تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۵/شماره ۹۷/ زمستان ۱۴۰۳/صفحه ۳۴ - ۱۵

نوع مقاله: یادداشت فنی

# بررسی وضعیت آب مجازی گندم آبی و ارائۀ راهکارهای فنی و سیاستی برای بهبود آن در ایران

نادر حیدری*[1]، فرشید تاران[2]

[1]*دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
[2]استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

## چکیده

**مفهوم آب مجازی در قرن بیست و یکم به‌عنوان شاخصی کلیدی برای ارزیابی مصرف بهینۀ آب در تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه در مواجهه با بحران کمبود آب، برجسته شده است. این مطالعه به بررسی و تحلیل آب مجازی گندم آبی در ایران پرداخته است که یکی از محصولات راهبردی کشاورزی شناخته می‌شود. این مطالعه تفاوت‌های مقدار آب مجازی گندم آبی را در استان‌ها و اقلیم‌های مختلف کشور بررسی کرده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد میزان آب مجازی گندم آبی در ایران در دامنۀ وسیع ۲۸٤-۳۵۲۳ مترمکعب بر تن قرار دارد و به‌طور متوسط برابر ۱٤۰۰ مترمکعب بر تن و ۵۰ درصد بالاتر از میانگین میزان آب مجازی گندم در تعدادی از کشورهای جهان (۹۳۰ مترمکعب بر تن) است. بر این اساس، بیشترین آب مجازی آبی (دامنۀ ۳۵۲۳-۱۵۳۹ مترمکعب بر تن) مربوط به استان‌های خوزستان، کرمان، سمنان، بوشهر، سیستان و بلوچستان، اصفهان، فارس، یزد، و بخش‌هایی از استان‌های قم، کرمانشاه، خراسان جنوبی، خراسان شمالی، چهارمحال و بختیاری، و آذربایجانشرقی با متوسط ۲٦۱۰ مترمکعب بر تن است. کمترین آب مجازی آبی (دامنه ۵۸٦-۲۸٤ مترمکعب بر تن) مربوط به استان‌های مازندران، همدان، گلستان، کردستان، کهکیلویه و بویراحمد و مناطقی از استان‌های خراسان جنوبی، مرکزی، هرمزگان، و ایلام با متوسط ٤۵۱ مترمکعب بر تن است. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد اکثر مناطق تحت کشت گندم در ایران (حدود ۵۳ درصد زمین‌های تحت کشت آبی)، در مناطق با بحران کم‌آبی واقع شده‌است. کشت گندم از ابعاد مقدار نیاز آبی و کارایی مصرف آب پتانسیل در استان‌های مختلف دارای درجات متفاوتی از برتری است. از جنبۀ مقدار آب مجازی آبی، کشت گندم در دو استان گلستان و اردبیل که نسبتا مشکل کم‌آبی ندارند و مقدار آب مجازی گندم در آن‌ها پایین نیز هست، برتری زیادی دارد. استان خوزستان نیز در صورت بهبود مدیریت آبیاری، با توجه به اقلیم مناسب و گرمای هوا و امکان استفاده مناسب از بارش‌های زمستانه در فصل رشد و رسیدگی سریع محصول، برای کشت گندم دارای برتری است. کشت گندم در برخی مناطق ایران، به‌ویژه در مناطق مرکزی و جنوب شرقی، مناسب نیست. نتایج این بررسی بر لزوم مدیریت بهینۀ منابع آب کشاورزی و انتخاب راهبردی مناطق و سطح تحت کشت گندم در الگوی کشت ملی از جنبه برتری تولید مرتبط با نیاز آبی، محدودیت منابع آب، بهبود بهره‌وری و کاهش مقدار آب مجازی، کاهش ضایعات، و تجارت آب مجازی گندم تأکید دارد.**

**واژه‌های کلیدی:** تولید، کمبود آب، مدیریت منابع آب، مصرف آب

## مقدمه

یکی از معضلات قرن بیست و یکم که آیندۀ زندگی بشر را در این کره خاکی به شدت تهدید می‌کند، کمبود آب است. میزان آبی که در فرایند تولید هر محصول مصرف می‌شود، آب نهفته یا آب مجازی آن محصول نامیده می‌شود (Allan, 2011). در تجارت جهانی کالاها در واقع آب مجازی آنها انتقال می‌یابد که سبب به‌وجود آمدن جریان مجازی از آب بین کشورهای مختلف خواهد شد. ایران از نظر منابع آب در وضعیت بحرانی قرار دارد و از این رو توجه به میزان آب مجازی محصولات کشاورزی اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

نگارنده مسئول: **Email:** nrheydari@yahoo.com
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.367448.1596

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مفاهیم ردپای آب (WFP)[1] و تجارت آب مجازی (VWT)[2] اخیراً به ادبیات علمی معرفی شده‌اند تا به پایداری منابع آب از نظر کمیّت و کیفیت کمک کنند (Xinchun *et al*., 2017). این مفاهیم به تحلیل دقیق‌تر مصرف و آلوده شدن آب در فرآیند تولید هر محصول کمک می‌کنند (Ewaid *et al*., 2020). به عبارت دیگر، از آنجاکه مفهوم آب مجازی در بردارنده آب پنهانی است که در تمام فرایند تولید و فراوری محصول مصرف می‌شود، در فراوری محصولات مختلف مانند تولید محصولات لبنی یا محصولات دامی دیگر، این آب از حالت خالص و پاک آن خارج می‌شود و آلوده به مواد شیمیایی مختلف خواهد شد و پساب زیادی در فرآیند تولید محصول نهایی به‌دست می‌آید. از این رو در مفهوم آب مجازی باید علاوه بر مصرف آب به صورت کمّی، تغییر کیفی آن و در واقع حجم پساب و آب آلوده شده از آن را نیز اندازه‌گیری و لحاظ کرد.

آب مجازی یکی از شاخص‌های کمبود آب و ارزیابی بهره‌وری آب[3]، مفهوم تازه‌ای است که در سال‌های اخیر توجه برنامه‌ریزان و صاحب‌نظران علوم آب را به خود جلب کرده است. علاوه بر محدودیت آب، محدودیت‌های مالی و زمانی عوامل مهم دیگری هستند که امکان بهره‌برداری کارامدتر را از منابع موجود با مشکل مواجه می‌کنند. به همین دلیل در سال‌های اخیر در کنار مدیریت عرضه (تأمین منابع آب)، مدیریت تقاضا نیز باید با توجه به مفهوم آب مجازی در نظر گرفته شود (Mekonnen and Hoekstra, 2011).

تولید و صادرات گندم برای کشور ایران اهمیت زیادی دارد و حمایت‌های اساسی دولت‌ها معطوف به این محصول راهبردی بوده است. در سطح جهانی نیز گندم یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی به شمار می‌رود که نقش حیاتی در تأمین غذای جمعیت رو به رشد بشر دارد. اتحادیهٔ اروپا با تولید بیش از ۱۵۶ میلیون تن گندم در سال ۲۰۱۵، بزرگترین تولیدکننده این محصول بوده است و چین و هند در مقام‌های بعدی قرار دارند (Mirbagheri *et al*., 2016). در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ میلادی، اتحادیهٔ اروپا با ۱۳۵ میلیون تن تولید سالیانه بزرگترین تولیدکننده این محصول بوده است (Heydari, 2022). این میزان تولید تغییرات زیادی تاکنون نداشته است و بر اساس آمار جدیدتر (سال ۲۰۲۳) برابر ۱۳۵/۵ میلیون تن بوده است (Statista. 2025a). میزان گندم تولیدی چین و هند در سال ۲۰۲۳ به ترتیب برابر با ۱۳۶/۶ و ۱۱۲ میلیون تن تخمین زده شده است (Statista. 2025 b, c). در اینجا هدف مقایسهٔ میزان تولید برخی قطب‌های تولید کننده گندم در جهان است نه مقایسهٔ دو به دو کشورها. اتحادیهٔ اروپا متشکل از کشورهای مختلف اروپایی است و سیاست‌های واحدی دارد که از نظر تولید گندم، با توجه به آنکه تولیدات گندم این کشورها بیشتر برای صادرات است تا مصرف داخلی، می‌تواند بر کشورهای وارد کنندهٔ عمده تاثیرگذار و مهم باشد. در حالیکه در قارهٔ آسیا سیاست کشورها هم‌راستا نیست و از طرفی اولویت کشورهای عمدهٔ تولیدکننده گندم مانند چین، روسیه، و هند بیشتر بر مصرف داخلی متکی است و مشخص نیست که هدف آنها بیشتر صادرات است یا تولید غذای جمعیت زیاد خود آنها.

در ایران، گندم محصولی کلیدی در سیاست‌های کشاورزی و اقتصادی است. این محصول در تمامی استان‌ها کشت می‌شود و با وجود ظرفیت‌های بالقوه کشور، میزان واردات این محصول همچنان بالاست. بر اساس آمار سازمان توسعه تجارت ایران[4]، میزان واردات گندم ایران در سال ۱۴۰۲ برابر با ۴/۴۷۳ میلیون تن بوده است. ضریب خودکفایی گندم در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ نوسان‌های زیادی داشته و به‌طور متوسط ۷۵ درصد بوده است (Mohammadjani & Yazdanian, 2014). بر اساس آمار سال ۱۴۰۱ میزان تولید گندم آبی و دیم ایران به ترتیب برابر ۸/۸۱ و ۴/۴۷ میلیون تن بوده است (Agricultural Statistics Yearbook, 2022).

[1] Water Foot Print
[2] Virtual Water Trade
[3] Water Productivity
[4] https://amarfact.com/statistics/import-weight-of-basic-goods-to-iran/?utm_source=chatgpt.com

سیاست خودکفایی در تولید گندم از هدف‌های مهم کشور است و قانون تضمین خرید محصولات کشاورزی نیز به حمایت از تولید گندم پرداخته است. بررسی آمارها نشان می‌دهد که طی برنامه‌های پنج ساله توسعهٔ اول تا چهارم، بیشترین میزان تولید و سطح زیر کشت گندم مربوط به سه سال اول برنامه چهارم توسعه بوده است (Ahmadvand & Najafpour, 2010).

