Archive of SID

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 6، بهمن – اسفند 1394، ص. 1468-1458

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1458-1468

برآورد اجزاء ردپای آب در تولید محصول گندم در سطح کشور

بهنام آبابایی[1*] - هادی رمضانی اعتدالی[2]

تاریخ دریافت: 1393/05/14
تاریخ پذیرش: 1393/07/07

چکیده

در این مطالعه، اجزاء ردپای آب سبز (بارندگی مؤثر)، آبی (نیاز خالص آبیاری)، خاکستری (برای رقیق‌سازی کودهای شیمیایی) و سفید (تلفات آبیاری) در تولید محصول گندم در 15 استان عمده تولیدکننده گندم در سطح کشور برآورد گردید. مفهوم ردپای آب سفید در این مقاله پیشنهاد گردیده و معرف تلفات آب آبیاری می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد مجموع حجم ردپای آب در تولید محصول در سطح کشور در دوره 1385-1390 (2005-2011) در حدود 42143 میلیون متر مکعب برآورد گردید. در اراضی فاریاب، سهم ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب 23، 25، 17 و 35 درصد از مجموع ردپای آب در تولید گندم در هر استان است. در بین 15 استان برگزیده، متوسط مجموع ردپای آب در اراضی فاریاب در حدود 3188 مترمکعب بر تن می‌باشد که سهم آب سبز و آب آبی تقریباً برابر است. در اراضی فاریاب، سه استان فارس، خراسان و خوزستان به‌ترتیب با 5575، 5028 و 4123 میلیون مترمکعب در سال بیشترین ردپای آب در تولید گندم کشور را دارا هستند. در این سه استان میزان زیاد ردپای آب خاکستری و سفید علاوه بر بالا بودن سطح زیر کشت و پتانسیل تبخیر و تعرق، از دلایل دیگر بالابودن مجموع ردپای آب در تولید گندم است. در این سه استان به‌ترتیب حدود 58، 59 و 57 درصد از مجموع ردپای آب در تولید گندم آبی در استان سهم ردپای آب خاکستری و سفید است. در اراضی دیم، متوسط مجموع ردپای آب در حدود 3071 مترمکعب بر تن برآورد می‌شود که در آن، سهم آب سبز و خاکستری به‌ترتیب 90 و 10 درصد می‌باشد.

واژه های کلیدی: آب مجازی، ردپای آب، مقیاس استانی، مقیاس ملی

مقدمه

منابع آب شیرین دارای تغییرات زمانی و مکانی قابل توجهی می‌باشند. رشد جمعیت همراه با توسعه اقتصادی-اجتماعی باعث شده تا این منابع در معرض تهدید قرار گیرند. کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، خشک‌شدن رودخانه‌ها و سطح بالای آلودگی آب‌ها نشانه‌هایی از کمبود منابع آب می‌باشند (9، 22، 28 و 35). بنابراین، در صورتی‌که بشر بخواهد با چالش‌هایی که در پنجاه‌سال آینده پیش روی او قرار دارد مقابله کند، باید سطح مصرف آب در بخش کشاورزی را تا سطحی پایدار کاهش دهد (24). در سال‌های اخیر چارچوب جدیدی تحت عنوان ردپای آب[3] (WF) توسط هوکسترا (10) پیشنهاد شده که مشابه مفهوم ردپای اکولوژیک می‌باشد (32، 33 و 34). این مفهوم که توسط هوکسترا و چاپاگین (12) مورد بازبینی قرار گرفت امکان تحلیل ارتباط بین مصارف و تخصیص منابع آب شیرین را فراهم می‌سازد. ردپای آب در یک محصول به صورت حجمی از آب شیرین که در تولید آن محصول مصرف شده تعریف می‌شود (13). ردپای آب آبی به بخشی از آب مصرفی که از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی تأمین شده و در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد اشاره دارد. در مقابل، ردپای آب سبز به سهم آب حاصل از بارندگی مرتبط است. هوکسترا و همکاران (13) ردپای آب خاکستری در تولید یک محصول را به صورت حجمی از آب شیرین تعریف نمودند که برای رقیق‌سازی آلاینده‌های تولید شده در فرآیند تولید آن محصول مورد نیاز است. این حجم از آب، براساس استانداردهای کیفیت آب تعیین می‌شود. در این مقاله تعریف متفاوتی برای این بخش از مجموع ردپای آب ارائه می‌گردد.

انتقال آب مجازی یکی از مکانیزم‌های ذخیره‌سازی منابع آب داخلی کشور و دستیابی به امنیت آبی در سطح ملی می‌باشد (3، 6، 7، 10، 12، 20، 26 و 36). تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی (واردات محصولات پرآب‌بر[4] و صادرات محصولات کم‌آب‌بر[5]) منجر به ذخیره منابع آب در سطح ملی می‌گردد (22). از سوی دیگر، صادرات محصولات پرآب‌بر، سود اقتصادی سرشاری را برای

1- همکار پژوهشی موسسه ملی تحقیقات کشاورزی فرانسه، مونت پلیه، فرانسه
(*- نویسنده مسئول: Email: Behnam.ab@gmail.com)
2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین

3- Water Footprint

4- Water-intensive
5- Water-extensive

www.SID.ir

Archive of SID

کشورهای صاحب منابع غنی آب شیرین به ارمغان می‌آورد.

