نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۴۳۳-۴۲۲

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 422-433

بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی برای عبور از بحران آب منطقه قزوین

هادی رمضانی اعتدالی[1*] – علیرضا شکوهی[2] – سید امین مجتبوی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳

چکیده

دشت قزوین، از مهمترین دشت‌های مرکزی ایران به دلیل خشکسالی و افزایش مصارف بخش‌های مختلف، با بحران کمبود آب مواجه شده است. لذا مدیریت آب بخش کشاورزی به عنوان مهمترین مصرف‌کننده آب در منطقه ضروری است. در این تحقیق از مفهوم ردپای آب مجازی برای محصولات اصلی آبی و دیم منطقه برای مدیریت بهتر آب کشاورزی استفاده شد. 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 به‌ترتیب 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 می‌شود. حجم صادرات آب مجازی ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی مجموعا ۵۴/۴ درصد یعنی حدود ۵۵۶ میلیون مترمکعب در سال از کل حجم صادرات آب مجازی منطقه است. با حذف صادرات این چهار محصول تابستانه حدود ۵۰۷ 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.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، آب خاکستری، آب سبز، آب سفید، تجارت آب مجازی

مقدمه

دشت قزوین یکی از مهمترین قطب‌های کشاورزی ایران است. با توجه به خشکسالی‌های اخیر و افزایش سهم بخش‌های مختلف مانند صنعت، محیط زیست و شرب، بخش کشاورزی با کمبود شدید منابع آب مواجه شده است (۱۳ و ۴۳). کشاورزان با توجه به کاهش سهم منابع آب سطحی، برداشت از آب زیرزمینی را افزایش داده‌اند. برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی برای آبیاری اراضی کشاورزی باعث افت شدید سطح آب در آبخوان شده است بحران ایجاد شده در دشت قزوین، مدیریت آب به طور عام (۴۲) و در بخش کشاورزی و اصلاح الگوی کشت را به طور خاص ضروری ساخته است (۳۸).

با توجه به افزایش جمعیت، لزوم تامین غذا، حفظ محیط زیست و مدیریت پایدار منابع آب سطحی و زیرزمینی، ردپای آب مجازی و تجارت آب مجازی مفاهیمی پویا برای مدیریت منابع آب در همه بخش‌ها تلقی می‌گردند که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱۷، ۳۰، ۳۳، ۳۷، ۴۱، ۵۴ و ۵۵). تجارت آب مجازی راهکاری برای ذخیره‌سازی منابع آب هر منطقه و دستیابی به امنیت آبی در سطوح مختلف منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی می‌باشد (۷، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۸، ۴۳ و ۵۶). واردات محصولات پرآب‌بر و صادرات محصولات کم‌آب‌بر منجر به ذخیره منابع آب در منطقه خواهد شد (۳۰). در مطالعه‌ای در مقیاس سه ایالت نیوجرسی، مریلند و دل‌اویر که با توجه به تجارت آب مجازی کالاهای تولیدی و مصرفی انجام شد، مشخص گردید از طریق مدیریت تجارت آب مجازی، مصرف آب حدود ۳۵ درصد کاهش می‌یابد (۵۳).

با توجه به مصرف حدود ۹۰ درصد منابع آب در بخش کشاورزی، مفهوم ردپای آب مجازی و تجارت آب مجازی در کشاورزی کاربرد و اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعات زیادی در خصوص ردپای آب مجازی و تجارت آب مجازی در سطوح مختلف منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار، استاد و فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین
(*- ایمیل نویسنده مسئول: (Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v31i2.55628

صورت گرفته است (۴، ۵، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۲۴، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۴، ۳۶ ، ۴۹، ۵۰، ۵۱ و ۵۲).

آبابایی و رمضانی اعتدالی (۱) مجموع آب مجازی در تولید گندم در ایران را برای دوره ۲۰۱۲-۲۰۱۶ حدود ۳۱۸۸ و ۳۰۷۱ مترمکعب بر تن به‌ترتیب برای گندم آبی و دیم برآورد نمودند. ایشان مجموع ردپای آب مجازی در تولید گندم در ایران را در حدود ۴۲،۱۴۳ میلیون مترمکعب بر سال برآورد کردند که سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید در این مقدار به ترتیب ۴۱، ۱۸، ۱۶ و ۲۵ درصد بود. پاولو و همکاران (۳۵) نیز به ارزیابی سهم اجزای مختلف ردپای آب در بخش کشاورزی افریقای جنوبی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۶، سالانه حدود ۱۰۸۶۷، ۵۳۲ و ۱۰۸۹ میلیون مترمکعب از این کشور به صورت آب سبز، آب آبی و آب خاکستری خارج می‌شود. این مقدار آب مجازی صادر شده، در حدود ۲۲ درصد رد پای آب بخش کشاورزی این کشور را تشکیل می‌دهد. شینز و همکاران (۴۱) حجم اجزا ردپای آب در تولید محصول کشاورزی کشور اردن را برای آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب معادل ۴۹۳، ۴۰۶ و ۵۴.۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد نمودند. ایشان میزان آب سطحی و زیرزمینی در ردپای آب آبی بخش کشاورزی را به ترتیب ۱۴۳ و ۲۶۳ میلیون متر مکعب گزارش کردند. ژائو و همکاران (۵۷) به بررسی اجزا ردپای آب در حوضه رودخانه زرد چین در دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۱ پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که به دلیل بهبود عملکرد، ردپای آب آبی و سبز در تولید محصولات کشاورزی کاهش و ردپای آب خاکستری به دلیل افزایش مصرف کودهای نیترات و فسفات افزایش پیدا کرده است. در مجموع به دلیل افزایش اراضی فاریاب در حوضه رودخانهٔ زرد، حجم تجارت آب مجازی افزایش چشمگیر داشته است.

