

ارزیابی مبادلات آب مجازی و ردپای آب برخی محصولات کشاورزی در ایران

فهیمة میرچولی^{۱*}، سعید سلطانی^۲ و منیره فرامرزی^۳

چکیده

نیاز به افزایش تولید غذا برای جمعیت رو به رشد ایران، ارزیابی بهره‌وری آب در بخش کشاورزی و نیز مبادلات آب مجازی را امری مهم ساخته است. مفهوم آب مجازی همراه با ردپای آب، بسیاری از مسائل و بخش‌ها را به یکدیگر ارتباط داده و چارچوب مناسبی را برای مدیریت بهینه منابع آب ارائه می‌دهند. در این مقاله، ارزیابی ردپای آب محصولات کشاورزی با تفکیک ردپای آب داخلی و خارجی و نیز آب آبی و آب سبز انجام شد. همچنین، میزان ذخیره‌سازی و هدررفت منابع آب در اثر تجارت آب مجازی برآورد شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که متوسط ردپای آب محصولات مطالعاتی شامل گندم، جو، ذرت، برنج، سیب‌زمینی، پیاز، سیب، پرتقال و نخودفرنگی در ایران ۶۵۶ مترمکعب در سال به ازای هر نفر می‌باشد و نیز ردپای آب خارجی در مقایسه با ردپای آب داخلی کمتر است (۴۰٪ از کل ردپای آب آبی و ۲۹٪ از کل ردپای آب سبز). همچنین، 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.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، آب آبی، آب سبز، مصارف مستقیم و غیرمستقیم.

ارجاع: میرچولی ف. سلطانی س. و فرامرزی ف. ۱۳۹۵. ارزیابی مبادلات آب مجازی و ردپای آب برخی محصولات کشاورزی در ایران. مجله پژوهش آب ایران. ۲۰: ۴۹-۵۸.

۱- کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

*نویسنده مسئول. fmircholi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۳۰

مقدمه

مدیریت صحیح و مناسب منابع طبیعی موجود، ضرورتی مهم برای رسیدن به توسعه پایدار است. در میان همه منابع طبیعی، آب شیرین از اصلی‌ترین منابعی است که باید به آن اهمیت ویژه داد. در کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان، مدیریت منابع آب مسئله مهمی است زیرا بحران آب در بسیاری از کشورها به دلیل بحران فیزیکی نبوده، بلکه به دلیل ضعف مدیریت آب است (آلدایا و همکاران، ۲۰۰۹).

بسیاری از کالاهای مصرفی یک کشور در سایر کشورها تولید می‌شود. به عبارت دیگر، مصرف واقعی آب در یک کشور بیشتر از میزان هدررفت آب در آن کشور است. در مقابل، هدررفت ملی آب در یک کشور جهت مدیریت منابع آب حائز اهمیت است در حالیکه مقدار زیادی از محصولات تولیدی به سایر مناطق صادر می‌شود. بنابراین مفهوم ردپای آب (Water Footprint, WF) به عنوان شاخصی برای برآورد مصرف واقعی آب در یک کشور می‌تواند مفید باشد. ردپای آب ارتباط نزدیکی با مفهوم آب مجازی (Virtual Water, VW) دارد (هوکسترا و چپاگین، ۲۰۰۷).

ردپای آب، شاخص مصرف آب است که مصارف مستقیم و غیرمستقیم مصرف‌کنندگان یا تولیدکنندگان را در نظر می‌گیرد (هوکسترا و همکاران، ۲۰۱۱). آب مجازی، مقدار آب مصرف شده در فرایند تولید یک کالا یا محصول کشاورزی است که این مفهوم ابتدا توسط آلن (۱۹۹۳) برای اشاره به مقدار آب موجود و قابل دسترس در سیستم جهانی از طریق مبادله کالاهای کشاورزی ارائه شد و در رابطه با کاهش بحران آب در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا که بخش عمده‌ای از مواد غذایی لازم را وارد می‌کنند، مطرح شد (آلن، ۲۰۰۳، ۱۹۹۷). بر اساس این مفهوم، تجارت آب مجازی (Virtual Water Trade) به مقدار آب نهفته در محصولات مبادلاتی اشاره می‌کند (یانگ و زندر، ۲۰۰۷).

کشورهای دچار بحران آب می‌توانند با واردات محصولات با نیاز آبی بالا، به جای تولید آن‌ها به صورت داخلی، منابع آب خود را ذخیره کنند. در مقابل، آب ذخیره شده می‌تواند برای تولید محصولات سودآورتر، حفظ خدمات محیط زیست و یا تأمین نیازهای داخلی استفاده شود. بنابراین، واردات آب مجازی به عنوان منبع آب اضافی و

فرستی برای حفظ جریان‌های زیست‌محیطی در کشورهای دچار بحران آب در نظر گرفته می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