در این مطالعه، تمرکز اصلی بر ردپای آب در تولید گندم در سطح کشور می‌باشد. هوکسترا و هانگ (15، 16) با مطالعه مجموع تبخیر و تعرق محاسباتی، حجم آب مصرفی در تولید گندم را در یک مقیاس جهانی و برای بازه زمانی 1995-1999 مورد ارزیابی قرار دادند. هوکسترا و چاپاگین (11 و 12) ارزیابی مشابهی را در دوره زمانی 1997-2001 انجام دادند. لیو و همکاران (20) با استفاده از یک تحلیل شبکه‌بندی‌شده[1]، به مطالعه حجم آب مصرفی در فرآیند تولید گندم در دوره 1998-2002 در مقیاس جهانی پرداختند. هیچ‌یک از این مطالعات تمایزی بین ردپای آب آبی و سبز قائل نمی‌شوند. لیو و همکاران (20) و لیو و یانگ (19) در یک تحلیل مشابه، به بررسی سهم آب آبی و سبز در این فرآیند پرداختند. همچنین، حجم آب مصرفی در تولید گندم در مقیاس جهانی توسط سیبرت و دال (30 و 31) و با استفاده از یک روش مطالعه شبکه‌بندی‌شده و برای دوره زمانی مشابه با مطالعه لیو و همکاران (19 و 20) مورد ارزیابی قرار گرفت. گربنزلینز و همکاران (8) سهم آب آبی و آب سبز در تولید گندم را در 25 کشور عمده تولیدکننده گندم محاسبه کردند. آلدایا و همکاران (1) علاوه بر این ارزیابی، جریان بین‌المللی آب مجازی مرتبط با تجارت گندم را نیز مورد توجه قرار دادند. آلدایا و هوکسترا (2) ردپای آب در تولید گندم را در مناطق مختلف ایتالیا محاسبه کرده و برای اولین بار از مفهوم آب خاکستری بهره گرفتند.

هدف از این مطالعه، برآورد ردپای آب آبی، سبز، سفید و خاکستری در تولید گندم در سطح کشور می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، جزء جدیدی (آب سفید) به اجزاء ردپای آب اضافه می‌شود (14).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، حجم ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید در تولید گندم در سطح کشور با بکارگیری چارچوب هوکسترا و چاپاگین (12) و هوکسترا و همکاران (13) و با اعمال تغییراتی برآورد می‌گردد. برآورد تبخیر و تعرق واقعی محصول و نیاز آبیاری تحت شرایط غیراستاندارد (ETc) براساس فرضیات آلن و همکاران (4) صورت پذیرفت. نیاز آبیاری و بارندگی مؤثر با استفاده از مدل AGWAT برآورد گردید.

مدل AGWAT تحت شرایط فاریاب مورد استفاده قرار گرفت. هرگاه رطوبت منطقه ریشه به کمتر از 50 درصد رطوبت سهل‌الوصول می‌رسید، با استفاده از آبیاری مقدار رطوبت به سطح رطوبت مزرعه باز گردانده می‌شد. از آنجایی‌که AGWAT نیاز ناخالص آبیاری را برای دوره‌های 10 روزه محاسبه می‌کند، در ابتدا نیاز خالص آبیاری (IR_{Irr}) با استفاده از راندمان آبیاری (IE_{Irr}) در سطح هریک از دشت‌ها محاسبه گردید. سپس، مجموع بارندگی مؤثر (P_{eff}) در طول دوره رشد گندم بصورت اختلاف بین مجموع تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ETc) و مجموع نیاز خالص آبیاری برآورد گردید. در نهایت، حجم مصرف آب (CWU) آبی و سبز از روابط زیر محاسبه گردید:

$$CWU_{Blue,Irr} = IR_{Irr} = 10 \times IE_{Irr} \times GI_{Irr} \quad (1)$$

$$CWU_{Green,Irr} = 10 \times P_{eff} = 10 \times (ET_c - IR_{Irr}) \quad (2)$$

$$CWU_{Blue,RF} = 0 \quad (3)$$

$$CWU_{Green,RF} = 10 \times P_{eff} \quad (4)$$

در این روابط، Irr و RF به ترتیب نشان‌دهنده شرایط فاریاب و دیم و 10 فاکتور تبدیل واحد از mm به m^3/ha می‌باشند. ردپای آب سبز (WF_{Green}) و آب آبی (WF_{Blue})، بر حسب m^3/ton، از تقسیم آب مصرفی سبز و آبی بر مقدار گندم تولیدی (ton/ha) محاسبه می‌گردد. از آنجایی‌که مقدار تولید محصول در شرایط فاریاب و دیم متفاوت می‌باشند، محاسبه اجزاء ردپای آب با استفاده از عملکرد محصول در شرایط فاریاب و دیم بصورت جداگانه صورت گرفت. تمامی اجزاء ردپای آب برای تمامی دشت‌های 15 استان بزرگ تولیدکننده گندم در سطح کشور محاسبه شدند (جدول 1). در استان‌هایی که بیش از 30 دشت وجود دارد، 30 ترکیب یگانه از تاریخ کشت و ایستگاه هواشناسی معرف بعنوان دشت‌های معرف آن استان مورد استفاده قرار گرفتند. عملکرد گندم در شرایط فاریاب و دیم از بانک اطلاعات زراعت وزارت جهاد کشاورزی برای سال‌های 1385-1390 (2005-2011) استخراج گردید.

یکی دیگر از اجزاء ردپای آب در تولید گندم، حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی کودهای کشاورزی هدررفته (با استفاده از رواناب یا نفوذعمقی) می‌باشد. این مفهوم، توسط هوکسترا و همکاران (14) تحت عنوان آب خاکستری نامیده شده است. در این مطالعه، ردپای آب خاکستری (WF_{Gray}) تنها برای کودهای نیتروژن بکار گرفته شده است. ردپای آب خاکستری در تولید گندم از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$WF_{Gray,Irr} = \frac{\alpha_{Irr} \times NAR_{Irr}}{CMax - CNat} \times \frac{1}{Yield_{Irr}} \quad (5)$$

$$WF_{Gray,RF} = \frac{\alpha_{RF} \times NAR_{RF}}{CMax - CNat} \times \frac{1}{Yield_{RF}} \quad (6)$$

که در آن‌ها، α (%) درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR (kg/ha) نرخ مصرف کود، CMax (kg/m^3) غلظت بحرانی نیتروژن، CNat (kg/m^3) غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده و

1- Grid-based

www.SID.ir

Archive of SID

Yield (ton/ha) عملکرد گندم می‌باشند. مقادیر α در شرایط فاریاب و دیم به ترتیب 5 و 10% در نظر گرفته شد (6). غلظت بحرانی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده نیز براساس استاندارد US-EPA برابر با 10 mg/lit منظور شد. از آنجا که اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر (فرض معمول) در نظر گرفته شد (6).