بررسی اجزای مختلف ردپای آب مجازی و تعیین سهم هریک از اجزاء در میزان تجارت آب مجازی در بخش کشاورزی، کمک شایانی به درک شرایط کنونی و بهبود مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی به خصوص در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند، محسوب می‌گردد. بر همین اساس، هدف اصلی این مطالعه برآورد اجزای ردپای آب محصولات اصلی کشاورزی و برآورد حجم تجارت آب مجازی دشت قزوین به عنوان یکی از مهمترین دشت‌های ایران که با بحران کمبود آب مواجه شده، می‌باشد. البته با توجه به اهمیت اقتصاد برای کشاورزان، بررسی‌های اقتصادی با دیدگاه‌های مختلف نیز از اهداف اصلی این مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوزه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع، بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. دشت قزوین یکی از دشت‌های حوضه آبریز دریاچه نمک و بزرگ‌ترین دشت آن محسوب شده و بیشترین سطح زیر کشت انواع محصولات را در میان دشت‌های این حوضه آبریز دارد. دارای اقلیمی نیمه خشک بوده و تابستان‌های نسبتا گرم و زمستان‌های نسبتا سرد دارد (شکل ۱).

شکل ۱- موقعیت قزوین
Figure 1. Qazvin Location

ردپای آب

ردپای آب، شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید کالا مصرف می‌شود. این شاخص شامل مجموع آب مصرف شده در طی فرآیندهای زنجیره تولید یک محصول خواهد بود. بنابراین این مفهوم بسیار فراگیر بوده و شامل آب مصرفی در تولید، فرآوری و غیره خواهد شد. این مطالعه تنها اجزا ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی را در بر می‌گیرد (۲). ردپای آب آبی، به حجم آبی که در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیاز خالص) اشاره دارد. ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی (مؤثر) مرتبط است. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای رقیق‌سازی کودها و سمومی که در فرآیند تولید محصول استفاده شده‌اند مورد نیاز است (۲۰، ۲۱ و ۲۲). مفهوم دیگری نیز توسط آبابایی و رمضانی اعتدالی (۱) به عنوان آب سفید ارائه گردیده است که در واقع حجم تلفات آب آبیاری را مشخص می‌سازد (۱) در تحقیق حاضر از این مفهوم نیز برای تعیین مقادیر رد پای آب منطقه مورد مطالعه استفاده به عمل آمد. اجزا ردپای آب برای محصولات مختلف با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$WF_{Green} = \frac{P_e \times 10}{Y} \qquad (۱)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e) \times 10}{Y} \qquad (۲)$$

$$WF_{gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y} \quad (۳)$$

$$WF_{White} = \frac{10 \times (D_t - (ET_C - P_e))}{Y} \quad (۴)$$

در روابط فوق، WF_{Green} ردپای آب سبز، WF_{Blue} ردپای آب آبی، WF_{Gray} ردپای آب خاکستری و WF_{White} ردپای آب سفید و بر حسب m^3/ton می‌باشند. همچنین P_e مجموع بارندگی مؤثر در طول دوره رشد هر گیاه (mm)، ET_c تبخیر و تعرق هرگیاه (mm)، Y عملکرد هر محصول (ton/ha)، α (٪) درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR (kg/ha) نرخ مصرف کود برای هر گیاه، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن (kg/m^3) ، C_{Nat} غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده (kg/m^3)، D_t عمق آب آبیاری برای هر گیاه در طول فصل رشد (mm) و ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از mm به m^3/ha می‌باشد.

مقادیر P_e با استفاده از روش USDA و ET_c با استفاده از روش فائو-پن‌من- مونتیث و با به‌کارگیری مدل CROPWAT (۸) محاسبه شد (جدول ۱). همچنین مقادیر α در شرایط دیم و فاریاب به ترتیب ۵ و ۱۰٪ در نظر گرفته شد (۱۱). در این مطالعه، WF_{Gray} تنها برای کودهای نیتروژن بکار گرفته شده است. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده براساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ mg/lit است. از آنجاکه اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر در نظر گرفته شد (۳۰). به دلیل تفاوت تولید محصول در شرایط فاریاب و دیم، محاسبه اجزاء ردپای آب با استفاده از عملکرد محصول در شرایط فاریاب و دیم بصورت جداگانه صورت گرفت. همچنین برای تمامی داده‌های اقلیمی و زراعی از میانگین ۱۱ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۳) استفاده شد. نتایج این داده‌ها شامل عملکرد، مصرف کود، تبخیروتعرق، باران موثر و عمق آب آبیاری برای دشت قزوین در جدول (۱) آورده شده است (۳ و ۳۸).

نتایج و بحث

اجزای ردپای آب در تولید محصولات اصلی منطقه

سطح زیر کشت گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه، گوجه‌فرنگی و کلزا حدود ۹۰ درصد اراضی فاریاب و محصولات آنها حدود ۸۱ درصد تولیدات کشاورزی فاریاب را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین چهار محصول گندم، جو، عدس و نخود با اختصاص حدود ۹۹ درصد از سطح اراضی دیم، ۹۲ درصد از تولیدات کشاورزی دیم منطقه را تولید می‌کنند (جدول ۱). گندم با مجموع حدود ۱۴۴ هزار هکتار و تولید ۳۱۵ هزار تن مهمترین محصول از نظر سطح زیرکشت در الگوی کشت منطقه محسوب می‌شود و ذرت علوفه‌ای با بیش از یک میلیون تن بیشترین تولید را در منطقه دارد (۳).

اجزاء ردپای آب محصولات اصلی دشت قزوین در اراضی آبی و دیم در جدول (۲) آورده شده است. در بین اراضی آبی، کلزا و ذرت علوفه‌ای به‌ترتیب با ۱۱۷۹ و ۵ مترمکعب در تن بیشترین و کمترین ردپای آب سبز را در تولید محصول دارند. علت این امر را می‌توان در عملکرد دو محصول در مقایسه با سایر محصولات جستجو نمود. در بین محصولات آبی، کلزا و ذرت علوفه‌ای به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد را دارند. همچنین بارندگی موثر بیشتر در دوره رشد کلزا را می‌توان در بالاتر بودن میزان ردپای سبز در این محصول نسبت به سایر محصولات و به‌خصوص ذرت علوفه‌ای موثر دانست.

