

Using Water Footprint Accounting for Optimizing Crop Patterns in Sustainable Development Scheme (Case Study: Qazvin Plain)

A. Shokoohi^{1*}, H. Ramezani Etedali²,
S. A. Mojtavavi³ and V.P. Singh⁴

Abstract

Agriculture, as the main water consumer in Qazvin plain, has attracted the most attention in water resources planning. In this study, water accounting and virtual water trade concepts is used to determine the optimal crop pattern in Qazvin plain for better agricultural water management. The results showed that total water footprints and water resources footprints are about 2053 and 1411 MCM/year for period of 2003-2014, respectively. About 49.8 percent of virtual water footprint, 55.5 percent of water resources footprint, and 55.0 percent of net benefit were due to agricultural product export. Ceasing export of main crops from the plain would increase the average economical water footprint from 707.2 to 780.3 m³/million Rials. This would not increase the net benefit per unit of water, but would even decrease it. Twelve scenarios were defined to determine crop patterns while sustaining the current cultivation area, net benefit, and water resources saving. Closest scenarios to the current crop pattern and cultivated area, i.e. scenarios 9 and 11, saved 23.3 and 23.8 percent of the region's water resources, respectively. These two scenarios respectively improved economical water footprint up to 521.3 and 503.7 m³ per one million Rials.

Keywords: Economical water footprint, Water accounting, Virtual water trade, Food security, Qazvin plain.

Received: June 29, 2016

Accepted: September 7, 2016

استفاده از حسابداری ردپای آب برای تعیین ترکیب کشت بهینه در توسعه پایدار (مطالعه موردی: دشت قزوین)

علیرضا شکوهی^{۱*}، هادی رمضانی اعتدالی^۲،
سید امین مجتوبوی^۳ و ویجی پی سینگ^۴

چکیده

کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در دشت قزوین بیشترین حساسیت را نسبت به خود برانگیخته است. در این تحقیق از مفاهیم حسابداری آب و تجارت آب مجازی برای تعیین ترکیب کشت بهینه در دشت قزوین برای مدیریت بهتر آب کشاورزی استفاده شد. مجموع ردپای آب مجازی و ردپای منابع آبی در تولید محصولات اصلی منطقه برای دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۴، به ترتیب حدود ۲۰۵۳ و ۱۴۱۱ میلیون مترمکعب در سال است. سهم صادرات از ردپای آب مجازی، ردپای منابع آبی و سود خالص منطقه به ترتیب حدود ۴۹/۸، ۵۵/۵ و ۵۵/۰ درصد است. حذف صادرات محصولات اصلی کشاورزی باعث افزایش میانگین ردپای اقتصادی آب از ۷۰۷/۲ به ۷۸۰/۳ مترمکعب بر میلیون ریال می‌شود. حذف صادرات محصولات اصلی نه تنها به افزایش سودخالص به‌ازای آب مصرفی کمک نمی‌کند بلکه باعث کاهش آن نیز می‌شود. برای تعیین ترکیب کشت با تاکید بر حفظ سطح زیرکشت و درآمد کنونی بخش کشاورزی و صرفه‌جویی منابع آب منطقه، ۱۲ سناریو تعریف گردید. نزدیکترین سناریوها به ترکیب کشت کنونی (سناریوهای ۹ و ۱۱) با حفظ درآمد کنونی به ترتیب باعث صرفه‌جویی ۲۳/۳ و ۲۳/۸ درصدی در مصرف منابع آب می‌شوند. این سناریوها باعث بهبود ردپای اقتصادی آب به ترتیب به ۵۲۱/۳ و ۵۰۳/۷ مترمکعب بر میلیون ریال می‌شوند.

کلمات کلیدی: ردپای اقتصادی آب، حسابداری آب، تجارت آب مجازی، امنیت غذایی، دشت قزوین.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۴/۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۶/۱۷

1- Professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Iran. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir.

2-Assistant professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Iran.

3-M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Iran.

4-Distinguished Professor and Caroline & William N. Lehrer Distinguished Chair in Water Engineering, Department of Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M University, College Station, USA.

*- Corresponding Author

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین.

۳- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین.

۴- استاد گروه بیوتکنولوژی و مهندسی کشاورزی، دانشگاه M&A تگزاس، کالج استیشن، آمریکا.