علاوه بر اجزاء سه‌گانه فوق، تلفات آب آبیاری (m^3/ha) نیز بعنوان بخش دیگری از ردپای آب در تولید گندم در نظر گرفته شد. برای این جزء درپای آب، در این مقاله عنوان ردپای آب سفید پیشنهاد شده است:

$$WF_{White,Irr} = \frac{10' (GI_{Irr} - IR_{Irr})}{Yield_{Irr}} \quad (7)$$

$$WF_{White,RF} = 0 \quad (8)$$

با استفاده از روابط ارائه شده، اجزاء مختلف ردپای آب در تولید گندم برای تمامی 15 استان مورد مطالعه به صورت متوسط مقادیر در سطح دشت‌های استان محاسبه گردید. در نهایت، با متوسط‌گیری وزنی این مقادیر (براساس سهم تولید گندم استان در تولید ملی)، اجزاء ردپای آب در تولید گندم (m^3/ton) در سطح کشور محاسبه شدند. سطح و حجم تولید گندم در سطح استان‌های کشور از سالنمای آماری وزارت جهاد کشاورزی استخراج گردید.

پس از محاسبه اجزاء ردپای آب برای هریک از 15 استان، مجموع هریک از این اجزاء در سطح هر استان و در سطح کشور بصورت متوسط وزنی این مقادیر در شرایط فاریاب و دیم با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$WFV_{i,x,y} = \mathrm{Prod}_{i,x,y}' WF_{i,x,y} \quad (9)$$

$$i = 1,...,15$$

$$AWF_{x,y} = \frac{\sum_i WFV_{i,x,y}}{\sum_i \mathrm{Prod}_{i,x,y}} \quad (10)$$

$$WAWF_x = \beta . AWF_{x,Irr} + (1- \beta) AWF_{x,RF} \quad (11)$$

$$NWF_x = Tot\,\mathrm{Prod}\, WAWF_x \quad (12)$$

که در آنها، i شاخص استان، x جزء ردپای آب (آبی، سبز، خاکستری یا سفید)، y شاخص نوع سامانه کشت (فاریاب یا دیم)، Prod حجم تولید گندم (Mton)، WFV کل حجم هریک از اجزاء ردپای آب (MCM)، AWF متوسط هریک از اجزاء ردپای آب (m^3/ton)، β سهم تولید گندم فاریاب در کل کشور، WAWF متوسط وزنی هریک از اجزاء ردپای آب (m^3/ton)، TotProd کل تولید گندم در سطح کشور (Mton) و NWF کل حجم هریک از اجزاء ردپای آب در سطح کشور (MCM) می‌باشند.

نتایج و بحث

جدول 1 اطلاعات 15 استان برگزیده تولید گندم در کشور را نشان می‌دهد. در دوره 1385-1390، بیش از 86 درصد تولید گندم در این 15 استان صورت گرفته است. این 15 استان مجموعاً 84/3 درصد از گندم آبی و 91 درصد از گندم دیم کشور را تولید می‌کنند. همچنین استان فارس با 18 درصد و کردستان با 11/8 درصد به ترتیب بیشترین سهم را از تولید کشور در بخش اراضی فاریاب و دیم به خود اختصاص داده‌اند. استان تهران با 4764 کیلوگرم بر هکتار بیشترین عملکرد در واحد سطح برای گندم آبی و استان کرمانشاه با 1192 کیلوگرم بر هکتار بیشترین عملکرد در واحد سطح برای گندم دیم را داشته‌اند.

اجزاء مختلف ردپای آب در تولید گندم برای 236 دشت در سطح 15 استان عمدهٔ تولیدکننده گندم کشور برآورد گردید. سپس متوسط مقادیر هریک از این اجزاء در سطح استان محاسبه شد (جدول 2). در بین 15 استان برگزیده و در اراضی فاریاب، سهم ردپای آب سبز بین 499-1023 m^3/ton، آب آبی بین 521-1402 m^3/ton، آب خاکستری بین 337-822 m^3/ton و آب سفید بین 701-2301 m^3/ton متغیر است.

متوسط مجموع ردپای آب در اراضی فاریاب در حدود 3188 m^3/ton می‌باشد که سهم آب سبز و آب آبی تقریباً برابر است. همچنین سهم آب خاکستری و سفید در اراضی فاریاب در ردپای آب در تولید گندم حدود 52 درصد است. هرچند این میزان آب به چرخه آبی کشور برمی‌گردد، اما امکان اعمال مدیریت مؤثرتر برای کاهش این سهم وجود دارد.