شکل (۲) سهم هر یک از اجزا ردپای آب در تولید محصولات اصلی آبی و دیم منطقه را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد در بین محصولات آبی، چهار محصول گندم، جو، گوجه فرنگی و کلزا دارای مقادیر مشابهی از نسبت ردپای آب سفید و خاکستری به کل ردپای آب همان محصول یعنی به ترتیب در حدود ۵۰، ۱۰ درصد می‌باشند. در مورد ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای هم این شباهت وجود دارد. سهم ردپای آب سفید و خاکستری در مورد ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای به‌ترتیب حدود ۲۸ و ۱۸ درصد است. این نتایج، مدیریت مشابه زراعی را در خصوص محصولات مزبور در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر راندمان سیستم‌های آبیاری و مدیریت مصرف کود در مزارع برای محصولات مختلف مشابه است. سهم ردپای آب سفید در محصولات مهم آبی نشان می‌دهد که میزان تلفات سیستم‌های آبیاری در منطقه زیاد است. پایین بودن راندمان سیستم‌های آبیاری در منطقه در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است (۴۸). با توجه به بالا بودن سهم ردپای آب سفید نسبت به آب خاکستری در تولید محصولات آبی در منطقه، رقیق سازی کودهای تلف شده به‌وسیله ردپای آب سفید انجام خواهد شد و لازم نیست که آب بیشتری برای این منظور به مجموع ردپای آب در تولید محصولات آبی در منطقه اضافه کرد. بنابراین مجموع ردپای آب در تولید محصولات آبی منطقه مجموع ردپای آب سبز، آبی و سفید در نظر گرفته شد. در مورد کشت دیم با توجه به عدم وجود ردپای آب سفید در اراضی دیم، ردپای آب خاکستری در مجموع ردپای آب در تولید محصولات دیم منظور گردید. این بازنگری توسط آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲) نیز گزارش شده است.

با توجه به شکل (۲)، دو محصول ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در میزان سهم هر یک از اجزا ردپای آب تفاوت زیادی با هم ندارند که این تشابه را می‌توان ناشی از برابری تقریبی مقادیر تبخیروتعرق، باران موثر، کود و عمق آب آبیاری دانست. البته به دلیل عملکرد کمتر ذرت دانه‌ای، حجم هریک از اجزای ردپای آب افزایش داشته است، اما این افزایش در هریک از اجزا ردپای آب در تولید این محصول تقریبا برابر است و دقیقا به همین دلیل سهم هریک از اجزای ردپای آب نسبت به ذرت علوفه‌ای تفاوت چندانی نداشته است.

جدول ۱- سطح (ha) و میزان (ton) تولید محصولات اصلی در اراضی فاریاب و دیم منطقه

Table 1- Area (ha) and production (ton) of each main crops in irrigated and rainfed fields

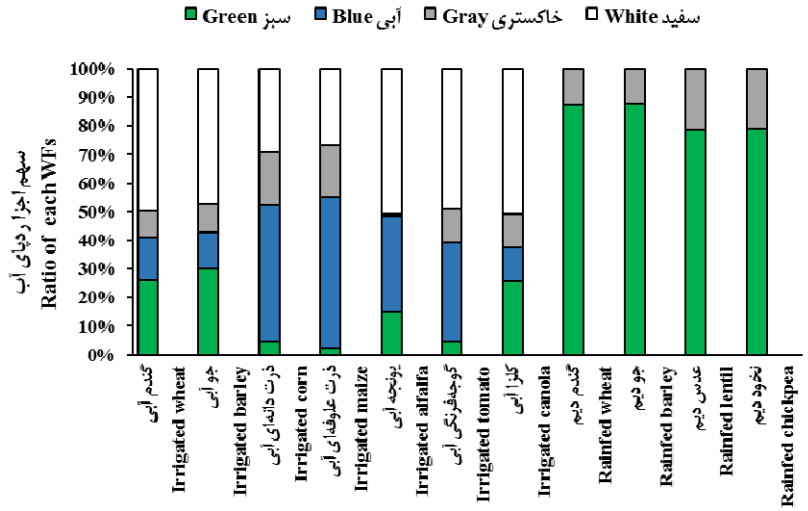
محصولات Crops	سطح Area (ha)	سهم Share (%)	تولید Production (ton)	سهم Share (%)
گندم آبی Irrigated wheat	63499	39	250108	10
جو آبی Irrigated barley	26114	16	88549	4
ذرت دانه‌ای آبی Irrigated corn	9495	6	85593	4
ذرت علوفه‌ای آبی Irrigated maize	18132	11	1008015	42
یونجه آبی Irrigated alfalfa	19605	12	213709	9
گوجه‌فرنگی آبی Irrigated tomato	7762	5	301518	12
کلزا آبی Irrigated canola	2097	1	5083	0.2
بقیه گیاهان آبی Irrigated other crops	16184	10	461794	19
گندم دیم Rainfed wheat	80694	74	64824	76
جو دیم Rainfed barley	10049	9	7587	9
عدس دیم Rainfed lentil	14421	13	4687	6
نخود دیم Rainfed chickpea	3656	3	1373	2
بقیه گیاهان دیم Rainfed other crops	807	1	6507	8

جدول ۲- اجزاء ردپای آب در محصولات اصلی آبی و دیم دشت قزوین

Table 2- WFs components of main irrigated and rainfed crops in Qazvin Plain

محصولات Crops	عملکرد Yield (Kg/ha)	کود Fertilizer (Kg/ha)	مصرف آب Water Use (mm)			ردپای آب WF (m^3/ton)				
			ET_c	P_{eff}	D_t	سبز Green	آبی Blue	خاکستری Gray	سفید White	مجموع Total
گندم آبی Irrigated wheat	3939	218	475	303	750	769	437	277	1467	2673
جو آبی Irrigated barley	3391	232	426	299	600	882	375	291	1394	2651
ذرت دانه‌ای آبی Irrigated corn	9015	483	680	60	1000	67	688	268	422	1177
ذرت علوفه‌ای آبی Irrigated maize	55594	453	695	29	1000	5	120	41	60	185
یونجه آبی Irrigated alfalfa	10901	31	949	295	1650	271	600	14	913	1784
گوجه‌فرنگی آبی Irrigated tomato	38845	449	726	81	1550	21	166	57	233	420
کلزا آبی Irrigated canola	2425	261	420	286	700	1179	553	539	2334	4066
گندم دیم Rainfed wheat	805	43	-	303	-	3762	-	532	-	4294
جو دیم Rainfed barley	755	38	-	299	-	3960	-	550	-	4510
عدس دیم Rainfed lentil	325	26	-	95	-	2923	-	795	-	3718
نخود دیم Rainfed chickpea	376	25	-	95	-	2530	-	674	-	3204

همچنین در اراضی آبی، گندم، جو و کلزا بـه دلیـل تقـارن فصـل کشت با فصل بارندگی منطقه (نوامبر تا ژوئن) سهم ردپای سبز نسبت به ردپای آب آبی بیشتر است. محصولات بهاره و تابسـتانه در منطقـه شامل ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجـه فرنگـی بـه دلیـل بهره‌مندی از باران کمتر و تبخیروتعرق بیشتر دارای سهم ردپای آبـی بیشتری هستند.