با توجه به محدودیت منابع آب و ضرورت استفادهٔ بهینه از آن برای تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی، اهمیّت کشت گندم در کشور ایران، به دلیل راهبردی بودن این محصول، بسیار بالا است. گندم نه تنها یکی از اصلی‌ترین منابع تامین غذای جمعیت رو به رشد کشور است، بلکه نقش کلیدی در سیاست‌های کشاورزی و اقتصادی ایران دارد. به دلیل مصرف گستردهٔ آب در فرآیند تولید گندم آبی، مفهوم آب مجازی این محصول نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. تجارت آب مجازی یا انتقال بین استانی گندم می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر برای کاهش کمبود آب در مناطق کم‌آب کشور استفاده شود. با انتقال آب مجازی از استان‌های با مازاد تولید به استان‌های دارای کمبود گندم، می‌توان از منابع آبی موجود به شکل بهینه‌تری بهره‌برداری و امنیت غذایی کشور را تضمین کرد.

به‌رغم آنکه در بعضی از منابع معمولا شاخص آب مجازی به صورت عکس بهره‌وری آب تعریف می‌شود، ولی آن برداشت سطحی از موضوع است و بیان مسائل مدیریت آب در قالب آب مجازی و ردپای آب که معمولا متخصصان منابع آب بیشتر به آن تمایل دارند، رویکرد دیگری به موضوع است. مسائل بهره‌وری آب محصولات مختلف از جمله گندم در مقالات زیادی قبلا ارائه و چاپ شده‌اند و از این رو رویکرد بررسی مدیریت آب از جنبهٔ آب مجازی محصولات مختلف با اهمیت است که می‌تواند در مسائل مدیریت آب از جنبه‌های صادرات و واردات محصولات کشاورزی راهبردی به خصوص گندم، مورد استفاده دستگاه‌های متولی اقتصاد و بازرگانی کشور (مانند وزارت صمت و اتاق بازرگانی ایران) قرار گیرد. با توجه به ابعاد وسیع کار، تمرکز این مقاله بر محصول راهبردی گندم است که سالانه حجم زیادی از واردات محصولات کشاورزی ایران را به خود اختصاص می‌دهد و ارز زیادی بابت آن صرف می‌شود. در این مقاله (یادداشت فنی)، ضمن بررسی وضعیت آب مجازی گندم آبی در کشور، تحلیل‌های لازم شده است تا راهکارهای مناسبی برای مدیریت بهینهٔ منابع آبی و کاهش آب مجازی گندم تولیدی ارائه شود.

## مفهوم و تعریف آب مجازی

اصطلاح آب مجازی، اولین بار در دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط تونی آلن به صورت مجموع آب مصرف‌شده برای تولید مقدار معینی از محصول (اعم از کالا، فرآورده‌های کشاورزی، یا حتی خدمات) تعریف شد (Allan, 2011). برای مثال، آب مجازی یک عدد گوجه فرنگی (۷۰ گرمی) ۱۳ لیتر (۰/۱۸۵ لیتر بر گرم) است، یا برای تولید یک کیلوگرم گندم (از مرحلهٔ کاشت تا برداشت) به‌طور متوسط ۱۳۰۰ لیتر آب مورد نیاز است (۱/۳ مترمکعب بر کیلوگرم)، که آن را مقدار آب مجازی گندم می‌نامند (Ehsani, 2009). مقدار آب مجازی همچنین می‌تواند از جمع کل آب مصرف‌شده در مراحل مختلف زنجیره تولید تا محصول نهایی (مثلا آب مجازی آرد گندم یا نان) محاسبه شود (Ehsani *et al.*, 2008). صفت مجازی در تعریف بالا بدین معنی است که بخش عمده آب مصرف‌شده طی فرآیند تولید در محصول یا کالای نهایی به صورت فیزیکی وجود ندارد. برای نمونه، بهره‌وری آب پرتقال در استان فارس به‌طور متوسط ۱/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب (Shahrokhnia *et al.*, 2023) است که معادل آب مجازی برابر با ۷۶۹ مترمکعب بر تن یا ۷۶/۹ لیتر در هر ۱۰۰ گرم (۱۰۷/۷ لیتر در ۱۴۰ گرم) محصول است. وزن متوسط یک پرتقال در ایران حدود ۱۴۰ گرم است. در هر ۱۰۰ گرم پرتقال حدود ۰/۰۸۵ لیتر آب (آب میوه) (۰/۱۱۹ لیتر در ۱۴۰ گرم) وجود دارد[1]. مشاهده می شود

[1] https://tools.myfooddata.com/nutrition-facts/169097/ wt1&https://www.delgarm.com/cooking/properties-of-food

که آب مجازی برای تولید یک عدد پرتغال ۱۴۰ گرمی بسیار بزرگ‌تر و حدود ۹۰۵ برابر آب درون (آب میوه) یک عدد میوهٔ پرتقال است.

در سال ۲۰۰۳، هوکسترا و همکاران (Hoekstra *et al.*, 2011) تعریف کامل‌تری از آب مجازی ارائه دادند "آب مجازی، مجموع آب مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول (کالا)، با توجه به شرایط اقلیمی، مکانی، زمان تولید و راندمان است". بر اساس تعریف اخیر، شرایط اقلیمی، مکان و زمان تولید، مدیریت و برنامه‌ریزی، و فرهنگ و عادات مردم در میزان آب مجازی مؤثرند و مقدار آن در یک محصول در مناطق مختلف قطعاً متفاوت خواهد بود. منابع علمی دیگری مفهوم آب مجازی را بر اساس اندازه‌گیری یا تخمین مقدار کل آب مصرفی و پساب تولید شده در فرآیند تولید یا زنجیرهٔ تأمین هر محصول تعریف کرده‌اند (Ewaid *et al.*, 2020). در فرآیند تولید هر کالا یا هر محصول ممکن است منابع مختلف آب مانند آب زیرزمینی، آب سطحی، چشمه‌ها، آب باران، پساب‌های تصفیه شده و غیره به‌کار گرفته شده باشد، که در آن صورت نوع منبع تأمین آب و کیفیت آن می‌تواند در تعیین و تحلیل آب مجازی نقش بسزایی داشته باشد. این مفهوم منجر به معرفی و طبقه‌بندی آب‌های مجازی به سه رنگ آبی، سبز و خاکستری شده است. آب مجازی سبز به آب باران ذخیره‌شده در خاک، آب مجازی آبی به آب‌های سطحی و زیرزمینی، و آب مجازی خاکستری به آب‌های آلوده شده در فرآیند تولید محصولات اشاره دارد (Mekonnen and Hoekstra, 2011).

مهم‌ترین چالش آب مجازی اندازه‌گیری و ارائهٔ مقدار استاندارد آن در مزرعهٔ تولیدی تا مرحلهٔ مصرف محصول است. پرسش‌ها و چالش‌هایی که در این زمینه وجود دارند آن است که آیا حجم آب مجازی محصولات کشاورزی با میزان تعرّق گیاهان در دورهٔ رشد برابر است یا دقیقاً همان مقدار آبی است که گیاه واقعاً مصرف می‌کند؟ آیا اندازه‌گیری آب مجازی باید در سطح مزرعه، یعنی از محل تحویل آب در سر مزرعه، ملاک محاسبه قرار گیرد؟ و آیا در محاسبهٔ آب مجازی راندمان‌ها، تلفات آب و تبخیر از سطح کانال‌ها باید از نقطه تحویل تا محل مصرف را در نظر گرفت؟ با پذیرش هر یک از تعریف‌های بالا، مقدار آب مجازی نیز به تناسب تغییرات زیادی خواهد داشت. در حالتی که صرفاً نیاز واقعی مصرف آب گیاه ملاک قرار گیرد کمترین مقدار آب مجازی و در حالتی که راندمان آبیاری، تلفات آب در کانال‌ها و آب ورودی در بالاترین نقطه تحویل ملاک سنجش باشد آب مجازی بیشترین مقدار را نشان خواهد داد (Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 2009a).

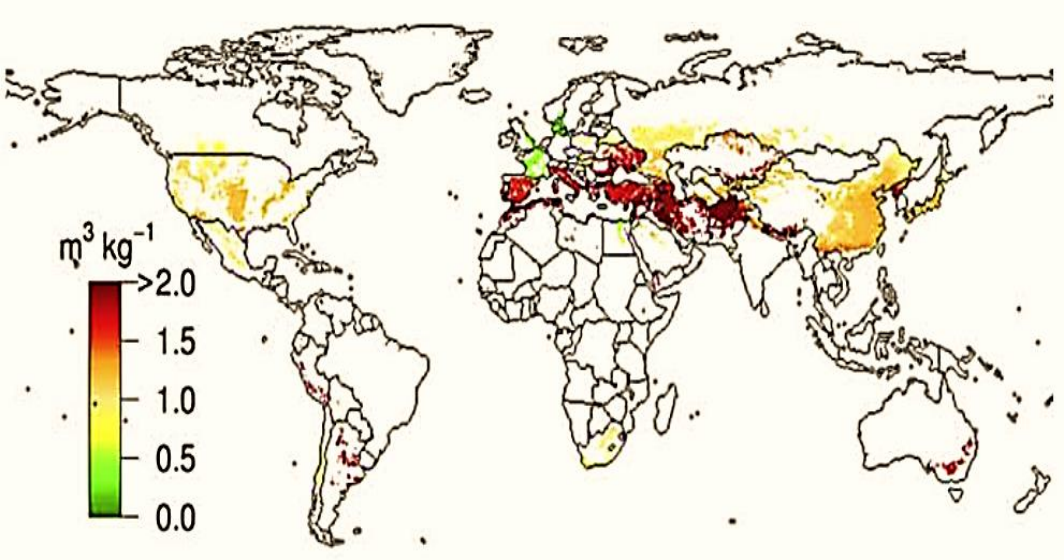
## وضعیت آب مجازی گندم آبی در برخی از کشورهای جهان

در جدول (۱)، مقدار آب مجازی گندم آبی (بر اساس آب آبی) در برخی کشورهای مهم جهان ارائه و در شکل (۱) نیز نقشهٔ پهنه‌بندی آب مجازی شبیه‌سازی شدهٔ غلات آبی در مناطق معتدل آبی در دورهٔ ۲۰۰۳-۱۹۹۹ برای مناطق مختلف جهان آورده شده است (Fader *et al.*, 2010). مشاهده می‌شود که مقدار آب مجازی آبی محصولات کشاورزی در جهان بسیار متغیر است. در مناطق وسیعی از آفریقا مقادیر آن بیشتر از ۲۰۰۰ مترمکعب بر تن است، در حالی که در اروپای مرکزی، به دلیل عملکرد بالای محصول و مصرف کم‌آب آبی، این مقدار کمتر از ۵۰۰ مترمکعب بر تن است (Fader *et al.*, 2010). بر اساس شکل (۱)، کشورهای اروپای مرکزی، شرق آمریکا و جنوب شرقی چین حداقل مقادیر متوسط آب مجازی آبی غلات (۳۰۰ مترمکعب بر تن) را دارند، در حالی که خاورمیانه، آفریقا و بعضی مناطق آمریکای جنوبی مقادیر بزرگ‌تری از آب مجازی (تا ۵۰۰۰ مترمکعب بر تن) برای تولید غلات دارند (Fader *et al.*, 2010).