در اراضی دیم، جزء ردپای آب سبز بین 1282-4166 m^3/ton و آب خاکستری بین 100-740 m^3/ton متغیر است. در این اراضی، متوسط مجموع ردپای آب در حدود 3071 m^3/ton برآورد می‌شود که در آن، سهم آب سبز 9 برابر سهم آب خاکستری می‌باشد. همچنین مجموع ردپای آب در گندم آبی نسبت مجموع ردپای آب گندم دیم حدود 3/7 درصد بیشتر است که نشان‌گر اختلاف کم بین ردپای آب در تولید گندم آبی و دیم کشور است. به عبارت دیگر در کشور از نظر مجموع ردپای آب در تولید گندم آبی و دیم اختلاف چندانی دیده نمی‌شود. اما با این وجود در سطح استان‌های مختلف از نظر ردپای آب در اراضی فاریاب و دیم گاه اختلاف‌های زیادی دیده می‌شود که می‌توان بر این اساس، نوع کشت آبی یا دیم را در سطح این استان‌ها تعیین کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

براساس اطلاعات ارائه‌شده در جدول 2، مجموع ردپای آب در تولید گندم آبی در سه استان گلستان، خراسان و لرستان نسبت به گندم دیم بیشتر است. بنابراین می توان در این استان‌ها تغییر نگرشی در انتخاب نوع کشت گندم از آبی به دیم صورت پذیرد. در مورد استان خوزستان این وضعیت کاملاً برعکس است. در این استان گندم دیم ارجحیتی بر گندم آبی ندارد. در شکل‌های 1 و 2 سهم هر یک از اجزا ردپای آب نسبت به مجموع ردپای آب در هر استان در اراضی فاریاب و دیم نشان داده شده است. در اراضی فاریاب سهم ردپای آب سفید 35 درصد است. در اراضی فاریاب استان‌های خراسان، کردستان و لرستان بیشترین میزان ردپای آب سفید را به‌ترتیب با 46، 40 و 39 درصد دارا هستند. بنابراین در این استان‌ها بایستی برای کنترل تلفات آبیاری مدیریت مؤثرتری صورت پذیرد. کمترین ردپای آب سفید در استان‌های گلستان، تهران و قزوین به‌ترتیب با 29، 31 و 31 درصد از مجموع ردپای آب مشاهده می‌گردد.

جدول 1- محصول تولیدی در 15 استان عمده تولید کننده گندم

Table 1- Wheat production over 15 major wheat producing provinces

استان Province	تولید Production (ton)			سهم Share (%)		سهم از کل کشور National Share (%)			عملکرد Yield (kg/ha)		کود نیتروژن* N Fertilizer (kg/ha)	
	فاریاب Irrigated	دیم Rainfed	مجموع Total	فاریاب Irrigated	دیم Rainfed	فاریاب Irrigated	دیم Rainfed	مجموع Total	فاریاب Irrigated	دیم Rainfed	فاریاب Irrigated	دیم Rainfed
اردبیل Ardebil	329,954	270,715	600,668	54.9	45.1	3.8	6.5	4.6	4,240	1,145	267.9	23
آذربایجان شرقی Eastern Azerbaijan	283,104	287,902	571,006	49.6	50.4	3.2	6.9	4.4	3,014	861	111.3	43.7
فارس Fars	1,578,195	103,768	1,681,962	93.8	6.2	18	2.5	13	4,058	817	333.7	65.3
گلستان Golestan	475,667	442,123	917,790	51.8	48.2	5.4	10.5	7.1	3,067	2,021	160.1	126.8
همدان Hamadan	352,909	333,758	686,666	51.4	48.6	4	8	5.3	3,864	1,033	161.6	55.2
کرمانشاه Kermanshah	384,030	417,436	801,466	47.9	52.1	4.4	10	6.2	4,638	1,192	261.4	83.6
خراسان Khorasan	994,297	206,968	1,201,265	82.8	17.2	11.3	4.9	9.3	2,900	624	192.5	17
خوزستان Khuzestan	1,254,269	93,022	1,347,291	93.1	6.9	14.3	2.2	10.4	2,994	498	230.8	73.7
کردستان Kurdestan	149,478	492,957	642,435	23.3	76.7	1.7	11.8	5	4,149	993	156.4	54.4
لرستان Lorestan	215,306	291,500	506,806	42.5	57.5	2.5	7	3.9	3,102	1,179	154.7	81.6
مرکزی Markazi	286,251	169,691	455,941	62.8	37.2	3.3	4	3.5	3,800	943	235.4	83.4
قزوین Qazvin	255,899	77,380	333,278	76.8	23.2	2.9	1.8	2.6	4,045	894	202.7	26
تهران Tehran	424,140	2,694	426,834	99.4	0.6	4.8	0.1	3.3	4,764	1,010	228.3	25
آذربایجان غربی Western Azerbaijan	332,104	283,664	615,769	53.9	46.1	3.8	6.8	4.7	3,122	1,037	105.1	31.1
زنجان Zanjan	85,351	341,459	426,810	20	80	1	8.1	3.3	3,700	965	193.4	94.2
Total (15 Prov.)	7,400,951	3,815,035	11,215,987	66	34	84.3	91	86.5	3,508	1,049	---	---
Total (National)	8,778,996	4,192,808	12,971,804	67.7	32.3	---	---	---	3,438	1,010	---	---

* مرجع: وزارت جهاد کشاورزی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 2- اجزاء ردپای آب در تولید گندم در 15 استان برگزیده

Table 2- Water footprint Components for wheat production in 15 selected provinces