شکل ۲- سهم هریک از اجزا ردپای آب مجازی در محصولات اصلی آبی و دیم

Figure 2- Ratio of each WF components in main irrigated and rainfed crops

در اراضی دیم سهم آب سبز نسبت به آب خاکستری بسیار بیشتر است که دلیل عمدهٔ آن، انطباق دورهٔ رشـد ایـن محصـولات بـا دورهٔ بارندگی و استفادهٔ محدودتر از کودهای ازته در سطح اراضـی دیـم در مقایسه با اراضی آبی می‌باشد (به دلیل پایین‌تر بودن پتانسل عملکـرد در ایـن اراضـی). گنـدم و جـو دیـم دارای سـهم ردپـای آب سـبز و خاکستری به ترتیب حدود ۸۸ و ۱۲ درصد است. در عدس و نخود نیز این مقادیر به ترتیب حدود ۷۹ و ۲۱ درصد مـی‌باشـد. دلیـل نزدیکـی ارقام مربوط به ردپای آب در همـه کشـت‌هـای دیـم را مـی‌تـوان در مدیریت یکسان زراعی غلات و حبوبات در اراضی دیم دانست.

مجموع ردپای آب در تولید گندم در منطقه، ۲۶۷۳ مترمکعـب بـر تن برآورد شد. آبابایی و رمضانی اعتـدالی (۱) مجمـوع ردپـای آب در تولید گندم در اراضی فاریاب در همین منطقه را ۲۷۸۶ مترمکعـب بـر تن برآورد کردند. علت اصلی تفاوت بین نتایج کار ایـن دو محقـق و مطالعه حاضر را می‌توان طول دوره آماری ۱۱ ساله کنونی در مقابل ۶ سال و همچنین عدم لحاظ نمودن ردپـای آب خاکسـتری در مطالعـه حاضر به علت استفاده از آب سفید در مجموع ردپـای آب محصـولات آبی دانست. نکته قابل اعتنای دیگر در نتایج بدست آمده آن است کـه ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای با تبخیروتعـرق، بارنـدگی مـوثر و کـود مصرفی تقریباً برابر، تفاوت چشم‌گیری در مجموع ردپـای آب از خـود نشان می‌دهند. همـانطور کـه در جـدول (۲) مشـخص اسـت نسـبت عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای به ذرت دانه‌ای حدود ۶/۲ می‌باشد در حالی‌که نسبت مجموع ردپای آب آنها حدود ۰/۱۶ است.

در اراضی دیم، مجموع ردپای آب در تولید محصـول نسـبت بـه اراضی آبی بسیار بیشـتر اسـت کـه دلیـل عمـده آن تفـاوت عملکـرد چشمگیر در بین محصولات آبی و دیم بـه خصـوص در گنـدم و جـو می‌باشـد. در سـال‌هـای اخیـر بـه دلیـل کـاهش بارنـدگی، عملکـرد محصولات در اراضی دیم به شدت کاهش یافته است.

حجم نهایی اجزاء مختلف ردپای آب در تولید محصـولات اصـلی دشت قـزوین در **Error! Reference source not found.** آورده شـده اسـت. مجمـوع حجـم ردپـای آب در تولیـدات آبـی و دیـم محصولات اصلی حدود ۲۰۵۳ میلیون مترمکعب در سال بـرآورد شـد. این مقدار بدون در نظر گرفتن حجم ردپـای آب خاکسـتری در تولیـد محصولات آبی است. همانطور که قبلا ذکر شد بـه دلیـل بـالا بـودن حجم ردپای آب سفید در اراضی آبی، از ردپای آب خاکستری در تولید محصولات آبـی صـرفنظر شـد. مجمـوع حجـم ردپـای آب در تولیـد محصولات آبی و دیم اصلی منطقـه بـه ترتیـب حـدود ۱۷۱۹ و ۳۳۴ میلیون مترمکعب یعنی ۸۴ و ۱۶ درصد از کل ردپـای آب منطقـه در سال است. گندم به دلیل مجموع ردپای آب و سطح زیر کشت زیاد در اراضی آبی و دیم، با حدود ۴۶ درصد از کل مجموع حجم ردپـای آب در تولید محصولات مهم منطقـه (۹۴۷ میلیـون مترمکعـب در سـال)، بیشترین سهم را دارا است. شایان ذکر است که گندم یـک محصـول استراتژیک در ایران محسوب شده و دولت و کشـاورزان از کشـت آن

استقبال می‌کنند. در مقابل سه محصول کلزا، عدس و نخود نیز به دلیل تولید کم، مجموعا ۴۳/۵ میلیون مترمکعب در سال یعنی حدود ۲ درصد از مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات مهم منطقه را شامل می‌شوند.

