بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب در محصول گندم آبی استان اصفهان

فاطمه اویسی، احمد فتاحی اردکانی* و مسعود فهرستی ثانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹)

چکیده

استان اصفهان با وجود خشکسالی‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش رو به رشد جمعیت، همچنین گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی با بحران آب مواجه است. بنابراین برای مقابله با این بحران می‌بایست راهکارهای اساسی از جمله بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب محصولات استراتژیک در بخش کشاورزی، برای مدیریت منابع آبی در معرض خطر در نظر گرفت. هدف از این مطالعه بررسی آب‌مجازی و ردپای اکولوژیک آب محصول گندم استان اصفهان از سال زراعی۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۴-۱۳۹۳ است. به همین منظور مقدار آب‌مجازی با استفاده از نیاز خالص آبیاری که از نرم‌افزار NETWAT استخراج شد و با درنظرگرفتن راندمان آبی ۴۸ درصد محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد استان اصفهان فقط در سال ۱۳۸۶ صادرکننده آب مجازی محصول گندم بوده و از طریق صادرات گندم در این سال حدود ۰/۱۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی به استان‌های دیگر صادر کرده است ولی در سال‌های ۹۴-۱۳۸۷ تنها وارد کننده آب مجازی بوده که دلایل آن افزایش سالیانه جمعیت و وجود خشکسالی در این منطقه است. در این دوره میانگین سالانه ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی استان ۵/۸۷ میلیارد مترمکعب بوده و استان اصفهان با میانگین ۰/۶۵ میلیارد مترمکعب واردات آب مجازی در سال، این حجم آب از منابع داخلی خود را ذخیره کرده است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، شاخص شدت مصرف، شاخص وابستگی، شاخص خودکفایی، مبادله آب مجازی

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fatahi@ardakan.ac.ir

مقدمه

آب به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین عناصر حیات، امروزه با بحرانی جدی روبه‌رو است. رشد جمعیت و افزایش سرانه مصرف از یک‌سو و توسعه روز افزون فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی از سوی دیگر و کاهش نزولات جوی موجب شده است تا این منبع حیاتی به‌طور فزاینده‌ای کاهش یابد. استان اصفهان و به ویژه حوضه رودخانه زاینده‌رود در طی ۱۵ سال اخیر با دو دوره خشکسالی مواجه شده است. در دوره اول که طی سال های ۱۳۷۷ الی ۱۳۸۰ به وقوع پیوست علاوه بر خسارات قابل توجهی که به بخش‌های مختلف در استان وارد شد، رودخانه زاینده‌رود در محدوده شهر اصفهان برای اولین بار پس از احداث سد زاینده‌رود خشک شد. هنوز آثار زیانبار آن دوره خشکسالی برطرف نشده بود که یک دوره خشکسالی دیگر از سال ۱۳۸۶ شروع و تاکنون ادامه یافته است. لذا مدیریت منابع آب این حوضه در سال‌های اخیر با مشکلات و چالش‌هایی مواجه بوده است. علاوه بر منابع آب‌های سطحی، منابع آب‌های زیرزمینی استان نیز طی دو دهه اخیر تنش آبی را متحمل شده است به‌طوری که سطح آب زیرزمینی اکثر دشت‌های استان افت کرده است که در اثر آن تعداد زیادی از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق خشک و یا از میزان آبدهی آن کاسته شده است. ذکر این نکته لازم است که گرچه بروز دوره‌های خشکسالی کم‌سابقه به‌عنوان عامل اصلی بحران آبی اخیر در استان اصفهان قلمداد می‌شود ولی عوامل دیگری همچون از بین رفتن مدیریت یکپارچه منابع آب و بارگذاری بیش از حد بر منابع آب نیز در تشدید این بحران بی‌تأثیر نبوده است. ضمن آنکه شواهدی از بروز تغییرات اقلیمی در کل کشور و به‌ویژه استان اصفهان وجود دارد (۲۶).

آب مجازی به‌عنوان یکی از شاخصه‌های ارزیابی بهره‌وری آب، مفهوم تازه‌ای است که در سال‌های اخیر توجه برنامه‌ریزان و صاحب‌نظران علوم آب را به خود جلب کرده است. آب مجازی برای اولین‌بار توسط آلن در سال ۱۹۹۳ تعریف شد. آب مجازی کل آبی است که برای تولید یک واحد محصول، کالا یا خدمات مصرف می‌شود. با این دیدگاه می‌توان در ارتباط بین آب، غذا و مبادلات آنها، همه محصولات و خدمات را با معیار مشترک آب مصرفی سنجید.

استان اصفهان با منابع آب در معرض خطر سعی می‌کند کالاهایی که در تولید آنها به آب زیادی نیاز دارد را از طریق واردات تهیه کرده و کالاها و خدماتی که آب کمتری نیاز دارند را صادر کند. با توجه به اینکه بخش اعظم منابع آب را کشاورزی مصرف می‌کند، سهم عمده این تجارت را تولیدات کشاورزی به خود اختصاص داده است. کشاورزی در استان اصفهان مانند سایر نقاط کشور به شدت به آبیاری وابسته است. برای اینکه بتوان اثر الگوی مصرف مردم را بر منابع طبیعی نشان داد، می‌توان از مفهوم ردپای آب استفاده کرد که اولین بار در سال ۲۰۰۲ توسط هوکسترا وهانگ معرفی شد. آنها اظهار کردند که کل مصرف آب در داخل یک کشور به تنهایی معیار درستی از برداشت واقعی آب آن کشور از منابع آب جهانی نیست. در واقع، حجم آب مجازی وارداتی باید به کل مصرف آب داخلی افزوده شود تا تصویر درستی از نیاز واقعی یک کشور به منابع آب جهانی ترسیم شود. همین‌طور، حجم آب مجازی صادر شده باید از حجم مصرف آب داخلی کم شود. آنها جمع خالص واردات آب مجازی و مصرف آب داخلی را تحت عنوان ردپای اکولوژیک آب یک کشور معرفی کردند، که شاخصی برای تعیین میزان مصرف واقعی آب است (۱، ۲، ۶، ۱۵، ۱۷ و ۲۰). به کمک این شاخص می‌توان تقاضای واقعی آب را در هر جامعه تعریف شده‌ای در اثر نوع الگوی مصرف مردم از منابع آب جهانی تعیین کرد. بنابراین آنها با معرفی این شاخص توانستند اطلاعات مفیدی را در ارتباط بین الگوی مصرفی افراد و به‌دنبال آن میزان آب مصرفی در تولید محصولات مختلف، مبادلات جهانی آب و مدیریت منابع آبی، ارائه دهند. زیرا شاخص‌هایی که تا قبل از ردپای آب بررسی شدند، بر مبنای میزان تولیدات یک کشور بود و این شاخص نمی‌توانست نیاز واقعی یک کشور را به منابع آبی نشان دهد. بنابراین ردپای اکولوژیک آب، حجم کل آبی است که در تولید