*- نویسنده مسئول

موضوع این مقاله دشت قزوین است که در حدود چهار دهه پیش در زمره پنج دشت حاصلخیز ایران به شمار می‌آمد. کشاورزی در این دشت، در حالی که قرار بود به یکی از قطب‌های صنعتی کشور تبدیل شود، به شغل اصلی مردم ساکن در منطقه تبدیل شده است. درست به همین دلیل و در حالی که بخشی از آب‌های سطحی منطقه از طریق احداث سد طالقان برای تامین آب شرب تهران منتقل می‌شود بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت قزوین بدان حد گسترش یافته است که مطابق گزارش‌های موجود بسیار فراتر از توان سیستم آبی موجود بوده و سفره‌های آب زیرزمینی دشت با سرعتی فزاینده به سمت تخریب غیرقابل بازگشت پیش می‌روند. در حال حاضر برداشت از آب زیرزمینی در تمامی بخش‌های مصرف در حدود ۱/۸ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود و این در حالی است که حد مجاز برداشت از ذخایر سفره‌های آبی استان قزوین ۸۸۰ میلیون مترمکعب ذکر شده است (Daneshkar Arasteh and Shokoohi, 2008; Shokoohi et al., 2014). برای حل بحران آب در دشت قزوین، مدیریت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی و اصلاح الگوی کشت لازم است (Shokoohi, 2012; Ramezani Etedali and et al., 2015).

اولین گام برای شناسایی مشکل بوجود آمده در هر منطقه و پیدا کردن راه حل مناسب برای رفع آن تهیه اطلاعات لازم در خصوص بیان منابع آب منطقه مورد نظر می‌باشد. در مورد مقوله‌هایی که مسئله به علت ارتباط آن با ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان گوناگون دارای ابعاد گوناگون اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و سیاسی می‌شود رویکردی مورد توجه قرار گرفته است که از مباحث مرسوم در تحلیل‌های مربوط به بیان فراتر رفته و هم اکنون از آن به عنوان حسابداری آب یاد می‌نمایند (Parker et al., 2011). حسابداری آب در واقع فرآیند سیستماتیک شناسایی، تشخیص، کمی سازی و ارائه اطلاعات مربوط به حق و حقوق ذی‌نفعان برای اتخاذ تصمیمات رسمی است (Anonymous, 2011; Kirby, 2011). با توجه به جنبه‌های مختلف مورد بحث حسابداری آب به سیستم‌های مختلفی تقسیم شده است که عبارتند از: حسابداری با اهداف عمومی^۱، حسابداری محیط زیستی - اقتصادی^۲، حسابداری موسسه بین‌المللی مدیریت آب^۳ و حسابداری ردپای آب^۴. به طور خلاصه می‌توان اهداف هر یک از این روش‌ها را چنین برشمرد: حسابداری با اهداف عمومی در واقع عمدتاً از حسابداری مالی استخراج شده و بیشتر روی تهیه اطلاعات عمومی و گزارش برای طیف وسیعی از

تصمیم‌گیرندگان تمرکز می‌نماید (Kirby et al. 2011; Turner et al., 2010). حسابداری محیط زیستی - اقتصادی با منشاگیری از اقتصاد و آمار وارد جزئیات روابط میان بخش‌های مختلف درگیر می‌شود تا بتواند با تهیه گزارش رابطه میان عملکرد اقتصادی و محیط زیستی آب را برای تصمیم‌گیرندگان روشن نماید (Baynes et al., 2009; Godfrey and Chalmers, 2012). سیستم حسابداری موسسه بین‌المللی مدیریت آب با توجه به رسالت خود که بهبود مدیریت خاک و آب برای غذا، معیشت و محیط زیست با تمرکز بر توسعه کشورها در سطوح کلان به شناسایی استراتژی‌های کارا برای صرفه جویی در آب و افزایش بهره‌وری می‌پردازد (Karimi et al., 2013). سرانجام روش حسابداری رد پای آب است که تمرکز آن روی محصولات و میزان آب مصرف شده در تولید صرفنظر از منبع تامین می‌باشد و در سطوح منطقه‌ای و کلان کشوری و بین‌المللی کاربرد دارد (Zhang et al., 2013). براساس اهداف تعیین شده، در مطالعه حاضر از روش حسابداری ردپای آب استفاده به عمل آمد تا بتوان به کمک آن اطلاعات لازم را برای بخش دوم مطالعه که به استفاده از مفاهیم تجارت آب مجازی برای پیدا کردن منشا اصلی بحران آب در دشت قزوین و یافتن راه حلی بهینه برای آن اختصاص دارد اقدام نمود. تجارت آب مجازی در واقع راهکاری است نوین برای ذخیره‌سازی منابع آب در هر منطقه و دستیابی به امنیت آبی در سطوح مختلف منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی در بخش‌های مختلف. مفهوم تجارت آب مجازی به علت اهمیت آن در تامین امنیت غذایی از بعد بین‌المللی در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است (Norse, 2005; Yang et al., 2006; Liu et al., 2007; WWAP, 2009; Gerbens-al., 2009; Mekonnen and Hoekstra, 2010). این میان بخش کشاورزی به عنوان مهمترین بخش مصرف کننده منابع آب یکی از بخش‌های اصلی مورد بحث می‌باشد (Hoekstra and Chapagain, 2007; Hoekstra and Chapagain, 2008; Portmann, 2008; Aldaya et al., 2010; Aldaya and Hokestra, 2010; Faramarzi et al., 2010; Liu and Yang, 2010; Montazar and Zadbagher, 2010; Tian, 2013; Ahmadaali et al., 2013; Ababaei and Ramezani Etedali, 2014; Antonelliand Sartori, 2015; Chukalla et al., 2015; Ababaei and Ramezani Etedali, 2016).