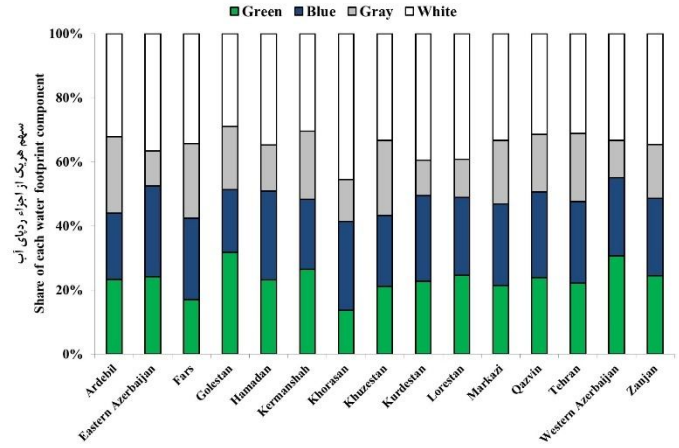
استان Province	آب مصرفی Water (mm)			WF_{Irr} (m^3/ton)					WF_{RF} (m^3/ton)		
	ET_c	IR	P_{eff}	سبز Green	آبی Blue	خاکستری Gray	سفید White	مجموع Total	سبز Green	خاکستری Gray	مجموع Total
اردبیل Ardebil	494	232	262	618	547	632	854	2,651	2,289	100	2,390
آذربایجان شرقی Eastern Azerbaijan	536	290	246	817	963	369	1,243	3,391	2,860	254	3,113
فارس Fars	607	365	242	597	899	822	1,214	3,533	2,967	400	3,367
گلستان Golestan	419	160	259	845	521	522	773	2,661	1,282	314	1,596
همدان Hamadan	574	313	261	676	811	418	1,016	2,921	2,527	267	2,794
کرمانشاه Kermanshah	592	267	324	699	576	564	804	2,643	2,721	351	3,072
خراسان Khorasan	607	407	200	690	1,402	664	2,301	5,056	3,205	137	3,341
خوزستان Khuzestan	426	218	208	693	729	771	1,094	3,287	4,166	740	4,906
کردستان Kurdestan	697	377	321	773	908	377	1,346	3,404	3,231	274	3,505
لرستان Lorestan	631	314	318	1,023	1,011	499	1,632	4,165	2,693	346	3,039
مرکزی Markazi	555	302	254	668	794	619	1,039	3,120	2,692	442	3,134
قزوین Qazvin	570	300	269	666	742	501	877	2,786	3,012	145	3,158
تهران Tehran	510	272	238	499	571	479	701	2,250	2,352	123	2,475
آذربایجان غربی Western Azerbaijan	493	219	275	880	700	337	956	2,872	2,648	150	2,798
زنجان Zanjan	554	275	279	753	744	523	1,067	3,086	2,887	488	3,375
Average	551	287	264	726	794	540	1,128	3,188	2,769	302	3,071
CV (%)	13	22	13	17	28	25	35	21	21	55	22
Min	419	160	200	499	521	337	701	2,250	1,282	100	1,596
Max	697	407	324	1,023	1,402	822	2,301	5,056	4,166	740	4,906

متوسط سهم ردپای آب خاکستری در اراضی فاریاب نزدیک به 17 درصد است. از این نقطه‌نظر، استان‌های اردبیل، فارس و خوزستان به‌ترتیب با 24، 23 و 23 درصد بیشترین سهم آب خاکستری را نسبت به مجموع ردپای آب در هر استان دارا می‌باشند. در اراضی دیم سهم آب خاکستری 10 درصد است و استان‌های گلستان، خوزستان و زنجان با 20، 15 و 15 درصد بیشترین سهم ردپای آب خاکستری نسبت به مجموع ردپای آب را در استان به خود اختصاص داده هستند. با مصرف بهینهٔ کودهای شیمیایی، امکان کاهش سهم آب خاکستری وجود دارد. چراکه کود کمتری به سمت آب‌های زیرزمینی آبشویی‌شده و یا توسط رواناب سطحی هدر می‌رود (18 و 25).

جدول 3 مقادیر متوسط نهایی اجزاء مختلف ردپای آب در تولید گندم در سطح کشور را نشان می‌دهند. مقادیر متوسط وزنی (WAWF) از رابطه (12) برآورد شده‌اند. در اراضی فاریاب، سه استان فارس، خراسان و خوزستان به‌ترتیب با 5575، 5028 و 4123 میلیون مترمکعب در سال بیشترین ردپای آب در تولید گندم کشور را دارا هستند. این میزان حجم آب در ردپای آب در تولید گندم برای این استان‌ها که با کمبود منابع آبی مواجه‌اند تامل برانگیز است.

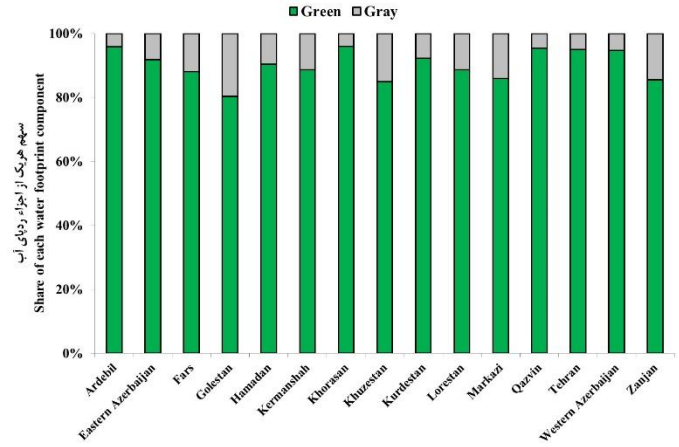
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- سهم هر یک از اجزاء ردپای آب نسبت به مجموع ردپای آب در اراضی فاریاب

Figure 1- Share of each water footprint component from total water footprint in irrigated areas



شکل 2- سهم هر یک از اجزاء ردپای آب نسبت به مجموع ردپای آب در هر استان در اراضی دیم

Figure 2- Share of each water footprint component from total water footprint in rainfed areas

کشت وسیع گندم آبی در استان‌های فارس، خراسان و خوزستان به‌ترتیب با مجموع 3533 m^3/ton، 5056 m^3/ton و 3287 m^3/ton در ردپای گندم، باعث حجم بسیار بالای ردپای آب در تولید گندم گردیده است. البته در این سه استان میزان زیاد ردپای آب خاکستری و سفید از دلایل دیگر بالابودن مجموع ردپای آب در تولید گندم در اراضی آبی بوده است. در این سه استان به‌ترتیب حدود 58، 59 و 57 درصد از مجموع ردپای آب در تولید گندم آبی در استان سهم ردپای آب خاکستری و سفید بوده است. همچنین میزان ردپای آب خاکستری و سفید در این سه استان مجموعا حدود 20 درصد از کل ردپای آب در تولید گندم کشور را شامل می‌شود. به‌طور کلی حدود 41 درصد از مجموع ردپای آب در تولید گندم کشور مربوط به سهم ردپای آب خاکستری و سفید می‌باشد. بر این اساس، مجموع ردپای آب در تولید گندم (NWF) در سطح کشور برای دوره 1385-1390 در حدود 42143 MCM/year برآورد می‌شود که از این مقدار، 41 درصد سهم آب سبز، 18 درصد سهم آب آبی، 16 درصد سهم آب خاکستری و 25 درصد مربوط به آب سفید می‌باشد. در حدود 86/3 درصد از مجموع ردپای آب در تولید گندم در سطح کشور، مربوط به 15 استان عمدهٔ تولیدکنندهٔ گندم می‌باشد.

