

مقدمه

در حال حاضر، کمیت و کیفیت منابع آبی از چالش‌های عمده در جهان است. بحران کم‌آبی در اثر استفاده بی‌رویه از منابع آبی در مناطق وسیعی از جهان به سرعت در حال گسترش است. مصرف سوء منابع آب پیامدهایی از جمله خشکیدگی نهرها قبل از رسیدن به دریاها و دریاچه‌ها در اثر برداشت بی‌رویه از منابع آب منطقه بالادست [۱۰]، افت شدید ذخایر آب زیرزمینی و تداخل آب شور و شیرین [۴۰] را به دنبال دارد. با وجود محدودیت‌های اعمال شده توسط وزارت نیرو، بهره‌برداری‌های غیراصولی و بی‌رویه زنگ خطر کاهش منابع آبی به صدا درآمده است. کشور ما نیز به علت قرار گرفتن بر روی کمربند خشک جهان و تغییر اقلیم [۳۴]، بارندگی‌های کمتر از متوسط جهانی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی آن در سطح کشور [۳۴، ۴۷]، خشکسالی‌های پی‌درپی [۳۲، ۴۷]، افزایش جمعیت و افزایش سرانه تقاضای آب [۴۷] بهره‌برداری‌های غیراصولی و استفاده از روش‌های سنتی و پرمصرف آبیاری، در نظر نگرفتن موضوع بهره‌وری و راهکارهای اقتصادی - مدیریتی، به ویژه در نواحی خشک و بیابانی کشور با کاهش ذخایر آبی پشت سدها و افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی [۴۷] روبروست. از سوی دیگر، دولت با تأکید بر افزایش تولید محصولات کشاورزی، بر افزایش درآمد صادرات غیرنفتی تأکید دارد. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده جمعیت ایران تا سال ۱۴۰۰ شمسی احتمالاً به مرز ۱۰۰ میلیون نفر می‌رسد که برای تأمین غذای این جمعیت رو به رشد به ۱۵۰ میلیارد متر مکعب آب نیاز خواهد بود [۶]. طبق گزارش پورصالحی و همکاران [۳۴] امروزه حدود ۶۹ درصد از مجموع منابع آب تجدیدپذیر کشور در حال مصرف است که در مقایسه با آمارهای جهانی رقم بالایی است. علی‌رغم حساسیت مسأله کم‌آبی، از منابع آبی موجود به شکل مطلوب استفاده نمی‌گردد. به رغم سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در زمینه بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس منابع آبی موجود، عواملی چون برداشت بی‌رویه از منابع آبی، عدم تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، عدم رعایت مسائل حفاظتی محیط‌زیست، رشد جمعیت و همگام با آن رشد تقاضا به منظور تأمین نیازهای جمعیت رو به رشد، روز به روز بیشتر می‌شود. از سویی دیگر هر کشور و هر استانی در جهت نیل به امنیت غذایی، به مسأله خودکفایی در تولیدات خود تأکید دارد. راهکار تجارت آب مجازی توأم با اعمال روش‌های بهینه‌سازی مصرف و استحصال منابع می‌تواند بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست را در

رویکرد آب مجازی در مدیریت منابع آب

میرحسین میریعقوب زاده^{*}، سیدامین خسروی^آ، شکوفه ابراهیمی^آ، مصطفی

ذبیحی^ب

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۶

چکیده

بحران کم‌آبی در مناطق وسیعی از جهان به سرعت در حال گسترش است. کشور ما نیز به دلیل واقع شدن در کمربند خشک کره زمین، بارندگی‌های کمتر از میانگین جهانی، پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی‌ها، رشد جمعیت و افزایش سرانه تقاضای آب و نیز مصرف سوء منابع آب از این قاعده مستثنی نیست. طبق مطالعات صورت گرفته بیش از ۹۰٪ آب استحصال شده کشور صرف بخش کشاورزی می‌شود که با بازنگری در سیاست‌گذاری‌ها و رویکردهای مدیریتی منابع آب به خصوص در بخش کشاورزی می‌توان از هدررفت بخش قابل توجهی از منابع آبی جلوگیری کرد. به آبی که در مراحل مختلف فرآیند تولید محصول یا فرآورده کشاورزی استفاده می‌شود آب مجازی اطلاق می‌گردد که با تجارت (واردات و صادرات) محصول کشاورزی چه در سطح ملی و چه در سطح بین‌المللی، جریان از تجارت آب مجازی به وجود می‌آید. به این صورت که کشور وارد کننده علاوه بر محصول غذایی، آب مجازی را نیز وارد می‌کند. کشورهای نظیر ایران که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند و با بحران آب مواجه هستند، می‌توانند با واردات محصولات آب‌بَر، در مصرف منابع آبی خود صرفه‌جویی کرده و یا منابع آبی خود را در سایر زمینه‌ها مصرف کنند.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، کشاورزی، مدیریت منابع آب، آب مجازی، تجارت آب مجازی

- ۱- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، نویسنده مسئول، Email: M.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir
- ۲- کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
- ۳- کارشناس ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

$$V_w = CWRc/CYc \quad (1)$$

آب مجازی (mm/kg)

متوسط نیاز آبی گیاه (mm)

عملکرد متوسط گیاه (kg)

به دلیل مشکل کم‌آبی در خاورمیانه، بحث آب مجازی ابتدا در مورد کشورهای واقع در منطقه خاورمیانه مطرح شد. دلیل استفاده از واژه "مجازی" در این است که قسمت اعظم آب مصرف شده در زنجیره تولید در محصول وجود فیزیکی ندارد و مقدار اندکی از آن به عنوان آب در بافت محصول نهایی باقی می‌ماند.