در فرایند تولید یک کالا ممکن است منابع مختلف آب استفاده شود که در این صورت نوع منبع تأمین آب می‌تواند در تحلیل تجارت آب مجازی نقش به‌سزایی داشته باشد. به طور مثال در فرایند تولید محصولات کشاورزی اهمیت تمایز آب آبی (Blue Water) و آب سبز (Green Water) مهم است. منظور از آب آبی، آب‌های قابل بهره‌برداری از قبیل منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد و آب سبز، رطوبت موجود در خاک است که منبع آن بارندگی است. آب سبز در تأمین رطوبت مورد نیاز کشت دیم مهم است. بر این اساس، آب مجازی به دو دسته آب مجازی آبی و آب مجازی سبز تقسیم می‌شود (ابوبی و همکاران، ۲۰۰۵). تفکیک نوع آب مصرفی در تحلیل تجارت آب مجازی به دو دلیل مهم است: ۱- در مقایسه با آب سبز، آب آبی منبع بزرگ‌تری از نظر حجم ذخایر آب شیرین و مشارکت در تولید مواد غذایی در ایران است. ۲- بهره‌برداری از آب آبی به دلیل نیاز به شبکه‌های انتقال و توزیع آب بسیار گران‌تر از آب سبز است. اگرچه همین قابلیت انتقال و توزیع، مدیریت آن را ساده‌تر کرده و گزینه‌های بهره‌برداری از آن را افزایش داده است. در حالیکه فقط راه بهره‌برداری از آب سبز تولید محصولات دیم است (اردکانیان، ۱۳۸۵).

چپاگین و هوکسترا (۲۰۰۴) در بررسی خود ردپای آب (WF) را در کشورهای مختلف جهان در دوره ۲۰۰۱-۱۹۹۷ محاسبه کردند. نتایج این بررسی نشان داد که متوسط WF در کشورهای مختلف جهان تفاوت زیادی با هم دارند. به طور مثال، در ایالات متحده آمریکا این مقدار معادل ۲۴۸۳ مترمکعب در سال به ازای هر نفر ($m^3/cap/yr$) و یا ۶۹۶/۰۱ گیگا مترمکعب بر سال (Gm^3/yr) بوده که به دلیل الگوی غذایی مردم (مصرف زیاد گوشت) و کالاهای صنعتی است به طوری که مصرف کالاهای صنعتی حدود ۳۲٪ است، در حالیکه متوسط ردپای آب در جهان $1240 m^3/cap/yr$ است. ردپای آب در ایران بالا بوده و حدود $1624 m^3/cap/yr$ یا Gm^3/yr است که به دلیل عملکرد کم تولید محصولات و نیز تبخیر و تعرق زیاد می‌باشد. هوکسترا و هانگ

همکاران، ۱۳۷۶). داده‌های مربوط به تجارت غذایی شامل واردات و صادرات از سایت فائو قابل بهره‌برداری است (FAOSTAT, www.fao.org). داده‌های مربوط به عملکرد و تولید به تفکیک نوع کشت آبی و دیم از سایت وزارت جهاد کشاورزی و برای بازه مورد بررسی (۱۳۸۰-۱۳۷۶) به صورت سالانه موجود هستند (www.agri-jahad.org). همچنین، داده‌های هیدرولوژیکی شامل سری‌های زمانی بارندگی می‌باشند که بازسازی نواقص آماری با مولد اقلیمی مدل SWAT انجام شده است (فرامرزی و همکاران، ۲۰۰۹).

محتوای آب مجازی محصولات، مقدار آب مصرف شده در مراحل مختلف تولید آن‌ها است. محتوای آب مجازی (Virtual Water Content, VWC) محصولات کشاورزی از نسبت مقدار آب مصرفی در دوره رشد و عملکرد گیاه به دست می‌آید. متوسط نیاز آبی هر محصول در سطح کشور، با روش میانگین وزنی در کلیه دشت‌های کشور محاسبه می‌شود:

$$CWR_{c,j} = \frac{\sum_{i=1}^n (CWR_{c,i,j} \times A_{c,i,j})}{TA_{c,j}} \quad (1)$$

که در آن c ، i ، j به ترتیب شمارش‌گرهای محصول، استان و سال، $CWR_{c,j}$ متوسط نیاز آبی در سطح کشور برای محصول c در سال j (m^3/ha) و $CWR_{c,i,j}$ متوسط نیاز آبی محصول c در استان i در سال j (m^3/ha)، $A_{c,i,j}$ سطح زیر کشت محصول c در استان i در سال j و $TA_{c,j}$ کل سطح زیر کشت محصول c در سال j در تمام استان‌های تولیدکننده (ha) است. میزان آب مجازی بر اساس نیاز آبی گیاه و عملکرد محصول به دست می‌آید (هوکسترا و هانگ، ۲۰۰۲):

$$VWC_c = \frac{CWR_c}{CY_c} \quad (2)$$

که VWC_c متوسط محتوای آب مجازی برای محصول c (m^3/ton) و CY_c متوسط عملکرد محصول c (ton/ha) است. نیاز آبی گیاه (CWR) بر حسب m^3/ha است.

با توجه به اینکه قسمتی از نیاز آبی گیاهان از طریق آب آبی و قسمتی دیگر از طریق بارندگی تأمین می‌شود، باید سهم هر یک از آن‌ها مشخص شود (رنو، ۲۰۰۳). بدین منظور، مقدار بارندگی در دوره رشد گیاه مشخص و مقدار حاصل با روش ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک

(۲۰۰۲)، ردپای آب محصولات کشاورزی در کشورهای مختلف، از جمله ایران، را برای دوره ۱۹۹۵-۱۹۹۹ برآورد کردند. بر اساس این بررسی، کشورهای بلژیک و هلند WF بالایی در حدود $2000 m^3/cap/yr$ دارند. ژاپن، مکزیک و آمریکا WF معادل $1000 m^3/cap/yr$ دارند و در مورد ایران، $1457 m^3/cap/yr$ محاسبه شده است.