جدول ۳- مجموع حجم ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی آبی و دیم
Table 3- Total volume of WF in main irrigated and rainfed crops

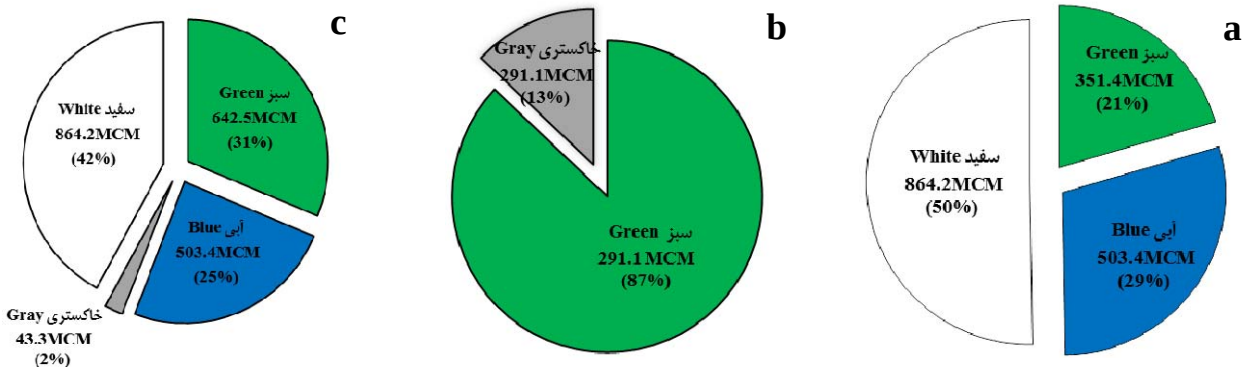
محصولات Crops	مجموع ردپای آب WF (MCM/year)				
	سبز Green	آبی Blue	خاکستری Gray	سفید White	مجموع Total
گندم آبی Irrigated wheat	192.3	109.3	-	366.9	668.5
جو آبی Irrigated barley	78.1	33.2	-	123.4	234.7
ذرت دانه‌ای آبی Irrigated corn	5.7	58.9	-	36.1	100.7
ذرت علوفه‌ای آبی Irrigated maize	5.0	121.0	-	60.5	186.5
یونجه آبی Irrigated alfalfa	57.9	128.2	-	195.1	381.3
گوجه‌فرنگی آبی Irrigated tomato	6.3	50.1	-	70.3	126.6
کلزا آبی Irrigated canola	6.0	2.8	-	11.9	20.7
گندم دیم Rainfed wheat	243.9	-	34.5	-	278.4
جو دیم Rainfed barley	30.0	-	4.2	-	34.2
عدس دیم Rainfed lentil	13.7	-	3.7	-	17.4
نخود دیم Rainfed chickpea	3.5	-	0.9	-	4.4
گندم دیم Rainfed wheat	642.5	503.4	43.3	864.2	2053.4

شکل (۳) حجم هریک از اجزا ردپای آب در اراضی آبی، دیم و مجموع را نشان می‌دهد. در اراضی آبی، حدود ۵۰ درصد از مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات مهم سهم حجم ردپای آب سفید می‌باشد. سهم تلفات آبیاری در منطقه حدود ۸۶۴ میلیون مترمکعب در سال یعنی در حدود ۴۲ درصد از کل حجم ردپای آب دشت قزوین می‌باشد که برای منطقه‌ای که با بحران کم آبی مواجه است قابل توجه است. همچنین سهم حجم ردپای آب خاکستری که سهم محیط زیست محسوب می‌شود در اراضی دیم حدود ۱۳ درصد است. در مجموع نیز حجم ردپای آب خاکستری حدود ۴۳ میلیون مترمکعب در سال (حدود ۲ درصد) می‌شود. آلودگی غیرمتمرکز[1] آبهای سطحی و زیرزمینی بیشتر ناشی از مصرف کودهای نیتروژنه در عملیات کشاورزی است و لذا اگر این سهم آب خاکستری برای حفظ کیفیت منابع آب رعایت نشود، آلوده شدن منابع آب سطحی و زیرزمینی مشکل‌ساز خواهد شد (۳۰). مجموع حجم ردپای آب آبی، خاکستری و سفید ۱/۴۱ میلیارد مترمکعب در سال است. این سه جزء حدود ۶۹ درصد از کل حجم ردپای آب در تولید محصولات منطقه را شامل شده و از منابع آب سطحی و زیرزمینی تامین می‌شوند. با توجه به سیاست کاهش سهم آب کشاورزی از منابع آب سطحی، بیشتر آب مورد نیاز این بخش، از منابع آب زیرزمینی منطقه تامین می‌شود که در نهایت منجر به برداشت بی‌رویه و کاهش شدید سطح آب زیرزمینی منطقه شده است.

مجموع حجم ردپای آب سبز در تولید محصولات اصلی آبی و دیم منطقه به ترتیب ۳۵۱/۴ و ۲۹۱/۱ میلیون مترمکعب در سال یعنی در مجموع حدود ۳۱ درصد کل ردپای آب محاسبه شده برای دشت قزوین است (شکل ۳). همانطور که ملاحظه می‌شود حجم ردپای آب سبز منطقه به‌خصوص در اراضی دیم بسیار پایین است. با توجه به این که ردپای آب سبز مربوط به بارندگی است، افزایش حجم ردپای آب سبز در تولیدات محصولات اصلی منطقه به معنای استفاده بیشتر از باران در کشاورزی و فشار کمتر به منابع آب سطحی و زیرزمینی

1- Non-point source

منطقه برای آبیاری محصولات کشاورزی است. افزایش سطح زیرکشت و تولید محصولات دیم منطقه می‌تواند کمک شایانی به افزایش سهم حجم ردپای آب سبز در منطقه نماید. همچنین افزایش سطح زیرکشت محصولات پاییزه آبی در افزایش سهم حجم ردپای آب سبز موثر است.