اجزای آب مجازی

در طول مراحل تولید یک محصول، ممکن است از منابع مختلفی مانند آب‌های سطحی و زیرسطحی، چشمه‌ها، آب باران، پساب‌ها و غیره استفاده شود. در این حالت نوع منبع تأمین‌کننده آب می‌تواند بر تحلیل آب مجازی مؤثر باشد که خود باعث طبقه‌بندی آب مجازی به سه دسته آب آبی، آب سبز و آب خاکستری می‌شود [۲۰]. آبی که گیاه در طول مراحل رشد و یا نمو مصرف و یا در بافت‌های خود ذخیره می‌کند و با عمل تعرق از دسترس گیاه خارج می‌شود، آب سبز مجازی می‌نامند. به بیان دیگر، آب باران بعد از نفوذ در خاک و قبل از این که به منطقه اشباع برسد، آب سبز را تشکیل می‌دهد. آب سبز از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز گیاهان به خصوص در اراضی دیم است و اولین بار توسط فلکنمارک [۱۵] مطرح شد. در حالی که آب‌های زیرزمینی (منطقه اشباع) پشت سدها و تالاب‌ها می‌پنوند و آب آبی را تشکیل می‌دهد. منبع آب آبی، همانند آب سبز بارندگی است. آب مجازی خاکستری، مقدار آبی است که در چرخه تولید یک محصول آلوده می‌شود و سپس این آب آلوده به صورت پساب از مزرعه خارج می‌شود. آب خاکستری، دارای استاندارد مصرف نمی‌باشد و برگرداندن آن به آب استاندارد و قابل مصرف، از نظر زمان و هزینه به صرفه نمی‌باشد. در کشاورزی دیم از آب سبز حاصل از بارندگی و در کشاورزی آبی از آب آبی مهار شده‌ای که به اراضی هدایت می‌شود، استفاده می‌گردد. آب سبز در تولید غذای جهانی از نقش کلیدی برخوردار است ولی در مطالعات مختلف، از آن غفلت می‌شود. دلیل این غفلت، شاید در پیچیدگی محاسبات آن باشد [۳۹]. از نظر حجم ذخایر آب شیرین و مشارکت در تولید مواد غذایی سهم آب سبز پررنگ‌تر از آب آبی است، چرا که ۶۵ درصد از نزولات آسمانی به آب سبز و باقی به آب آبی تبدیل می‌شود [۸]. طبق گزارش اصلمند و برهانی [۸] مفهوم آب مجازی بین آب آبی و آب سبز تفکیکی قائل نمی‌شود. در حالی که از نظر پایداری زیست‌محیطی بین مصرف آب آبی و آب سبز تفاوت بسیار زیادی وجود دارد. متأسفانه کشور ما صادرکننده خالص آب آبی و واردکننده خالص آب سبز است. یعنی حتی اگر واردکننده خالص

مواد و روش‌ها

بهره‌وری آب

بهره‌وری آب یک مفهوم بنیادی است و به استفاده صحیح از آب همراه با افزایش تولید محصول کشاورزی اطلاق می‌گردد. در واقع ملاک، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش تولید در واحد سطح است. در بهره‌وری توجه به دو مفهوم راندمان و اثربخشی مورد تأکید است. راندمان عبارتست از نسبت ظرفیت فعلی به ظرفیت اسمی و اثربخشی به مقدار و درجه نیل به اهداف از پیش تعیین شده اطلاق می‌گردد. به بیان ساده‌تر، هر نوع اقدام و عملی که به مصرف صحیح‌تر آب در کشاورزی منجر شود، موجب افزایش بهره‌وری آب خواهد شد. گزارش صادقی عطار [۳۸] بیانگر این واقعیت است که بهره‌وری آب در کشاورزی رضایت‌بخش نیست. جدول ۱ نشان می‌دهد که بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران (۰/۲) پایین‌تر از برخی کشورهای همسایه نظیر ترکیه است.

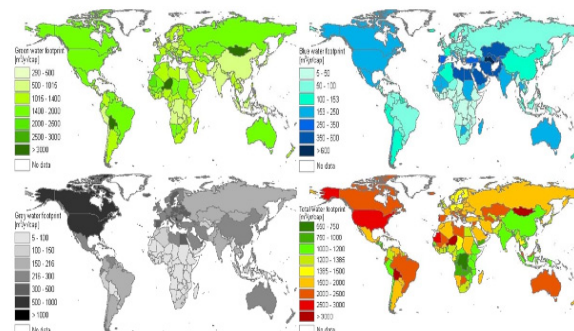
جدول ۱: میانگین شاخص بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، صنعت و اقتصاد طی دوره ۲۰۰۴-۱۹۸۷ (بانک جهانی، ۲۰۰۶).
(یک مترمکعب به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی
به دلار در سال پایه ۲۰۰۰)

شرح	کشاورزی	صنعت	کل اقتصاد
جهان	۱	۱۸/۷	۸/۶
کشورهای با درآمد بالا	۲/۷	۳۳/۶	۲۸/۲
کشورهای با درآمد متوسط	۰/۶	۱۹	۳/۳
کشورهای با درآمد پایین	۰/۳	۰/۷	۰/۸
ایران	۰/۲	۲۶/۲	۱/۶
ترکیه	۱	۱۰/۴	۵/۳
ازبکستان	۲/۵	۰/۱	۰/۳
هند	۰/۲	۳/۵	۰/۸
مصر	۰/۳	۰/۸	۱/۶
ارمنستان	۰/۶	۲۱/۶	۸/۳
پاکستان	۰/۱	۴/۷	۰/۵

آب مجازی

واژه آب مجازی برای نخستین بار در سال ۱۹۹۳ توسط پروفیسور آلن پژوهشگر بریتانیایی مطرح شد. آب مجازی عبارت است از مقدار آبی که در فرآیند تولید یک محصول [۴، ۵، ۱۸، ۱۷] و یا فرآورده کشاورزی مصرف می‌شود [۴، ۵، ۱۹] که این شاخص

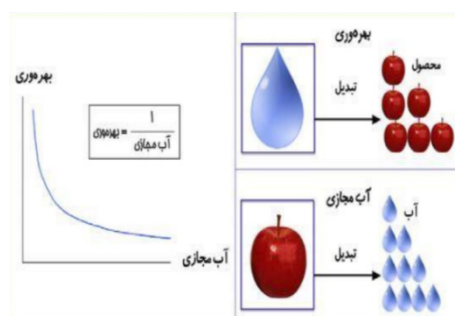
آب هم باشیم، ممکن است منابع آب آسیب ببینند. شکل ۱ متوسط مقدار آب سبز، آبی و خاکستری در جهان و سهم ایران از مقدار جهانی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: میزان آب سبز و آبی و خاکستری در ایران نسبت به متوسط جهانی

ارتباط بهره‌وری آب و آب مجازی:

همانطور که در شکل ۲ مشخص است، بهره‌وری آب و آب مجازی دو مفهوم مجزا هستند که باهم رابطه عکس دارند. بهره‌وری آب بیانگر مقدار تولید محصول به ازای مصرف هر واحد آب است که در واقع نمایانگر مفهوم تولید متوسط است. در حالی که آب مجازی در واقع مقدار مصرف آب در هر واحد محصول است. در حقیقت، آب مجازی بر میزان استفاده از آب در فرآیند تولید تأکید دارد. شکل شماره ۲ ارتباط بین بهره‌وری آب و آب مجازی را نشان می‌دهد. به طور کلی هر عملی که منجر به استفاده مناسب‌تر از آب در کشاورزی گردد، منجر به افزایش بهره‌وری آب خواهد شد [۳۳]. در نتیجه با کاهش (صرفه‌جویی) در میزان آب مجازی می‌توان بهره‌وری آب را افزایش داد.



شکل ۲: ارتباط بین مفهوم آب مجازی و بهره‌وری آب تجارت آب مجازی

از آنجایی که بحران آب یک بحران جهانی است، صاحب‌نظران بسیاری بر بازنگرایی در سیاست‌گذاری‌ها و رویکردهای مدیریتی منابع آب تأکید دارند [۲]. در همین راستا، مفاهیم جدید جهانی

تعریف شده که از شاخص‌ترین آن مفاهیم، تجارت آب است که تحت عنوان تجارت آب مجازی صورت می‌گیرد. مطالعات حاکی از این است که مبادله آگاهانه آب مجازی منجر به حفظ و پایداری منابع آبی شده و به عنوان راه حلی کارآمد در راستای تأمین نیازهای غذایی آینده قلمداد می‌شود [۷]. واردات آب مجازی منبع آب مازاد محسوب شده و به منابع آب داخلی کشور واردکننده محصولات، اضافه می‌شود. به عبارت ساده‌تر، کشور واردکننده علاوه بر کالا آبی که در تولید آن کالا مصرف شده است را نیز دریافت می‌کند [۷]. جدول ۲ ارزش هر مترمکعب آب مجازی را برای صادرات و واردات محصولات منتخب کشور (دلار بر مترمکعب) نشان می‌دهد.

