایی برای تعیین شاخص‌های ارزیابی ناپایداری ردپای آب از جنبه‌های مختلف وجود دارد:

• از جمله شاخص‌های پایداری محیط‌زیستی، استانداردهای کیفیت آب، آب تجدیدپذیر و حقابه‌ها می‌باشد.

• شاخص‌های اجتماعی شامل حداقل نیازهای جامعه مانند حداقل آب مورد نیاز برای شرب، بهداشت، شستشو و طبخ غذا است (UN، ۲۰۱۰). حوزه آبریزی که ناپایداری اجتماعی دارد، تامین کسری منابع آب را از طریق واردات از حوضه‌های مجاور می‌تواند برطرف نماید، بنابراین دسترسی یا عدم‌دسترسی به آب کافی برای تولید مواد غذایی ضروری، در مقیاس جهانی بسیار مهم است و در مقیاس حوضه، کمبودها قابل جبران هستند. ناپایداری اجتماعی در یک دیدگاه کل‌نگر، باید ارزیابی شود. به‌عنوان مثال، اگر آب شیرین که یک کالای عمومی است، بیش از حد توسط مصرف‌کنندگان (بالادست) مورد استفاده قرار گیرد، به‌صورت پایدار در اختیار سایرین (پایین‌دست) قرار نمی‌گیرد.

• یکی از شاخص‌های اقتصادی، شاخص هزینه به درآمد و قیمت واقعی آب است. درصورتی‌که قیمت تمام‌شده آب برای مصرف‌کننده کمتر از بهای واقعی آن باشد، اغلب منجر به استفاده ناکارآمد می‌شود.

در شکل (۴) رده‌های مختلف ارزیابی پایداری، ارائه شده است. به‌طور کلی، اگر امکان کاهش ردپای آب (مصرف آب) در اثر استفاده از تکنولوژی بهتر و هزینه‌های اجتماعی قابل قبول، امکان‌پذیر نباشد، در این صورت، ردپای آب (در محدوده مورد مطالعه)، ناپایدار محسوب می‌شود. یعنی اگر با بهبود روش‌های تولید، امکان کاهش ردپای آب فعلی منطقه مورد مطالعه مقدور باشد، در این‌صورت، ردپای آب فعلی، ناپایدار محسوب می‌شود. به‌عبارت‌دیگر نقطه مطلوب، حداقل ردپای آب (حداقل مصرف آب) در یک منطقه است، که راهکاری برای کاهش آن وجود ندارد. به‌عنوان مثال، بسیاری از انواع آلودگی‌های آب در فرایندهای تولید قابل اجتناب است و بازچرخانی کامل آب منجربه به عدم پساب خروجی واحد تولیدی می‌شود. بنابراین تقریباً تمام فرایندهایی که ردپای آب خاکستری (آب آلوده‌شده) دارند، ناپایدار محسوب می‌شوند. همچنین بسیاری از فرایندهای تولیدی با ردپای آبی (مصرف آب آبی)، ناپایداری ایجاد می‌کنند، زیرا در صنعت به‌غیر از آبی که در بافت محصول گنجانده می‌شود؛ بقیه مصارف از جمله تبخیر در فرایند تولید؛ قابل مدیریت است. در کشاورزی می‌توان با استفاده از روش‌های نوین از تبخیر بیش‌ازاندازه (ردپای آب ناپایدار) جلوگیری کرد. در بخش تدوین قواعد در این مقاله، این موارد در جدول ارائه شده است. تاکنون شاخص‌های واضحی برای تعیین پایداری یا ناپایداری تک‌فرایندهای تولید وجود ندارد و بسیاری از معیارها وابسته به قضاوت‌های شخصی بر اساس فن‌آوری موجود، انتخاب می‌شوند. بنابراین باید شاخص‌های جهانی و استاندارد برای تعیین حدکثر ردپای آب قابل‌قبول در هر واحد تولید تولید شود.