Wang et al. (2015) در مطالعه‌ای در مقیاس سه ایالت نیوجرسی، مرلند و دل‌اور که با توجه به تجارت آب مجازی کالاهای تولیدی و مصرفی انجام شد، بیان کردند که از طریق مدیریت تجارت آب مجازی، مصرف آب ۳۵ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج Pahlow et al. (2015) در بخش کشاورزی افریقای جنوبی نشان

داد طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۶، سالانه حدود ۱۰۸۶۷، ۵۳۲ و ۱۰۸۹ میلیون مترمکعب بر سال 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. (Schyns et al., 2015) حجم اجزا ردپای آب مجازی در تولید محصول کشاورزی کشور اردن را برای آب سبز، آبی و خاکستری به ترتیب معادل ۴۹۳، ۴۰۶ و ۵۴/۳ میلیون متر مکعب در سال برآورد نمودند. ایشان میزان آب سطحی و زیرزمینی در ردپای آب آبی بخش کشاورزی را نیز به ترتیب ۱۴۳ و ۲۶۳ میلیون مترمکعب گزارش کردند. (Zhuo et al., 2016) 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 رودخانه زرد، حجم تجارت آب مجازی افزایش چشمگیر داشته است.

از طرف دیگر اقتصاد نقش مهمی در تعیین ترکیب کشت و مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی دارد (Ghahraman and Sepaskhah, 2002; Sethi et al., 2006; Mahdi Moradi et al., 2007; Ramezani Etedali et al., 2013).

با توجه به مسائلی که ذکر شد به نظر می‌رسد که مشکلات مبتلا به دشت قزوین مثل بسیاری از دشت‌های حاصلخیز دیگر ایران که به دلایل مختلفی من جمله عدم تناسب میان الگوهای بهره‌برداری و منابع موجود حادث گشته است را نمی‌توان به صورت یک‌بعدی و تک هدفه حل نمود (Karamouz et al., 2004; Karamouz et al., 2009; Keramatzadeh et al., 2011; Najafi and Torbati Dastgerdi, 2015). شایان ذکر است که مطالعات مربوط به تجارت آب مجازی در ایران سابقه‌ای بیش از یک دهه دارد و اهمیت مسئله و راهکار کلی برون رفت از بحران بحران به کمک تجارت آب مجازی نیز برای بسیاری آشکار شده است (Anonymous, 2014). مشکل آن است اکثر مطالعات انجام شده، که تعداد و عمق آن‌ها با توجه به اهمیت مسئله بسیار کمتر از آنچه که باید باشد است، به بررسی کلی وضعیت کشور و ارائه سیاست‌های کلان قابل اتخاذ در تجارت بین الملل پرداخته‌اند. یکی از مطالعات قابل توجه در این خصوص که نه به صورت عمومی و کلان بلکه با رویکرد حوضه‌ای و منطقه‌ای به مسئله استفاده از تجارت آب مجازی