شکل 3 سهم هر استان در اراضی فاریاب از مجموع ردپای آب گندم را نشان می‌دهد. استان‌های فارس (13/2 درصد) خراسان بزرگ (11/9 درصد) و خوزستان (9/8 درصد) به تنهایی در حدود 34/9 درصد از این حجم را به خود اختصاص داده‌اند. در اراضی فاریاب، این استان‌ها به ترتیب 14/5، 50/3، 43 و 52/1 درصد از مجموع ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید را به خود اختصاص می‌دهند. شکل 4 سهم اراضی دیم هر استان از مجموع ردپای آب گندم را نشان می‌دهد. در اراضی دیم، بیشترین سهم آب سبز از مجموع ردپای آب در تولید گندم در استان‌های کردستان (9/2 درصد)، کرمانشاه (6/6 درصد) و زنجان (5/7 درصد) برآورد شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3- مجموع حجم هریک از اجزاء ردپای آب در تولید محصول گندم در 15 استان برگزیده

Table 3- Total volume of water footprint components for wheat production in 15 selected provinces

استان Province	WFT_{Irr} (MCM)					WFT_{RF} (MCM)		
	سبز Green	آبی Blue	خاکستری Gray	سفید White	مجموع Total	سبز Green	خاکستری Gray	مجموع Total
اردبیل Ardebil	204	181	208	282	875	620	27	647
آذربایجان شرقی Eastern Azerbaijan	231	272	105	352	960	823	73	896
فارس Fars	942	1,418	1,298	1,917	5,575	308	41	349
گلستان Golestan	402	248	248	368	1,266	567	139	705
همدان Hamadan	238	286	148	359	1,031	843	89	933
کرمانشاه Kermanshah	269	221	216	309	1,015	1,136	146	1,282
خراسان Khorasan	686	1,394	660	2,288	5,028	663	28	692
خوزستان Khuzestan	869	915	967	1,372	4,123	388	69	456
کردستان Kurdestan	116	136	56	201	509	1,593	135	1,728
لرستان Lorestan	220	218	107	351	897	785	101	886
مرکزی Markazi	191	227	177	297	893	457	75	532
قزوین Qazvin	170	190	128	224	713	233	11	244
تهران Tehran	212	242	203	297	954	6	0	7
آذربایجان غربی Western Azerbaijan	292	232	112	318	954	751	43	794
زنجان Zanjan	64	64	45	91	263	986	167	1,152
Total	5,107	6,244	4,679	9,026	25,055	10,158	1,145	11,303
AWF (m^3/ton)	690	844	632	1,220	3,385	2,663	300	2,963
WAWF (m^3/ton)	1,328	571	525	825	3,249			
NWF (MCM): 15 Provinces	14,891	6,404	5,887	9,257	36,439			
NWF (MCM): National	17,222	7,406	6,809	10,706	42,143			

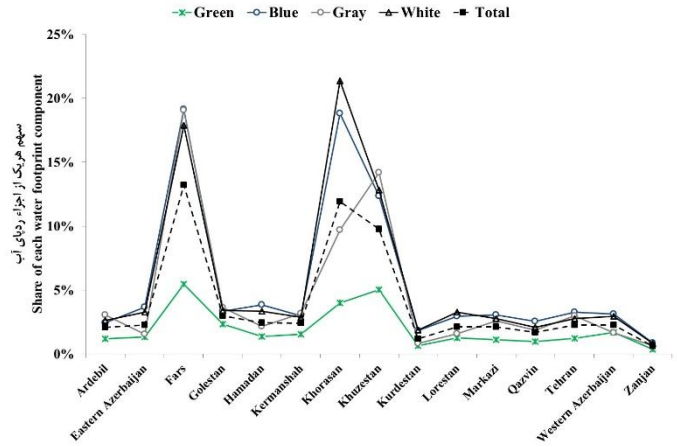
این سه استان مجموعا نزدیک به 10 درصد از مجموع ردپای آب گندم را به خود اختصاص داده‌اند. در صورتی‌که تنها آب مصرفی (مجموع ردپای آب سبز و آبی) در نظر گرفته شود (جدول 3 ردیف «مجموع»)، مجموع ردپای آب در اراضی فاریاب و دیم تقریباً برابر است (بیش از 11 MCM/year). علی‌رغم اینکه عملکرد گندم در شرایط فاریاب به میزان قابل توجهی بیشتر از اراضی دیم است، اما تبخیر و تعرق محصول نیز در چنین شرایطی بیشتر از اراضی دیم می‌باشد. در اراضی دیم، مجموع تبخیر و تعرق گندم در طول فصل رشد کمتر از شرایط استاندارد (ET_p) است، در حالی‌که در شرایط فاریاب، آب بیشتری برای مصرف گیاه موجود بوده و مقادیر برآورد شدهٔ تبخیر و تعرق گندم نزدیک به مقادیر پتانسیل می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشخص گردید که ردپای آب سبز در تولید محصول گندم تقریباً 2/3 برابر مقدار آب آبی مصرف‌شده در این فرآیند می‌باشد. این ارقام مؤید نتایج مطالعات پیشین در ارتباط با اهمیت آب سبز در تولید محصول گندم می‌باشند.