شکل ۴- ساختار ارزیابی پایداری ردپای آب

۴- مرحله سیاست‌گذاری و تدوین قواعد

در این مرحله برای کاهش ردپای آب در نقاط (بخش‌های) حساس (بحرانی) و تعیین سهم هریک از ذی‌نفعان و نهادهای مختلف، در کاهش ردپای آب، سیاست‌گذاری‌های لازم و برنامه‌های عملی به‌صورت کمی مشخص می‌شود. در یک نگرش کلی، دولت، مصرف‌کنندگان، کشاورزان، موسسات تولیدی و خدماتی و سرمایه‌گذاران، نهادهای سهیم در یک محدوده جغرافیایی هستند. باید در سطح ملی، نقش و نحوه تعامل نهادهای دولتی و وزارتخانه‌ها مشخص شود. گزینه‌های کاهش ردپای آب، توسط نهادهای مختلف (شکل ۵) و به تفکیک انواع آب مصرف‌شده در صنعت و کشاورزی (جدول ۲)، جمع‌بندی شده است.

جدول ۲- روش‌های کاهش ردپای آب براساس نوع مصرف آب

ردپای آب	کاهش ردپای آب کشاورزی	درصدقابل کاهش	کاهش ردپای آب صنعت	درصد قابل کاهش
آبی	افزایش بهره‌وری کشت، افزایش کارایی آبیاری، اصلاح الگوی کشت، افزایش سهم آب سبز در کشت دیم	براساس روش‌ها و مناطق مختلف، متفاوت است	جلوگیری از تبخیر، بازچرخانی کامل	غیر از آب نهان در کالای نهایی مصرف آب آبی می‌تواند صفر شود
سبز	بهره‌وری در کشت دیم و آبی، اصلاح الگوی کشت	متفاوت در مناطق مختلف	در صنعت کاربرد ندارد	-
خاکستری	کاهش/بهبود استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی	با کشت ارگانیک ردپای آب خاکستری می‌تواند صفر شود	عدم آلودگی با بازچرخانی کامل و استفاده از سیستم خنک‌کننده و استفاده مجدد پساب	می‌توان به صفر رساند

شکل ۵- کاهش ردپای آب (مستقیم و غیرمستقیم) توسط نهادهای مختلف

چشم‌انداز فعلی کشور

چارچوب اصلی این مقاله بر روی بررسی چهار رکن اساسی ارزیابی ردپای آب یعنی تعیین اهداف، محاسبات، ارزیابی پایداری و سیاست‌گذاری استوار است. تعیین اهداف و مرحله محاسبات لازم و ملزوم همدیگر هستند. رسیدن به اهداف مورد نظر، مستلزم موجود بودن داده‌های مورد نیاز است. کیفیت داده‌ها میزان دستیابی به اهداف را تعیین می‌کند. لازم به ذکر است، مرحله ارزیابی پایداری ردپای آب در مطالعات جهانی کمتر مورد توجه قرار گرفته و تدوین قواعد کمی مستلزم فراهم کردن مقدمات پیشین و ارائه طرح‌های پژوهشی و عملیاتی است. بنابراین سطح‌بندی کیفیت اطلاعات برای وضع موجود کشور و بررسی کمبودهای موجود برای دستیابی به اهداف ارزیابی ردپای آب یک مرحله اساسی است.

باتوجه‌به مراحل چارچوب ارزیابی ردپای آب تشریح‌شده در این مقاله، مطالعات انجام‌شده در کشور از نظر دست‌آورد و دستیابی به اهداف متصور از مطالعات ردپای آب (مرحله ۱)، در جهت افزایش آگاهی و هشدار درباره آب مجازی و بیان نقاط ضعف و قوت آن بوده و به‌طورعمده تا مرحله محاسبات (مرحله ۲)، پیش‌رفته‌اند. اگرچه مطالعات انجام‌شده، ارزشمند هستند اما قابلیت ارائه پاسخ‌های دقیق برای کاهش عملی ردپای آب را یا نداشته و یا به‌صورت کاملا موردی و جزئی جواب‌هایی را ارائه می‌دهند. بنابراین عملا مراحل دوم و سوم ارزیابی ردپای آب در حال حاضر امکان‌پذیر نیست. وضعیت کشور از نظر اطلاعات موجود که پیش‌زمینه ورود به مراحل اول و دوم است، در جدول (۳) ارائه شده است. این جدول براساس جدول (۱) که جز دستورالعمل ارزیابی ردپای آب است تنظیم شده است.