**جدول ۱- مقدار آب مجازی (آب آبی[۱]) گندم آبی برخی کشورها و مناطق جهان**

**Table 1- Virtual water content (blue) of irrigated wheat in some countries and regions of the world**

| کشور / منطقه Country/region | آب مجازی آبی (مترمکعب بر تن) Virtual water ($m^3$/tons) | منبع Source | کشور / منطقه Country/region | آب مجازی آبی (مترمکعب بر تن) Virtual water ($m^3$/tons) | منبع Source |
|---|---|---|---|---|---|
| استرالیا | ۵۰ | Muratoglu (2020) | هند | ۱۶۰۰و ۱۰۰۰ | Muratoglu (2020); Ehsani (2009) |
| انگلستان | ۵۰۰ | Ehsan (2009) | دجله و فرات | ۸۵۰ | Muratoglu (2020) |
| ایالات متحده امریکا | ۱۰۰ | Muratoglu (2020) | سوریه | ۷۸۰ و ۳۰۰ | Muratoglu (2020); Renault (2002) |
| ترکیه | ۱۱۶۱- ۷۴۸ | Muratoglu (2020) | عراق | ۳۶۰۰ | Muratoglu (2020) |
| تونس | ۱۱۷۰ | Renault (2002) | مراکش | ۱۲۳۰ | Renault (2002) |
| چین | ۱۰۷۱-۴۰۰ | Muratoglu (2020); Sun *et al.*(2013) | مصر و دلتای نیل | ۷۵۰ و ۵۰۰ | El-Marsafawy *et al.* (2018); Renault (2002) |




**شکل ۱- آب مجازی شبیه‌سازی شده (مترمکعب بر کیلوگرم) غلات آبی مناطق معتدل جهان در دورهٔ ۲۰۰۳-۱۹۹۹ (Fader *et al.*, 2010)**

**Fig.1-Simulated virtual water ($m^3$/Kg) of irrigated cereals in temperate zones of the world in 1999-2003 (Fader *et al.*, 2010)**

[۱] مقدار آب مجازی صرفا مبتنی بر مصرف آب آبیاری (کشت آبی)

طبق داده‌های جدول (۱)، کشور عراق در بین کشورهای منتخب دارای بالاترین میزان آب مجازی گندم آبی (۳۶۰۰ مترمکعب بر تن) است که می‌تواند ناشی از شرایط آب و هوایی خشک و نیاز به آبیاری زیاد، و پایین بودن راندمان آبیاری در این کشور باشد. مقدار بالای آب مجازی در عراق چالش‌های جدّی در زمینهٔ مدیریت منابع آبی این کشور ایجاد کرده و نیازمند سیاست‌گذاری‌ها و کاربرد فناوری‌های پیشرفته برای بهبود بهره‌وری آب است. از سوی دیگر، ایالات متحده آمریکا و استرالیا کمترین مقدار آب مجازی آبی را دارند. زیرا اعداد ارائه شده در جدول (۱) بیانگر مقدار آب آبیاری (آب آبی) کاربردی در کشورهاست و برای کشورهایی مثل استرالیا و ایالات متحده ارقام آب مجازی پایین (به ترتیب برابر ۵۰ و ۱۰۰ مترمکعب بر تن) به این دلیل بوده است که بخش زیادی از آب مصرفی برای تولید گندم از بارش‌ها تامین شده است و تولید آن حالت نیمه دیم داشته است. این نکتهٔ مهمی است که کشت گندم در کشورهایی که بارش مناسبی در فصل رشد دارند و مابقی آب مورد نیاز به صورت آب آبیاری تکمیلی به کار برده می‌شود، برتری خوبی دارد ولی برای کشورهای خشکی مثل عراق با آب مجازی ۳۶۰۰ مترمکعب بر تن بیانگر آن است که تمام تولید با آب آبیاری و با فشار بر منابع آب بوده است.

به طور کلی، مقدار پایین آب مجازی نشان‌دهندهٔ بهره‌وری آب زیاد در کشاورزی و فرآیند تولید در این کشورها و استفاده از فناوری‌های پیشرفتهٔ آبیاری است. استرالیا با توجه به شرایط خشک خود توانسته است با مدیریت بهینهٔ منابع آب، مقدار آب مجازی آبی محصولات کشاورزی خود را به حداقل برساند. انگلستان، مصر، سوریه، و تا حدی ترکیه نیز در رده‌های پایین مقدار آب مجازی (۷۴۸-۳۰۰) قرار دارند (جدول ۱). این تنوع در مقدار آب مجازی غلات آبی و به خصوص گندم، نشان‌دهندهٔ تفاوت‌های منطقه‌ای و آب و هوایی و مدیریت آب و تولید در نواحی مختلف این کشورها است. بر اساس جدول (۱)، میانگین آب مجازی کشورها حدود ۹۳۰ مترمکعب بر تن است. البته این نکته را هم نباید از نظر دور داشت که در کشورهای عمدهٔ تولید کنندهٔ گندم مانند هندوستان، یکی از عوامل تولید زیاد ممکن است سطح زیر کشت بالای محصول باشد و الزاماً تولید در واحد سطح چندان بالا نباشد. در ایران بیشتر زمین‌های تحت کشت گندم به صورت سنتی و سطحی آبیاری می‌شود، ولی در کشورهایی مانند آمریکا و استرالیا که زمین‌های زیر کشت به طور عمده با سیستم‌های مدرن آبیاری می‌شوند نمی‌توان نقش فناوری‌های پیشرفته را در این زمینه از نظر دور داشت.

## وضعیت آب مجازی گندم آبی در ایران

در جدول (۲) مقدار آب مجازی گندم آبی در استان‌های مختلف ایران ارائه شده است. بر این اساس، بیشترین آب مجازی (دامنه ۳۵۲۳-۱۵۳۹مترمکعب بر تن) در استان‌های خوزستان، کرمان، سمنان، بوشهر، سیستان و بلوچستان، اصفهان، فارس، یزد، و بخش‌هایی از استان‌های قم، کرمانشاه، خراسان جنوبی، خراسان شمالی، چهارمحال و بختیاری، و آذربایجان‌شرقی با متوسط ۲۶۱۰ مترمکعب بر تن است که نشان‌دهندهٔ نیاز شدید آبی برای تولید محصولات کشاورزی و شرایط اقلیمی خاص این مناطق است. کمترین آب مجازی (دامنهٔ ۵۸۶-۲۸۴ مترمکعب بر تن) نیز در استان‌های مازندران، همدان، گلستان، کردستان، کهکیلویه و بویراحمد و مناطقی از استان‌های خراسان جنوبی، مرکزی، هرمزگان، و ایلام و با متوسط ۴۵۱ مترمکعب بر تن دیده می‌شود که حاکی از بهره‌وری آب زیاد، اقلیم مناسب، و نیاز آبی کمتر محصول در این مناطق است. آب مجازی گندم آبی بقیه استان‌های کشور در بین این دو دامنه قرار می‌گیرد.