جدول ۲: متوسط بهای آب مجازی محصولات منتخب صادراتی و وارداتی کشور [۲۲]

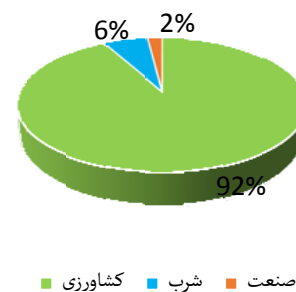
صادرات		واردات	
نام محصول	ارزش آب مجازی	نام محصول	ارزش آب مجازی
آفتابگردان	۰/۱۶۸	آفتابگردان	۰/۱۸۱
انگور	۰/۲۵۲۶	بادام زمینی	۰/۲۰۷۱
بادام	۰/۱۸۳	برنج	۰/۰۴۱۸
پسته	۰/۱۸۴۱	جو	۰/۰۸۱۴
پیاز	۰/۱۳۱۶	ذرت دانه‌ای	۰/۰۹۹۲
چای	۰/۳۴۰۲	چای	۱/۳۸۶۱
خرما	۰/۱۵۵۴	سویا	۰/۰۲۲۴
خیار	۲/۲۶۸۲	شکر خام	۰/۱۰۳۶
سیب	۰/۴۳۰۲	گندم	۰/۱۲۱۶
سیب زمینی	۰/۲۳۱۱	موز	۰/۷۱۱۵
سیر	۰/۳۲۱۱	-	-
گردو	۰/۲۶۷۷	-	-
گوجه فرنگی	۰/۴۲۸۲	-	-
لوبیا	۰/۳۷۷۸	-	-
مرکبات	۰/۱۹۱۶	-	-
میانگین	۰/۱۶۳۲	میانگین	۰/۰۴۴۱

در حال حاضر تجارت آب مجازی [۱۶] و تغییر الگوی کشت و کشت محصولاتی با مصرف آب مجازی کمتر [۳۷] به عنوان راهکاری جهت کاهش فشار وارد بر منابع آبی کشورهای کم‌آب در مجامع بین‌المللی مطرح شده است. می‌توان با مبادلات آب مجازی در سه سطح درون‌کشوری، بین‌کشوری و حتی بین‌قاره‌ای بستر ارتقای کارایی مصرف آب در دنیا و ایجاد امنیت آبی در مناطق کم‌آب را فراهم کرد. کشورهای کم‌آب با واردات محصولات آب‌بر، منابع آبی خود را صرف سایر بخش‌ها می‌کنند. بخش‌های مختلف

اقتصادی و اجتماعی کشور واردکننده تحت تأثیر واردات آب مجازی قرار می‌گیرد. سهم کشورهای مختلف در تجارت آب مجازی بسته به برخورداری آن‌ها از منابع آب کافی، اراضی کشاورزی مستعد و حاصل‌خیز و دیگر منابع متفاوت خواهد بود. چنانچه کشوری به جای مصرف آب برای تولید محصول X آن را وارد کند، به همان مقدار آب مجازی وارد کرده است و اگر تولید محصول X در کشور مبدأ (صادرکننده) نسبت به کشور مقصد (واردکننده) به آب کمتری احتیاج داشته باشد؛ در واقع در مصرف آب جهانی صرفه‌جویی شده است [۱۱]. البته باید در نظر داشت که جوانب مثبت و منفی تجارت آب مجازی از قبیل هزینه فرصت باید سنجیده شود [۱۳].

طبق گزارش دیف ریچر و همکاران [۱۱] اگر تولید محصول در کشور واردکننده در مقایسه با کشور صادرکننده آب مجازی، به آب کمتری احتیاج داشته باشد، مصرف آب در جهان روند افزایشی خواهد داشت. تولیدات کشاورزی ۶۷٪، تولیدات دامی ۲۳٪ و تولیدات ۱۰٪ از حجم تجارت آب مجازی را تشکیل می‌دهند [۴۲]. آمریکا، کانادا، تایلند، آرژانتین و هند از کشورهای پیشرو در زمینه صادرات آب مجازی می‌باشند و سریلانکا، ژاپن، هلند، جمهوری کره، چین و اندونزی از جمله کشورهای واردکننده آب مجازی می‌باشند [۲۱، ۱۸]. با توجه به شکل ۳ و در نظر گرفتن این نکته که ۹۲٪ آب استحصال شده کشور صرف بخش کشاورزی [۱۳] و تنها ۸٪ آن در بخش شرب و صنعت مصرف می‌شود و از آنجایی که بیشترین تلفات آب کشور نیز در بخش کشاورزی [۳] است. تجارت محصولات کشاورزی بخش عمده‌ای از تجارت آب مجازی را تشکیل می‌دهد [۲۸]. مطالعات متعددی که در زمینه تجارت آب مجازی و آثار رفاهی آن انجام شده نشان می‌دهد که برای تحقق استفاده بهینه آب باید سیاستی ترکیبی از واردات و صادرات محصولات کشاورزی اتخاذ شود تا منافع اقتصادی کشور نیز فراهم شود [۴۶، ۲۶].

میزان مصرف آب



شکل ۳: میزان مصرف آب در سه بخش کشاورزی، شرب و صنعت

ایران و آب مجازی

در حال حاضر اکثر قریب به اتفاق استان‌های کشور با بحران کم‌آبی

مواجه‌اند. ناگفته نماند که تنش آبی در نیمه شرقی کشور که اقلیمی خشک با بارندگی کم دارد، محسوس‌تر است [۲۴]. مدیریت تجارت آب مجازی در سطح کشور و بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولاتی از قبیل غلات با هدف مصرف بهینه منابع آب داخلی افزون بر تأمین امنیت غذایی، حفظ منابع آبی را نیز به همراه خواهد داشت [۱]. طبق گزارشات یانگ و همکاران [۴۴] از سال ۲۰۰۰ میلادی ایران در فهرست کشورهای مواجه با کم‌آبی قرار گرفته و پیش‌بینی شده که تا ۲۰۳۰ میلادی سرانه منابع آب تجدیدپذیر کشور به کمتر از ۱۵۰۰ مترمکعب خواهد رسید. حساسیت این موضوع و نیز به منظور تأمین امنیت غذایی، حفظ محیط‌زیست و توسعه صنعتی، مدیریت کارآمدتر منابع آبی ضرورت پیدا کرده است [۳۵]. از این رو می‌توان با اعمال مدیریتی سیستمی، پیوسته و مؤثر بر پایه آب مجازی در سطح کشور ضمن تأمین نیاز داخلی کشور با بحران کم‌آبی نیز مقابله کرد [۲۸]. بخش کشاورزی با مصرف متوسط ۷۰ درصد از منابع آب شیرین جهانی [۳۱] و با تولید ۲۷٪ از تولید ناخالص ملی و اشتغال ۲۲٪ نیروی کار کشور [۹] و نیز تأمین امنیت غذایی از جایگاه ویژه‌ای به خصوص در اقتصاد کشورهای در حال توسعه از جمله ایران [۳۴] برخوردار است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تجارت آب مجازی طی چهار دهه اخیر سیر صعودی داشته و ۱۵٪ از آب مصرفی جهان به شکل آب مجازی در حال صادرات است [۲۵].