جدول ۳- کمبودهای داده‌ای کشور برای رسیدن به اهداف و راهکارها

سطح	داده‌های موجود برای ایران	سطح قابل دستیابی به هدف در ایران (براساس داده‌های موجود)	کمبود داده و اطلاعات	راهکارها/پیشنهادات/اقدامات
A	داده‌های متوسط جهانی ردپای آب برای محصولات کشاورزی و دامی، تخمین نیاز آبی محصولات کشاورزی با معادلات تجربی، استفاده از داده‌های ، ضرایب گیاهی و... بدون واسنجی.	ایجاد آگاهی در مورد ردپای آب، شناسایی نسبی اجزایی که بیشترین سهم را در ردپای آب دارند به‌صورت غیر دقیق و مقدمه‌ای برای توسعه طرح‌های ملی	-	ترجمه و تالیف متون و دستورالعمل‌های لازم برای ایجاد آگاهی بیشتر و زمینه‌سازی‌های لازم و انجام مطالعات پایه برای شناسایی کمبودها
B	استفاده از متون مرجع و داده‌های جهانی تعیین آب مجازی محصولات کشاورزی و دامی ثبت شده برای ایران و داده‌های ردپای آب ملی	تعیین غیر دقیق ردپای آب خالص کشور (تفاوت واردات و صادرات)، تهیه نقشه‌های کلی پراکندگی مکانی ردپای آب	داده‌های جریان آب مجازی در داخل کشور (بین شهرستان‌ها/استان‌ها)	مطالعات پایه و توسعه روش‌های کارآتر محاسبه تبخیر-تعرق واقعی، مطالعات شیوه‌های محاسبه ردپای آب کلیه محصولات اعم از صنعتی و خدمات، ثبت اطلاعات مربوط به ورود کالا به شهرستان/ استان، ایجاد بانک اطلاعاتی و سامانه‌های هوشمند دسترسی آسان و سریع به اطلاعات تبادل کالا در پایانه‌ها
C	داده‌های موجود همانند سطوح قبل است تنها ممکن است برخی مطالعات موردی و محلی برای روش‌های تبخیر و تعرق و داده‌های محاسبه نیاز آبی گیاهان وجود داشته باشد	به دلیل کمبود داده‌های اندازه‌گیری‌شده محلی دستیابی به اهداف پایداری ردپای آب دارای عدم قطعیت بالائی بوده و قادر به تدوین راهکارهای دقیق برای کاهش ردپای آب نیست. عدم امکان بررسی تاثیرات محلی تجارت آب مجازی.	داده‌های آب مصرفی در زنجیره تولید (کشاورزی، صنعتی، خدمات)، اطلاعات پتانسیل/ مزیت نقاط مختلف کشور از نظر تولید باتوجه‌به آب مجازی	محاسبه آب مصرف‌شده در تمام مراحل زنجیره تولید کالاهای کشاورزی، صنعتی و خدمات، ایجاد لایسیمتر دقیق در مناطق مختلف کشور برای محاسبه دقیق مصرف آب گیاهان و ارزیابی استعداد مناطق مختلف برای تولید و ارائه برنامه الگوی کشت و الگوی تولید برای محصولات صنعتی، فراوری شده و دامی.