**جدول ۲- مقدار آب مجازی گندم آبی در استان‌های مختلف ایران**

**Table 2- Virtual water content of irrigated wheat in different provinces of Iran**

| استان Province | آب مجازی آبی (مترمکعب بر تن) Virtual water (Blue) ($m^3$/tons) | منبع Source | استان Province | آب مجازی آبی (مترمکعب بر تن) Virtual water (Blue) ($m^3$/tons) | منبع Source |
|---|---|---|---|---|---|
| آذربایجان شرقی | ۱۸۲۱ | Aligholinia *et al*. (2017) | فارس | ۱۳۰۲ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| | ۱۱۶۶ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | | ۹۸۶ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۱۱۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | | ۱۴۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |
| | | | | ۱۶۷۵ | Ehsani (2009) |
| | ۱۷۰۱ | Aligholinia *et al*., (2017) | قزوین | ۱۰۹۹-۱۰۱۱ | Omidi & Homaee (2015) |
| آذربایجان غربی | ۱۱۶۵ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۱۲۱۲ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| | ۹۵۵ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | | ۱۲۰۳ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۱۲۵۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | | ۱۳۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |
| | | | | ۱۴۱۰ | Ehsani (2009) |
| اردبیل | ۱۰۷۱ | Aligholinia *et al*. (2015) | قم | ۱۵۳۹ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| | ۷۴۸ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۷۱۹ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۸۳۶ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | | ۱۴۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |
| | ۱۰۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | کردستان | ۹۹۲ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| | ۱۴۵۰ | Ehsani (2009) | | | |
| اصفهان | ۲۲۱۳ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۵۸۶ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۱۵۸۹ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | | ۱۲۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |
| | ۱۵۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | کرمان | ۳۲۴۷ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| | ۱۴۹۰ | Ehsani (2009) | | | |
| البرز | ۹۴۱ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۷۱۰ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۷۳۶ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | | ۱۷۵۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Aligholinia *et al*. (2017) | ۵۹۴ | کرمانشاه | Aligholinia *et al*. (2017) | ۵۷۳ | ایلام |
| Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۶۲۸ | | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۸۱۰ | |
| Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۱۰۰ | | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۴۰۰ | |
| Khoramivafa *et al*. (2017) | ۳۵۲۳ | | Aligholinia *et al*. (2017) | ۱۵۷۴ | بوشهر |
| Aligholinia *et al*. (2017) | ۵۳۰ | کهگیلویه و بویر احمد | Najafi alamdarlu *et al*. (2015) | ۱۲۳۴ | |
| Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۱۲۷۳ | | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۲۸۰۰ | |
| Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۶۰۰ | | Aligholinia *et al*., (2017) | ۱۲۱۵ | تهران |
| Aligholinia *et al*. (2017) | ۴۳۶ | گلستان | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۸۶۳ | |
| Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۷۲۴ | | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۰۵۰ | |
| Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۹۵۰ | | Aligholinia *et al*. (2017) | ۱۳۳۶ | چهارمحال و بختیاری |
| Aligholinia *et al*. (2017) | ۱۲۱۴ | گیلان | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۲۵۳۵ | |
| Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۸۶۲ | | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۴۵۰ | |
| Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۳۰۰ | | Aligholinia *et al*. (2017) | ۲۸۵ | خراسان جنوبی |
| Aligholinia *et al*. (2017) | ۱۳۰۹ | لرستان | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۱۷۴۴ | |
| Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۸۳۳ | | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۹۵۰ | |
| Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۴۰۰ | | Aligholinia *et al*. (2017) | ۱۳۴۳ | خراسان رضوی |
| Aligholinia *et al*. (2017) | ۲۸۴ | مازندران | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۱۵۸۹ | |
| Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۳۴۴ | | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۴۰۰ | |
| Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۵۵۰ | | Aligholinia *et al*. (2017) | ۱۱۷۰ | خراسان شمالی |
| Aligholinia *et al*. (2017) | ۵۶۶ | مرکزی | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۱۶۸۴ | |
| Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | ۱۰۳۲ | | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | ۱۵۵۰ | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| خوزستان | ۱۵۵۰ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۱۴۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |
| | ۱۳۸۷ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | هرمزگان | ۱۴۷۵ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| | ۱۵۸۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | | ۸۶۴ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۱۴۴۰ | Hasili *et al*. (2017) | | ۱۴۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |
| | ۱۶۷۰ | Ehsani (2009) | | | |
| زنجان | ۱۳۴۳ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۴۹۰ | Bazrafshan *et al*. (2018) |
| | ۱۱۳۵ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | همدان | ۳۲۶ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| | ۱۴۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | | ۷۸۳ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۱۹۹۷ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | یزد | ۲۶۱۷ | Aligholinia *et al*. (2017) |
| سمنان | ۳۳۴۹ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۱۹۷۷ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) |
| | ۱۱۱۱ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | | ۲۴۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) |
| | ۱۵۵۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | در مقیاس ملی | ۱۱۶۱-۱۵۹۰ | Omidi (2017) |
| سیستان و بلوچستان | ۲۳۵۰ | Aligholinia *et al*. (2017) | | ۶۵۰ | Keshavarz (2017) |
| | ۱۱۵۹ | Najafi Alamdarlu *et al*. (2015) | | ۹۸۰-۱۰۵۰ | Omidi & Homaee (2015) |
| | ۲۰۰۰ | Vafaei & Bazr Afshan (2017) | | ۸۵۰ | Muratoglu (2020) |
| | ۳۴۲۰ | Salari *et al*. (2015) | | | |

ارقام جدول (۲) نشان می‌دهد دامنهٔ آنها حتی برای استان خاص نسبتا زیاد است. یکی از دلایل توجیهی می‌تواند آن باشد که مدیریت آب، تولید و بهره‌وری آب بسیار وابسته به مدیریت کشاورزی و سواد و دانش و سایر متغیرهای اقلیمی است. این وضعیت درارقام ارائه شده برای تمامی مطالعات و منابع علمی مرتبط با جمع‌بندی مقادیر شاخص‌های مدیریت آب مانند راندمان آبیاری، تعیین آب کاربردی در واحد سطح برای محصولات کشاورزی مختلف (Abbasi *et al*., 2017 ; Abbasi & Abbasi, 2024)، مشاهده می‌شود که خود به نوعی گواهی از آن دارد که در صورت اصلاح مدیریت مزارع و رفع محدودیت‌ها و ناکارآمدی‌های مدیریت تولید و آب، پتانسیل زیادی برای افزایش بهره‌وری آب و کاهش آب مجازی وجود دارد. بر اساس ارقام جدول (۲)، متوسط حسابی صرفاً با متوسط‌گیری اعداد ردیف‌های جدول (۱) آب مجازی گندم آبی در کشور برابر ۱۴۰۱ مترمکعب بر تن برآورد می‌شود که ۵۱ درصد بالاتر از میانگین جهانی یعنی ۹۳۰ مترمکعب بر تن متوسط آب مجازی ارقام کشورهای ارائه شده در جدول (۱) است. میانگین آب مجازی گندم آبی، حدود ۱۴۰۱ مترمکعب بر تن در سطح ایران، نشان‌دهندهٔ نیاز به بهبود بهره‌وری در مصرف آب کشاورزی و اصلاح

فرآیند تولید محصولات کشاورزی از نظر کاهش مصرف آب و افزایش عملکرد و کارایی در تمام مراحل تولید تا مصرف غذا در کشور است. با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران، مدیریت منابع آبی کارآمد و استفاده از فناوری‌های نوین می‌تواند به کاهش مقدار آب مجازی محصولات کشاورزی و به خصوص گندم کمک کند. بر اساس پهنه‌بندی مرتبط با مقدار آب مجازی گندم (آب آبی)، مناطق شرقی و مرکزی ایران دارای حداکثر مقدار آب مجازی آبی (۳۴۰۰-۲۰۰۰ مترمکعب بر تن) و مناطق شمالی، غربی، شمال‌غربی، و تا حدی جنوبغربی کشور دارای مقدار آب مجازی کمتری (۱۹۰۰-۹۰۰ مترمکعب بر تن) هستند (Aligholinya *et al.*, 2019).

استان‌های مختلف ایران با توجه به شرایط جغرافیایی و آب و هوایی مقدار آب مجازی متفاوتی دارند. مناطقی با شرایط خشک و نیاز به آبیاری بیشتر، آب مجازی بالاتری دارند. استان‌هایی که از فناوری‌های پیشرفتهٔ آبیاری و مدیریت منابع آبی کارآمد بهره می‌برند، مقدار آب مجازی محصولات تولیدی آنها کمتر است. نمونه‌ای از این استان‌ها، استان‌های البرز و فارس هستند که با وجود شرایط خشک، بهره‌وری بالایی در مصرف آب دارند و در نتیجه محصولات تولیدی آنها آب مجازی کمتری دارند. استان‌هایی مانند خوزستان و کرمان نیز با مقدار زیاد آب مجازی، چالش‌های جدی در مدیریت منابع آبی خود دارند. تفاوت‌های منطقه‌ای قابل توجهی در میزان آب مجازی در استان‌های مختلف ایران مشاهده می‌شود که نشان‌دهندهٔ تأثیر عواملی چون روش‌های آبیاری و شرایط آب و هوایی است. البته این یک نتیجه‌گیری منطقی است که معمولا در صورت استفاده مناسب از فناوری‌های پیشرفته آبیاری و بهبود راندمان آبیاری، حجم آب کاربردی در واحد هکتار کاهش می‌یابد و از این رو مقدار آب مجازی محصولات نیز کاهش خواهد یافت و پیش‌بینی و انتظار آن است که در استان‌هایی که سیستم‌های آبیاری نوین گسترش مناسبی یافته‌اند عملکرد بالاتر، آب مصرفی کمتر و در نهایت دارای آب مجازی کمتری برای محصولات خود باشند. استان‌هایی که در آن‌ها ضریب پوشش سیستم‌های نوین آبیاری کم تا متوسط است ولی باز گندم آبی آب مجازی نسبتا کمی دارد (مانند استان‌های فارس و البرز)، احتمالاً کشاورزان این مناطق دارای سواد و دانش تجربی و قدمت بیشتری در تولید گندم هستند و یکی از عوامل می‌تواند چنین مؤلفه‌ای نیز باشد.

## بحث

تغییرات اقلیمی و نوسان‌های منابع آبی به‌طور فزاینده‌ای به چالش‌هایی جدی برای کشاورزی و امنیت غذایی جهانی تبدیل شده‌اند. در این زمینه تحلیل عملکرد و مقدار آب مجازی[1] (VWC) سه محصول اصلی (گندم، جو و کلزا) در منطقهٔ آلبرتای کانادا نشان داد در بازه‌های زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۹ و ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۴ عملکرد و مقدار آب مجازی سه محصول مذکور تحت تأثیر شدید تغییرات اقلیمی قرار خواهد گرفت (Masud *et al.*, 2019). پیش‌بینی می‌شود که پتانسیل صادرات سالانهٔ آب مجازی از این محصولات به حدود ۱۳۸ میلیارد مترمکعب برسد. این مقدار ۴۷ درصد از کل بارش و ۶۱ درصد از تبخیر و تعرّق واقعی منطقه را شامل می‌شود. در نتیجه، تجارت گندم از آلبرتا به بیش از صد کشور جهان در دورهٔ ۲۰۰۵-۱۹۹۶ موجب صرفه‌جویی سالانه در حدود ۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی درکشورهایی شده است که گندم از آلبرتا به آنها صادر شده است. به عبارت دیگر به دلیل صادرات گندم از این منطقه، کشورهایی که این گندم را وارد کرده‌اند، نیازی به مصرف این مقدار معادل آب برای تولید گندم نداشته‌اند، بنابراین آب مجازی برابر با ۵ میلیارد مترمکعب در این کشورها ذخیره شده است. این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت منابع آب در سطح محلی و جهانی برای کشاورزی پایدار تأکید می‌کنند.