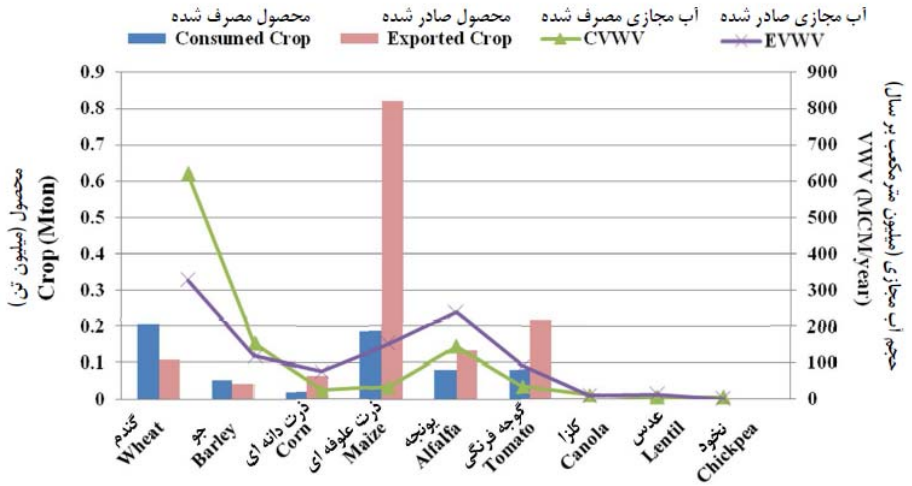


شکل ۳- حجم (MCM/year) و سهم (%) هریک از اجزا ردپای آب مجازی در محصولات اصلی آبی (a)، دیم (b) و مجموع (c)

Figure 3- Volume (MCM/year) and ratio (%) of each WF components in main irrigated (a) and rainfed (b) and total (c) fields

تجارت آب مجازی منطقه

در مدیریت کشاورزی در منطقه توجه به میزان مصرف و صادرات محصولات نقش دارد. شکل (۴) میزان مصرف و صادرات محصولات اصلی منطقه، حجم آب مجازی مصرف شده و صادرشده را نشان می‌دهد. میزان مصرف محصولات مختلف، با توجه به سرانه مصرف هر محصول در ایران (۳) و جمعیت ۱/۲ میلیون نفری منطقه براساس سرشماری سال ۱۳۹۰ محاسبه گردید (۴۶).



شکل ٤- وزن محصول مصرف شده و صادر شده و حجم آب مجازی مصرف شده (CVWV) و صادر شده (EVWV) محصولات اصلی

Figure 4- Weight of consumed and exported crop and consumed virtual water volume (CVWV) and exported virtual water volume (EVWV) of main crops

مجموع حجم آب مجازی مصرف شده و صادر شده از منطقه برای محصولات مختلف به ترتیب حدود ۱۰۳۱ و ۱۰۲۲ میلیون مترمکعب در سال و تقریبا با هم برابرند. از حجم آب مجازی صادر شده حدود ۷۸۳ میلیون مترمکعب در سال سهم ردپای آب آبی، خاکستری و سفید است. به‌عبارت دیگر حدود ۷۶/۶ درصد از حجم آب مجازی صادر شده از منطقه مربوط به سهم منابع آب سطحی و

زیرزمینی است. میزان صادرات محصولات تابستانه شامل ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی از میزان مصرف منطقه بیشتر است. سهم ردپای آب آبی و سفید این محصولات نسبت به آب سبز بسیار بالا است (شکل ۲). بنابراین صادرات این محصولات بیشترین فشار را بر منابع آب سطحی و زیرزمینی وارد می‌کند. این محصولات (ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی) بیشترین سود خالص را در واحد سطح دارند. با توجه به کوچک بودن مساحت مزارع در منطقه، کشاورزان تمایل دارند محصولات با سود بیشتر را کشت کنند (۴۷). حجم صادرات آب مجازی ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی به ترتیب حدود ۷/۴، ۱۴/۸، ۲۳/۲ و ۹/۰ درصد (مجموعا ۵۴/۴) درصد یعنی حدود ۵۵۶ میلیون مترمکعب در سال از کل حجم صادرات آب مجازی منطقه است. با حذف صادرات این چهار محصول تابستانه حدود ۵۰۷ میلیونپ مترمکعب در سال از خروج منابع آب سطحی و زیرزمینی جلوگیری می‌شود. با حذف صادرات این محصولات حدود ۳۹۷۵۰ هکتار از اراضی فاریاب بدون کشت باقی خواهند ماند که می‌توان آن را به کشت محصولات دیم و یا محصولات آبی پاییزه یعنی گندم، جو و کلزا که نیاز آبیاری کمتری دارند اختصاص داد.

بیشترین حجم آب مجازی مصرف شده و صادر شده مربوط به گندم و به ترتیب ۶۵۲ و ۳۴۳ میلیون مترمکعب در سال است. نتایج نشان می‌دهد حدود ۳۱۵ هزار تن تولید گندم منطقه است که از این میزان ۲۰۶ هزار تن در منطقه مصرف و ۱۰۹ هزار تن صادر می‌شود. صادرات گندم به‌ترتیب باعث خروج ۲۹۰ و ۲۰۷ میلیون مترمکعب در سال به صورت صادرات حجم آب مجازی و منابع آبی منطقه می‌شود. با حذف صادرات گندم از منطقه به‌ترتیب حدود ۲۸/۴ و ۲۰/۲ درصد از کل حجم آب مجازی و منابع آبی صادر شده از منطقه کاسته خواهد شد. همچنین با حذف صادرات گندم، ۲۷۵۹۲ هکتار از سطح زیرکشت گندم آبی کاهش خواهد یافت.

به طور حتم بخشی از نیازهای غذایی منطقه از طریق واردات محصولات غذایی دیگر تامین می‌شود که باعث واردات آب مجازی به منطقه خواهد شد. هدف اصلی این مطالعه تنها بررسی وضعیت محصولات اصلی کشاورزی منطقه به عنوان مهمترین مصرف کننده منابع آب منطقه بود که نتایج نشان داد به جز نخود، بقیه محصولات از منطقه صادر شده و باعث صادرات آب مجازی خواهند شد.