کالا و خدمات مصرفی برای ساکنان آن جامعه به‌کار می‌رود. ردپای آب را می‌توان برای هر گروه تعریف شده‌ای از مصرف کنندگان مانند خانوده، اصناف، جمعیت روستایی، شهری، استانی و کشوری در مقیاس زمانی، مکانی، داخلی و یا خارجی محاسبه کرد. از آنجا که همه محصولات مصرفی ساکنان یک استان در داخل استان تولید نمی‌شود، ردپای آب شامل دو مؤلفه ردپای آب داخلی و ردپای آب خارجی استان است که به‌ترتیب بسته به مصرف منابع آب داخلی استان و حجم منابع آبی خارج از استان تعریف می‌شود. در نتیجه، پس از محاسبه شاخص ردپای اکولوژیک و برآورد حجم آب مصرفی استان و با توجه به ظرفیت منطقه، باید راهکارهایی برای استفاده پایدار از منابع آبی در استان ارائه شود. باید توجه داشت که مقدار آب مجازی مورد نیاز برای تولید هر کالا یا محصول و در پی آن ردپای بوم‌شناختی آب با توجه به شرایط اقلیمی، فرهنگی، مدیریت و برنامه‌ریزی در هر کشور و حتی منطقه، متفاوت است (۹). این مسئله موجب می‌شود که مطالعات برآورد مقدار آب مجازی در هر منطقه امری ضروری باشد (۱۲).

هوکسترا و هانگ (۱۶) و چاپاگین و هوکسترا (۷)، پژوهشگران مؤسسه مهندسی هیدرولیک در هلند، حجم مبادلات آب مجازی بین المللی در دوره ۱۹۹۹–۱۹۹۵ با توجه به‌میزان آب مصرفی در کشور صادرکننده بالغ بر ۱۰۴۰ میلیارد مترمکعب برآورد کردند که ۶۷ درصد آن مربوط به مبادلات بین المللی انواع محصولات زراعی و باغی، ۲۳ درصد مربوط به تولیدات دامی و ۱۰ درصد مربوط به تولیدات صنعتی است. ال سدک (۱۱)، با بررسی موقعیت کشور مصر از بعد تولید مواد غذایی و خودکفایی در تولید محصولات استراتژیک و تجارت مجازی آب در مقایسه با سایر کشورها، نتیجه گرفت که این استراتژی برای مصر نیازمند تحقیقات بیشتر و درک کلیه اثرات اجتماعی، محلی، اقتصادی، اجتماعی، محیط زیستی، فرهنگی، طبیعی و سیاسی است. عربی یزدی و همکاران (۴) در بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران، محاسبات آن را بر مبنای داده‌های صادرات و واردات موادغذایی در سال ۱۳۸۵ محاسبه کردند. نتایج نشان می‌دهند که ردپای اکولوژیک آب کشور در سال ۱۳۸۵، ۱۰۳میلیارد مترمکعب بوده است. در سال ۱۳۸۵ کشور با واردات خالص آب مجازی و کسر صادرات آب مجازی بدون در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۱۲ و بر مبنای راندمان آبیاری ۶۰ درصد، ۲۰ میلیارد مترمکعب از منابع آب داخلی خود را ذخیره کرده است که اگر قرار بود این مقدار محصول در داخل کشور تهیه شود می‌بایست ۱۱۲ میلیارد آب در کشاورزی مصرف شود که چنین مقداری در حال حاضر در دسترس نیست.

زارعی و جعفری (۲۹) در مطالعه نقش واردات و صادرات محصولات مهم زراعی و باغی در تجارت مجازی آب و ردپای آب در کشاورزی ایران، نقش واردات و صادرات محصولات مهم کشاورزی در تراز خالص تجارت مجازی آب ایران تعیین و شاخص‌های آبی کشور محاسبه کردند. نتایج نشان می‌دهند در این دوره میانگین سالانه ردپای آب در بخش کشاورزی کشور ۱۰۴/۸ میلیارد مترمکعب بوده و ایران با میانگین ۱۷/۶ میلیارد مترمکعب واردات خالص آب مجازی در سال، موجب ذخیره سالیانه این حجم آب از منابع آب داخلی خود شده است. همچنین شاخص‌های آبی محاسبه شده برای کشور نشان دادند که به‌طور میانگین در این دوره شدت مصرف آب کشاورزی ۶۷/۱ درصد، شاخص وابستگی به واردات آب مجازی ۱۶/۸ درصد و نیز شاخص خودکفایی به آب کشاورزی حدود ۸۳/۲ درصد بوده‌اند.

خرمی‌وفا و همکاران (۱۹) در مطالعه بررسی آب مجازی، بهره‌وری آب و ردپای اکولوژیک آب در مزارع گندم آبی و ذرت در منطقه کوزران (شهرستان کرمانشاه)، مقدار آب مجازی، میزان بهره‌وری و ردپای اکولوژیک آب مزارع گندم آبی و ذرت منطقه کوزران در سال زراعی ۹۳–۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار آب مجازی مزارع گندم در منطقه برای بازده آبیاری معادل ۱۰۰، ۴۰ و ۳۲ درصد به‌ترتیب برابر ۲۲۰۲، ۳۵۲۳ و ۳۶۹۹ مترمکعب بر تن بود. این مقادیر برای مزارع ذرت به‌ترتیب ۲۴۱۷، ۳۸۶۷ و ۴۰۶۰ مترمکعب بر

تن به‌دست آمد. مقادیر بهره‌وری برای مزارع گندم ۰/۴۵۴، ۰/۲۸۳ و ۰/۲۷ و برای مزارع ذرت ۰/۴۱۳، ۰/۲۵۸ و ۰/۲۴۶ تن بر مترمکعب با بازده‌های آبیاری ذکر شده بود. ردپای اکولوژیک آب برای مزارع گندم آبی با سطح زیرکشت ۴۸۵۱ هکتار ۱۸۲۵۱۱۵۰ مترمکعب در سال و برای مزارع ذرت با سطح زیر کشت ۲۵۲۳ هکتار، ۱۰۵۵۰۶۰۱ مترمکعب برآورد شد. هدف از این پژوهش محاسبه شاخص ردپای اکولوژیک آب و برآورد حجم آب مصرفی استان و همچنین بررسی امکان بهره‌گیری از مبادلات آب مجازی برای حصول امنیت غذایی و آبی، تعیین صادرات و واردات آب مجازی در بخش کشاورزی با توجه به ظرفیت منطقه و ارائه راهکارهایی برای استفاده پایدار از منابع آبی در استان است.

مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۵ کیلومتر مربع (معادل ۶/۵۷ درصد از مساحت کشور) بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی در بخش مرکزی ایران در جلگه‌ای حاصلخیز و پربرکت واقع شده و به‌طور خلاصه می‌توان گفت بیشتر شهرها و روستاهای آن حاصل جریان زاینده‌رود است. شکل استان از لحاظ گسترش در امتداد طول و عرض جغرافیایی به گونه‌ای است که میانگین طول آن ۵۳۲/۵ کیلومتر و عرض استان برابر با ۴۰۵ کیلومتر است.

در اولین گام این پژوهش، ابتدا محصول گندم که از محصولات استراتژیک کشور و استان اصفهان محسوب می‌شود، درنظر گرفته شد. در این پژوهش اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت، تولید و عملکرد محصول گندم را از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان از سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ تا سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳به‌مدت ۹ سال جمع‌آوری که در این پژوهش فقط محصول گندم آبی در نظر گرفته شده است زیرا طی این ۹ سال به‌طور میانگین تنها حدود ۴/۶ درصد از تولید گندم را کشت دیم به خود اختصاص داده است. اطلاعات مربوط به مصرف گندم از مرکز آمار ایران تهیه شد که با استفاده از اطلاعات مربوط به تولید و مصرف، صادرات و واردات این محصول را از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ محاسبه شد. اطلاعات مربوط به منابع آبی از سازمان آب منطقه‌ای استان گردآوری شده است. همچنین اطلاعات مربوط به نیاز خالص آبیاری با درنظر گرفتن راندمان آبیاری ۴۸ درصد (برگرفته از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان) از نرم‌افزار NETWAT استخراج شده است. NETWAT طرح نیاز خالص آبیاری محصولات باغی و زراعی ایران از مجموعه طرح‌های پروژه ملی (توتک) بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی ایران است که توسط سازمان هواشناسی و وزارت جهاد کشاورزی انجام شده است.

برای محاسبه میزان آب مجازی و شاخص بهره‌وری آب محصول گندم از رابطه (۱) و (۲) استفاده شد.

$$SWD_c = \frac{\overline{CWR_c}}{\overline{CY_c}} \quad (۱)$$

$$CWP = \frac{۱}{SWD_c} \quad (۲)$$

که در آن SWD_c نیاز ویژه آبی محصول (مترمکعب آب به‌ازای هر کیلوگرم محصول)، $\overline{CWR}$ میزان آب مورد نیاز محصول (مترمکعب بر هکتار) و $\overline{CY_c}$ متوسط عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) است. همچنین CWP شاخص بهره‌وری آب است.

سپس در معادله (۳) میزان نیاز آبی (صرف نظر از بارش مؤثر) در سطح استان با استفاده از روش میانگین وزنی در کلیه مناطق استان محاسبه شد.

$$\overline{CWR_c} = \frac{\sum_{i=۱}^{n} CWR_{c,i} \times A_{c,i}}{TA_c} \quad (۳)$$

که در آن $\overline{CWR_c}$ نیازآبی محصول در منطقه i (با درنظر گرفتن راندمان آبیاری ۴۸ درصد)، $A_{c,i}$ سطح زیرکشت محصول در منطقه i (هکتار) و TA_c کل سطح زیر کشت محصول در استان است.

در رابطه (۴)، برای محاسبه ردپای اکولوژیک آب در منطقه از

روش Top-down (بالا به پایین) استفاده شد (۲۸). در این روش، ردپای اکولوژیک آب هر استان شامل دو مؤلفه ردپای اکولوژیک آب داخلی (WF_i) و ردپای اکولوژیک آب خارجی (WF_e) است.

$$WF = WF_i + WF_e \qquad (۴)$$

در رابطه (۵) ردپای اکولوژیک آب داخلی (WF_i)، حجم کل مصرف سالانه منابع آبی استان است که برای تولید کالا و خدمات مصرفی مردم مورد استفاده قرار می گیرد.

$$WF_i = WU - V_{e,d} \qquad (۵)$$

در این رابطه، از آنجا که صادرات محصول یک استان منجر به صادرات آب به فرم مجازی می‌شود ($V_{e,d}$)، حجم آب برای ساکنان آن استان مصرف نشده است، لذا باید از کل آب مصرفی داخل استان در بخش کشاورزی (WU) کسر شود. در چرخه هیدرولوژی منابع آب به سه دسته آب آبی، آب سبز و آب خاکستری تقسیم می‌شوند. آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی، آب آبی را تشکیل می‌دهند و به رطوبت خاک در مناطق غیراشباع، آب سبز می‌گویند (۸). WU مجموع آب آبی (آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی) و آب سبز (رطوبت موجود در خاک) در استان است، اما از آنجا که اطلاعات مربوط به مصرف آب سبز استان نیاز به مطالعات گسترده‌ای دارد و منبع آب سبز بیشتر در مورد کشت دیم مدنظر قرار می‌گیرد، برای دستیابی به جواب‌های عملی در این پژوهش WU معادل منابع مصرفی آب آبی در نظرگرفته شد.

$$WF_e = V_i - V_{e,r} \qquad (۶)$$

در رابطه (۶) ردپای اکولوژیک آب خارجی (WF_e)، برابر با حجم سالانه منابع آبی است که در استان ها یا کشورهای دیگر برای تولید محصولات وارداتی به استان مصرف شده است (V_i)، اگر استانی محصولات وارداتی خود را دوباره به استان‌های دیگر صادر کند ($V_{e,r}$)، باید حجم آب مجازی این محصولات را از ردپای اکولوژیک آب خارجی خود کسر کند (۱۵).

$$V_e = V_{e,d} + V_{e,r} \qquad (۷)$$

طبق رابطه (۷)، صادرات آب مجازی (V_e)، برابر است با مجموع مقدار آب مجازی محصولات تولید شده در داخل منطقه که صادر می‌شوند ($V_{e,d}$)، و مقدار آب موجود در محصولات وارداتی (آب پنهان)که دوباره صادر می شوند ($V_{e,d}$) (۱۵).