[1] Virtual water conrent

در ایران حدود نیمی از نواحی کشت گندم در مناطقی با کمبود آب قرار دارند. تحقیقات نشان داده است که ۳۱ تا ۱۰۰ درصد از کمبود گندم در این مناطق می‌تواند با تولید مازاد سایر استان‌ها تأمین شود. این مطلب بدان معناست که استان‌های دارای کمبود گندم می‌توانند ۵/۵-۳/۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی را با واردات گندم از سایر استان‌ها دریافت کنند (Faramarzi., 2010). در بحث مدیریت تخصیص آب و الگوی کشت منطبق با آن باید کل محصولات و مبادلات آبی مرتبط را لحاظ کرد و برای تصمیم‌گیری کلان موضوع صرفا نتایج تحقیقات به‌دست آمده از یک محصول کفایت نمی‌کند.

در ایالات متحده، در مطالعه‌ای ضمن معرفی شاخص "نسبت واردات ناپایدار" (UIF) تأکید شده است که بخش زیادی از تجارت غلات معمولی و نرم‌دانه بین شهرستان‌های مجاور است. این تحقیق نشان می‌دهد که یک‌سوم شهرستان‌های آمریکا ۷۵ درصد یا بیشتر از آب مجازی خود را از مناطق کم‌آب وارد می‌کنند. در سال ۲۰۱۷، ایالت تگزاس[1] بزرگ‌ترین واردکننده و ایالت میزوری[2] بزرگ‌ترین صادرکننده غلات آمریکا شناخته شدند. این وابستگی به آب مجازی، خطرهایی برای پایداری منابع آبی این ایالت‌ها ایجاد می‌کند و نگرانی‌هایی درباره تأثیرات منفی بر محیط زیست و منابع آبی را به وجود می‌آورد. تعداد ایالت‌هایی از آمریکا که غلات و محصولات نرم‌دانه را از مناطق کم‌آب وارد می‌کنند از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ به طور مداوم در حال افزایش بوده است. این روند، نیاز به اتخاذ سیاست‌های تجاری و مدیریت منابع آبی مؤثر را بیش از پیش ضروری ساخته است (Rathore *et al*., 2023).

در هند، غلات نقش اساسی در رژیم غذایی مردم دارند و ۴۷ درصد از انرژی غذایی روزانه را تأمین می‌کنند. با این حال، کاهش ذخایر آب زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق اصلی تولید غلات، چالشی جدی برای تأمین مواد غذایی در سطح ملی به شمار می‌آید. برآوردها نشان می‌دهند که ۴۰ درصد (۹۴ میلیون تن) از کل عرضهٔ غذایی غلات در سال ۲۰۱۱–۲۰۱۲ بین ایالت‌های مختلف هند مبادله شده است. این مقدار معادل ۵۴ میلیارد مکعب آب مجازی آبی و ۹۹/۴ میلیارد مترمکعب آب مجازی سبز است. در این کشور، ۴۱ درصد از غلات تولیدی در ایالت‌هایی به دست می‌آید که ذخایر آب زیرزمینی آن‌ها بیش‌ازحد برداشت شده است و ۲۱ درصد دیگر در ایالت‌هایی با کاهش بحرانی ذخایر آب زیرزمینی تولید می‌شوند. این وابستگی به منابع آب تحت بحران، تهدیدی جدی برای امنیت غذایی هند محسوب می‌شود (Harris *et al*., 2020).

مطالعات بالا نشان می‌دهند که درک بهتر از روابط بین تجارت محصولات کشاورزی و منابع آبی محلی می‌تواند به کشورهای مختلف کمک کند تا در جهت تأمین امنیت غذایی و حفظ پایداری منابع آبی خود گام بردارند. در این راستا، پیشنهادهای زیر را می‌توان برای بهبود وضعیت ارائه داد. به‌کارگیری این رویکردها و پیشنهادها می‌تواند به بهبود امنیت غذایی و پایداری منابع آبی در سطح محلی و جهانی کمک کند. با درک عمیق‌تر از چالش‌ها و فرصت‌های موجود، کشورهای مختلف می‌توانند گام‌هایی مؤثر برای رو به رو شدن با تغییرات اقلیمی و نوسان‌های آب بردارند:

- کشورها باید سیاست‌های مؤثری برای مدیریت منابع آب محلی تدوین کنند تا وابستگی به واردات آب مجازی از مناطق کم‌آب کاهش یابد. این موضوع شامل تقویت قوانین حفظ آب و بهینه‌سازی استفاده از منابع آبی موجود است.
- گسترش سیستم‌های تولید متنوع‌تر و تشویق به کشت محصولات با نیاز آبی کمتر در مناطق کم‌آب می‌تواند به افزایش تاب‌آوری سیستم‌های غذایی

[1] Texas
[2] Missori

کمک کند. این استراتژی‌ها می‌توانند شامل استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و شیوه‌های کشاورزی پایدار باشند.

- استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری و بهبود مدیریت آب از طریق آموزش کشاورزان و استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌تواند به بهبود کارایی مصرف آب و کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی کمک کند.
- تجدیدنظر در سیاست‌های تجارت داخلی و کاهش صادرات غلات از مناطق کم‌آب می‌تواند به جلوگیری از فرسایش بیشتر منابع آبی کمک کند و امنیت غذایی را حفظ کند. این سیاست‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که توسعهٔ پایدار و حفاظت از منابع آبی را ترویج کنند.

در قرن بیست و یکم کمبود آب به یکی از معضلات اصلی جهانی تبدیل شده است که تأثیرات عمده‌ای بر زندگی بشر دارد. ایران، با توجه به وضعیت بحرانی منابع آب خود، با این چالش به‌شدت مواجه است. مفهوم آب مجازی، به میزان آب مصرف‌شده برای تولید هر واحد از محصول اشاره دارد و برای محصولات راهبردی مانند گندم اهمیت ویژه‌ای دارد. گندم در کشور و حتی در جهان محصولی راهبردی محسوب می‌شود و سطح زیر کشت زیادی (تقریبا ۴۰ درصد زمین‌های تحت کشت آبی کشور)[1] را دارد (Heydari, 2022). بر اساس آمارنامهٔ سال ۱۴۰۱، سطح زیر کشت گندم آبی و دیم در ایران به ترتیب برابر با ۲۳۶۹۷۱۶ هکتار (۳۶/۵ درصد زمین‌های تحت کشت آبی) و ۴۵۳۸۸۲۹ هکتار (۷۴/۶ درصد زمین‌های تحت کشت دیم) بوده است (Agricultural Statistics Yearbook, 2022). تحقیقات نشان می‌دهند که گندم به‌دلیل مصرف بالای آب در فرایند تولید و عملکرد پایین، دارای مقدار آب مجازی زیادی است. به استثنای مناطق شمالی کشور، اکثر مناطق تحت کشت گندم در ایران (حدود ۵۳ درصد زمین‌های تحت کشت گندم آبی)، در مناطق با بحران کم‌آبی واقع شده‌اند. بر اساس آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱، رتبه دوم میزان تولید محصولات آبی در کشور مربوط به گندم آبی با تولید حدود ۱۰/۵ میلیون تن و سهم ۱۳/۹ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی آبی است که استان‌های خوزستان با سهم ۱۷/۸ درصد، فارس با سهم ۱۲/۸ درصد، خراسان رضوی با سهم ۶/۹ درصد، کرمانشاه با سهم ۶/۵ درصد، و آذربایجان غربی با سهم ۶/۳ درصد در رتبه‌های اول تا پنجم تولیدکنندگان گندم آبی کشور قرار داشته‌اند. این پنج استان نسبتا کم آب جمعا در حدود ۵۰/۴ درصد از کل تولید گندم آبی کشور را تامین کرده‌اند (Agricultural Statistics Yearbook, 2024). این پنج استان حدود ۴۵ درصد منابع آب کشاورزی کشور را هم در اختیار دارند و شاید طبیعی باشد که حدود ۵۰ درصد تولید گندم کشور را داشته باشند. ولی در سال‌های اخیر با توجه به بحران تغییر اقلیم، استان‌های پر آب مانند خوزستان به‌دلیل کمبود بارش‌ها در سرشاخه‌های حوضه‌های آبریز بالادست، دچار کم‌آبی شده‌اند و از این رو بررسی‌های تکمیلی نیاز است تا معلوم شود چرا هنوز سطح زیر کشت گندم با توجه به پایین بودن نسبی بهره‌وری آب گندم، ۵۰ درصد سطح زیر کشت آبی این استان‌ها را تشکیل می‌دهند؟ این بحث از جنبه‌های الگوی کشت بهینه، بهره‌وری آب اقتصادی، فیزیکی، و مسائل حفاظت از منابع آب کشور نیاز به بررسی‌های عمیق‌تری دارد. دیگر استان‌های تولیدکنندهٔ گندم کشور (مانند استان‌های آذربایجان‌شرقی، اصفهان، سمنان، سیستان و بلوچستان و قزوین) نیز در مناطق با بحران آب قرار دارند. کمبود گندم در این مناطق می‌تواند با واردات گندم و یا با تأمین از تولیدات اضافی دیگر استان‌های با وضعیت بحران آب کمتر جبران شود.

این نتیجه‌گیری از جنبهٔ مقدار آب مجازی و بهره‌وری آب گندم آبی (تقریبا ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب) است که در مقایسه با

[1] با فرض مساحت اراضی تحت کشت آبی کشور تقریبا برابر ۸ میلیون هکتار.

دیگر محصولات با ارزش اقتصادی بیشتر، بهره‌وری آب نسبتا پایین‌تری دارد. برای حل بحران آب، سطح زیر کشت محصولات آبی باید کاهش یابد و با بهینه‌سازی الگوی کشت از آب تخصیصی به بخش کشاورزی باید استفادهٔ بهینه شود و ارزش اقتصادی بالاتری از آن دریافت شود. با توجه به بحث تدوین الگوی کشت جامع در کشور و برای ارائهٔ محصولی کم‌آب‌بر و در حین حال با ارزش اقتصادی بیشتر به‌جای گندم به عنوان یک راهکار تقریبی، می‌توان کشت گیاهان دارویی و روغنی و صنعتی کم‌آب‌بر مانند گلرنگ را در منطقهٔ خرامه استان فارس پیشنهاد داد. این منطقه در سال‌های اخیر با بحران شدید آب روبه‌رو شده است و کشت این محصولات در آنجا رواج دارد (Heydari & Dehghanian, 2018).