جمع‌بندی

چارچوب ارائه شده در این مقاله، یک دستورالعمل کلی و بر اساس استانداردهای جهانی است. با گسترش مطالعات محلی و پیاده‌سازی این چارچوب، امید است چارچوب عملیاتی ارزیابی ردپای آب برای کشور شکل گیرد. تدوین این چارچوب برای کشور می‌تواند همسو با تجربیاتی باشد که در سایر کشورهای جهان در حال انجام است. این هماهنگی، دستورالعمل‌های موجود را هرچه بیشتر به‌سمت چارچوب‌های استاندارد در عین حال کاربردی، پیش خواهد برد. برخی نارسایی‌هایی که در کاربرد مفهوم ردپای آب در کشور وجود دارد، به شرح ذیل است:

۱- مشکلات ساختاری، ناشی از کمبودهای موجود از نظر زیرساخت‌های داده و اطلاعات در کشور (جدول ۳) و ناپختگی خود «چارچوب ارزیابی ردپای آب» از نظر کاربرد عملی و نبود تجربه اجرای کامل این چارچوب در کشور است.

۲- نوع نگرش به سیستم ردپای آب از نظر جامع و به‌هم‌پیوسته که دو وجه دارد. الف- جزیی‌نگری در درون سیستم ردپای آب. درصورتی‌که مفهوم ردپای آب تنها در تجارت آب مجازی بین کشورها خلاصه شود یا تصمیم‌گیری‌های مدیریتی تنها بر مبنای محاسبات چند محصول محدود و براساس داده‌های ناقص، انجام گیرد، این مشکل نمایان می‌شود. ب- وجه دیگر، عدم نگرش جامع در ارتباط بین ردپای آب با سایر نهاده‌های تولید (خاک، زمین و..)، عدم هماهنگی با سیاست‌گذاری‌های سایر بخش‌ها، امنیت غذایی و عدم حل تعارضات است.

بنابراین کاربرد عملی آب مجازی در مدیریت منابع آب با چالش‌های «کاربردی و محلی» تا «استراتژیک و ملی» متعددی روبه‌رو است. یکی از بزرگترین مشکل‌ها، کمبود اطلاعات لازم برای محاسبه تبادلات آب مجازی درون کشوری است. برای انجام محاسبات هم مقدار محصولات و کالاهای تبادل شده و هم آب مجازی هر محصول مورد نیاز است. بارنامه‌های مبادلات تجاری صرفاً در پایانه مبدا ثبت می‌شوند؛ لذا مقصد در بسیاری از موارد مشخص نیست و برای به‌دست آوردن اطلاعات بار ورودی به هر نقطه از کشور، باید تمام بارنامه‌های صادره از سراسر کشور گردآوری و پردازش شوند. درحال‌حاضر باتوجه‌به کمبود داده‌های محلی و عدم مطالعات پایه، در ایران امکان ارزیابی کامل چارچوب ردپای آب؛ که مرحله آخر آن تدوین سیاست‌های کمی و دقیق کاهش ردپای آب به‌صورت پایدار است؛ وجود ندارد. با اتکا به مطالعات موردی و داده‌های موجود می‌توان نسبت به موضوع ردپای آب آگاهی‌بخشی نمود و اقدامات موردی و مقطعی انجام داد. درصورتی‌که داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز فراهم نشود، دستیابی به سطوح مطلوب برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و تخصیص شایسته این منابع ذی‌قیمت و یکتا به مصارف مختلف، ممکن نخواهد بود.