دوفریچر و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر مبادله جهانی غلات را بر مصرف جهانی آب تحلیل کرده‌اند. آن‌ها نشان دادند که در سال ۱۹۹۵ مجموع همه واردات، شامل واردات ۲۱۵ میلیون تن غله بوده است که در صورت عدم واردات این مقدار غله، کشورهای واردکننده مجبور بودند ۴۳۳ کیلومترمکعب بارندگی مؤثر و ۱۷۸ کیلومترمکعب آب آبیاری را از منابع آب داخلی مصرف کنند. زیرم و رنو (۲۰۰۳) میانگین حجم کل آب مجازی را برای ۱۵ مورد مبادله جهانی محصولات کشاورزی و دامی در سال ۲۰۰۰ معادل ۱۳۴ گیگا مترمکعب در سال برآورد کرده‌اند.

در این پژوهش، تجارت آب مجازی و رد پای آب با در نظر گرفتن هر دو نوع آب آبی و آب سبز ارزیابی شد. همچنین، روند تاریخی مبادلات آب مجازی آبی و آب مجازی سبز با توجه به کمبود رو به افزایش منابع آب تحلیل شده است.

مواد و روش‌ها

محاسبه تجارت آب مجازی

در این پژوهش، آب مجازی و رد پای آب آبی و سبز برای محصولات غذایی استراتژیک شامل گروه غلات (گندم، جو، ذرت، برنج) است؛ گندم حدود ۶۰٪، جو ۲۰٪، برنج ۵٪ و ذرت ۲٪ کل اراضی زیرکشت محصولات سالانه کشور را به خود اختصاص داده‌اند، به طوری که این محصولات بیشترین مصرف‌کننده آب آبی در کشور هستند (فرامرزی و همکاران، ۲۰۱۰). دیگر محصولات مطالعاتی از جمله گروه میوه‌ها (سیب و پرتقال، سیب‌زمینی و پیاز) و گروه حبوبات (نخودفرنگی) در سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۸۰ می‌باشند.

نیاز آبی محصولات مطالعاتی از گزارش‌های وزارت جهاد کشاورزی در دسترس است. وزارت جهاد کشاورزی نیاز آبی تمام محصولات زراعی و باغی را با استفاده از عوامل هواشناسی مؤثر بر تبخیر و تعرق و روابط مناسب تجربی در طرح جامعی محاسبه و گزارش کرده است (فرشی و

و c تعداد محصولات غذایی صادر شده مورد بررسی است. مبادله خالص آب مجازی آبی (BVWT) (ردپای آب آبی خارجی) حاصل اختلاف بین کل واردات و کل صادرات آب مجازی آبی است.

$$BVWT_j = BVWI_j - BVWE_j \quad (11)$$

که $BVWI_j$ و $BVWE_j$ به ترتیب واردات و صادرات آب مجازی آبی در سال است. مبادله خالص آب مجازی سبز مشابه آب مجازی آبی قابل محاسبه است.

محاسبه ردپای آب

کل آب مصرفی در یک کشور، سنجش درستی از تخصیص منابع آب جهانی به آن کشور نیست. برای دستیابی به مقدار واقعی آب مصرفی کشور، باید مقدار خالص آب مجازی وارداتی به مقدار مصرفی منابع آب داخلی آن کشور اضافه شود (هوکسترا و یانگ، ۲۰۰۲). بنابراین ردپای آب در یک کشور به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$BWF_j = BWU_j - BVWT_j \quad (11)$$

که BWU منابع آب آبی مصرفی برای تولید داخلی در سال (m^3/yr) و $BVWT$ مقدار مبادله خالص آب مجازی آبی به کشور در سال j (m^3/yr) است. ردپای آب سبز مشابه ردپای آب آبی محاسبه می‌شود.

نتایج و بحث

محتوای آب مجازی آبی و سبز

مقدار آب مجازی برای هر محصول به دلیل تغییر در عملکرد و وضعیت آب و هوا در سال‌های مختلف متفاوت است. آب مجازی محصولات کشاورزی متأثر از نیاز آبی و عملکرد محصول است که خود به شرایط اقلیمی محل کشت وابسته است. میانگین آب مجازی برای هر محصول در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰ محاسبه شد. بر اساس شکل ۱، سیب‌زمینی، پیاز، سیب و پرتقال در مقایسه با سایر محصولات مورد بررسی، آب آبی کمتری استفاده می‌کنند. همچنین، برنج، پرتقال، پیاز، سیب‌زمینی دارای محتوای آب مجازی سبز کمتری می‌باشند. مقدار محتوای آب مجازی سبز (GVWC) نسبت به محتوای آب مجازی آبی (BVWC) در مورد بسیاری از محصولات مطالعاتی بیشتر است، زیرا گیاهان در شرایط کشت آبی به دلیل تأمین

وزارت کشاورزی آمریکا، به بارندگی مؤثر تبدیل می‌شود. در این روش، بارندگی مؤثر با استفاده از کل بارش برای ماه‌های مختلف دوره رشد گیاهان مورد نظر مشخص می‌شود؛ این روش نیز مورد استفاده وزارت جهاد کشاورزی است.