جوادی و تقفی [۲۳] در تحقیقی با عنوان آب مجازی، دستاوردی نوین در حل بحران آب و تأمین امنیت غذایی در ایران بیان داشتند که در حال حاضر واردات بخش غذایی به منظور تجارت آب مجازی انجام نشده در حالی که می‌توان با بکارگیری الگوهای جدید به منظور ارزیابی کشور از نظر مزیت نسبی در تولید کالا و فرآورده‌های کشاورزی و همچنین با ایجاد تغییراتی در سیاست‌های واردات و صادرات محصولات غذایی و با رعایت امنیت غذایی، سود حاصل از آن را در سایر بخش‌ها سرمایه‌گذاری کرد و با بحران کم‌آبی کشور مقابله کرد. ایران به سبب قرار گرفتن در کمربند خشک جهان، کشوری است که با تنش آبی مواجه است و تولید مواد غذایی تنها به شیوه دیم به منظور تأمین نیاز غذایی کافی نخواهد بود بنابراین، توجه به گسترش آبیاری ضروری است.

بابازاده و سرائی تبریزی [۹] در تحقیقی وضعیت کشاورزی استان هرمزگان را از دیدگاه آب مجازی مورد بررسی قرار دادند و پیشنهاد کردند که الگوی کشت با کاشت بیشتر از آب سبز (غلات و میوه) و پرهیز از کاشت محصولات پرمصرف تابستانه مانند ذرت و سیب‌زمینی تغییر یابد. میرزاوند و ایمانی [۲۸] در دشت کاشان استان اصفهان تعیین الگوی کشت بهینه بر اساس مفهوم آب مجازی و سود دهی اقتصادی برای مقابله با کم‌آبی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که افزایش سطح زیر کشت محصولاتی نظیر خربزه، خیار، گوجه، انار، طالبی و گرمک و کاهش سطح زیر کشت گندم، پنبه، جو و هندوانه در دستور کار قرار گرفته و محصولاتی که نیاز آبی بالا و تولید نامناسبی دارند، با محصولاتی که مصرف آب کمتری

دارند، جایگزین شده و یا این نوع محصولات را با هزینه کمتری از استان‌های هم‌جوار وارد کرد. طبق نتایج ایشان، سیستم آبیاری برای محصولات گراسی و بوته‌ای به صورت آبیاری بارانی و برای گونه‌های درختی و درختچه‌ای به صورت آبیاری قطره‌ای باشد و از آبیاری به شیوه جوی پشته (که با ایجاد شیارهایی نسبتاً عمیق بوسیله شیارساز به نام جوی، خاکریزی در دو طرف جوی به نام پشته و عبور مستقیم آب از داخل جوی) و گودالی (ایجاد گودال‌هایی کم عمق و با قطر معین در پای درختان و درختچه‌ها و ریختن آب به طور مستقیم در این گودال‌ها) به دلیل افزایش هدر رفت آب و افزایش شوری خاک منطقه اجتناب گردد.

پورصالحی و همکاران [۳۴] در تحقیقی که بر روی تغییر الگو و تراکم کاشت بر اساس ارزش آب مجازی با محوریت زعفران در دشت بیرجند انجام دادند. ابتدا مقدار آب مجازی و ارزش آن با استفاده از اطلاعاتی نظیر نیاز آبی، عملکرد و قیمت محصول در دو حالت صادرات و واردات برای هشت محصول پنبه، عناب، زعفران، گندم، گوجه‌فرنگی، خربزه، پیاز و یونجه محاسبه و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی LINGO سطح زیر کشت بهینه هر محصول تخمین زده شد. دو سناریو تعریف گردید که در سناریوی اول سطح زیر کشت محصولات به ۱/۵ برابر سطح موجود محدود و در سناریوی دوم این محدودیت برطرف گردید. نتایج بدست آمده از ارزش آب مجازی و دو سناریو حاکی از درآمد بالای زعفران (۴۶۷۶/۲۶ ریال) نسبت به هفت محصول دیگر در دشت بیرجند دارد. بر اساس این تحقیق زعفران در اولویت کشت قرار گرفته و سطح زیر کشت آن در سناریوی اول و دوم به ترتیب برابر با ۲۰۱۰ و ۱۲۱۸۸/۶۵ هکتار بدست آمده است، در مقایسه با سطح زیر کشت فعلی (۱۳۴۰ هکتار) افزایش قابل توجهی داشته است.

امیدی و همایی [۳۲] در پژوهشی با عنوان اشتقاق توابع تولید محصول برای برآورد آب مجازی و قیمت آب آبیاری گندم پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد با تغییر کاربری اراضی از دیم به فاریاب در کنار بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب و خاک، بدون در نظر گرفتن اقلیم، سبب افزایش سطح زیر کشت فاریاب، آب مجازی آبی و افزایش هزینه‌های ناشی از آن، کاهش سطح زیر کشت گندم دیم، آب مجازی سبز و محصول دیم در استان فارس شده است و نیز بیان کردند که ضمن افزایش سطح زیر کشت گندم فاریاب در کل کشور در دو سال پایانی دوره (۱۳۸۷-۱۳۸۹) محصول فاریاب کاهش یافت که افزایش آب مجازی آبی و افزایش هزینه‌ها را در پی داشت. طبق نتیجه‌گیری ایشان، چنین شرایطی نه تنها توجیه علمی، اقتصادی و حتی محیط زیستی ندارد بلکه هزینه‌هایی که دولت و کشاورزان جهت تغییر کاربری متقبل شده‌اند، قابل برگشت نخواهد بود.

عابدی و تهامی‌پور [۲] در تحقیقی با عنوان اندازه‌گیری و تحلیل تراز تجاری آب مجازی در بخش کشاورزی استان زنجان نتیجه گرفتند که صادرات محصولات مورد مطالعه (گندم آبی، سیب‌زمینی، پیاز، گوجه‌فرنگی، خربزه و طالبی، هندوانه، سیر تر، سیب، انگور و

بادام) حجمی معادل ۲۶/۵۳ میلیون مترمکعب صادرات آب مجازی را در پی داشته است. و نیز ۹۵ درصد آب مجازی صادراتی مربوط به محصولات باغی و ۵ درصد آن محصولات زراعی است. علاوه بر این، مصرف آب در بخش کشاورزی استان ۲۴ درصد از منابع آب تجدید شونده استان تخمین زده شد. بنابراین، لازم است مسئولان استانی در زمینه یافتن مزیت‌های نسبی در تولید به نحوی اقدام نمایند که کمترین فشار بر منابع آب زیرزمینی وارد شود.