برای حل مشکل کمبود آب پرداخته است گزارش گروه دریاچه ارومیه در دفتر توسعه پایدار دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد که با استفاده از مفاهیم تجارت آب مجازی توانست نشان دهد که چگونه تغییر الگوی کشت از زراعت به کشت باغی و هدف گرفتن محصولات پرمصرف می‌تواند همزمان با صرفه‌جویی در منابع آب به افزایش درآمد کشاورزان منجر شود (Maknoon, 2014). در هر حال سخن اصلی این است که راه‌حل عبور از بحران باید راه‌حلی جامع‌نگر هم از نظر حفظ منابع آب و هم از نظر تأمین منافع اقتصادی و ثبات اجتماعی باشد. با توجه به این مبانی، تحقیق حاضر با استفاده از اصول حسابداری آب و تجارت آب مجازی طرح گردید تا بتوان زوایای پنهان مشکلات موجود در بهره‌برداری و مدیریت کلان سیستم آب و خاک دشت قزوین را آشکار نمود و به دنبال آن راه حل مناسبی را نیز جستجو نمود. مطالعه حاضر، مطالعه‌ای جامع در مدیریت منابع آب با استفاده از مفهوم حسابداری آب ردپای آب منطقه‌ای بوده و در ادامه تلاش می‌نماید که با ترکیب عوامل مختلف درگیر در مسئله، راه‌حلی را ارائه نماید که بتوان از آن برای بررسی مشکلات مشابه در دیگر دشت‌های ایران نیز استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۶۲۳ کیلومتر مربع در حوزه‌ی مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (QPG, 2016). دشت قزوین یکی از دشت‌های حوضه آبریز دریاچه نمک و بزرگ‌ترین دشت آن محسوب شده و بیشترین سطح زیرکشت انواع محصولات را در میان دشت‌های این حوضه آبریز دارد.

ردپای آب

ردپای آب، شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید کالا مصرف می‌شود. 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. مفهوم ردپای آب سفید مفهوم جدیدی است که میزان تلفات آب آبیاری در تولید محصولات را مشخص می‌سازد. ردپای آب آبی، سبز، خاکستری و

حسابداری آب لازم است از مفاهیم ردپای اقتصادی استفاده گردد که از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$WF_{E(Green)} = \frac{WF_{Green}}{NB} \quad (5)$$

$$WF_{E(Blue)} = \frac{WF_{Blue}}{NB} \quad (6)$$

$$WF_{E(Gray)} = \frac{WF_{Gray}}{NB} \quad (7)$$

$$WF_{E(White)} = \frac{WF_{White}}{NB} \quad (8)$$

در روابط فوق، $WF_{E(Green)}$ ردپای اقتصادی آب سبز، $WF_{E(Blue)}$ ردپای اقتصادی آب آبی، $WF_{E(Gray)}$ ردپای اقتصادی آب خاکستری و $WF_{E(White)}$ ردپای اقتصادی آب سفید و بر حسب مترمکعب بر میلیون ریال و NB سود خالص بر حسب میلیون ریال بر تن است. سودخالص از تفاضل بین سود حاصل از فروش و هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت هر محصول محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است (Ramezani Etedali et al., 2015; AJM, 2015).

سناریوهای الگوی کشت

برای تعیین الگوی کشت بهینه ۱۲ سناریو تعریف شد. دو تابع هدف مینیمم کردن مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی (رابطه ۹) و ماکزیمم کردن سودخالص حاصل از تولید (رابطه ۱۰) برای ۱۲ سناریو در نظر گرفته شده است. در همه سناریوها سه محدودیت مشابه وجود دارد. مجموع ردپای آب در تولید محصولات اصلی و مجموع ردپای منابع آبی منطقه نبایستی از میزان کنونی بیشتر شود (رابطه‌های ۱۱ و ۱۲). این دو محدودیت با توجه به کمبود شدید منابع آبی در منطقه در نظر گرفته شد. همچنین سودخالص سناریوها نبایستی از سودخالص شرایط کنونی از محصولات اصلی کشاورزی منطقه کمتر شود (رابطه ۱۳). به دلیل اهمیت بحث‌های اقتصادی این محدودیت لحاظ شد. در سناریوهای ۱ تا ۶ مجموع سطوح زیرکشت محصولات در شرایط آبی و دیم برابر با مجموع سطوح زیر کشت آبی و دیم کنونی باقی خواهد ماند (رابطه‌های ۱۴ و ۱۵). به عبارت دیگر در سناریوهای ۱ تا ۶ کاهش سطح زیرکشت و یا تغییر مدیریت آبی و یا دیم صورت نخواهد گرفت. در سناریوهای ۷ تا ۱۲ هم مجموع سطوح زیرکشت آبی و دیم با مجموع سطوح زیر کشت آبی و دیم کنونی برابر خواهد بود (رابطه ۱۶). در این سناریوها مجموع سطح زیر کشت ثابت باقی می‌ماند اما ممکن است تغییر مدیریت از آبی به دیم و یا برعکس رخ دهد. برای سناریوهای