استفاده از مزیت‌های اقلیمی و کشت محصولات کشاورزی در مناطقی که از نظر اقلیمی دارای برتری تولید و بهره‌وری آب بیشتر (آب مجازی کمتر) هستند، کشور را قادر می‌سازد که با تمرکز بر تولید در مناطق خاصی که دارای برتری تولید است، و بالعکس محدویت کشت آن محصول در مناطقی که از نظر اقلیمی برتری ندارد، بهینه‌سازی تولید دنبال شود. به منظور بررسی برتری کشت گندم (از ابعاد نیاز آبی و کارایی مصرف آب پتانسیل) در تولید این محصول در کشور، شاخص کارایی مصرف آب گندم آبی تحت کشت در مناطق مختلف و بر اساس نیاز آبی خالص محصولات کشاورزی مبتنی بر سند ملی آب کشور محاسبه و نتایج آنها در جدول (۳) ارائه شده است. هدف از آنچه در جدول (۳) آمده است، ارائهٔ تصویری از کارایی مصرف آب پتانسیل گندم در مناطق با اقلیم‌های مختلف کشور است. در واقع، هدف آن بوده است که با توجه به ماهیّت و فیزیولوژی گیاه گندم، مزیت اقلیمی کشت گندم در مناطق مختلف به صورت ذاتی مشخص شود. بدیهی است عملکرد محصول و میزان مصرف آب بستگی زیادی به مدیریت کشاورز دارد، ولی این جدول گویای آن است که اگر اثر متغیرها و شرایط راندمان آبیاری و مصرف ناخالص آب آبیاری از بررسی و تجزیه و تحلیل‌ها جدا گردد و فقط نیاز آبی خالص مد نظر قرار داده شود، اقلیم‌ها و مناطق مختلف ایران چه استعدادهایی برای کشت گندم دارند. بر اساس ارقام جدول (۳)، شاخص کارایی مصرف آب گندم در مناطق مختلف کشور دامنه‌ای وسیع دارد و مقدار آن از ۰/۵۶ تا ۲/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر می‌کند. این ارقام، نشان‌دهندهٔ آن هستند که حتی برای محصولی معین (در اینجا گندم) مناطق مختلف استعدادهای متفاوتی برای تولید و کارایی مصرف آب آن محصول دارند و برتری کشت محصولات از لحاظ کارایی مصرف آب و مقدار آب مجازی در مناطق مختلف متفاوت است. بر اساس مقدار آب مجازی گندم در استان‌های مختلف، استان‌های گلستان و اردبیل که نسبتا مشکل کم‌آبی ندارند و مقدار آب مجازی گندم در آنها کم نیز هست، برتری بیشتری برای کشت گندم در کشور دارند. خوزستان که به دلیل پایین بودن راندمان آبیاری و تلفات زیاد آب دارای مقدار آب مجازی بیشتری است، در صورت بهبود مدیریت آبیاری با توجه به اقلیم مناسب و گرمای هوا و امکان استفادهٔ مناسب از بارش‌های زمستانه در فصل رشد و رسیدگی سریع محصول، دارای برتری زیادی برای کشت گندم است (جدول ۳).

جدول۳- نیاز خالص آبیاری، عملکرد، وکارایی مصرف آب گندم آبی در مناطق مختلف کشور (Heydari *et al.*, 2005)

**Table 3-Net irrigation water requirement, yield, and water use efficiency (WUE) of irrigated wheat in different regions of Iran (Heydari *et al.*, 2005)**

| استان Province | نیاز خالص آبیاری (*) (مترمکعب بر هکتار) Net irrigation water requirement ($m^3$/ha) | عملکرد (**)(کیلو گرم بر هکتار) (Kg/ha) | کارایی مصرف آب (***)(کیلو گرم بر مترمکعب) WUE (Kg/$m^3$) | آب مجازی آبی (مترمکعب بر تن) Virtual water ($m^3$/tons) | حوضه آبریز - ایستگاه هواشناسی مبنا Basin- Base Meteorolgy station |
|---|---|---|---|---|---|
| کرمان | ۵۷۹۰ | ۳۲۲۰ | ۰/۵۶ | ۱۷۸۶ | کویر درانجیر – بردسیر |
| یزد | ۵۱۴۰ | ۳۶۲۱ | ۰/۷۰ | ۱۴۲۹ | ابرقو – ابرقو |
| خراسان | ۴۴۹۰ | ۳۵۷۹ | ۰/۸۰ | ۱۲۵۰ | کال‌شور – قوچان |
| اصفهان | ۴۹۷۰ | ۴۳۳۹ | ۰/۸۷ | ۱۱۴۹ | دشت برخوار – زاینده رود |
| خوزستان | ۳۰۱۰ | ۳۲۲۱ | ۱/۰۷ | ۹۳۵ | حمیدیه، قدس – حوضه کرخه |
| اردبیل | ۲۱۰۰ | ۳۳۶۷ | ۱/۶۰ | ۶۲۵ | ارس– پارس آباد مغان |
| گلستان | ۱۵۱۰ | ۳۵۰۸ | ۲/۳۲ | ۴۳۱ | گرگان و گنبد – گلستان |

* بر اساس سند ملی آب کشور ( نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد با احتساب بارندگی مؤثر)،

** برگرفته از آمارنامه کشاورزی سال ۸۲-۱۳۸۱

*** عملکرد محصول تقسیم بر نیاز خالص آبیاری

این امر نشان‌دهندهٔ اهمیت تجارت آب مجازی در کاهش بحران کمبود آب در سطح کشور است. شاخص‌های جهانی نشان می‌دهند که مقدار ردّ پای محصولات کشاورزی در ایران زیاد است و آب مجازی گندم در مناطق مختلف کشور در مجموع بین ۲۸۴ تا ۲۸۰۰ مترمکعب بر تن برای آب مجازی آبی و ۶۷ تا ۱۱۴۳ مترمکعب بر تن برای آب مجازی سبز متغیر است. این تفاوت‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند شرایط آب و هوایی و روش‌های کشاورزی قرار دارند. برای مدیریت مؤثر منابع آب و کاهش مصرف آن در تولید گندم و دیگر محصولات کشاورزی، ضروری است این راهکارها عملی شود: بهبود بهره‌وری آب، کاهش ضایعات گندم در مراحل مختلف، استفاده از روش‌های آبیاری بهینه، انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی، و اجرای سیاست‌های هوشمندانه مدیریت آب. اجرای برنامه‌های آموزشی برای کشاورزان و اتخاذ تصمیمات راهبردی در انتخاب مناطق کشت گندم نیز به پایداری محیطی و اقتصادی کشور کمک خواهد کرد.

در زمینهٔ راهکار کاهش ضایعات باید گفت بر اساس آخرین آمار و با استفاده از مفهوم آب مجازی، سالانه ۱۳ میلیارد مترمکعب آب فقط در اثر ضایعات محصولات کشاورزی از بین می‌رود (با فرض تولید محصولات کشاورزی: ۷۷/۲ میلیون تن، میزان ضایعات محصولات ۱۵ درصد، و متوسط بهره‌وری آب محصولات کشاورزی برابر ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب (آب مجازی ۱۱۱۰ مترمکعب بر کیلوگرم). این میزان از هدررفت آب، از نظر بزرگی حدود ۳ برابر حجم آب ذخیره شده در پشت سد بزرگ کرخه و برابر ۱۴ درصد از کل آب مصرفی در بخش کشاورزی است (Heydari, 2015). بر همین اساس و با استفاده از آمار سال ۱۳۸۲، تولید گندم کشور در این سال حدود ۱۲/۵ میلیون تن بود. مطالعات بیانگر آن است که میزان ضایعات بعد از برداشت تا مرحله

آردسازی گندم حدود ۱۰ درصد و ضایعات مصرف نان کشور حداقل ۱۶ درصد بوده که این مقدار ضایعات نان برابر ۱۳/۴ درصد از کل تولید گندم کشور است. بنابراین، حدود ۲/۹۳ میلیون تن گندم یا در واقع حدود ۴/۲ میلیارد مترمکعب آب (با فرض آب مجازی ۱۴۲۹ مترمکعب بر تن برای گندم) علاوه بر ضایعات سایر نهادهای کشاورزی فقط از طریق ضایعات گندم و نان ضایع شده است (Keshavarz & Heydari, 2004).

در سطح جهانی، کشورهای مختلف با چالش‌های مشابهی در مدیریت آب مجازی و کمبود آب مواجه هستند. برای حفظ منابع آب و تأمین امنیت غذایی، کشورهای مختلف نیاز به بهبود مدیریت منابع آب و انتخاب راهبردی مناطق کشت محصولات کشاورزی دارند. تعدادی از محققان معتقدند که واردات آب مجازی (از طریق مواد غذایی یا محصولات صنعتی) راه حل مناسبی برای بحران آب به‌ویژه برای کشورهای خشک است که کشاورزی آنها فقط بستگی به آبیاری دارد و کارایی مصرف آب محصولات تولیدی آن‌ها نیز کم است. بنابراین، به جای مصرف منابع آب کمیاب برای محصولاتی که مصرف آب آن‌ها نیز زیاد است، این قبیل کشورها می‌توانند غذای ارزان وارد و از فشار بیش از حد به منابع آب خودداری کنند. برای نظریهٔ تجارت آب مجازی، چالش‌ها و ابهام‌های جهانی زیر وجود دارد: ۱) مسائل امنیت غذایی و خودکفایی غذایی و جنبه‌های سیاسی آن، ۲) وجود ابهام‌های بنیادی از جنبه‌های ضرورت سرمایه‌گذاری در توسعهٔ امور زیربنایی آبیاری و زهکشی برای خودکفایی غذایی یا هزینه کرد و سرمایه‌گذاری‌ها برای دیگر بخش‌های اقتصادی و در عوض واردات مواد غذایی از دیگر کشورها؛ مسائل اعتماد به بازار جهانی مواد غذایی؛ و توجیه پذیری تولید مواد غذایی از منابع آب داخلی برای کسب امنیت غذایی و آسیب به محیط زیست، ۳) بی‌اعتمادی به تجارت جهانی و روابط حاکم بر تجارت جهانی، ۴) قیمت و یارانه برای غذا، ۵) سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها یا واردات آب مجازی، ۶) واردات آب مجازی در عوض انتقال آب بین‌حوضه‌ای با هزینهٔ زیاد، ۷) مسائل خودکفایی نسبی و سرمایه‌گذاری برای امنیت غذایی از لحاظ ریسک‌پذیری کمتر آن به لحاظ کاهش هزینه‌های گزاف سیاسی و اقتصادی مترتب[1]، ۸) اشتغال و فقر، و ۹) هزینهٔ فرصت آب مصرفی (Ehsani, 2009). بر اساس جمع‌بندی نشست مرتبط با مسائل و اتخاذ سیاست تجارت آب مجازی در کشور، توسعهٔ مفهوم آب مجازی در جامعه می‌تواند دستاوردهای مفیدی به همراه داشته باشد که از آن‌جمله ارزیابی حجم عظیم آب به هدر رفته از طریق ضایعات محصولات و مواد غذایی است که در این ارتباط اطلاع‌رسانی و آگاهی‌دادن به مردم از طریق رسانه‌ها جزو یکی از امور مستمر مدیریت منابع آب مطرح خواهد بود. با وجود این، به نظر می‌رسد در تعریف آب مجازی و نحوهٔ محاسبهٔ آن ابهاماتی وجود دارد و در مطالعات مختلف همگرایی کمی نسبت به مفاهیم کلی آب مجازی دیده می‌شود. در بخش کشاورزی، یکی از مهم‌ترین ابهام‌ها چگونگی اندازه‌گیری آب مجازی در مزرعه تا مرحلهٔ مصرف محصول است (Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 2009a, b).