$$P_{eff} = P_{tot} \times \frac{125 - 0.02 \times P_{tot}}{125} \quad (3)$$

$$P_{tot} < 250mm$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 \times P_{eff} \quad (4)$$

$$P_{tot} > 250mm$$

با استفاده از نیاز آبی گیاه در دوره رشد و بارندگی مؤثر می‌توان مقدار آب آبی و آب سبز مورد نیاز را برآورد کرد:

$$CWR_{B,j} = CWR_{c,j} - P_{eff} \quad (5)$$

$$CWR_{G,j} = P_{eff} \quad (6)$$

از آنجا که داده‌های مربوط به عملکرد آبی و سبز گیاه موجود است، می‌توان مقادیر محتوای آب مجازی آبی و سبز را مشخص کرد. مبادله آب مجازی کشور برای هر محصول، از حاصل ضرب مقدار کمی واردات یا صادرات آن محصول در میزان آب مجازی آبی یا سبز مربوط به آن محاسبه شده است. میزان آب آبی و سبز مبادلاتی با توجه به مقدار آب آبی و سبز مورد نیاز برای تولید آن‌ها قابل محاسبه است:

$$BVWI_{c,j} = BVWC_{c,j} \times I_{c,j} \quad (7)$$

$$BVWE_{c,j} = BVWC_{c,j} \times E_{c,j} \quad (8)$$

که $BVWI_{c,j}$ واردات آب مجازی آبی محصول c در سال j (m^3/y)، $BVWE_{c,j}$ صادرات آب مجازی آبی محصول c در سال j (m^3/y)، $I_{c,j}$ مقدار واردات سالانه محصول c در سال j (ton/yr)، $E_{c,j}$ مقدار صادرات سالانه محصول c در سال j (ton/yr) است.

کل واردات آب مجازی آبی (BVWI) و کل صادرات آب مجازی آبی (BVWE) در هر سال به صورت زیر محاسبه شد:

$$BVWI_j = \sum_{c=1}^R (BVWI_{c,j}) \quad (9)$$

$$GVWI_j = \sum_{c=1}^R (GVWI_{c,j}) \quad (10)$$

که $BVWI_j$ کل واردات آب مجازی در سال، $BVWE_j$ کل صادرات آب مجازی در سال، R تعداد محصولات وارد شده

مداوم آب آبی، سریع تر رشد کرده و مصرف آب مؤثرتری دارند.

جدول ۱- متوسط محتوای آب مجازی آبی (BVWC) و سبز (GVWC) محصولات کشاورزی بر حسب m^3/kg در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۰

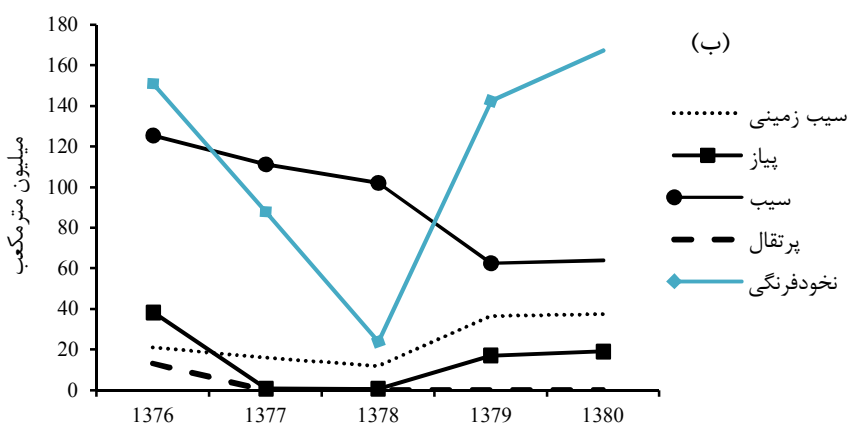
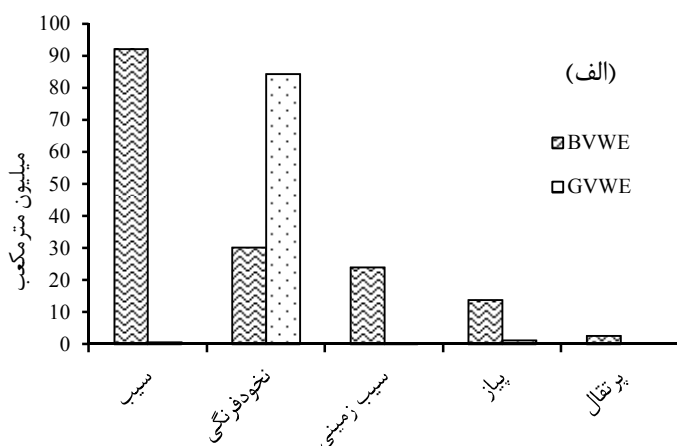
گندم	جو	ذرت	برنج	سیب زمینی	پیاز	پرتقال	سیب	نخودفرنگی
۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۷	۴/۳
۳/۸	۴/۳	۷/۲	۰	۱/۳	۱/۲	۱/۰	۳/۱	۱/۷

مبادلات آب مجازی

با توجه به آمار فائو، در سال‌های مطالعاتی، محصولات سیب زمینی، پیاز، پرتقال، سیب و نخودفرنگی جزو محصولات صادراتی بوده و محصولات وارداتی شامل گروه غلات (گندم، جو، برنج و ذرت) هستند.

متوسط مقدار صادرات سیب زمینی، پیاز، پرتقال، سیب و نخودفرنگی به ترتیب $۰/۴$ ، $۰/۴$ ، $۰/۴$ ، $۰/۷$ ، $۰/۵$ میلیون تن در سال است (FAOSATA, www.fao.org).