تشویق پژوهش‌های مستند برای ارزیابی آب مورد نیاز فرآیندهای تولید در کشاورزی و صنعت اولین اقدامی است که در این راستا باید صورت پذیرد. نشر گزارش‌های تجارت آب مجازی بر پایه آمار و اطلاعات بین‌المللی، جهت معرفی مفهوم آب مجازی و ترویج کاربرد آن بوده و این به‌منظور دخالت در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی نمی‌باشد. تکرار مطالعات مشابه اگر صرفاً برای افزایش آگاهی باشد، ارزشمند است. اما اکنون، زمان آن فرا رسیده با عبور از مطالعات کلی و راهنما به پژوهش‌های دقیق و راهگشا پرداخته شود. به‌این‌منظور، باید با عزمی ملی نسبت به فراهم نمودن داده‌های کافی و دقیق اقدام شود و بستر لازم برای دخالت‌دادن آب مجازی در مدیریت منابع آب مهیا شود باید به اهمیت تبادلات آب مجازی درون کشور بین مناطق مختلف، توجه ویژه شود؛ زیرا اتکا به ظرفیت‌های درون کشور، تاحدودی مخاطرات ناشی از تجارت بین‌المللی و مساله امنیت غذایی را بهبود می‌بخشد. بنابراین علاوه‌بر فهم ردپای آب در فرایند تولید محصولات مختلف، باید اطلاعات کافی درباره جریان آب مجازی، به‌واسطه جابه‌جایی کالا وجود داشته باشد. بنابراین باید، ۱- به مطالعه آب مجازی در کشور و شناسایی مزیت‌های زراعی/باغی/صنعتی هر استان پرداخت. ۲- ثبت مبادلات (بارنامه‌ها) ورودی و خروجی باید به‌صورت اساسی متحول شده و ارتقا یابد. اولین اقدام، ثبت مدون و دقیق بارنامه‌ها در مبدا و مقصد است. برای انسجام‌بخشی به مطالعات ردپای آب و سنجش ارتباط آن با سایر بخش‌ها می‌توان در تاسیس مرکز ملی ردپای آب اهتمام ورزید. این مرکز می‌تواند با شبکه‌های جهانی ردپای آب همسو شود و چارچوب‌ها و دستورالعمل‌های ردپای آب برای کشور را تهیه کند. این نهاد باید مسئولیت تولید شاخص‌های ملی و ارزیابی پایداری ردپای آب را با هدف نهایی کاهش مصرف آب در تمام بخش‌های تولیدی، خدماتی و مصرفی کشور در سطوح و اشکال مختلف، بر عهده گیرد. چنین نهادهایی با انجام مطالعات کاربردی می‌توانند در سیاست‌گذاری‌های کلان کشاورزی و صنعتی (تعیین الگوی کشت و تولید سراسری کشور)، و تبادلات تجاری بین‌المللی (با محوریت تجارت آب مجازی) سهیم بوده و اعمال نظر کنند.

پی‌نوشت

1- Water Footprint Assessment

سپاسگذاری

بدینوسیله از جناب آقای دکتر داوری، استاد دانشگاه فردوسی مشهد، برای راهنمائی‌های ارزنده‌شان در تدوین این مقاله، قدردانی می‌شود.

منابع

احسانی، م.، خالدی، ه. و برقی، ی. ۱۳۸۷. مقدمه‌ای بر آب مجازی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. مشهد. ایران.

اویسی، ف.، فتاحی، ا. و فهرستی، م. ۱۳۹۸. بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب در محصول گندم آبی استان اصفهان. مجله علوم آب و خاک، ۲۳(۱): ۸۷-۹۹.

باغستانی، ع.، مهرابی، ح.، زارع، م. و شرافتمند، ح. ۱۳۸۹. کاربرد مفهوم آب مجازی در مدیریت منابع آب ایران. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، ۶(۱): ۸-۳۸.

تهامی‌پور، م. و قربانی، م. ۱۳۹۵. اندازه‌گیری و تحلیل جایگاه تجارت آب مجازی در بخش صنعت و معدن ایران. آب و توسعه پایدار، ۳(۱): ۵۹-۷۲.

حکمت‌نیا، م.، حسینی، م. و صفدری، م. ۱۳۹۸. ارزیابی وضعیت مصرف آب کشت خرما در استان سیستان و بلوچستان با تکیه بر مفهوم آب مجازی، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۲): ۵۱۳-۵۲۴.

دهقان، ح.، نیک‌سخن، م. و اردستانی، م. ۱۳۹۲. برآورد آب مجازی حوضه آبخیز و نقش آن در سامانه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای. مجله مهندسی منابع آب، ۶: ۱۰۱-۱۱۴.

رضوی، س. و داوری، ک. ۱۳۹۲. نقش آب مجازی در مدیریت منابع آب. آب و توسعه پایدار، ۱(۱): ۹-۱۸.

روحانی، ن.، یانگ، ه.، امین، س.، افیونی، م.، موسوی، ف. و کامگار، ع. ۱۳۸۷. ارزیابی مبادله محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران. نشریه علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی،۱۲(۴۶):۴۱۷-۴۳۲.