سفید برای محصولات مختلف با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند (Hoekstra and Chapagain, 2008; Hoekstra and Chapagain, 2009; Hoekstra et al., 2011; Ababaei and Ramezani Etedali, 2014; Ababaei and Ramezani Etedali, 2016).

$$WF_{Green} = \frac{P_e \times 10}{Y} \quad (1)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e) \times 10}{Y} \quad (2)$$

$$WF_{gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y} \quad (3)$$

$$WF_{White} = \frac{10 \times (D_t - (ET_c - P_e))}{Y} \quad (4)$$

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 هر گیاه (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-پن-من-مونیت و با به‌کارگیری مدل CROPWAT (Allen et al., 1998) محاسبه شد (جدول ۱). همچنین مقادیر α در شرایط دیم و فاریاب به ترتیب ۵ و ۱۰٪ در نظر گرفته شد (Chapagain et al., 2006). در این مطالعه، WF_{Gray} تنها برای کودهای نیتروژن بکار گرفته شده است. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده براساس استاندارد $US-EPA^5$ برابر با mg/lit ۱۰ است. از آنجا که اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر در نظر گرفته شد (Chapagain et al., 2006). برای تمامی داده‌های اقلیمی و زراعی از میانگین ۱۱ ساله (۲۰۰۳-۲۰۱۴) استفاده شد. نتایج این داده‌ها شامل عملکرد، مصرف کود، تبخیر و تعرق، باران مؤثر و عمق آب آبیاری برای دشت قزوین در جدول ۱ آورده شده است (Ramezani Etedali et al., 2015; AJM, 2015).

سطح زیر کشت محصولات دیم، a_{Crop} سطح زیر کشت هر محصول در اراضی آبی یا دیم، P_{Crop} تولید هر محصول در مجموع اراضی آبی و دیم و $Current$ و $Scenario$ به ترتیب به شرایط هر سناریو و شرایط کنونی منطقه اشاره دارد. تابع هدف و محدودیت‌های هر سناریو در جدول ۳ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث

اجزا 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 (شکل ۱). 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 (شکل ۲). گندم با مجموع حدود ۱۴۴ هزار هکتار و تولید ۳۱۵ هزار تن مهمترین محصول در الگوی کشت منطقه محسوب می‌شود (AJM, 2015).

اجزاء ردپای آب محصولات اصلی دشت قزوین در اراضی آبی و دیم در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به بالا بودن سهم ردپای آب سفید نسبت به آب خاکستری در تولید محصولات آبی در منطقه، رقیق سازی کودهای تلف شده به وسیله 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.

۳، ۴، ۹ و ۱۰ علاوه بر محدودیت‌های قبل، محدودیت باقی ماندن حداقل ۵۰ درصد سطح زیر کشت هر یک از محصولات اضافه شد (رابطه ۱۷). یکی از مهمترین محدودیت‌ها برای تعیین الگوی کشت به خصوص در مناطقی که برخی از کشاورزان با هر گونه تغییر مخالفت می‌کنند، تغییرات کمتر از ۵۰ درصد سطح زیر کشت نسبت به شرایط کنونی است. همچنین تولید هر یک از محصولات اصلی منطقه، حداقل برابر با مصرف منطقه در سناریوهای ۵، ۶، ۱۱ و ۱۲ نیز لحاظ گردید (رابطه ۱۸). برای بهینه‌سازی از نرم‌افزار Lingo استفاده شد.