جوادی و ثقفی [۲۳] در تحقیقی با عنوان آب مجازی، دستاوردی نوین در حل بحران آب و تأمین امنیت غذایی در ایران دریافتند که در واردات محصولات غذایی در ایران، رویکرد آب مجازی در نظر گرفته نمی‌شود. در صورت بهره‌گیری از الگوهای جدید به منظور ارزیابی جایگاه کشور از نظر مزیت نسبی در تولید محصولات کشاورزی و نیز تغییر سیاست‌های واردات و صادرات محصولات غذایی با رعایت اصول امنیت غذایی، می‌توان سود حاصل را در سایر بخش‌ها هزینه کرد و به این طریق، کشورهای دچار خشکسالی با بحران آب مقابله کنند.

منتظر و همکاران [۳۰] مطالعه‌ای بر روی توسعه مدل ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. نتایج رتبه‌بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری توسط مدل بیانگر این بود که معیارهای سطح زیرکشت و نیاز آبی محصولات الگوی کشت بیشترین تأثیر و معیارهای کیفیت و قیمت آب کمترین تأثیر را بر آب مجازی شبکه‌های آبیاری دارند. مقایسه نتایج مدل AHP و آب مجازی واقعی حاکی از تطابق مطلوب رتبه‌بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری در دو روش بود. طبق نتایج ایشان روش AHP روش مناسبی برای ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری است و مدل توسعه یافته به عنوان یک ابزار مدیریتی کارا با کاربری ساده در ارزیابی بهره‌وری آب سامانه‌های آبیاری قابل توصیه است. دهقان‌پیر و همکاران [۱۲] در پژوهشی با عنوان تجارت آب مجازی و کاربرد آن در حوزه‌آبخیز برآفتاب حاجی آباد و پایاب رودان هرمزگان نتیجه گرفتند که حوزه‌آبخیز شمالی استان هرمزگان به عنوان صادرکننده آب مجازی است که عمده حجم آب مجازی مربوط به محصول گندم و نخیلات به ترتیب به ۱۴ و ۰/۱۸ میلیون مترمکعب و حوزه‌آبخیز شرقی استان مربوط به نخیلات (۰/۸ میلیون مترمکعب) و مرکبات (۰/۶ میلیون مترمکعب) است و حجم عمده واردات آب مجازی مربوط به گندم و برنج است. طبق نتایج، حوزه‌آبخیز برآفتاب حاجی آباد به عنوان صادرکننده آب مجازی و حوزه‌آبخیز پایاب رودان به عنوان واردکننده آب مجازی است، به طوری که تراز تجارت آب مجازی در دو حوضه به ترتیب ۱۱/۹۴- و ۱۷/۸۳ میلیون مترمکعب و به ترتیب ۶۴ و ۶۷ درصد منابع آب شیرین موجود در دو حوزه‌آبخیز پایاب رودان و برآفتاب حاجی آباد صرف تولید محصولات کشاورزی شده و شاخص خودکفایی آب مجازی، به ترتیب ۸۶ و ۸۱ درصد و میزان شاخص کم آبی حدود ۶۶ و ۶۹ درصد برآورد شد که حاکی از کمبود شدید منابع آب در دو حوزه‌آبخیز است.

عربی‌یزدی و همکاران [۷] به بررسی تأمین امنیت غذایی بر اساس مفاهیم مبادله آب مجازی و رد پای بوم شناختی آب در استان خراسان رضوی پرداختند. حجم کل آب مجازی که از طریق واردات و صادرات محصولات عمده کشاورزی در سال ۸۵ به استان وارد و خارج شده است، به ترتیب بالغ بر ۷۷۱/۷ و ۴۳۴ میلیون مترمکعب می‌باشد که خالص واردات آب مجازی به استان در سال ۸۵ قریب ۳۳۸ میلیون مترمکعب است. کل حجم رد پای آب استان ۹/۶ میلیارد مترمکعب است که به ازای هر نفر ۱۷۴۰ متر مکعب در سال برآورد گردید. نتایج حاکی از آن است که در شرایط فعلی استان خراسان رضوی از نظر بهره برداری از منابع آبی در وضعیت مطلوبی قرار نداشته و در آینده‌ای نزدیک در تأمین امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش استان با مشکلات مواجه خواهد بود.

رضوانی‌اعتدالی و همکاران [۳۶] در تحقیقی با عنوان بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی برای عبور از بحران آب منطقه قزوین، از مفهوم ردپای آب مجازی برای محصولات اصلی آبی و دیم منطقه برای مدیریت بهتر آب کشاورزی استفاده کردند. طبق گزارش ارائه شده، مجموع ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی آبی و دیم منطقه برای ۲۰۱۴-۲۰۰۳، حدود ۲۰۵۳ میلیون مترمکعب در سال است که سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به ترتیب ۳۱، ۲۵، ۲ و ۴۲ درصد می‌باشد. از مجموع ردپای آب در تولید محصولات اصلی منطقه، سهم آب خاکستری و سفید حدود ۴۴ درصد است. پایین بودن راندمان سیستم‌های آبیاری و مصرف بیش از حد کودهای ازته باعث افزایش سهم آب سفید و خاکستری در منطقه است. کشت وسیع ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، گوجه فرنگی و یونجه از دلایل اصلی بالا بودن حجم صادرات آب مجازی منطقه می‌باشد. حدود ۱۰۲۲ میلیون مترمکعب به صورت صادرات آب مجازی از منطقه خارج شده و حجم صادرات آب مجازی ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی مجموعاً ۵۴/۴ درصد یعنی حدود ۵۵۶ میلیون مترمکعب در سال از خروج منابع آب سطحی و زیرزمینی جلوگیری می‌شود. اما این محصولات به دلیل بالا بودن عملکرد و سودخالص در هر هکتار مورد توجه کشاورزان قرار می‌گیرد. گندم نیز با سهم ۲۸/۴ و ۲۰/۲ درصدی از کل حجم آب مجازی و حجم منابع آبی صادر شده از منطقه، نقش مهمی در خروج آب از منطقه دارد.

شهیدی و مروت نشان [۴۱] مطالعه‌ای با عنوان مدیریت آب کشاورزی با رویکرد آب مجازی از طریق تکنیک بهینه‌سازی ژنتیک (GA) در دشت بیرجند انجام دادند. در این تحقیق با استفاده از مدل بیلان آب زیرزمینی معادلات مورد نیاز برای تخمین سطح عمق آب آبیاری تعیین شده است سپس تابع هدفی که بر پایه مفهوم آب مجازی و تابع استوارت می‌باشد، ایجاد و در ادامه به علت تعدد متغیرهای تابع هدف در بهینه‌سازی مصرف آب، با استفاده از روش فراکوشی و هوشمند ژنتیک (GA) که نیاز به محاسبات کمتر و کارایی بیشتر نسبت به دیگر روش‌ها دارند، الگو و تراکم کشت بهینه محصولات زراعی دشت مطالعاتی در چهار سناریو تعیین شد.