صادرات آب مجازی مربوط به محصولات مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار صادرات آب مجازی در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است. مهم‌ترین محصولات از نظر صادرات آب مجازی، نخودفرنگی بوده و بیشترین مقدار صادرات آب مجازی آبی مربوط به محصول سیب و آب مجازی سبز مربوط به محصول نخودفرنگی است.



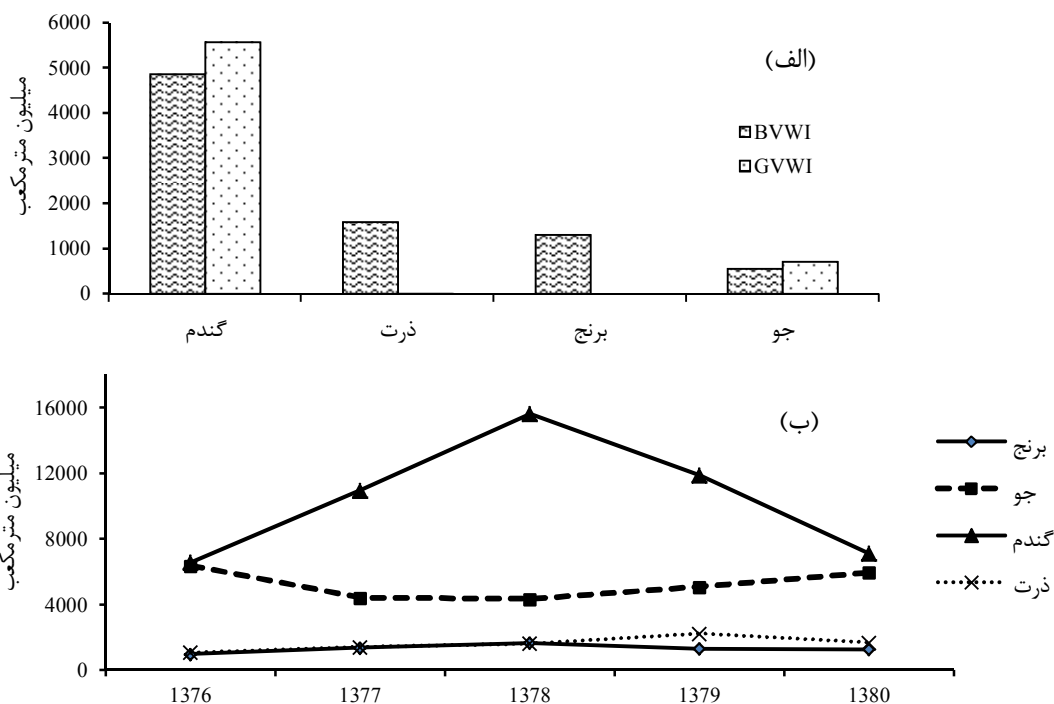
شکل ۱- (الف) متوسط آب مجازی آبی و سبز صادراتی و (ب) روند صادرات آب مجازی مربوط به محصولات کشاورزی در دوره ۱۳۸۰-۱۳۷۶

در این پژوهش، با استفاده از محتوای آب مجازی، میزان مبادلات آب مجازی سالانه به دست آمده است. در شکل ۲ روند واردات آب مجازی آبی و سبز مربوط به گروه غلات

متوسط مقدار واردات محصولات گندم، جو، برنج و ذرت در دوره مطالعاتی به ترتیب $۵/۴$ ، $۰/۵۶$ ، $۰/۱۸۶$ ، $۱/۲۵$ میلیون تن در سال است.

۷۱٪ واردات آب مجازی بیشترین سهم واردات را به خود اختصاص داده است.

نشان داده شده است. بر اساس این شکل، از مجموع ۱۴۶۱۱ میلیون مترمکعب واردات آب مجازی، گندم با

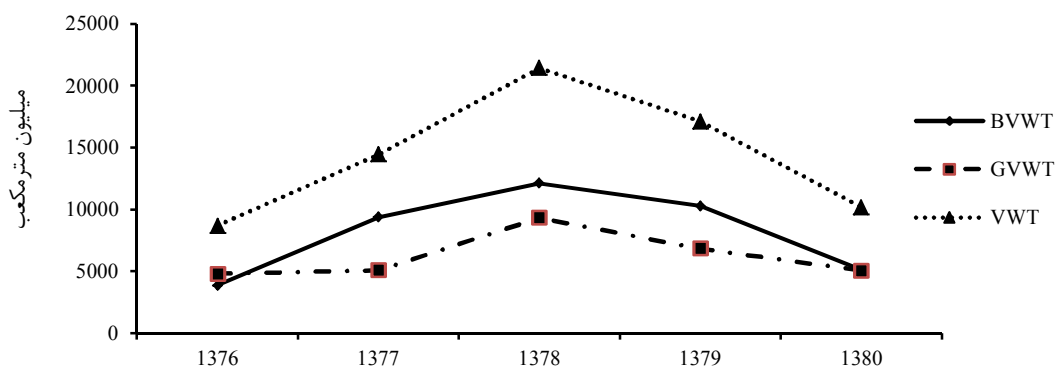


شکل ۲- الف) متوسط واردات آب مجازی آبی و سبز و ب) روند واردات آب مجازی آبی و سبز محصولات کشاورزی در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۰

بوده و ایران از نظر تراز تجارت آب مجازی، واردکننده آب مجازی است و متوسط خالص واردات آب مجازی برابر ۱۴/۳ میلیارد مترمکعب در سال است. مقدار خالص واردات آب مجازی در سال ۱۳۷۶، ۸/۶ میلیارد مترمکعب بوده و در سال ۱۳۸۰ به ۱۰/۱ میلیارد مترمکعب رسیده است.