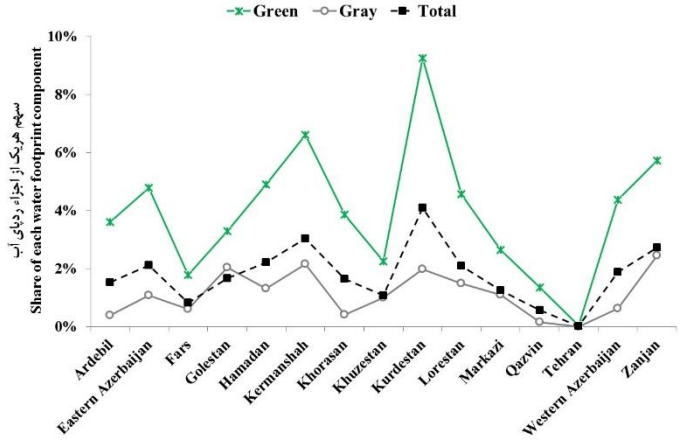
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3- سهم 15 استان عمده تولیدکنندهٔ گندم از مجموع هریک از اجزاء ردپای آب در اراضی فاریاب

Figure 3- Share of each major producing province of water footprint components in irrigated areas



شکل 4- سهم 15 استان عمده تولیدکنندهٔ گندم از مجموع هریک از اجزاء ردپای آب در اراضی دیم

Figure 4- Share of each major producing province of water footprint components in rainfed areas

در این مطالعه علاوه بر مفهوم ردپای آب سبز و آبی کـه اهمیـت زیادی در تولید گندم دارند، مفهوم آب خاکستری و سفید نیز برای این محصول در 15 استان مهم تولیدکنندهٔ گندم در کشـور مـورد بررسـی قرار گرفت. آب خاکستری میزان آب لازم برای رقیق‌سازی کودهـای شیمیایی برای تخلیه به منابع آبِ پذیرنده و آب سفید میزان آب تلـف شده برای تولید محصول می‌باشد. نتایج نشان می‌دهنـد کـه مجمـوع حجم ردپای آب در تولید گندم در سطح کشـور در دوره 1385-1390 بطور متوسط در حدود 42143 MCM/year می‌باشد که از این مقدار، 41 درصـد مربـوط بـه آب سـبز، 18 درصـد آب آبـی، 16 درصـد آب خاکستری و 25 درصد آب سفید می‌باشد. سـهم مجمـوع ردپـای آب خاکستری و سفید در کشور حدود 41 درصد از مجموع ردپـای آب در تولید گندم است. هرچند که این میزان آب به چرخه آبی کشور برمی‌گردد اما کاهش کیفیت آب و گاه از دسترس خارج شدن آن موضوعی است که بایستی مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد. در بین 15 اسـتان برگزیـده، متوسـط مجمـوع ردپـای آب در اراضـی فاریـاب در حـدود 3188 m^3/ton می‌باشد که سهم آب سبز و آبی تقریباً برابر اسـت. در اراضی دیم نیز متوسط مجمـوع ردپـای آب در حـدود 3071 m^3/ton برآورد می‌شود که در آن، سهم آب سبز 9 برابر سـهم آب خاکسـتری می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1- Aldaya M.M., Allan J.A., and Hoekstra A.Y. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. Ecological Economics, 69(4): 887–894.
2- Aldaya M.M., and Hoekstra A.Y. 2010. The water needed for Italians to eat pasta and pizza. Agr. Syst, 103: 351–360.
3- Allan J.A. 2003. Virtual water – the water, food, and trade nexus: Useful concept or misleading metaphor? Water International, 28(1): 106–113.
4- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Drainage and Irrigation Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome.
5- Chapagain A.K., and Hoekstra A.Y. 2004. Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
6- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., and Savenije H.H.G. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. Hydrol. Earth System Science, 10: 455–468, DOI: 10.5194/hess-10-455-2006.
7- 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, Vol. 4, International Water Management Institute, Colombo.
8- Gerbens-Leenes W., Hoekstra A.Y., and Van der Meer T.H. 2009. The water footprint of bioenergy. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(25): 10219-10223.
9- Gleick P.H. (ed.). 1993. Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources, Oxford University Press, Oxford, UK.
10- Hoekstra A.Y. 2003. Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12–13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
11- Hoekstra A.Y., and Chapagain A.K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management, 21(1): 35–48.
12- Hoekstra A.Y., and Chapagain A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
13- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., and Mekonnen M.M. 2009. Water footprint manual: State of the art 2009, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
14- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., and Mekonnen M.M. 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
15- 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, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
16- Hoekstra A.Y., and Hung P.Q. 2005. Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. Global Environmental Changes, 15(1): 45–56.
17- Hoff H., Falkenmark M., Gerten D., Gordon L., Karlberg L., and Rockstr'om J. 2010. Greening the global water system. Journal of Hydrology, 384: 177–186.
18- Jenkinson D.S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. Plant and Soil, 228(1): 3–15.
19- Liu J., and Yang H. 2010. Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: green and blue water. Journal of Hydrology, 384: 187–197.
20- Liu J., Williams J.R., Zehnder A.J.B., and Yang H. 2007. GEPIC – modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. Agricultural Systems, 94: 478–493.
21- Liu J., Zehnder A.J.B., and Yang H. 2009. Global consumptive water use for crop production: The importance of green water and virtual water. Water Resources Research. 45, W05428, DOI: 10.1029/2007WR006051.
22- Mekonnen M. M., and Hoekstra A.Y. 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. Hydrology and Earth System Sciences, 14: 1259-1276.
23- Mitchell T. D., and Jones P.D. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. International Journal of Climatology, 25: 693–712.
24- Molden D. 2007. Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture, Earthscan, London, UK.
25- Norse D. 2005. Non-point pollution from crop production: Global, regional and national issues. Pedosphere, 15(4): 499–508.
26- Oki T., and Kanae S. 2004. Virtual water trade and world water resources. Water Science and Technology, 49(7): 203–209.
27- Portmann F., Siebert S., Bauer C., and Doll P. 2008. Global data set of monthly growing areas of 26 irrigated crops. Frankfurt Hydrology Paper 06, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, Frankfurt am