از رابطه (۸) برای محاسبه شاخص شدت مصرف آب در بخش کشاورزی استفاده شد (۱۰):

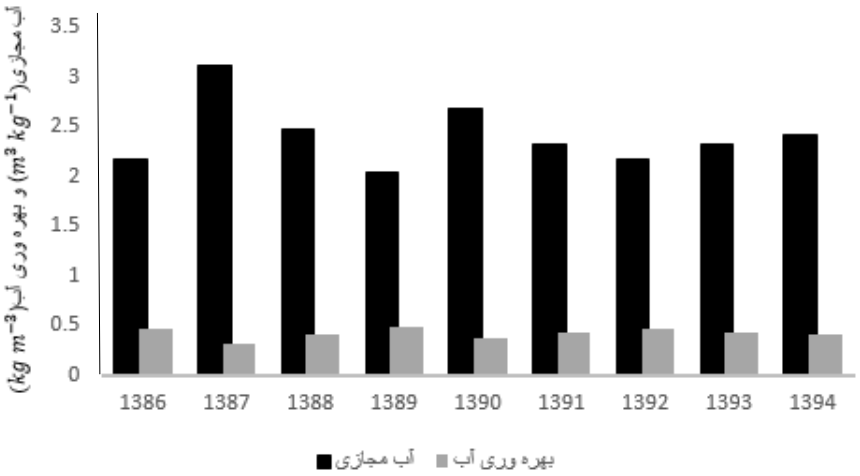
$$WI = \frac{WU}{WA} \times ۱۰۰ \qquad (۸)$$

که در این رابطه، WI شاخص شدت مصرف آب (درصد)، WU کل مصارف آبی در بخش کشاورزی و WA کل منابع آب موجود در استان است. در این پژوهش شدت مصرف آب در تولید گندم نیز از تقسیم میزان آب مصرفی در تولید گندم (wu_w) به کل آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی برآورد شد (۲۷). WI می‌تواند بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر باشد، هرچه WI به سمت صد میل کند، بدین معنی است که شدت مصرف آب در بخش کشاورزی بیشتر است. منابع آب تجدیدپذیر سالانه، به‌عنوان معیاری برای منابع آب موجود استان در نظر گرفته شده است.

شاخص وابستگی به آب (WD)، شاخصی است که منعکس‌کننده وابستگی یک استان به منابع آب خارج از استان (از طرق واردات آب مجازی) است (۱۶).

$$WD = \begin{cases} \dfrac{NVWI}{NVWI + wu_w} \times ۱۰۰ & \text{if} \quad NVWI \geq ۰ \\ ۰ & \text{if} \quad NVWI < ۰ \end{cases} \qquad (۹)$$

که در این رابطه‌ها، NVWI میزان خالص واردات آب مجازی (تراز خالص آب مجازی) محصول گندم است که از تفاضل واردات و صادرات آب مجازی تعیین می‌شود. اگر WD =۰ باشد، یعنی واردات و صادرات ناخالص آب مجازی در تعادل بوده و یا اینکه نشانه صادرات آب مجازی است. اگر وابستگی به آب یک استان به ۱۰۰درصد نزدیک شود، آنگاه آن استان تقریباً به‌طور کامل به واردات آب مجازی متکی است. اگر این



شکل ۱. میزان آب مجازی و بهره‌وری آب گندم استان اصفهان ۹۴-۱۳۸۶

شاخص منفی باشد آن منطقه صادرکننده آب مجازی است.

شاخص خود کفایی آب (WSS) به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$WSS = ۱۰۰ - WD \qquad (۱۰)$$

این رابطه برعکس شاخص وابستگی آب است و توانایی یک استان را در تأمین آب موردنیاز برای تولید کالاها و خدمات، از منابع آب داخلی نشان می‌دهد. اگر شاخص خودکفایی آب به صفر نزدیک شود، آنگاه یک استان به شدت به وارد کردن آب به‌صورت مجازی متکی است.

نتایج و بحث

بر اساس اطلاعات به‌دست آمده آب مجازی و بهره‌وری آب محصول گندم آبی از سال زراعی ۸۶-۸۵ تا ۹۴-۹۳ در شکل (۱) مشاهده می‌شود. بر اساس آمار جهاد کشاورزی استان اصفهان میانگین مجموع سطح زیرکشت گندم آبی از سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۴-۱۳۹۳ به‌میزان ۷۳۰۰۹ هکتار و میانگین تولید گندم آبی طی این ۹ سال۳۰۷۲۹۲ تن بوده است. همچنین میانگین عملکرد محصول گندم آبی طی این ۹ سال ۴۱۸۹ کیلوگرم بر هکتار بوده است. کمترین و بیشترین سطح زیرکشت گندم آبی در استان از سال ۸۶ تا ۹۰ به‌ترتیب ۵۱۱۳۵ هکتار (سال ۱۳۹۳) و ۱۰۷۴۹۸ هکتار (سال ۱۳۸۶) بود. بر اساس آخرین آمارنامه کشاورزی وزارت جهادکشاورزی سطح زیرکشت محصول در منطقه ۳۰/۴ درصد بود که این آمار نشان دهنده تولید بالای این محصول و همچنین بازده تولیدی بالای آن در این منطقه است. آب مجازی محصولات کشاورزی متأثر از نیاز آبی و عملکرد محصول است که خود به شرایط اقلیمی محل کاشت وابسته است. همچنین از بین محصولات، محصول گندم آبی به دلیل اینکه سطح زیرکشت آن به‌طور قابل توجهی بیش از سطح زیرکشت دیم است، جزء محصولات با آب مجازی بالا محسوب می‌شود. میانگین وزنی آب مجازی در سطح استان در این ۹ سال بین ۲/۰۴ (سال ۱۳۸۹) تا ۳/۱۱ (سال ۱۳۸۷) مترمکعب بر کیلوگرم متغیر است و میانگین ۹ ساله آب مجازی و بهره‌وری آب به‌ترتیب حدود ۲/۴۱ مترمکعب برکیلوگرم و ۰/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب است. همان‌طور که در شکل یک ملاحظه می‌شود، بیشترین مقدار آب مجازی در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ است. در این سال مقدار میانگین وزنی آب مجازی و بهره‌وری آب به‌ترتیب ۳/۱۱ مترمکعب برکیلوگرم و ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب است. یعنی به‌ازای تولید هر یک کیلوگرم گندم ۳/۱۱ مترمکعب آب مصرف شده و به‌ازای هر مترمکعب آب ۰/۳۲ کیلوگرم محصول تولید

جدول ۱. بیلان آبی و شاخص‌های محاسبه شده منابع آب استان اصفهان در دوره ۹ ساله از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴

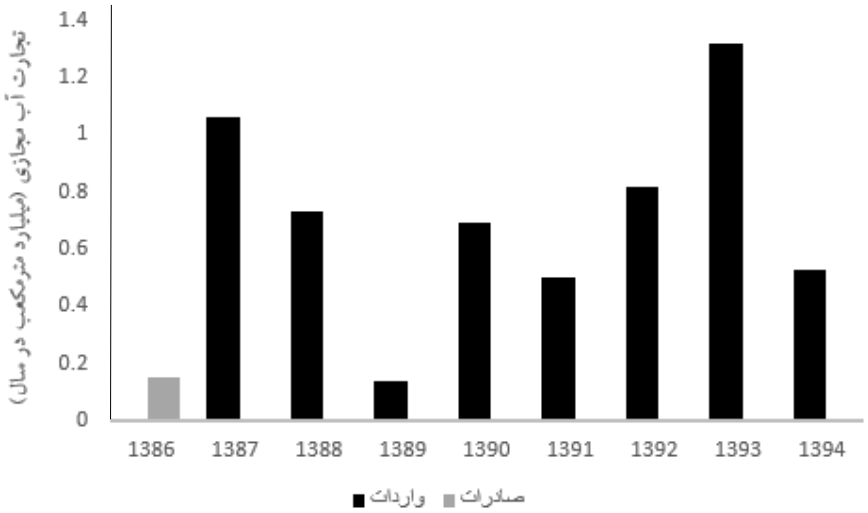
بیلان آبی/ شاخص آبی	سال									
	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	میانگین
کل منابع آب مصرف شده (میلیارد مترمکعب)	۱۰/۵۶	۶/۷۶	۶/۰۵	۸/۲۰	۷/۹۷	۷/۵۵	۷/۸۸	۶/۶۲	۷/۶۷	۷/۷۰
کل منابع آب مصرفی در بخش کشاورزی (میلیارد مترمکعب)	۷/۰۲	۵/۴۵	۴/۶۵	۵/۳۸	۵/۶۷	۴/۹۲	۴/۹۷	۴/۲۶	۴/۸۵	۵/۲۴
صادرات آب مجازی (میلیارد مترمکعب در سال)	۰/۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲
واردات آب مجازی (میلیارد مترمکعب در سال)	۰	۱/۰۶	۰/۷۳	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۵	۰/۸۲	۱/۳۲	۰/۵۳	۰/۶۵
مبادله خالص آب مجازی (میلیارد مترمکعب در سال)	-۰/۱۵	۱/۰۶	۰/۷۳	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۵	۰/۸۲	۱/۳۲	۰/۵۳	۰/۶۳
شاخص ردپای آب (میلیارد مترمکعب در سال)	۶/۸۶	۶/۵۲	۵/۳۹	۵/۵۲	۶/۳۵	۵/۴۲	۵/۷۹	۵/۵۹	۵/۳۸	۵/۸۷
ردپای آب داخلی (میلیارد مترمکعب در سال)	۶/۸۶	۵/۴۵	۴/۶۵	۵/۳۸	۵/۶۷	۴/۹۲	۴/۹۷	۴/۲۶	۴/۸۵	۵/۲۲
ردپای آب خارجی (میلیارد مترمکعب در سال)	۰	۱/۰۶	۰/۷۳	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۵	۰/۸۲	۱/۳۲	۰/۵۳	۰/۶۵
شاخص سرانه ردپای اکولوژیک آب (مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر)	۱۴۸۵	۱۳۹۲	۱۱۳۶	۱۱۴۹	۱۳۰۲	۱۰۹۶	۱۱۵۵	۱۰۹۹	۱۰۴۵	۱۲۰۷
شاخص کمبود یا شدت مصرف آب کشاورزی (درصد)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۷	۱۲	۱۵	۱۱	۱۲	۱۲	۱۴
شاخص وابستگی به واردات آب مجازی (درصد)	۰	۵۶	۵۱	۱۴	۵۱	۴۰	۶۰	۷۲	۴۷	۴۳
شاخص خودکفایی به واردات آب مجازی (درصد)	۱۰۰	۴۴	۴۹	۸۶	۴۹	۶۰	۴۰	۲۸	۵۳	۵۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

شده است. به‌عبارتی، در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ با مصرف بیشتر آب، محصول کمتری تولید شد. همچنین طی این ۹ سال کمترین مقدار آب مجازی (۲/۰۴ مترمکعب بر کیلوگرم) و بیشترین میزان بهره‌وری (۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب) در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ است. استان اصفهان در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ با سطح زیرکشت و عملکرد بیشتر محصول گندم آبی نسبت به سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، توانسته مقدار آب مجازی کمتری که همراه با بهره‌وری بیشتری است را به‌دست آورد.

جدول (۱) تراز آب مجازی و نتایج مربوط به محاسبات شاخص‌های کلی و سرانه ردپای اکولوژیک، کم‌آبی، وابستگی و خودکفایی به واردات آب مجازی محصول گندم آبی را از سال های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ در استان اصفهان نشان می‌دهد. بر اساس آمار و ارقام به‌دست آمده از سازمان آب منطقه‌ای استان که در جدول (۱) جمع‌آوری شده‌اند، میانگین ۹ ساله برآورد کل آب مصرف شده در استان برابر با ۷/۷۰ میلیارد متر مکعب است که میانگین سهم آب مصرفی در بخش کشاورزی در این ۹ سال برابر با ۵/۲۴ میلیارد مترمکعب است. همچنین شکل (۲) تجارت آب مجازی طی این دوره را به‌صورت نمودار نشان می‌دهد.

میانگین ۹ ساله صادرات، واردات و مبادله خالص آب



شکل ۲. میزان واردات و صادرات آب مجازی برای محصول گندم استان اصفهان ۹۴-۱۳۸۶

مجازی در سطح استان به‌ترتیب برابر ۰/۱۵، ۰/۶۵ و ۰/۶۳ میلیارد مترمکعب بوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سال ۱۳۸۶ مبادله خالص آب مجازی در محصول گندم آبی استان منفی است، بدین معنی که استان اصفهان در این سال صادر کننده آب مجازی است و از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ این استان واردات آب مجازی در محصول گندم آبی داشته است که بیشترین و کمترین میزان واردات آب مجازی به‌ترتیب برابر ۱/۳۲ میلیارد مترمکعب (سال ۱۳۹۳) و ۰/۱۴ میلیارد مترمکعب (سال ۱۳۸۹) بود. در نتیجه طی این دوره ۹ ساله با میانگینی حدود ۰/۶۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی وارد استان شده است. دلیل این رویداد، عواملی نظیر افزایش جمعیت، وقوع خشکسالی در استان اصفهان بود که طبیعتاً کاهش تولید و افزایش نیاز به مصرف و واردات محصولات کشاورزی اساسی و استراتژیک همانند گندم را به‌دنبال داشته است. بدیهی است وقوع خشکسالی اخیر در استان اصفهان روند تولید و صادرات محصولات کشاورزی و به تبع آن، واردات خالص آب مجازی استان را نیز تحت تأثیر قرار داده‌است.