## نتیجه‌گیری

با توجه به بحران آب و لزوم تأمین امنیت غذایی از منابع آب محدود کشور، شناخت و تسری مفاهیم آب مجازی و تجارت آن در جامعه و به‌ویژه در جامعهٔ کارشناسی کشور اهمیت ویژه‌ای دارد. بر اساس اسناد بالادستی، گندم محصولی راهبردی و جزو محصولات اساسی شناخته می‌شود

[1] به نظر می‌رسد در حال حاضر سیاست فعلی کشور به این نظریه نزدیکتر است.

و تقریباً ۵۰ درصد زمین‌های تحت کشت کشور تحت کشت این محصول است. گندم به صورت عمده در استان‌های کم آب کشور تولید می‌شود که خود محدودیت منابع آب دارند. با این‌حال، تفاوت‌های چشمگیری در مقدار آب مجازی گندم بین استان‌های مختلف مشاهده می‌شود که ناشی از عواملی مانند مدیریت آبیاری، استفاده از روش‌های نوین آبیاری، مدیریت کود و دیگر نهاده‌های تولید، اقلیم و شرایط آب و هوایی، پراکندگی بارش‌ها، نوع خاک، و مهارت و مدیریت کشاورزان است. این موضوع، یعنی کشت گندم در مناطق خشک و کم‌آب، حتی در دیگر کشورهای جهان مانند آمریکا نیز مشاهده می‌شود. شاید یکی از دلایل آن، عملکرد مناسب گندم در شرایط آب و هوایی خشک و بدون رطوبت و همچنین عملکرد زیاد آن در شرایط کشاورزی آبی و آبیاری محصول است، زیرا عملکرد گندم دیم بسیار کم‌تر از عملکرد گندم آبی است.

برتری کشت گندم از جنبهٔ نیاز آبی، میزان عملکرد، و کارایی مصرف آب پتانسیل بیانگر آن است که مناطق مختلف کشور، صرف‌نظر از میزان بحران آب آن‌ها، دارای استعدادهای متفاوتی از نظر تولید گندم هستند. از این رو در سطح ملی و جهانی جابه‌جایی در الگوی کشت، مقدار تولید، و تجارت آب مجازی گندم بین استان‌ها یا کشورهای مختلف اهمیت می‌یابد. درک مفهوم آب مجازی از جنبهٔ تلاش برای کاهش ضایعات آن نیز اهمیت دارد. با کاهش ضایعات گندم از مرحلهٔ برداشت تا تولید نان مقادیر زیادی آب (حدود ۴/۲ میلیارد مترمکعب) صرفه‌جویی خواهد شد.

تغییرات در مقدار آب مجازی و عملکرد محصولات به عواملی چون اقلیم، جغرافیا، ویژگی‌های خاک، شرایط هیدروژئولوژیکی، و الگوهای کاشت و برداشت وابسته است. بنابراین، هرگونه تغییر در این عوامل می‌تواند تأثیر مستقیم و شدیدی بر میزان آب مجازی و عملکرد این محصولات داشته باشد. در آینده، عملکرد و مقدار و تجارت آب مجازی غلات به‌طور قابل توجهی تغییر خواهد کرد. تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما، تغییرات در الگوهای بارش و دیگر تغییرات جوّی می‌تواند تأثیرات چشمگیری بر عملکرد محصول، تبخیر و تعرّق و میزان آب مورد نیاز برای رشد غلات داشته باشد. تنوع جغرافیایی و آب و هوایی، تأثیر زیادی بر میزان آب مجازی در هر کشور دارد و نیازمند سیاست‌گذاری‌ها و فناوری‌های مناسب برای بهبود بهره‌وری آب است. از این رو هر کشور باید بر اساس شرایط خاص خود راهبردهای مناسب را برای مدیریت منابع آبی خود توسعه دهد تا با بهره‌برداری بهینه از آن‌ها به پایداری منابع آب و امنیت غذایی دست یابد.

اگر جریان‌های آب مجازی، به‌ویژه از مناطق کم‌آب، مدیریت نشود می‌تواند به پایداری منابع آبی کشورها آسیب برساند. برخی از پیشنهادهای ارائه شده در این زمینه عبارت‌اند از: ۱) کاهش واردات محصولات از مناطق کم‌آب و بهبود سیاست‌های تجارت آب مجازی برای محافظت از منابع آبی این مناطق، ۲) تشویق به استفاده از محصولاتی که آب سبز بخش عمده‌ای از نیاز آبی آنها را تامین می‌کند و موجب کاهش وابستگی به آبیاری می‌شود، و ۳) تدوین سیاست‌های ملی و منطقه‌ای برای حمایت از کشاورزی پایدار و مدیریت بهتر منابع آبی.

کاربرد سیاست تجارت آب مجازی گندم دارای چالش‌های خاص خود نیز هست، از آن‌جمله مسائل واردات این محصول از نظر بی‌اعتمادی به تجارت جهانی در روابط سیاسی لازم با کشورهای صادرکننده؛ قیمت فروش محصول؛ هزینهٔ فرصت آب مصرفی؛ سیاست خودکفایی نسبی در این محصول؛ و چگونگی اندازه‌گیری، و مسائل پیچیدگی نحوهٔ محاسبهٔ آب مجازی محصولات کشاورزی در فرآیندهای مختلف تولید آن تا مرحلهٔ تولید غذا و مصرف آن در جامعه از ابعاد میزان ضایعات و آب مصرف شده تا تولید محصول نهایی.

بررسی وضعیت آب مجازی گندم کشور و مقایسهٔ آن با وضعیت جهانی تأکید می‌کند که ایران باید به‌طور جدی به بهبود مدیریت منابع آب و انتخاب راهبردی مناطق کشت

گندم بپردازد. در این راستا و بر اساس مطالعات مختلف (مانند Jafari & Abbasi, 2025)، توجه به تناسب اراضی، کاهش سطح زیر کشت در زمین‌های کم‌بازده، توجه به کمیّت و کیفیت آب در مناطق تحت کشت، و ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌تواند در کاهش مصرف آب، بهبود تولید و کاهش آب مجازی گندم مؤثر باشد.

## مراجع


Abbasi, F. & Abbasi, N. (2024). An analysis of irrigation efficiencies over time in Iran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 17(6):1025-1033. (In Persian)

Abbasi, F., Sohrab, F. & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 17(67):113-128. (In Persian)

Agricultural Statistics Yearbook (2022). Agricultural Statistics Yearbook 2021-2022: Volume 1, Crop Products. Statistical Deputy, Information Technology and Communications Deputy, Economic Planning Deputy of the Ministry of Agriculture Jahad, September 2022. (In Persian)

Agricultural Statistics Yearbook (2024). Agricultural Statistics Yearbook 2023-2024: Volume 1, Crop Products. Statistical Deputy, Information Technology and Communications Deputy, Economic Planning Deputy of the Ministry of Agriculture Jahad, September 2024. (In Persian)

Ahmadvand, M.R. & Najafpour, Z.A. (2010). Analysis of wheat cultivation area and supportive policies during the first to fourth national development plans. Journal of Economic Research and Policies, 17 (53): 59-76. (In Persian)

Aligholinia, T., Rezaei, H., Behmanesh, J. & Montaseri, M. (2017). Water footprint index study for dominant crops in Urmia lake basin and its relationship with irrigation management. Water and Soil Science, 27 (4): 37-48. (In Persain)

Aligholinya, T., Sheibany, H., Mohamadi, O. & Hesam, M. (2019). Comparison and evaluation of blue, green and gray water footprint of wheat in different climates of Iran. Iran-Water Resources Research, 15 (3): 234-245. (In Persain)

Allan, J.A. (2011). Virtual water: Tackling the threat to our planet's most precious resource. I.B. Tauris.

Bazrafshan, O., Dehghanpir, Sh. & Holisaz, A. (2018). Estimation of virtual water trade in the Hormozgan province over the past decade. Desert Management, 5 (10): 116-129. (In Persian)

Ehsani, M. (2009). Understanding virtual water. Lecture presented at the Seminar "Water and Sustainable Development with a Focus on Virtual Water", Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, July 2009, Tehran International Exhibition Center. (In Persian)

Ehsani, M., Khaledi H. & Barghi, Y. (2008). Introduction to virtual water. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (In Persian)

El-Marsafawy, S.M., Swelam, A. & and Ghanem, A. (2018). Evolution of crop water productivity in the Nile Delta over three decades (1985–2015). Water 2018, 10, 1168; doi:10.3390/w10091168.