همچنین، بیشترین سهم واردات آب مجازی آبی و سبز مربوط به گندم است. روند واردات آب مجازی در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۸۰ کم شده است.

شکل ۳ نشان می‌دهد که در مورد محصولات مطالعاتی، حجم واردات آب مجازی از صادرات آب مجازی بیشتر



شکل ۳- روند مبادلات آب مجازی آبی (BVWT) و سبز (GVWT) و کل تجارت آب مجازی (VWT) محصولات کشاورزی مطالعاتی در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۰

ردپای آب

به طور کلی، ردپای آب شامل دو بخش ردپای آب داخلی و خارجی است که هر کدام از آن‌ها شامل آب سبز و آب آبی است. تفکیک آب آبی و سبز به دلیل اثرات هیدرولوژیک، زیست‌محیطی و همچنین هزینه فرصت متفاوت آن‌ها مهم است (لیو و همکاران، ۲۰۰۸)؛ که در این پژوهش نیز این دو جزء جدا شده‌اند.

ردپای آب آبی به عنوان شاخص مصرف آب آبی (آب سطحی و زیرزمینی) است. مقادیر واردات آب مجازی به منابع آب داخلی کشور اضافه می‌شوند، زیرا اگر هر یک از محصولات وارد شده به صورت داخلی تولید شوند، حجم آب وارد شده به صورت مجازی به کشور باید در داخل

کشور و از منابع داخلی مصرف می‌شد. همچنین، حجم آب مجازی صادر شده از کشور سبب خروج آب از منابع داخلی شده است. این موضوع تحت عنوان ردپای آب یک کشور تعریف می‌شود (هوکسترا و هانگ، ۲۰۰۲). برای مثال، حدود ۱۹/۱ میلیارد مترمکعب برای تولید ۱۰/۱ میلیون تن گندم در سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۷۶ استفاده شده است. در این دوره، به طور متوسط ۵/۴ میلیون تن گندم به کشور وارد شده است. اگر قرار بود این مقدار در داخل کشور تولید شود، ۱۰/۴ میلیارد مترمکعب آب لازم بود. به این ترتیب، با واردات ۵/۴ میلیون تن گندم، ۱۰/۴ میلیارد مترمکعب آب در داخل کشور ذخیره شده است (جدول ۲).

جدول ۲- متوسط مصرف آب آبی (BIWF)، آب سبز (GIWF)، تجارت آب مجازی آبی (BVWT) و سبز (GVWT) (میلیون مترمکعب در سال) و مقدار تولید و واردات/صادرات محصولات کشاورزی (میلیون تن) در دوره ۱۳۸۰-۱۳۷۶

محصول	تولید	BIWF	GIWF	واردات/صادرات	BVWT	GVWT
گندم	۱۰/۱	۸۱۲۹/۰	۱۱۰۳۹/۸	۵/۴	۴۸۶۱/۳	۵۵۷۲/۴
جو	۴/۶	۱۹۶۹/۳	۳۲۵۵/۲	۰/۵	۵۵۸/۸	۷۱۴/۳
برنج	۲/۴	۳۶۸۴/۴	۰	۰/۸	۱۳۰۹/۴	۰
ذرت	۳/۱	۱۴۹۶/۱	۷/۸	۱/۲	۱۵۸۷/۵	۷/۴
سیب‌زمینی	۳/۵	۱۲۶۸/۶	۳۲/۹	۰/۴	۲۴/۰	۰/۵
پیاز	۱/۴	۲۲۸/۳	۱۶/۳	۰/۴	۱۳/۹	۱/۲
پرتقال	۱/۸	۶۹۰/۷	۶۲۸/۳	۰/۰۴	۲/۵	۰
سیب	۰/۵	۱۵۳۲/۵	۱۵/۳	۰/۷	۹۲/۲	۰/۷
نخودفرنگی	۰/۲	۹۹/۰	۳۰۴/۰	۰/۵	۳۰/۱	۸۴/۳