ردپای اکولوژیک آب کشاورزی تقاضای آب مصرفی برای تأمین نیازهای آبی بخش کشاورزی استان را نشان می‌دهد. همچنین در این ۹ سال سرانه ردپای اکولوژیک آب را در هرسال با استفاده از جمعیت آن سال محاسبه شده است. با توجه به اینکه در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ استان اصفهان فقط صادرکننده بوده، بنابراین استان واردات گندم نداشته که به استان‌های دیگر صادر کند، بدین‌ترتیب می‌توان مؤلفه $V_{e,r}$ در رابطه (۶) را صفر فرض کرد. همچنین در سال های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ هم فرض بر این است که استان اصفهان اقدام به صادرات دوباره محصولات وارداتی نکرده است، بنابراین در این سال‌ها هم مؤلفه $V_{e,r}$ در رابطه (۶) را می‌توان صفر فرض کرد. شاخص ردپای اکولوژیک آب استان در بخش کشاورزی برای محصول گندم آبی در این ۹ سال بین ۵/۳۸ تا ۶/۸۶ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که در کل طی این دوره ۹ ساله، میانگین سالانه ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی استان ۵/۸۷ میلیارد مترمکعب بود و استان اصفهان با میانگین ۰/۶۵ مترمکعب واردات آب مجازی در سال، موجب ذخیره سالیانه این حجم آب از منابع داخلی خود شده است. همچنین سرانه آب مصرفی پایه به‌ازای هر نفر در این دوره به‌طور متوسط برابر ۱۲۰۷مترمکعب در سال است، بدین‌معنی که ۱۲۰۷ مترمکعب آب برای تأمین نیازهای غذایی هر نفر در استان اصفهان مصرف می‌شود.

همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، میانگین شدت

مصرف آب برای محصول گندم آبی با راندمان آبیاری ۴۸ درصد در استان طی این ۹ سال بین ۱۷-۱۱ درصد با میانگینی برابر با ۱۴ درصد است که هرچه این عدد بیشتر به سمت ۱۰۰ میل کند، بدین معنی است که شدت مصرف آب برای تولید گندم در بخش کشاورزی بیشتر است. نیریزی (۲۴) متوسط میزان کم آبیاری در دشت‌های ایران را معادل ۵۰ تا ۷۰ درصد بیان داشت. این کمبود آب باعث کاهش متوسط تولید محصولات سالانه و دایمی به ازای یک مترمکعب آب مصرفی می‌شود (۱۸). وابستگی استان به واردات آب مجازی در محصول گندم در این ۹ سال بین ۷۲-۱۴ درصد (با میانگین ۴۳ درصد) برآورد شده است. این رقم بیانگر این است که اگر استان در این ۹ سال به جای واردات گندم، آنها را در داخل تولید می‌کرد، باید به‌طور متوسط ۴۳ درصد به مصارف آب در بخش کشاورزی می‌افزود. به عبارت دیگر، با واردات حجم آب مجازی در این محصول به استان در طی این سال‌ها، به‌طور میانگین میزان ۰/۶۳ میلیارد مترمکعب منابع آب داخلی خود را حفظ کرده و در بخش‌های دیگر به مصرف رسانده است. همچنین این استان به‌طور متوسط طی این دوره به‌میزان ۵۷ درصد در تولید گندم خودکفا است. همان‌طور که ملاحظه می شود در سال ۱۳۸۶، شاخص خودکفایی به واردات آب مجازی صد در صد است که بیانگر این است که استان در این سال کاملاً در تولید گندم خودکفا بوده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی ردپای اکولوژیک آب، آب مجازی و شاخص‌های مربوط به آن برای محصول استراتژیک (گندم) در استان اصفهان طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ پرداخته شد. نتایج نشان داد میانگین آب مجازی طی این دوره برابر ۲/۴۱ مترمکعب بر کیلوگرم است. لذا برای تولید هر کیلوگرم گندم حدود ۲۴۱۰ لیتر آب مصرف می‌شود. استان اصفهان در سال ۱۳۸۶ صادرکننده آب مجازی و در سال‌های ۹۴-۸۷ وارد کننده آب مجازی برای محصول گندم بوده است. در نتیجه طی این دوره که استان اصفهان تنها واردکننده آب مجازی بوده به‌طور متوسط حدود ۰/۶۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی وارد کرده است که موجب ذخیره سالیانه این حجم آب از منابع داخلی خود شده است، این روند به نظر نشان‌دهنده افزایش جمعیت، خشکسالی و کاهش منابع آبی طی سال‌های اخیر در این منطقه است. همچنین در این دوره میانگین ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی استان برای محصول گندم برابر ۵/۸۷ میلیارد مترمکعب در سال است که به‌طور متوسط به‌ازای هر نفر، ۱۲۰۷ مترمکعب در سال برآورد شد. همچنین شاخص‌های آبی محاسبه شده برای محصول گندم در استان نشان دادند که به‌طور میانگین در این دوره، شدت مصرف آب برای آبیاری گندم (با راندمان ۴۸ درصد) برابر ۱۴ درصد، شاخص وابستگی به واردات آب مجازی برای این محصول برابر ۴۳ درصد و نیز شاخص خودکفایی واردات آب مجازی این محصول برابر ۵۷ درصد بوده‌اند.

مقدار آب مجازی خالص گندم در برخی کشورهای مهم تولیدکننده از جمله استرالیا، برزیل، چین، فرانسه، هند، ایران، اندونزی، ایتالیا، ژاپن، روسیه، انگلیس و امریکا بین ۰/۵ تا ۳ مترمکعب بر کیلوگرم (با میانگین جهانی ۱/۵ مترمکعب بر کیلوگرم) گزارش شد. همچنین، متوسط آب مجازی خالص گندم در ایران (۳ مترمکعب بر کیلوگرم) تقریباً ۲ برابر متوسط جهانی آن است (۲۳). همچنین، نتایج بررسی ردپای آب محصولات مختلف زراعی حاکی از آب‌بر بودن گندم در مقایسه با سایر محصولات زراعی دارد (۱۳). در پژوهشی دیگر نیز گندم، بعد از برنج در رتبه دوم از نظر شدت مصرف آب قرار گرفت (۸). مطالعه‌ای که در استان اصفهان انجام شد در مقایسه با مطالعه‌ای که پورجعفری‌نژاد و همکاران (۲۵) در کرمان انجام دادند تا حدی نزدیک به هم بودند. در این مطالعه بررسی ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب مجازی در محصولات پسته و خرما در استان کرمان، به محاسبه میزان ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب مجازی در محصولات استراتژیک استان کرمان (پسته و خرما) در سال ۱۳۸۸ پرداختند. نتایج نشان داد