Ewaid, S.H., Abed, S.A. Abbas, A.J. and Al-Ansari, N. (2020). Estimation the virtual water content and the virtual water transfer for Iraqi wheat. Journal of Physics: Conference Series, 1664: 012143.

Fader, M., Rost, S., Muller, Ch., Bondeau, A. and Gerten, D. (2010). Virtual water content of temperate cereals and maize: Present and potential future patterns Journal of Hydrology, 384 (3-4): 218-231.

Faramarzi, M., Yang, H., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C. R.& Abbaspour K. C.(2010). Analysis of intra-country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1417–1433.

Jafari, H. & Abbasi, F. (2025). Evaluation of wheat water irrigation management in Iran with the approach of reducing the area under cultivation and improving waterproductivity. Iranian Journal of Soil and Water Research, Doi:10.22059/ijswr.2024.380800.669778. (In Persian)

Harris, F., Dalin, C., Cuevas, S., Lakshmikantha, N.R, Adhya, T., Joy, E.J.M., Scheelbeek, P.F.D., Kayatz, B., Nicholas, O., Shankar, Bh., Dangour, A.D. and Green, R. (2020). Trading water: virtual water flows through interstate cereal trade in India. Environmental Research Letters, 15: 125005.

Hasili, M.A., Golabi, M. & Boroumandnasab, S. (2017). Study and evaluation irrigation and drainage networks by using analytic hierarchy process with virtual water approach: Case study; Shahid Rajae, Ramshir and Hendijan networks. Iran-Water Resources Research, 13 (3):112-127. (In Persian)

Heydari, N. (2015). Concepts of water productivity and virtual water. Scientific Lecture, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Alborz, Iran. (In Persian)

Heydari, N. (2022). Wheat water productivity in Iran compared with data of some countries. Journal of Water Research in Agriculture, 35 (4): 421-435. (In Persian)

Heydari, N. & Dehghanian, S.E. (2018). Investigation of climate change impacts on agricultural sector of Iran from water resources management perspective. Research Report no. 5474, Dec. 30, 2018, 137p. (In Persaian)

Heydari, N., Keshavarz, A. & Dehghani-Sanij, H. (2005). Optimal management of agricultural water consumption in Iran considering drought and aridity. The 2nd conference on methods to prevent waste of national resources, June 15, 16, Academy of Sciences of Iran, Tehran, Iran. (In Persian)

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan.

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (2009a). Water and sustainable development with a focus on virtual water. Summary of the Workshop, organized by the National Committee on Irrigation and Drainage of Iran in collaboration with the Iran Water Resources Management Company, July 18, Tehran International Exhibition Center. (In Persian)

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (2009b). Virtual water policy: challenges and perspectives. Newsletter of the Iranian National Committee on Irrigation and Drainage of Iran, No. 74. (In Persian)

Keshavarz, A. (2017). Analysis of water resources and the agricultural outlook of the country. National Center for Strategic Agricultural and Water Studies of the Iran Chamber of Commerce, The 2nd National Conference on Iranian Medicinal Herbs papers, Urmia University. (In Persian)

Keshavarz, A. & Heydari, N. (2004). A perspective on the waste and misuse of national water resources in the production and consumption stages of agricultural products. The 1st Symposium of National Resources Loss Prevention, June 8, 10, Academy of Sciences of Iran, Tehran, Iran. (In Persian)

Khoramivafa, M., Nouri, M., Mondani, F. and Veisi, H. (2017). Evaluation of virtual water, water productivity and ecological footprint in wheat and maize farms in west of Iran: A case study of Kouzaran region, Kermanshah Province. Journal of Water and Sustainable Development, 3(2): 19-26. (In Persian)

Masud, M.B., Wada, Y., Goss, G., Faramarzi, M. (2019). Global implications of regional grain production through virtual water trade. Science of the Total Environment, 659: 807-820.

Mekonnen, M., Hoekstra, A.Y. (2011). National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption. Delft, the Netherlands: Unesco-IHE Institute for Water Education, Value of Water Research Report 50, 50.

Mirbagheri, V., Baradaran Nasiri, M., Emami, J. & Hosseini Sabet S.M. (2016). Production and trade of basic products of the agricultural sector in the period of 2001-2016. Vice President of Infrastructure Research and Production Affairs, Office of Infrastructure Studies (Agricultural Group), Research Center of the Islamic Council, subject code 250, serial number 15201, 99P.(In Persian)

Mohammadjani, A. & Yazdanian, N. (2014). Analysis of the water crisis situation in the Iran country and management requirements. Ravand Quarterly, 65-66: 117-144. (In Persian)

Muratoglu, A. 2020. Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: a case study for Turkey. Ecological Processes, 9: 13.

Najafi Alamdarlu, H., Vakilpour, M.H. and Riahi, F. (2015). Investigating the amount of virtual water in wheat and water productivity in Iran. The 2nd Iternational Conference and the 5th NationaCconference of Environmental and Agricultural Researches of Iran, Hamadan, Iran. (In Persian)

Omidi, T. (2017). Determination and analysis of strategies and priorities for import and export of agricultural products based on the concept of virtual water. M.Sc. Thesis, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 259 pp. (In Persian)

Omidi, F. & Homaee, M. (2015). Deriving crop production functions to estimate wheat virtual water and irrigation water price. Cereal Research, 5 (2): 131-143. (In Persian)

Rathore, L.S., Aziz, D., Demeke, B.W. and Mekonnen, M.M. (2023). Sustainability assessment of virtual water flows through cereal and milled grain trade among US counties. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability, 3 (2): 025001.

Renault, D. (2002). Value of Virtual Water in Food: Principles and Virtues. Land and Water Development Division (AGL), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy.

Salari, S., Karandish, F. & Darzi-Naftchali, A. (2015). Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan Province. Irrigation and Water Engineering, 5 (2): 81-94. (In Persian).

Shahrokhnia, M.A., Dehghanian, S.E., Nakhjavanimoghaddam, M.M. & Abbasi, F. (2023). Determining the volume of applied water and water productivity in orange and tangerine orchards in Fars province. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 17 (1): 77-86. (In Persian)

Statista. (2025a). Statistics, Agriculture, Farming, forecast volume of wheat produced in the European Union (EU 27) from 2017 to 2023. Retrieved from https://www.statista.com.

Statista. (2025b). Statistics, Agriculture, Farming, Wheat production in China between 2014 and 2024. Retrieved from https://www.statista.com

Statista. (2025c). Statistics, Agriculture, Farming, Production volume of wheat during rabi season in India from Financial Year 2010 to 2022, with an Estimate for 2023. Retrieved from https://www.statista.com.

Sun, S.K., Wu, P.T., Wang, Y.B., Zhao, X.N. (2013). The virtual water content of major grain crops and virtual water flows between regions in China. Journal of the Science of Food and Agriculture, 93 (6): 1427-1437.

Vafai, K. & Bazr Afshan, A. (2017). Virtual water balance of wheat in the crop year 2014-2015 in Iran. The 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, Iran. (In Persian)

Xinchun, C., Mengyang, W., Xiangping, G., Yalian, Zh., Yan, G., Nan, W., Weiguang, W. (2017). Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework. Science of the Total Environment, 609: 587-597.

*Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.25/No.97/ Winter /2024/P: 15-34*

*Technical note*

# Investigating the Status of Virtual Water of Irrigated Wheat and Providing Technical and Policy Solutions for its Improvement in Iran

**N. Heydari*, F. Taran**

***Corresponding Author:** Corresponding Author, Associate Professor; Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); Karaj; Iran.
**Received:** 23 October 2024, **Accepted:** 29 January 2025
**Email:** nrheydari@yahoo.com
**https://doi.org/** 10.22092/IDSER.2025.367448.1596

**Abstract**

The concept of virtual water has been highlighted in the 21st century as a key indicator to evaluate the optimal use of water in the production of agricultural products, especially in the face of the water shortage crisis. This study analyzed the virtual water of irrigated wheat, known as one of the strategic agricultural products, in Iran and investigated the differences in the amount of virtual water of irrigated wheat in different provinces and climates of the country. The results indicated that the amount of virtual water of irrigated wheat in Iran is in a wide range of 284-3523 $m^3$ $ton^{-1}$ with an average of 1400 $m^3$ $ton^{-1}$, being 50% higher than the average values found in a number of other countries (930 $m^3$ $ton^{-1}$). The highest amount of virtual water (1539-3523 $m^3$ $ton^{-1}$) is in the provinces of Khuzestan, Kerman, Semnan, Bushehr, Sistan and Baluchestan, Isfahan, Fars, Yazd, some areas of Qom, Kermanshah, South Khorasan, North Khorasan, Chaharmahal and Bakhtiari, and East Azarbaijan with an average of 2610 $m^3$ $ton^{-1}$. Also, the lowest amount of virtual water (284-586 $m^3$ $ton^{-1}$) can be seen in the provinces of Mazandaran, Hamedan, Golestan, Kordestan, Kohkiluyeh and Buyer Ahmad, some areas of South Khorasan, Markazi, Hormozgan, and Ilam with an average of 451 $m^3$ $ton^{-1}$. The study showed that most of the areas under cultivation of wheat in Iran (about 53% of the irrigated wheat lands) are located in areas with water shortage crisis. The advantage of wheat cultivation in terms of water requirement and water use efficiency varies in different provinces. In terms of virtual water content, wheat cultivation is suitable in two provinces of Golestan and Ardabil, which relatively do not have water shortage problems and have low virtual water content of irrigated wheat. Khuzestan province also is preferable for wheat cultivation if the irrigation management is improved, due to the suitable climate and warm weather and the possibility of using winter rains in the growing season and quick ripening of the crop. But, wheat cultivation is not suitable in some regions of Iran, especially in the central and southeastern regions. The results of this study emphasize the necessity of optimal management of agricultural water resources and the strategic selection of areas under wheat cultivation based on the national cropping pattern from the aspect of advantage of production related to water requirements, water resource limitations, improving productivity and reducing virtual water content, reducing of crop wastes, and more attention on virtual water trade of wheat.

**Keywords:** Production, Water consumption, Water resources management, Water shortage



© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).