نتایج مدل نشان داد که سطح زیر کشت محصولات در نظر گرفته شده بهینه نمی‌باشد و مصرف آب در بخش کشاورزی دشت بیرجند متناسب با شرایط موجود نیست.

محمدیان و همکاران [۲۹] با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی و با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از اهداف اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی سعی به بهینه‌سازی الگوی زراعی دشت فریمان- تربت جام و با تأکید بر آب مجازی پرداختند و گزارش دادند که این مدل‌ها قادر به لحاظ مجموعه‌ای از اهداف متقابل یا متضاد در خود و با اولویت‌بندی آرمان‌ها، میزان دسترسی به هر آرمان را حداکثر کنند. ابتدا با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اولویت‌های ذهنی و معیارهای تصمیم‌گیری کشاورزان و مسئولان در ارتباط با الگوی زراعی شناسایی و نهایتاً الگوهای بهینه کشت در طول دوره برنامه‌ریزی ده ساله پیشنهاد شده است.

میرچولی و همکاران [۲۷] در بررسی که با هدف ارزیابی مبادلات آب مجازی و ردپای آب برخی محصولات کشاورزی در ایران انجام دادند، نتیجه گرفتند که متوسط سرانه ردپای آب محصولات مطالعاتی (گندم، جو، ذرت، برنج، سیب‌زمینی، پیاز، سیب، پرتقال و نخودفرنگی) در ایران ۶۵۶ مترمکعب می‌باشد و ردپای آب خارجی نسبت به ردپای آب داخلی کمتر است (۴۰ درصد از کل ردپای آب آبی و ۲۹ درصد از کل ردپای آب سبز) و نیز نتیجه گرفتند که در اثر واردات گروه غلات به طور متوسط ۱۴۶۱۱ میلیون مترمکعب آب ذخیره شده و در اثر صادرات گروه میوه و حبوبات، ۱۳۵ میلیون مترمکعب آب از دست رفته است. بر این اساس در دوره ۱۳۸۰-۱۳۷۶ به طور متوسط ۱۴۴۷۶ میلیون مترمکعب آب در کشور ذخیره شده است. زارع ابیانه و همکاران [۴۵] در پژوهشی حجم آب مجازی مبادلاتی شش محصول مهم زراعی استان همدان، در چهار گروه غلات (گندم و جو)، سبزیجات (سیب زمینی و سیر)، صنعتی (چغندر قند) و علوفه‌ای (یونجه) را در طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۸۰ محاسبه کردند. نتایج نشان داد که حجم آب مجازی گروه سبزیجات و صنعتی کمتر از ۱ مترمکعب آب به ازای هر کیلوگرم محصول تولیدی است و هر دو در دسته محصولات کم مصرف با بهره‌وری بالا هستند. در مقابل غلات به دلیل دارا بودن حجم آب مجازی بیش از ۲ متر مکعب بر کیلوگرم در دسته محصولات پرمصرف هستند. همچنین نتایج تفاضل مقادیر آب مجازی وارداتی و صادراتی استان همدان طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۰ بیانگر خروج حدود ۱۵۳۸/۴ میلیون مترمکعب آب خالص و ۲۵۶۴ میلیون مترمکعب آب واقعی از سطح استان است. محاسبات ارزش اقتصادی آب مجازی صادراتی نشان داد استان همدان در دوره ۱۳۸۹-۱۳۸۰ بطور میانگین ۱۹۵۴۷ میلیون ریال آب به خارج از استان صادر کرده است. بنابراین، ضرورت دارد تا با سیاست‌های مناسب از صادرات حجم زیادی از منابع آب به صورت مجازی جلوگیری کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

هر کشوری در راستای دستیابی به امنیت غذایی به خودکفایی در تولید محصولات غذایی تاکید دارد. از آنجایی که بیشترین حجم

آب در کشاورزی مصرف می‌شود و میزان هدررفت آب در این بخش بالاست، می‌توان با مصرف اصولی آب در کشاورزی شرایط لازم برای افزایش بهره‌وری آب در این بخش را مهیا نمود. در سال‌های اخیر آب مجازی و تجارت آن به عنوان رویکردی نوین در جهت کمک به مدیریت منابع آبی کشور مطرح شده است. رویکرد آب مجازی در واقع به این موضوع می‌پردازد که به ازای کالاهای تولید شده یا مصرف شده چقدر آب مصرف شده است. نوع منبع آبی مورد استفاده در تولید یک محصول یا فرآورده کشاورزی موجب دسته‌بندی آب مجازی به سه دسته آب سبز، آب آبی و آب خاکستری می‌گردد که در این میان سهم آب مجازی در تولید غذای جهانی بیشتر از آب آبی و آب خاکستری است. به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب داخلی و حتی مصرف آب جهانی کشورهایی با منابع آبی کم می‌توانند با واردات محصولات آب‌بر، منابع آب خود را ذخیره و یا در سایر بخش‌ها مصرف کنند. در کشور ما با توجه به مقدار، شدت و پراکنش بارش‌ها احتمالاً کشت پاییزه از قبیل کشت گندم و جو به سبب بر خورداری بیشتر از نزولات کشت‌های مناسب‌تری هستند و کشت‌های تابستانه در اغلب مناطق نیاز آبیاری بالایی دارند و در صورت ضرورت تولید، بایستی با بهره‌گیری از سرمایه و تکنولوژی در جهت افزایش راندمان

آبیاری و کاهش تعداد دفعات و مقدار آب آبیاری تلاش شود. از دیگر سو، اصلاح شیوه‌های تولید و آبیاری محصولات از قبیل افزایش کشت گلخانه‌ای محصولات آب‌بر (صیفی‌جات، گوجه فرنگی و سبزی) از مقدار آب آبیاری می‌کاهد. در یک نگاه کلی با بهبود شیوه تولیدات کشاورزی، بهبود راندمان آبیاری و ارتقاء سطح بهره‌وری در مصرف آب می‌توان تا حدی مشکل کمبود منابع آبی کشور را حل نمود. با تغییر الگوی مصرفی، می‌توان مردم را به سمتی سوق داد که از محصولاتی با آب مجازی کمتر استفاده کنند و یا محصولات آب‌بر از مناطقی با مقدار منابع آب بالا وارد شود. همچنین با تغییر الگوهای کشت می‌توان به حفظ محیط‌زیست، توسعه پایدار کشاورزی، خودکفایی و حفظ امنیت غذایی دست یافت.