که شاخص ردپای اکولوژیک آب استان در بخش کشاورزی ۵/۵۶ میلیاردمترمکعب تخمین زده شد که به‌ازای هر نفر ۲۰۹۷/۲ مترمکعب در سال است. تفاوت مطالعات انجام شده با پژوهش حاضر، در ابعاد زمانی و مکانی مختلف (کشور، استان و شهرستان)، نوع و تعداد محصول، همچنین میزان راندمان‌های مختلف آبیاری است. بنابراین با در نظر گرفتن این تفاوت‌ها پژوهش حاضر تقریباً با مطالعات انجام شده همسو است.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، با توجه به محدودیت منابع آبی به‌دلیل تغییر اقلیم و کاهش نزولات جوی، روند افزایش قابل ملاحظه واردات محصولات کشاورزی به استان دور از انتظار نیست. لذا، بایستی توجه بیشتری به ساختار کشاورزی این استان مبذول داشته و برنامه‌ریزی و مدیریت مناسبی با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی و قابلیت استان در کشت محصولات متناسب با وضعیت اقلیمی و منابع آب، توسط کارشناسان ارائه شود تا بتوان نقش مهمی در افزایش بهره‌وری محصولات در بخش کشاورزی ایفا کرد. در نتیجه انتظار می‌رود که با روند رو به افزایش کم آبی در استان، نقش آب مجازی در امنیت غذایی، پیوسته افزایش یابد.

بعد از بررسی نتایج این مطالعه راهکارهای زیر برای مدیریت هر چه بهتر منابع آب استان پیشنهاد می‌شود:

۱- با توجه به نتایج حاصل شده از این پژوهش، باید گفت که برآورد مقدار آب مجازی می‌تواند یکی از عوامل مناسب گزینش کشت‌های جایگزین در مناطق کشاورزی استان باشد. لذا پیشنهاد می‌شود، به منظور حفظ منابع آبی سطحی و زیرزمینی در دسترس در این استان و استفاده بهینه از منابع آب ناشی از نزولات جوی، با درنظر گرفتن منافع ملی و حفظ استقلال سیاسی و اقتصادی استان، الگوی کشت بهینه انتخاب شود. لازم به ذکر است که زمانی این امر به صورت مؤثر عملی خواهد بود که به بررسی سایر محصولات پرداخته شود و با دید کلان برنامه‌ریزی‌های اصولی، هدفمند و یکپارچه در بخش کشاورزی و الگوی صحیح کشت انجام شود.

۲- مبادلهٔ آگاهانهٔ آب مجازی، به‌عنوان یک تدبیر سیاسی و اساسی در مدیریت منابع آب، همراه با اصلاحات منطقی در ساختار کشاورزی، امنیت بلندمدت غذایی و مصرف پایدار آب در استان اصفهان را تأمین کند. توجه ویژه به تجارت آب مجازی نیز می‌تواند از راهکارهای مناسب برای مبارزه با پدیده کم‌آبی باشد (۲۱). بدین ترتیب، در این خصوص استان اصفهان می‌تواند مقداری از آب موردنیاز خود را از طریق واردات محصولات کشاورزی از سایر مناطق برطرف کند که طبق نتایج به‌دست آمده در سال‌های اخیر استان اصفهان با وارادات گندم مقداری از آب را ذخیره کرده است. البته باید توجه کرد که آیا این روش می‌تواند زیست بوم منطقه را که در اثر استفاده بی‌رویه از چاه‌های کشاورزی دچار تنش خشکی شده است یاری کند یا خیر.

۳- نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بر اساس میانگین ۹ ساله زراعی سطح زیرکشت گندم آبی در منطقه ۲۷ درصد است که این رقم نشان دهنده تولید بالای این محصول در استان است. با توجه به وضعیت اقلیم خشک این استان، بالا بودن سطح زیر کشت آبی هر چند با افزایش عملکرد محصول همراه باشد، نشان دهنده برداشت زیاد از منابع آب است. این مطلب با در نظر گرفتن عدم یکنواختی توزیع زمانی و مکانی بارش در استان اصفهان، اهمیت آبیاری را برای دستیابی به تولید پایدار و عملکرد زیاد افزایش می‌دهد. کاهش تولید گندم آبی و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای آبیاری تکمیلی مزارع دیم می‌تواند راهکاری برای کاهش فشار بر منابع آبی منطقه باشد.

۴- علاوه بر این با بهبود سیستم‌های آبیاری و جایگزینی سیستم‌های تحت فشار به جای سیستم‌های سنتی، گسترش اجرای آبیاری بارانی در زراعت ها موجب کاهش مصرف آب و بالا بردن راندمان آبیاری می‌شود. لذا بالا بردن راندمان آبیاری ازجمله راهکارهای اساسی در کاهش ردپای آب محصولات است.

۵- اصلاح شیوه تولید در بخش کشاورزی و ارتقاء سطح بهره وری در مصرف آب یکی از راهکارهای کاهش رد پای آب نیز به‌شمار می‌رود و بدین‌ترتیب می‌توان به منابع کافی آب برای تولید مواد غذایی دست یافت. از عوامل مؤثر در کاهش شاخص آب مصرفی مردم (آبرانه کشاورزی) اصلاح الگوی تغذیه‌ای جامعه است. برای نیل به این هدف سیاست‌گذاری هایی لازم است تا بتوان الگوی مصرف جامعه را به سوی یک الگوی بهینه سوق داد. استفاده از روش‌های آموزشی و بالا بردن آگاهی‌های مردم به‌منظور بهتر کردن الگوی مصرف غذایی از مهم‌ترین عوامل مؤثر است.

۶- پیشنهاد می‌شود این تحقیق در سطح تمام شهرستان‌های استان اصفهان و همچنین به‌صورت یک طرح ملی در سطح تمام استان‌های کشور و برای تمامی محصولات کشاورزی انجام گیرد تا ارزیابی وضعیت تمام استان‌های کشور پهناور ایران در مبادلات درون‌کشوری آب مجازی به‌طور کامل مشخص شود و بر اساس آن مدیریت منابع آب در سطح کشور به‌صورت یکپارچه و هدفمند انجام شود. لذا سیاست‌گذاری‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که هم بتوان چالش های محدودیت منابع آبی بررسی و هم امنیت بلندمدت غذایی استان اصفهان را تأمین کند.