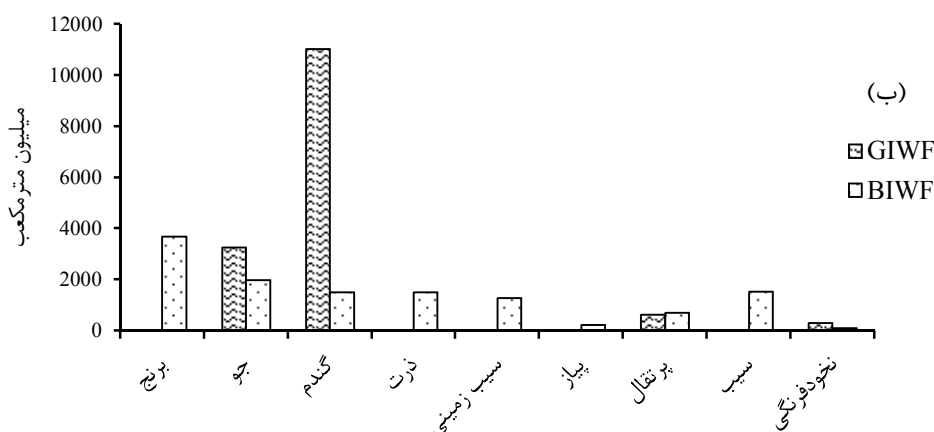
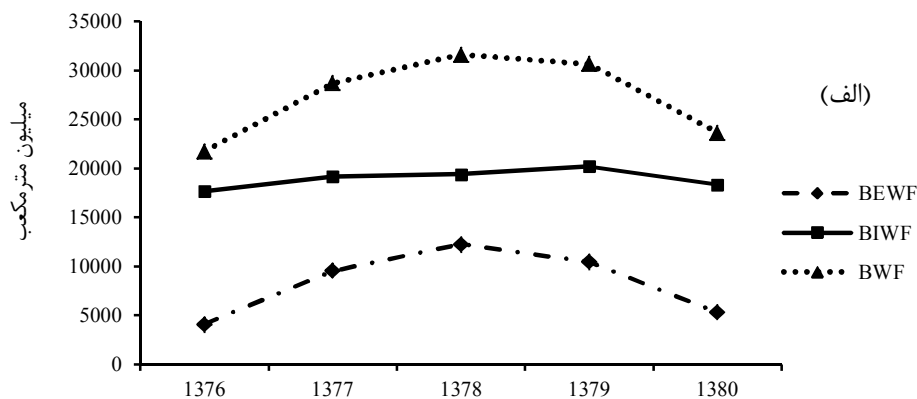
در شکل ۴، متوسط ردپای آب آبی داخلی و متوسط ردپای آب آبی خارجی نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، کمترین و بیشترین ردپای آب آبی محصولات تولیدی مربوط به نخودفرنگی و گندم است. ردپای آب سبز به عنوان شاخص مصرف آب سبز در نظر گرفته می‌شود. آب سبز، آب باران ذخیره شده در پروفیل خاک است. در حقیقت، این بخش از بارندگی صرف تبخیر و تعرق گیاه می‌شود.

با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ مشخص می‌شود که رد پای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز بیشتر است. همچنین، ردپای آب آبی خارجی نسبت به آب سبز بیشتر است. به طور کلی، ردپای آب آبی (BWF) سهم بیشتری در ردپای

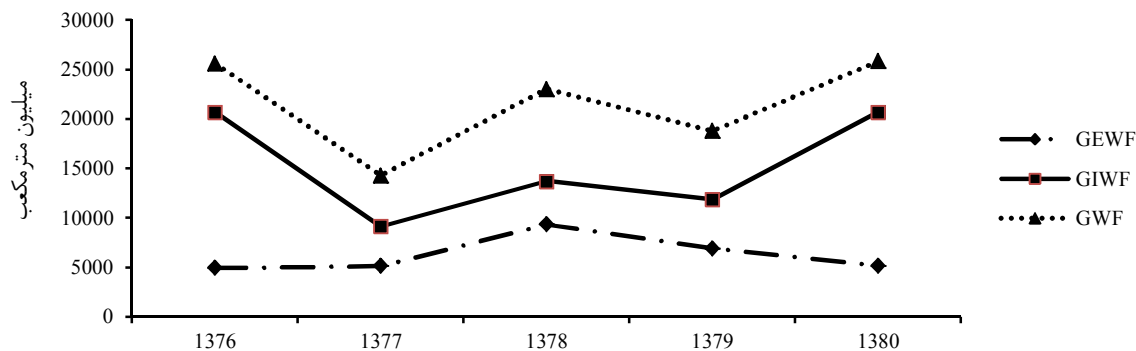
آب (WF) داشته به طوری که متوسط ردپای آب محصولات در دوره ۱۳۸۰-۱۳۷۶، ۴۸۷۵۹ MCM، ۱۳۷۶-۱۳۸۰، ۲۷۲۵۲ MCM مقدار ردپای آب مترمکعب بوده که از این مقدار ۲۱۵۰۷ MCM ردپای آب سبز است. از مقدار کل ردپای آب، محصولات تولیدی گندم بزرگ‌ترین ردپای آب را داشته و به طور متوسط MCM ۱۹۱۶۸ در سال آب (۵۷/۵٪ آب سبز و ۴۲/۵٪ آب آبی) مصرف می‌کند. به طور کلی ردپای آب سبز برای تولید محصول برنج صفر، گندم ۷۲٪، جو ۲۱٪، ذرت ۰/۵٪، سیب‌زمینی ۰/۲٪، پیاز ۰/۱٪، پرتقال ۰/۴٪، سیب ۰/۱٪ و نخودفرنگی ۰/۲٪ است.

مقابل، حجم کل واردات و صادرات آب مجازی و ردپای آب به دلیل تفاوت در تعداد محصولات مطالعاتی با یکدیگر متفاوت هستند. این مطالعه هم‌راستا با مطالعات هوکسترا و هانگ (۲۰۰۲) و چاپاگین و هوکسترا (۲۰۰۴) خالص واردات آب مجازی را مثبت به دست آورده است.