راهکارهای عملیاتی

با توجه به این‌که گیاهان به عنوان بیشترین مصرف کننده آب در مبحث آب مجازی مطرح می‌باشند، نوع کشت محصولات و الگوی کشت حائز اهمیت فراوانی است. لیست محصولات جایگزین (محصولات کم مصرف) و تغییرات مصرف آب در محصولات مختلف در جدول ۳ ارائه گردید. جدول ۴ مقادیر نیاز آبی برای محصولات مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ویژگی‌های محصولات و میزان مصرف آب [۱۴]

محصول	فصل	آب مورد نیاز	آستانه ET** (inches)	بهره‌وری مصرف آب*** (yield/inch ET)	استفاده فصلی از آب (inches)	حفظ آب / پتانسیل گیرش برف
کشت سبزیجات						
کاملینای بهاری (کتان کش)	فصل سرد	متوسط	3	147 lb/acre/in	10 - 21	کم
کلزا زمستانه	فصل سرد	متوسط	4	166 lb/acre/in	18 - 24	زیر حد متوسط
پنبه	فصل گرم	زیاد	6*	60 - 100 lb/acre/in	16 - 24	کم
گلرنگ	فصل گرم	متوسط	8	205 lb/acre/in	15 - 21	زیر حد متوسط
سویا	فصل گرم	زیاد	9*	330 lb/acre/in	20 - 24	کم
آفتابگردان	فصل گرم	متوسط	5*	150 lb/acre/in	18 - 22	زیر حد متوسط
تولید علوفه						
جو	فصل سرد	کم	5	325 lb/acre/in	13 - 18	متوسط
ذرت	فصل گرم	زیاد	11*	728 lb/acre/in	18 - 25	زیاد
سورگوم	فصل گرم	متوسط	7*	504 lb/acre/in	13 - 21	زیاد
ارزن	فصل گرم	متوسط	6	225 lb/acre/in	13 - 21	زیاد
گندم زمستانی	فصل سرد	متوسط	10*	275 lb/acre/in	15 - 24	زیاد

** آستانه ET (تبخیر و تعرق)، تخمینی از حداقل مقدار مصرف آب مورد نیاز برای تولید برخی محصولات.

* ارزش استفاده از آب (لوی دون و همکاران).

*** بهره‌وری مصرف آب (عملکرد در هر اینچ تبخیر و تعرق)

جدول ۴: نیاز آبی حبوبات در دوره حداکثر دوره رشد نسبت به علوفه استاندارد [۴۳]

آب مورد نیاز در مقایسه با علوفه				
۳۰٪ بیشتر	۱۰٪ بیشتر	۱۰٪ بیشتر	۱۰٪ بیشتر	۳۰٪ کمتر
برنج	جو	هویج	خیار	مرکبات
نیشکر	لوبیا	کوه پایه‌ای (کلم، گل)	تریچه	زیتون
موز	ذرت	کلم، کلم بروکلی	کدو	انگور
توتون و تنباکو	کتان			
خشکبار				
	پنبه	کاهو		
	گوچه فرنگی	ملون		
	بادمجان	پیازها		
	عدس	بادام زمینی		
	ارزن	فلفل		
	نخود فرنگی	اسفناج		
		چای		
	سیب زمینی	علوفه		
	گلرنگ	کاکائو		
	سورگوم	قهوه		
	سویا	درختان میوه		
	چغندر قند			
	آفتابگردان			

منابع

5-Allan ،J.A. 1999. A convenient solution. The UNESCO Courier. February. pp. 29-31.

6-Alizadeh, A. and Keshavarz, A. 2005. Status of agricultural water use in Iran. Water Conservation. Reuse and Recycling: Proc. of an Iranian-American Workshop. From

<http://www.nap.Edu/catalog/1124.html>.

7-Arabiayzdi ،A. and Alizade، A. and Mohammadian ،F. 2009. Investigation of Water Ecological Footprints in Iranian Agriculture. Water and Soil Journal (Agricultural Science and Technology). 23(4): 1-15.

8-Aslmand ،A.R. and Borhani ،F. 2017. Investigating the effect of virtual water volume and product volume in order to manage existing water reserves. Fourth International Conference on Planning and Management.

9-Babazade ،H. and Saracitabrizi، M. 2012. Evaluation of Agricultural Status of Hormozgan Province from Virtual

1-Ababaei ،B. and Sohrabi ، T. and Mirzaei ، F. 2014. Development and application of a planning support system to assess strategies related to land and water resources for adaptation to climate change. Climate Risk Management. 6: 39-50.

2- Abedi ،S. and Tahamipour ،M. 2016. Measuring and analyzing the virtual trade balance of water in the agricultural sector of Zanjan province. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development. 4(47-2). 805-814.

3-Abedikupaei ،J. 2005. Waste water loss prevention methods. Proceedings of the 2nd Conference of National Waste Conservation Methods. Islamic Republic of Iran Academy of Sciences. 207-218.

4-Allan ،J.A. 1998. Virtual water: A Strategic Resource. Global Solutions to Regional Deficits. Ground Water. 36(4): 545-546.

- 20-Horlemann L. and Neubert S. 2007. Virtual water trade: A realistic concept for resolving the water crisis. German Development Institute Studies.
- 21-Hoshmand A. 2010. Virtual Water and Water Productivity in Agriculture, 3rd National Conference on Irrigation and Drainage Network Management, Ahwaz.
- 22-Jafari A.M. and Zareei G. 2008. The virtual exchange of water and its role in adaptation to dehydration. Quarterly Journal of Agricultural Engineering and Natural Resources Engineering. 18-24.
- 23-Javadi H. and Saghafi M. 2015. Virtual water, a new achievement in solving the water crisis and food security in Iran. Quarterly of Southern Khorasan Law Enforcement. 4(15): 18-36.
- 24-Keshavarz A. and Sadeghzadeh K. 2001. Management of water consume in agriculture. Shekarshekan. 32-57.
- 25-Keshavarz A. and Heydari N. 2005. Attitude towards waste and waste of water resources in the stages of production and consumption of agricultural products. Proceedings of the first conference on the prevention of waste of national resources, Academy of Sciences of the Islamic Republic of Iran.
- 26-Liu J. and Sun Sh. And Wu P. and Wang Y. and Zhao X. 2015. Intercounty virtual water flows of the Hetao irrigation district. China: A new perspective for water scarcity. Journal of Arid Environments 119: 31-40.
- 27-Mirchuli F. and Soltani S. and Faramarzi M. 2016. Assessment of Virtual Water Exchanges and Water Footprints of Some Agricultural Products in Iran. Iranian Journal of Water Research. 49-58.
- 28-Mirzavand M. and Imani R. 2015. Determination of optimal cropping pattern based on the concept of virtual water and economic profitability for dealing with depression in Kashan plain. International Journal of Analytical Resources for Water and Development, Third Year. 4(12): 51-59.
- 29-Mohammadian F. and Alizade A. and Neyrizi S. and Arabi A. 2007. Designing Sustainable Crop Pattern with Emphasis on Virtual Water Exchange, Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 45-57.
- 30-Montazer A.A. and Zadbagher A. and Heydari N. 2009. Developing a virtual water assessment model for irrigation networks using the hierarchical analysis process. Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Water View. Journal of Water Research in Agriculture. 26(4): 485-499.
- 10-Brown, S. Schreier, H. and Lavkulich, L.M. 2009. Incorporating Virtual Water into Water Management: A British Columbia Example, Water Resource Manage., Published Online.
- 11-De Fraiture C. and Cai X. and Amarasinghe U. and Rosegrant M. and Molden D. 2004 Does International Cereal Trade Save Water? The Impact of Virtual Water Trade on Global Water Use. Comprehensive Assessment Research. Report Number: 4.
- 12-Dehghanpir Sh. and Bazrafshan A. and Halisaz A. 2017. Virtual water trade and its application in the watershed watershed of Hajiabad and Sabrudan of Hormozgan province. Iranian Natural Resources Journal. 3(70): 647-660.
- 13-Dehghanpour H. and Bakhshoodeh M. 2008. Investigating Virtual Water Trade limitation issues in Marvdasht Region. Journal Agricultural Science and Technology. Economic Development and Agriculture. 22(1): 137-147.
- 14-EFFICIENT CROP WATER USE IN KANSAS. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Refer to: <https://www.bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf3066.pdf>.
- 15-Falkenmark M. 1995. Cropping with water scarcity under rapid population growth. Conference of SADC Ministers Pretoria. South Africa.
- 16-Fanihagh A.A. and Jafaribalan B. and Abutorabi M.J.A. 2008. Investigating the virtual trading of water for strategic agricultural products in Iran. First International Water Crisis Conference. University of Zabol, Sistan and Balouchestan, Iran from March 20 to 22, 2008.
- 17-Hatirli S.A. and Ozkan B. and Fert C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renew. Energ. J. 31. 427-438.
- 18-Hoekstra A.Y. and Hung P.Q. 2002. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade. Value of Water Research. Report Number: 11.
- 19-Hoekstra A.Y. and Chapagain A.K. 2006. Water Footprints of Nations: Water Use by People as a Function of Their Consumption Pattern. Water Resource Management. 35-48.