$$\text{Minimize } WF_{total} \quad (9)$$

$$\text{Maximize } NB_{total} \quad (10)$$

$$(WF_{total})_{Scenario} \leq (WF_{total})_{Current} \quad (11)$$

$$(WRF_{total})_{Scenario} \leq (WRF_{total})_{Current} \quad (12)$$

$$(NB_{total})_{Scenario} \geq (NB_{total})_{Current} \quad (13)$$

$$(A_{Irrigated})_{Scenario} = (A_{Irrigated})_{Current} \quad (14)$$

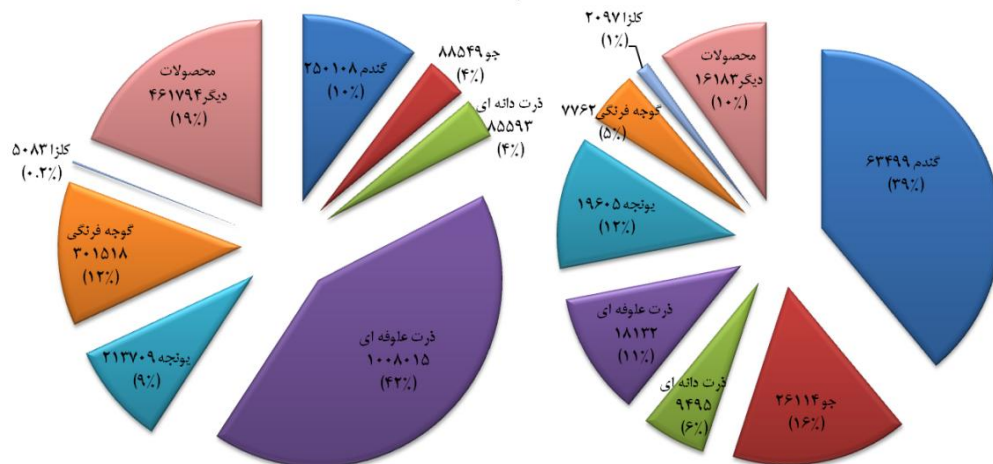
$$(A_{Rainfed})_{Scenario} = (A_{Rainfed})_{Current} \quad (15)$$

$$(A_{Irrigated} + A_{Rainfed})_{Scenario} = (A_{Irrigated} + A_{Rainfed})_{Current} \quad (16)$$

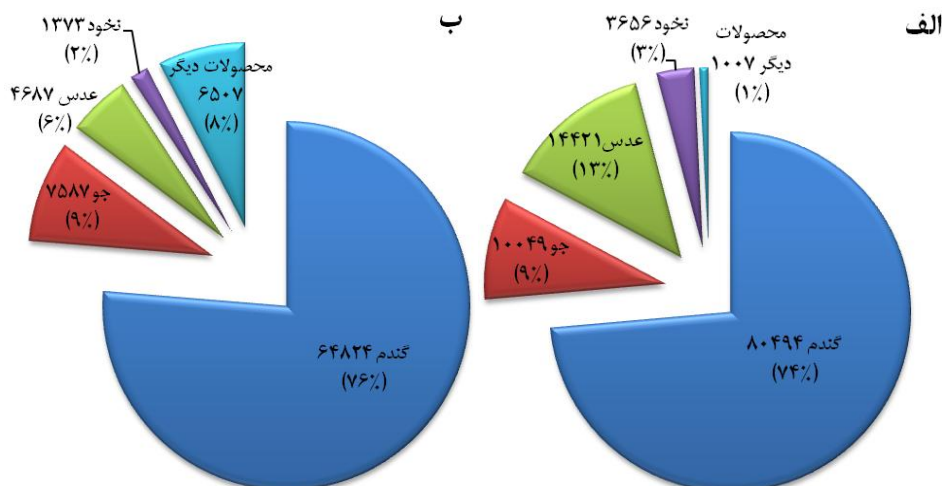
$$(a_{Crop})_{Scenario} \geq 0.5 \times (a_{Crop})_{Current} \quad (17)$$

$$(P_{Crop})_{Scenario} \geq (P_{Crop})_{Current} \quad (18)$$

در روابط فوق، WF_{total} مجموع ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی، WRF_{total} مجموع ردپای منابع آب در تولید محصولات کشاورزی، NB_{total} مجموع سودخالص محصولات کشاورزی، $A_{Irrigated}$ مجموع سطح زیر کشت محصولات آبی، $A_{Rainfed}$ مجموع سطح



شکل ۱- الف: سطح (ha) و درصد سطح زیر کشت و ب: میزان (ton) و درصد تولید محصولات اصلی در اراضی فاریاب (AJM, 2015)



شکل ۲- الف: سطح (ha) و درصد سطح زیر کشت و ب: میزان (ton) و درصد تولید محصولات اصلی در اراضی دیم (AJM, 2015)