نتیجه‌گیری کلی

دشت قزوین به عنوان یکی از مهمترین دشت‌های ایران، دچار بحران کم‌آبی است. مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات کشاورزی به مدیریت بهتر آب کشاورزی در منطقه کمک شایانی می‌کند. برای برآورد دقیق‌تر از آب مصرف شده در کشاورزی، ردپای آب خاکستری و سفید نیز در این مطالعه برای اولین بار در منطقه مورد توجه قرار گرفت. مجموع سهم ردپای آب خاکستری و سفید در منطقه قزوین حدود ۹۰۷/۵ میلیون مترمکعب (حدود ۴۴ درصد) از مجموع ردپای آب مجازی در تولید محصولات کشاورزی اصلی است. پایین بودن راندمان سیستم‌های آبیاری و مصرف بیش از اندازه کودهای ازته در مزارع مهمترین عوامل بالا بودن سهم این اجزا هستند. همچنین ردپای آب در محصولات دیم منطقه نسبت به محصولات آبی بسیار بیشتر است. به دلیل خشکسالی‌ها و کاهش بارندگی، عملکرد در اراضی دیم به شدت کاهش یافته است. آبیاری تکمیلی برای بهبود عملکرد اراضی دیم پیشنهاد شده است (۳۷، ۳۸ و ۴۶). البته بهبود عملیات‌های دیگر زراعی در اراضی دیم مانند بهبود تاریخ کاشت، عمق کاشت و شخم نیز در بهبود عملکرد دیم در منطقه بسیار تاثیرگذار است (۳۹ و ۴۶). واضح است که بهبود مدیریت زراعی و آبیاری تکمیلی در اراضی دیم منطقه باعث کاهش ردپای آب سبز و افزایش بهره‌وری بارش در تولید محصولات دیم منطقه خواهد شد. اما آبیاری تکمیلی باعث ورود ردپای آب آبی به مجموع ردپای آب در تولید محصولات دیم می‌شود. همچنین حجم صادرات آب مجازی حدود ۱۰۲۲ میلیون مترمکعب در سال است که حدود ۷۸۳ میلیون مترمکعب در سال سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه است. صادرات محصولات تاسبتانه شامل ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی سهم قابل توجهی از صادرات آب مجازی منطقه را شامل می‌شود. مجموع سهم ردپای آب آبی، خاکستری و سفید در این نوع محصولات بالا است. با حذف صادرات این چهار محصول از خروج ۵۰۷ میلیون مترمکعب در سال از منابع آب سطحی و زیرزمینی کاسته می‌شود. این مدیریت باعث بدون کشت ماندن حدود ۳۹۷۵۰ هکتار از اراضی فاریاب خواهد شد. می‌توان این اراضی را به کشت محصولات دیم به صورت سنتی و یا کشت محصولات دیم با آبیاری تکمیلی اختصاص داد.

منابع

1- Ababaei B., and Ramezani Etedali H. 2014. Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. J. Environ. Process. 1:193-205.

2- Ababaei B., and Ramezani Etedali H. 2016. Water Footprint Components of Cereal Production in Iran. Agricultural Water Management. DOI:10.1016/j.agwat.2016.07.016.

3- Agriculture Jihad Ministry. 2015. http://www.maj.ir.

4- 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.
5- Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y. 2010. The water needed for Italians to eat pasta and pizza. Agr. Syst., 103:351–360.
6- Allan J.A. 1997. Virtual water: A long-term solution for water short Middle Eastern economies. Paper presented at the 1997 British Assoc. Festival of Sci., University of Leeds, UK.
7- Allan J.A. 2003. Virtual water – the water, food, and trade nexus: Useful concept or misleading metaphor?. Water International, 28(1): 106–113.
8- 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.
9- Antonelli M., and Sartori y. 2015. Unfolding the potential of the virtual water concept. What is still under debate? Environmental science & policy, 50(2):240 – 251.
10- 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.
11- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., and Savenije H.H.G. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. Hydrol. Earth SystemScience, 10:455–468.
12- Chukalla A.D., Krol M.S., and Hoekstra A.Y. 2015. Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19:4877–4891.
13- Daneshkar Arasteh P., and Shokoohi A.R. 2008. In search of the effects of climate change on weather conditions and surface water resources in Iran. 3rd Conference of Iran water resources management. Tabriz, Iran.
14- 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.
15- Faramarzi M., Yang H., Mousavi J., Schulin R., Binder C., and Abbaspour, K. 2010. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 7(3):2609-2649.
16- 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.
17- Gleick P.H. 1993. Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources, Oxford University Press, Oxford, UK.
18- 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.
19- 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.
20- Hoekstra A.Y., and Chapagain A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
21- 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.
22- 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.
23- 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.
24- 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.
25- 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.
26- 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.
27- 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.
28- 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.
29- 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.
30- 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.
31- 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.

32- Molden D. 2007. Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture, Earthscan, London, UK.
33- Norse D. 2005. Non-point pollution from crop production: Global, regional and national issues. Pedosphere, 15(4):499–508.
34- Oki T., and Kanae S. 2004. Virtual water trade and world water resources. Water Science and Technology, 49(7):203–209.
35- Pahlow M., Snowball J., and Fraser G. 2015. Water footprint assessment to inform water management and policy making in South Africa. Water SA, 41(3):301-305
36- 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 Main, Germany.
37- Postel S.L. 2000. Entering an era of water scarcity: The challenges ahead. Ecological Applications, 10(4):941–948.
38- Ramezani Etedali H., Ahmadaali K., Liaghat A., Parsinejad M., Tavakkoli A.R., and Ababaei, B. 2015. Optimum Water Allocation between Irrigated and Rainfed Lands in different Climatic Conditions. Biological Forum – An International Journal, **7**(1):1556-1567.
39- Ramezani Etedali H., Liaghat A., Parsinejad M., Tavakkoli A.R., Bozorg Haddad O., and Ramezani Etedali M. 2013. Water Allocation Optimization for Supplementary Irrigation in Rainfed Lands to Increase Total Income (Case Study: Upstream Karkheh River Basin). Journal of Irrigation and Drainage, 62:74-83.
40- 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.
41- Schyns J.F., Hamaideh A., Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., and Schyns M. 2015. Mitigating the Risk of Extreme Water Scarcity and Dependency: The Case of Jordan. Water, 7: 5705-5730.
42- Shokoohi A.R. 2012. Comparison of SPI and RDI in drought analysis in lical scale with emphasizing on agricultural drought (Case study: Qazvin and Takestan). Irrigation and water Journal. 3(9):111-122. (in Persian with English abstract)
43- Shokoohi A.R., Raziei T., and Daneshkar Arasteh P. 2014. On The Effects of Climate Change and Global Warming on Water. International Bulletin of Water Resources & Development. 2(4):1-9.
44- Siebert S., 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.
45- Siebert S., 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.
46- Statistical Center of Iran. 2015. http://www.amar.org.ir.
47- Tavakkoli A.R. 2010. Improvement of water productivity by conjunctive management of limited irrigation and advanced agronomic practices in rainfed cereals farming areas. PhD Thesis. University of Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
48- Tehran Regional Water Company. 2006. Review of Qazvin Irrigation and Drainage Network. Final report. (in Persian)
49- 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.
50- Wackernagel M., and Jonathan L. 2001. Measuring sustainable development: Ecological footprints. Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, Mexico.
51- Wackernagel M., and Rees W.1996. Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.
52- 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.
53- Wang Y. D. Leeb J. S., Agbemabiesea L., Zamea K., and Kang, S. 2015. Virtual water management and the water–energy nexus: A case studyof three Mid-Atlantic. Resources, Conservation and Recycling, 98(3):76–84.
54- WWAP. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world, World Water Assessment Programme, UNESCO Publishing, Paris/Earthscan, London.
55- Yang H., Wang L., 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.
56- Yang H., Wang L., Abbaspour K.C., 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.
57- Zhuo L., Mekonnen M.M., Hokestra A.Y., and Wada Y. 2016. Inter- and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961-2009). Advances in Water Resources, 87:29–41.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 422-433