- 40-Shafiei ◊M. 2011. The Perspective of Living Resources and Water Resources in Iran, Looking at Global Conditions and Current Challenges. Strategic Report 135. Strategic Research Center.
- 41-Shahidi ◊A. and Marovvatneshan ◊A. 2016. Agricultural water management with virtual water approach through genetic optimization technique (GA) of Birjand Plain. Irrigation and Drainage Journal of Iran. 714-722.
- 42-Tian ◊ G. 2013. Effect of Consumption of Livestock Products on Water Consumption in China Based on Virtual Water Theory. International Conference on Future Information Engineering. 5 (3): 112 – 117.
- 43-Water efficiency in agriculture. 2008. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters-2nd Edition. Refer to:
http://www.afedonline.org/water%20efficiency%20manual/PDF/6Chapter%205_Agriculture.pdf.
- 44-Yang ◊ H. and Wang ◊ L. and Abbaspour ◊K.C. and Zehnder◊ A.J. 2006. Virtual water highway: water use efficiency in global food trade. Journal Hydrology and Earth System Sciences. 3 (1): 1–26.
- 45-Zareabyane ◊H. Aram◊ M. and Akhavan◊ S. 2015. Estimation of the volume of virtual water exchange of major agricultural products in Hamadan province. Iranian Journal of Water Research. 151-161.
- 46-Zhang ◊ Z.Y. and Yang◊ H. and Shi◊ M.J. and Zehnder◊ A.J.B. and Abbaspour◊ K.C. 2011. Analysis of Impacts of China's International Trade on Its Water Resources and Uses. Hydrological Earth System Science. 15(9): 2871-2880.
- 47-Zia ◊ H. 2005. Hydrology of Birjand Plain Aquifer and Effect of Artificial Nutrition. Master thesis. University of Tabriz.
- Technology). 23(4): 77-89.
- 31- Mosavi ◊S.N. and Akbari ◊S.M.R. and Soltani◊ GH. and Zaremehjruei◊ M. 2009. Virtual Water A New Way To Cope With Water Crisis. Islamic Azad University of Marvdasht Branch.
- 32-Omidi ◊F. and Homaei◊ M. 2015. Derivation of product production functions for the estimation of virtual water and the price of water for irrigation of wheat. Cereal research. 2(5): 131-143.
- 33-Paul ◊ S., Panda, S.N and Nagesh Kumar, D. 2002. Optimal irrigation allocation: a Multi level approach. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 126 .3: 149-156.
- 34-Poursalehi ◊F. and Khashaieeseyoki ◊A. and Bidokht ◊ Z. 2015 .Pattern change and planting density based on the virtual water value centered on saffron in Birjand Plain. Saffron Research Journal. 18-30.
- 35-Ramazanietedali ◊H. and Ababaei ◊B. 2016. Estimation of the Virtual Water Footprint Components in Barley Production at National and Provincial Scales. Water Research in Agriculture. 431-443.
- 36-Ramazanietedali ◊H. and Shokuhi ◊ A. and Mojtavavi ◊ S.A. 2017. Using the concept of virtual water footprint in producing the main products for crossing the water crisis in Qazvin. Water and Soil Journal (Agricultural Science and Technology). 422-433.
- 37-Rohani ◊N. and Yang ◊H. and Aminsichani ◊S. and Afyoni ◊M. and Mosavi ◊ F. and Kamgharhaghighi ◊ A. 2008. Evaluating the exchange of food and water based on available water resources in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology. 55-68.
- 38-Sadeghiattar ◊M. 1995. Optimal operation of irrigation and drainage network, Master thesis, Shahid Chamran University of Ahwaz.
- 39-Seyfitizabi ◊S.M. and Abedikopaei◊ J. and Karimzade◊ H.R. 2009. A review of the research on virtual water in the world and Iran. the 10th national seminar on irrigation and evaporation reduction. Shahid Bahonar University of Kerman.



Abstract

Virtual Water, New Approach to Water Crisis

M. Miryaghoubzadeh^{1*}, S.A. Khosravi², SH. Ebrahim³ and M. Zabihi⁴

Received: 2018/09/16 Accepted: 2019/01/16

The water crisis is rapidly expanding in vast areas of the world. Our country due to be located in dry belt of the earth, the rainfall is less than the global average, the disproportionate distribution of temporal and spatial of rainfall, population growth and per capita demand for water, as well as the consumption of inappropriate water resources is no exception for this reason. According to studies, more than 90% of the country's water is used by the agriculture. A review of water resources management and management approaches, especially in the agriculture, could prevent significant losses of water resources. Water used in different stages of production or an agricultural product called the virtual water that flows through the trade (import and export) of the agricultural product, both nationally and internationally, as a stream of virtual water trade. As the importing country imports virtual water in addition to the food product. Countries like Iran, which are located in arid and semi-arid areas with a dehydration problem, can save water on their water by importing water, or use their own water resources in other areas.

Keywords: Water crisis, Agriculture, Water resource management, Virtual water, Virtual water trad

1- Assistant Professor, Natural Resource Faculty, Urmia University, Iran, Corresponding author, Email: M.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir

2- MSc. in Watershed Management Engineering, Natural Resource Faculty, Urmia University, Iran

3- MSc. in Rangeland Management, Natural Resource Faculty, Urmia University, Iran

4-MSc. Student in Watershed Management Engineering, Natural Resource Faculty, University of Tarbiyat Modarres, Iran