سادات‌حسینی، آ.، مهرگان، ن. و ابراهیمی، م. ۱۳۹۵. تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با تأکید بر بیشینه کردن منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۸(۳۱):۱۲۳-۱۴۴.

شرزه‌ای، غ. و برقعی، م.ظ. ۱۳۹۲. تأثیر تولید ناخالص داخلی سرانه بر رد پای آب ملی. فصلنامه علوم محیطی،۱۱(۲):۱-۸.

عربی، ا، علیزاده، ا. و نی‌ریزی، س. ۱۳۸۸. بررسی تأمین امنیت غذایی براساس مفاهیم مبادله آب مجازی و رد پای بوم شناختی آب (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). نشریه بوم شناسی کشاورزی، ۱(۱): ۱-۱۲.

محمدی، ح. ۱۳۹۱. آثار آزادسازی تجارت بر رفاه مصرف کنندگان و تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، مبادله آب مجازی و پایداری منابع: مطالعه موردی در استان فارس، اقتصاد کشاورزی، ۶(۳): ۱۴۵-۱۷۶.

موحدنژاد، ا.، رمضانی، ه. و شکوهی، ع. ۱۳۹۸. استفاده از مفهوم ردپای آب مجازی در تولیدات دامی برای حفاظت منابع آب، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۸(۳): ۱۳۳-۱۴۳.

Aldaya M.M., Garrido A., Llamas M.R., Varela-Ortega C., Novo P. and Casado R.R. 2009. Water footprint and virtual water trade in Spain. In A. Garrido and M.R. Llamas (eds.) Water policy in Spain. London, UK.

Alcamo J., Henrichs T. and Roesch T. 2000. World Water in 2025. Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. Kassel World Water Series Report 2. Centre for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany.

Allan J.A. 1997. Virtual water: a long term solution for water short Middle Eastern economies. WaterIssues Group, School of Oriental and African Studies, University of London, London.

Alizadeh A. and Keshavarz A. 2005. Status of agricultural water use in Iran. In Water conservation, reuse, and recycling: Proceedings of an Iranian-American workshop, Washington DC, USA.

Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., Savenije H.H.G. and Gautam R. 2006. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecological Economics, 60:189-203.

Gleick P.H. 1993. Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press, Illustrated Edition, Oxford.

Hoekstra A.Y. 2003. Virtual water trade. In A.Y. Hoekstra (ed.) Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, 12-13 Dec. 2002. Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.

Hoekstra A.Y. and Chapagain A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater

of cotton on fresh water resources and ecosystems: A preliminary analysis. WWF, Gland, Switzerland.

UN. 2010. The human right to water and sanitation, UN General Assembly, 64th session, Agenda item 48, UN, New York.

Van der Leeden F., Troise F.L. and Todd D.K. 1990. The Water Encyclopedia, second edition, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.

WWAP. 2009. Water in a changing world, World Water Assessment Programme, The United Nations World Water Development Report 3: UNESCO Publishing, Paris, Earthscan, London.

Weidema B. and Hischier R. 2010. ecoinvent data v2. 2. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART: Zürich and Dübendorf, Switzerland.

Yang H., Reichert P., Abbaspour K.C. and Zehnder A.J. 2003. A water resources threshold and its implications for food security. Environ Sci Technol, 37:3048-3054.

resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M. and Mekonnen M.M. 2009. Water Footprint Manual. Water Footprint Network Enschede, Netherlands.

Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M. and Mekonnen M.M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.

Kuiper J., Zarate E. and Aldaya M. 2010. Water footprint assessment, policy and practical measures in a specific geographical setting, A study in collaboration with the UNEP Division of Technology, Industry and Economics, Water Footprint Network, Enschede, Netherlands.

Smakthin V., Revenga C. and Doll. P. 2004. Taking into Account Environmental Water Requirements in Globalscale Water Resources Assessments. Comprehensive Asessment of Water Management in Agriculture Research Report, Colombo, Sri Lanka.

Soth J., Grasser C. and Salerno R. 1999. The impact