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۴۳۳-۴۲۲

Using the Concept of Virtual Water Footprint in Main Crops Production for Crossing the water crisis in Qazvin

H. Ramezani Etedali[1*]- A.R. Shokoohi[2]- S. A. Mojtabavi[3]

Received: 05-06-2016
Accepted: 13-09-2016

Introduction: Qazvin plain is one of the most important agricultural regions in the central part of Iran. Because of recent continuous droughts and the increases in the demands of different sectors such as agriculture, industry, environment and domestic, the plain is faced witha severe shortage of water resources. Due to the declining share of surface waters, farmers increased the using of groundwater. And the overusing of groundwater for irrigation has caused the severe drop in water level of the aquifer. The critical situations in the Qazvin plain have made the agricultural water management and crop pattern modification vital and necessary.Due to the population increase, concepts and theories such as food security, environmental protection and sustainable management of groundwater and surface water resources, virtual water footprint and virtual water trading are a dynamic concept for water resource management in all sectors that has considered more in recent years.

Materials and Methods: The green (effective precipitation), blue (net irrigation requirement), gray (for diluting chemical fertilizers) and white (irrigation water losses) water footprints (WF) of main crop production were estimated for Qazvin plain. The average yield and fertilizer application in irrigated and rainfed lands, for main crops wasobtained from Agricultural-Jihad Bureau of Qazvin Province in for 2003-2014. P_e values were calculated by USDA method and ET_c was calculated by FAO-Penman-Montieth method using the model CROPWAT. Values of α under irrigation and rain-fed were considered 5 and 10%, respectively. In this study, WF_{Gray} has been calculated just for nitrogen fertilizers. The maximum nitrogen concentration in the receiving waters based on the US-EPA Standard is 10 mg/lit. Due to the differences in crop yield under rainfed and irrigation conditions, the WF components were calculated using crop yield for different conditions, separately.

Results and Discussion: Canola and maize with 4066 and 185 m^3/ton have maximum and minimum WF in the irrigated lands, due to the yield of two crops. Canola and maize have maximum and minimum yield between the irrigated crops, respectively. The total wheat WF of was estimated 2673 m^3/ton in the area. The total WF in the rainfed lands is much more than the total WF in irrigated lands that is due to the significant yield differences in the irrigated and rainfed lands, especially for wheat and barley. In recent years, because of the decrease in precipitation, the rainfed crop yields have decreased considerably. Between the irrigated crops, wheat, barley, tomato, and canola are the four crops which have similar white WF (about 50%) and gray WF (about 10%). Also there are the same shares between white and gray WFs of corn and maize. The shares of white and gray WF in corn and maize are 28 and 18, respectively. These results show that agricultural practices and managements are similar. In other words, the irrigation system efficiency and fertilizer application are similar in farms and for crops. Also there aren't significant differences in the green and blue WFs of corn and maize. These similarities in WF components are the result of approximate equalities in the evapotranspiration, effective rainfall, fertilizer application, and depth of irrigation. In irrigated lands, white WF contains about 46% of the total water footprint in the production of main crops. In irrigated and rainfed lands, about 42% of the WF is related to white water. Thus, irrigation losses are about 864 MCM/year in the region, which is really considerable for a region that faced with water shortage crisis. In rainfed lands, the gray WF component is about 13. In total. If this gray WF which is the environmental need for protecting water quality doesn't meet, contamination of surface and groundwater resources will be occurred .Wheat has the most consumed and exported virtual water volume with 652 and 343 MCM/year, respectively. The export of wheat includes 28.4% of the total exported virtual water volume and 20.2% of the exported water resources volume. Total consumed and exported virtual water volume from the region are 1031 and 1022 MCM/year. The exported volume of blue, gray and white WFs consists about 783 MCM/year. Therefore, considerable volumes of groundwater and surface water resources exported from the region by exporting main crops. The exported weight of maize, corn, alfalfa and tomato from the region is

1, 2 and 3- Assistant Professor, Professor and M.Sc. Graduated student, Water Engineering Department, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin
(*-Corresponding Author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)

greater than the weight of consumption in the region. The total of blue, gray and white WFs is much higher than the green WF of these crops. The export of these crops imports the most pressure on groundwater and surface water resources of the region.

Conclusions: Qazvin Plain as one of the most important plains in the central part of Iran faces to water shortage crisis. The concept of virtual water and WF of agricultural production help to better agricultural water management in the region. The total share of gray and white WFs in the region is about 907.5 MCM/year and 44% of the total WF in the agricultural main crop production. Low efficiency of irrigation systems and excessive use of nitrogen fertilizers in farms are the most important causes of high shares of these two WF components. The planting and export of summer crops hasa considerable share of VW trade in the region. Due to the high water requirements, the total share of blue, gray and white WFs is high in these crops. These WF components are supplied from the limited surface and groundwater resources of the region. Also, WF in rainfed crops is much greater than the irrigated crops. Droughts and rain reduction are the main reasons of severe decreasing in the yield of rainfed lands. Supplementary irrigation is a management for reducing WF and improving yield in rainfed land. VW trade volume is about 1,022 MCM/year.

Keywords: Blue Water, Gray Water, Green Water, Virtual Water Trading, White Water