www.SID.ir

Archive of SID

Main, Germany.
28- Postel S.L. 2000. Entering an era of water scarcity: The challenges ahead. Ecological Applications, 10(4): 941–948.
29- Sacks W.J., Deryng D. Foley J.A., and Ramankutty N. 2009. Crop planting dates: An analysis of global patterns. Global Ecology and Biogeography, 19(5): 607-620.
30- Siebert S., and Doll P. 2008. The global crop water model (GCWM): Documentation and first results for irrigated crops, Frankfurt Hydrology Paper 07, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany.
31- Siebert S., and Doll P. 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. Journal of Hydrology, 384: 198–207.
32- Wackernagel M., and Jonathan L. 2001. Measuring sustainable development: Ecological footprints. Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, Mexico.
33- Wackernagel M., Onisto L., Linares A.C., Falfan I.S.L., Garcia J.M., Guerrero I.S., and Guerrero M.G.S. 1997. Ecological footprints of nations: How much nature do they use? How much nature do they have? Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, Mexico.
34- Wackernagel M., and Rees W. 1996. Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.
35- WWAP. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world, World Water Assessment Programme, UNESCO Publishing, Paris/Earthscan, London.
36- Yang H., Wang L., Abbaspour K.C., and Zehnder A.J.B. 2006. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. Hydrology and Earth System Sciences, 10: 443–454, DOI: 10.5194/hess-10-443-2006.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1458-1468

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 6، بهمن –اسفند 1394، ص. 1468-1458

Estimation of Water Footprint parsts in National Wheat Production

B. Ababaei[1*]- H. Ramezani Etedali[2]

Received: 05-08-2014
Accepted: 29-09-2014

Introduction: Water use and pollution have raised to a critical level in many parts of the world. If humankind is to meet the challenges over the coming fifty years, the agricultural share of water use has to be substantially reduced. In this study, a modern yet simple approach has been proposed through the introduction concept 'Water Footprint' (WF). This concept can be used to study the connection between each product and the water allocation to produce that product. This research estimates the green, blue and gray WF of wheat in Iran. Also a new WF part (white) is used that is related about irrigation water loss.

Materials and Methods: The national green (Effective precipitation), blue (Net irrigation requirement), gray (For diluting chemical fertilizers) and white (Irrigation water losses) water footprints (WF) of wheat production were estimated for fifteen major wheat producing provinces of Iran. Evapotranspiration, irrigation requirement, gross irrigation requirement and effective rainfall were got using the AGWAT model. Yields of irrigated and rain-fed lands of each province were got from Iran Agricultural-Jihad Ministry. Another part of the wheat production WF is related about the volume of water required to assimilate the fertilizers leached in runoff (gray WF). Moreover, a new concept of white water footprint was proposed here and represents irrigation water losses, which was neglected in the original calculation framework. Finally, the national WF parts of wheat production were estimated by taking the average of each part over all the provinces weighted by the share of each province in total wheat production of the selected provinces.

Results and Discussion: In 2006-2012, more than 67% of the national wheat production was irrigated and 32.3% were rain-fed, on average, while 37.9% of the total wheat-cultivated lands were irrigated and 62.1% was rain-fed from more than 6,568 -ha. The total national WF of wheat production for this period was estimated as 42,143 MCM/year, on average. Different parts of wheat WF were estimated for 236 plains in fifteen selected provinces. For irrigated areas, the green WFs ranged from 499 to 1,023 m^3/ton, the blue WFs from 521 to 1,402 m^3/ton, the gray WFs from 337 to 822 m^3/ton, and the white WFs from 701 to 2,301 m^3/ton. The average total WF for irrigated areas among all the selected provinces is about 3,188 m^3/ton, with almost equal shares of blue and green water. For rain-fed areas, the green WFs ranged from 1,282 to 4,166 m^3/ton and the gray WFs from 100 to 740 m^3/ton. The average total WF for rainfed areas is about 3,071 m^3/ton with the share of green WF being nine times the gray WF. In irrigated areas, the percentages of green, blue, gray and white WFs are 23, 25, 17 and 35% of total WF, respectively in each province. The average total WF for irrigated areas is about 3,188 m^3/ton with comparable shares of blue and green water. In irrigated areas, Fars, Khorasan and Khuzestan provinces have the largest of the total WF with 5,575, 5,028 and 4,123 MCM/year, respectively. In addition to large cultivated areas and high rates of potential evapotranspiration, high values of gray and white water is another reason for the high volume of total WF in these provinces.

Conclusions: The results showed that the green WF related about wheat production in our country is about 2.3 times the blue WF. It confirmed the importance of green water in wheat production. Also the gray water footprint was assessed which is related about nitrogen application. Besides, the white water footprint was proposed here, which represents irrigation water losses. Results showed that the total water footprint in wheat production for the whole country is about 42,143 MCM/year on average over the period of 2006-2012. The ratios of green, blue, gray and white water were 41, 18, 16 and 25%, respectively. Different parts of wheat WF were estimated for 236 plains over fifteen selected provinces. Total shares of gray and white water footprint were 41% of total wheat production water footprint. The average total WF for irrigated areas among all selected provinces is about 3,188 m^3/ton, with almost equal shares of blue and green water. The authors admit that the accuracy of these results is subject to the quality of the input data.

Keywords: National Scale, Provincial Scale, Virtual Water, Water Footprint

1- Research Associate INRA, UMR759 Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux, F-34 060 Montpellier, France
(*- Corresponding Autor Email: Behnam.ab@gmail.com)
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

www.SID.ir