جدول ۱- اجزاء ردپای آب در محصولات اصلی آبی و دیم دشت قزوین

محصولات	عملمکرد (Kg/ha)	کود (Kg/ha)	عمق آب (mm)			ردپای آب (m ³ /ton)
			D _t	P _{eff}	ET _c	
گندم آبی	۳۹۳۹	۲۱۸	۷۵۰	۳۰۳	۴۷۵	سبز ۷۶۹، آبی ۴۳۷، خاکستری ۲۷۷، سفید ۱۴۶۷، مجموع ۲۶۷۳
جو آبی	۳۳۹۱	۲۳۲	۶۰۰	۲۹۹	۴۲۶	سبز ۸۸۲، آبی ۳۷۵، خاکستری ۲۹۱، سفید ۱۳۹۴، مجموع ۲۶۵۱
ذرت دانه‌ای آبی	۹۰۱۵	۴۸۳	۱۰۰۰	۶۰	۶۸۹	سبز ۶۷، آبی ۶۸۸، خاکستری ۲۶۸، سفید ۴۲۲، مجموع ۱۱۷۷
ذرت علوفه‌ای آبی	۵۵۵۹۴	۴۵۳	۱۰۰۰	۲۹	۶۹۵	سبز ۵، آبی ۱۲۰، خاکستری ۴۱، سفید ۶۰، مجموع ۱۸۵
یونجه آبی	۱۰۹۰۱	۳۱	۱۶۵۰	۲۹۵	۹۴۹	سبز ۲۷۱، آبی ۶۰۰، خاکستری ۱۴، سفید ۹۱۳، مجموع ۱۷۸۴
گوجه فرنگی آبی	۳۸۸۴۵	۴۴۹	۱۵۵۰	۸۱	۷۲۶	سبز ۲۱، آبی ۱۶۶، خاکستری ۵۷، سفید ۲۳۳، مجموع ۴۲۰
کلزا آبی	۲۴۲۵	۲۶۱	۷۰۰	۲۸۶	۴۲۰	سبز ۱۱۷۹، آبی ۵۵۳، خاکستری ۵۳۹، سفید ۲۳۳۴، مجموع ۴۰۶۶
گندم دیم	۸۰۵	۴۳	-	۳۰۳	-	سبز ۳۷۶۲، آبی -، خاکستری ۵۳۲، سفید -، مجموع ۴۳۹۴
جو دیم	۷۵۵	۳۸	-	۲۹۹	-	سبز ۳۹۶۰، آبی -، خاکستری ۵۵۰، سفید -، مجموع ۴۵۱۰
عدس دیم	۳۲۵	۲۶	-	۹۵	-	سبز ۲۹۲۳، آبی -، خاکستری ۷۹۵، سفید -، مجموع ۳۷۱۸
نخود دیم	۳۷۶	۲۵	-	۹۵	-	سبز ۲۵۳۰، آبی -، خاکستری ۶۷۴، سفید -، مجموع ۳۲۰۴

در سال برآورد شد. همانطوری که قبلا ذکر شد به دلیل بالا بودن حجم ردپای آب سفید در اراضی آبی، از ردپای آب خاکستری در تولید محصولات آبی صرفنظر شد. مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات آبی و دیم اصلی منطقه به ترتیب حدود ۱۷۱۹ و ۳۳۴ میلیون مترمکعب یعنی ۸۴ و ۱۶ درصد از کل ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی منطقه است.

سهم تلفات آبیاری در منطقه حدود ۸۶۴ میلیون مترمکعب در سال یعنی در حدود ۴۲ درصد از کل حجم ردپای آب و حدود ۵۰ درصد از

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.

حجم نهایی اجزاء مختلف ردپای آب در تولید محصولات اصلی دشت قزوین در شکل ۳ آورده شده است. مجموع حجم ردپای آب در تولیدات آبی و دیم محصولات اصلی حدود ۲۰۵۳ میلیون مترمکعب

مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات آبی دشت قزوین است. همچنین حجم ردپای آب خاکستری حدود ۴۳ میلیون مترمکعب در سال (حدود ۲ درصد از کل حجم ردپای آب و ۱۳ درصد از مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات دیم) است. مجموع حجم ردپای آب آبی، خاکستری و سفید ۱/۴۱ میلیارد مترمکعب در سال و حدود ۶۹ درصد از کل حجم ردپای آب در تولید محصولات منطقه را شامل شده و از منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. با توجه به سیاست کاهش سهم آب کشاورزی از منابع آب سطحی، بیشتر آب مورد نیاز این بخش، از منابع آب زیرزمینی منطقه تأمین می‌شود که در نهایت منجر به برداشت بی‌رویه و کاهش شدید سطح آب زیرزمینی منطقه شده است (TRWC, 2006).