نتایج این بررسی با مطالعات انجام شده در داخل کشور در خصوص وضعیت آب مجازی محصولات کشاورزی ایران همخوانی دارند. به عنوان مثال، حجم واردات آب مجازی در اثر واردات غلات توسط روحانی و همکاران (۱۳۸۶) با نتایج به دست آمده از این پژوهش هماهنگی دارد؛ اما در



شکل ۴- الف) روند ردپای آب داخلی (BIWF) و خارجی (BEWF) و کل ردپای آب آبی (BWF) و ب) متوسط ردپای آب آبی (BIWF) و سبز داخلی (GIWF) محصولات تولیدی در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۰



شکل ۵- روند ردپای آب سبز داخلی (GIWF) و خارجی (GEWF) و کل ردپای آب سبز (GWF) در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۰

economies? Paper presented at the 1997 British Assoc. Festival of Science., University of Leeds, UK.

7. Allan, J. A. 2003. Virtual water eliminates water wars? A case study from the Middle East. PP. 137-145. Value of Water Research Report Series No. 12, IHE, Delft, The Netherlands.
8. Chapagain A. K. and Hoekstra A. Y. 2004. Water Footprints of Nations, vols. 1 and 2. UNESCO-IHE Value of Water Research Report Series No. 16
9. De Fraiture C. Cai X. Amarasinghe U. 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 4, Colombo, Sri Lanka.
10. Faramarzi M. Abbaspour K. C. Schulin R. and Yang H. 2009. Modeling blue and green water resources availability in Iran. Hydrological Processes. 23: 486-501.
11. Faramarzi M. 2010. Assessment of regional water endowments, crop water productivity, and implications for intra-country virtual water trade in Iran, A dissertation submitted to ETH ZURICH for the degree of Doctor of Science.
12. Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2013. FAOSATAT (Statistics Database). On-line Information Service, <http://www.fao.org>.
13. Hoekstra A. Y. 2007. Virtual water: An Introduction. Value of Water Research Report Series No. 12, IHE, Delft, The Netherlands, pp. 13-24.
14. Hoekstra A. Y. Chapagain A. K. 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern, Water Resource Management. 21: 35-48.
15. Hoekstra A. Y. Chapagain A. K. Aldaya M. M. and Mekonnen M. M. 2011. The water footprint assessment manual, Earthscan, London.
16. 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 Series No. 11, IHE, Delft, The Netherlands, pp. 25-47.
17. Liu J. and Savenije H. H. G. 2008. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China. Hydrology and Earth System Sciences. 12: 887-898.
18. Obuobie E. Gachanja P. M. and Dörr A. C. 2005. The role of green water in food trade. Term Paper for the Interdisciplinary Course, International Doctoral Studies, Center of Development Research, University of Bonn.
19. Renault D. 2003. Value of virtual water in food: Principles and virtues. Value of the Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

نتیجه‌گیری

جدول ۲ نشان می‌دهد که پتانسیل آب سبز در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۰ برای تولید محصولات مختلف، متفاوت است، به طوری که حدود ۱۰۰٪ تولید برنج و ۱۲٪ از تولید گندم با مصرف آب آبی انجام می‌شود اما به طور متوسط ۴۰٪ از محصولات مطالعاتی با آب سبز تولید شده‌اند. از طرف دیگر، صادرات آب مجازی کشور در بخش کشاورزی حدود ۲۴۹ میلیون مترمکعب بوده است. نتایج محاسبه محتوای آب مجازی آبی و سبز محصولات نشان می‌دهد محصولات صادر شده، محتوای آب مجازی (آبی و سبز) کمتری نسبت به محصولات وارد شده داشته‌اند. به عبارت دیگر، الگوی واردات کشاورزی در سال‌های مطالعاتی به سمت واردات محصولات آبربر بوده است. با توجه به میزان محتوای آب مجازی آبی نخودفرنگی و برنج و نیز بحران شدید آب در کشور، به نظر می‌رسد کاهش سطح کاشت این محصولات و افزایش سطح کاشت محصولات با هزینه فرصت بالاتر می‌تواند سود حاصل از واردات و صادرات آب مجازی را بیشینه نماید.

منابع

۱. اردکانیان ر. و سهرابی ر. ۱۳۸۵. تجارت آب مجازی: ادبیات جهانی و کاربرد در ایران. مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. اصفهان.
۲. روحانی ن. یانگ ه. سیچانی س. ا. افیونی م. موسوی ف. و کامگار حقیقی ع. ا. ۱۳۸۶. ارزیابی مبادله محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۶: ۴۱۷-۴۳۲.
۳. سایت وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۰. www.agri-jahad.org
۴. فرشعی ع. ا. شریعتی م. ر. جاراللهی ر. قائمی م. ر. شهبابی فر م. و تولائی م. م. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی. جلد اول (گیاهان زراعی، ۹۰۰ صفحه)، جلد دوم (گیاهان باغی، ۶۲۹ صفحه)، نشر آموزش کشاورزی، کرج.
5. Aldaya, M., Martinez-Santos, P. and Llamas, M.R. 2009. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha occidental region, Spain. Water Resources Management. 24: 941-958.
6. Allan, J. A. 1997. Virtual water: A long-term solution for water short Middle Eastern

20. Yang H. Wang L. Abbaspour K. C. and Zehnder A. J. B. 2006. Virtual water highway: Water use efficiency in global food trade. *Journal Hydrology and Earth System Sciences*. 3: 1-26.
21. Yang H. and Zehnder A. 2007. Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management. *Water Resources Research*. 43: 10. 1029.
22. Zimmer D. and Renault D. 2003. Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results. *Value of Water Research Report Series No.12*. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.