منابع مورد استفاده

1. Aldaya, M., J. Allan and A. Hoekstra 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecological Economics* 69: 887–894.
2. Aldaya, M. and M. Lamas. 2009. Water footprint analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadiana river basin, Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7 place de Fontenoy, 75352 Paris.
3. Allan, J.A. 1993. Fortunately There Are Substitutes for Water Otherwise Our Hydro-Political Futures Would Be Impossible, In: ODA, Priorities for Water Resources Allocation and Management, ODA, London.
4. Arabi-Yazdi, A., A. Alizadeh and F. Mohammadian. 2009. Study on ecological water footprint in agricultural section of Iran. *Journal of Water and Soil* 23(4): 1-15.
5. Arabi-Yazdi, A., N. Nik nia, N. Majidi and H. Majidi. 2015. Water security assessment in arid climates based on water footprnt concept (case study; south khorasan province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 8(4): 735-746.
6. Bulsink, F., A. Hoekstra and M. Booij. 2010. The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrology and Earth System Sciences* 14: 119–128.
7. Chapagain, A. and A. Hoekstra. 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock production. Value of Water Research Report Series No. 13. UNESCO. IEIE. Delft, the Netherlands.
8. Chapagain, A., A. Hoekstra and H. Savenije. 2006. Water saving through international trade of Agricultural products. *Hydrology Earth System Science* 10: 455-468.
9. Chapagain, A., A. Hoekstra, H. Savenije and R. Gautam. 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: 186-203.
10. Ehsani, M. H. Khaledi and Y. Barghi. 2009. Introduction to Virtual Water. Iranian National Committee on Irregation & Drainage (IRNCID). Tehran.
11. El Sadek, A. 2010. Virtual water trade as a solution for water scarcity in Egypt. *Water Resources Management* 24(11): 2437-2448.
12. Finger, R. 2013. More than the mean—a note on heterogeneity aspects in the assessment of water footprints. *Ecological Indicators* 29: 145–147.
13. Hoekstra, A. 2003. Virtual water trade: processing of the international expert meeting on Virtual water trade. *Value of the Water Research Report* 12: 1-248.
14. Hoekstra, A. and A. Chapagain. 2008. Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
15. Hoekstra, A., A. Chapagain, M. Aldaya and M. Mekonnen. 2009. Water Footprint Manual, State of the art. Water Footprint Network Press. Enschede, the Netherlands.
16. Hoekstra, A. Y. and P. Q. Hung. 2002. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations In Relation To International Crop Trade. Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE,

Delft, the Netherlands.
17. Hoekstra, A. Y. 2008. Water Neutral: Reducing and of Setting the Impacts of Water Footprints. Value of Water Research Report Series, NO. 28, Delft, the Netherlands: Unesco-IHE Institute for Water Education.
18. Kaveh, F. 2003. Promoting agricultural water productivity and Food security. *In:* Proceeding of the The Eleventh National Conference of Iranian National Committee on Irregation & Drainag. Iran.
19. Khoramivafa, M., M. Nouri, F. Mondani and H. Veisi. 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.
20. Leenesa, W. G., A. Y. Hoekstraa and T. H. Meerb. 2009. *The Water Footprint of Bioenergy, PANAS* 106(25): 10219-10223.
21. Lenzen, M., A. Bhaduri, D. Moran, K. Kanemoto, M. Bekchanov, A. Geschke and B. Foran. 2012. The role of scarcity in global virtual water flows. *Social Science Research Network* 169: 1436-9931.
22. Mamanpush, A. 2015. Final Report of the Evaluation Project and Determination of Irrigation Efficiency in Traditional and Modern Irrigation Networks of Isfahan Province. Ministry of Agriculture – Jahad, Promotion Organization, Agriculture Education and Research in Isfahan Province. Iran.
23. Mohammadi, H. and A. Taali Moghadam. 2011. Virtual water trade for major crops in Iran. *In:* Proceeding of the Second National Conference of Applied Research of Water Resources. Zanjan, Regional Water Company of Zanjan.
24. Neirizi, S. 2003. An analysis of water use efficiency. *In:* Proceeding of the Eleventh National Conference of Iranian National Committee on Irregation and Drainag. Tehran.
25. Pour jafari nejad, A., A. Alizadeh and A. Neshat. 2013. Study on ecological water footprint and indicators of virtual water in agricultural section of Kerman province. *Journal of Irrigation & Water Engineering* 4(13): 80-89.
26. Regional Water Company of Isfahan. Available online at: http://esrw.ir/SC.php?type=static&id=103.
27. Salari, S., F. Karandish and A. Darzi-Naftchali. 2014. Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan Province. *Journal of Irrigation & Water Engineering* 5(18): 81-94.
28. Van oel, P., M. Mekonnen and A. Hoekstra. 2008. The External Water Footprint of the Netherlands: Quantification and Impact Assessment. Value of Water Research Report Series, No. 33, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, p. 72.
29. Zarei, GH. and A. M. Jafari. 2015. The role of import and export of major crop productions in virtual water trade and water footprint in agricultural sector of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 9(5): 784-797.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 1, Spring 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of Virtual Water and Ecological Footprints of Water in Wheat Fields of Isfahan Province

F. Oveisi, A. Fattahi Ardakani* and M. Fehresti Sani[1]

(Received: December 29-2017; Accepted: March 10-2018)

Abstract

Despite the recent droughts in Isfahan province, climatic changes and the rising trend of population growth, as well as development of industrial and agricultural activities, are exposed to the water crisis. Thus, in order to tackle this problem, the essential strategies should including exploring virtual water and water foot print for strategic crops in agricultural sector should be taken into consideration for the management of water supplies at risk. This study was aimed to examine virtual water and ecologic fingerprint of water for the wheat crop in Isfahan Province from the farming year 2006-7 through 2014-15. For this purpose, the quantity of virtual water was extracted using net irrigation demand by NETWAT software and the rate of irrigation efficiency was computed to be 48%. The results indicated that only in 2007, Isfahan province was an exporter of virtual water for the wheat crop, so this province exported about 0.15 billion cubic meters of virtual water to other provinces by wheat exportation, but Isfahan province was the only virtual water in the years (2008-15) and this was due to the annual population rise and the existing drought in this zone. During this period, the rate of the mean annual rate of ecological footprint of water was 5.87 billion cubic meters and Isfahan Province stored this volume of water from the given internal supplies annually, with the mean rate of 0.65 billion cubic meters of virtual water importation at that year.

Keywords: Crop Water Productivity, Consumption intensity index, Dependence index, Self-sufficiency index, Virtual water trade

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: fatahi@ardakan.ac.ir