شکل ۳- حجم هریک از اجزا ردپای آب مجازی در محصولات اصلی دیم، آبی و مجموع

درآمد اقتصادی نقش مهمی در رونق و توسعه کشاورزی دارد. جدول ۲ سودخالص هریک از محصولات را بر حسب میلیون ریال بر هکتار و میلیون ریال بر تن و اجزا ردپای اقتصادی آب را بر حسب مترمکعب بر هر میلیون ریال برای سال پایه ۱۳۹۰ نشان می‌دهد. محصولات آبی هرچند دارای ردپای کمتر آب برای یک میلیون ریال سودخالص هستند ولی بیشتر سهم ردپای آب اقتصادی در آن‌ها مربوط به آب آبی و سفید است. به عبارت دیگر برای یک میلیون ریال سودخالص از محصولات آبی، به آب بیشتری از منابع آب سطحی و زیرزمینی نسبت به آب باران احتیاج است. در صورتی که در محصولات دیم فشار چندان بر منابع آبی منطقه وارد نمی‌شود. به عنوان مثال در بین محصولات آبی ذرت دانه‌ای با ۳۵۰/۸ مترمکعب بر میلیون ریال کمترین ردپای اقتصادی آب را دارد. اما مترمکعب بر میلیون ریال آن سهم ردپای آب آبی و سفید است که در واقع سهم منابع آبی منطقه می‌باشد. در اراضی دیم، عدس با ۲۹۱/۱ مترمکعب بر میلیون ریال که ۲۲۸/۹ مترمکعب بر میلیون ریال آن سهم ردپای آب سبز است، کمترین ردپای اقتصادی آب را دارد. نخود و کلزا به دلیل عملکرد و سودخالص پایین در هر هکتار، سهم کمی در تجارت آب مجازی و سود خالص دارند.

تجارت آب مجازی منطقه

برای تعیین مؤلفه‌های تجارت آب مجازی لازم است میزان مصرف و صادرات محصولات منطقه تعیین گردند.

جدول ۲- اجزاء ردپای اقتصادی آب در محصولات اصلی آبی و دیم برای سال پایه ۱۳۹۰

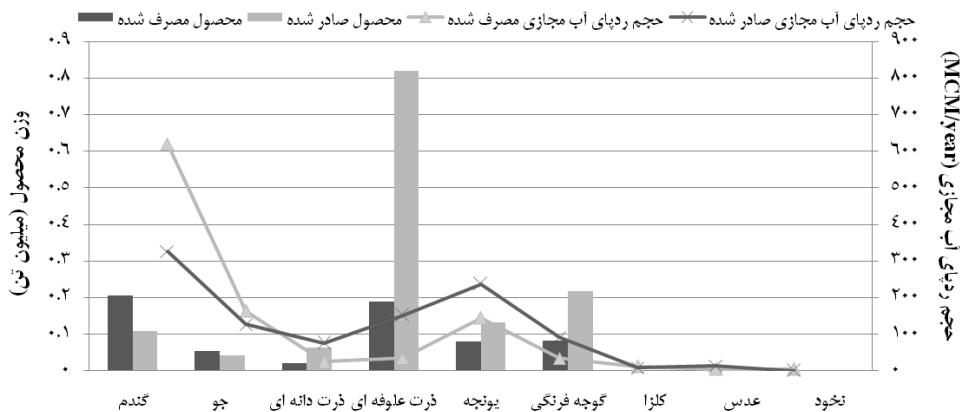
محصولات	سود خالص		ردپای آب			
	(میلیون ریال بر تن)	(میلیون ریال بر هکتار)	سبز	آبی	خاکستری	سفید
گندم آبی	۳/۵۷	۱۴/۰۵	۲۱۵/۴	۱۲۲/۶	-	۴۱۱/۱
جو آبی	۲/۱۳	۷/۲۳	۴۱۳/۸	۱۷۵/۷	-	۶۵۳/۸
ذرت دانه‌ای آبی	۳/۳۶	۳۰/۲۶	۲۰/۰	۲۰۴/۹	-	۱۲۵/۶
ذرت علوفه‌ای آبی	۰/۳۲	۱۷/۸۸	۱۵/۴	۳۷۳/۱	-	۱۸۶/۶
یونجه آبی	۳/۹۴	۴۲/۹۰	۶۸/۹	۱۵۲/۵	-	۲۳۲/۱
گوجه فرنگی آبی	۰/۴۵	۱۷/۳۹	۴۶/۹	۳۷۰/۸	-	۵۲۰/۳
کلزا آبی	۱/۸۱	۴/۳۹	۶۵۰/۵	۳۰۵/۲	-	۱۲۸۷/۹
گندم دیم	۲/۰۸	۱/۶۷	۱۸۱۰/۸	-	۲۵۶/۱	-
جو دیم	۳/۳۲	۲/۵۱	۱۱۹۲/۱	-	۱۶۵/۶	-
عدس دیم	۱۲/۷۶	۴/۱۵	۲۲۸/۹	-	۶۲/۳	-
نخود دیم	۵/۰۶	۱/۹۰	۵۰۰/۳	-	۱۳۳/۴	-

شکل‌های ۴ و ۵ میزان مصرف و صادرات محصولات اصلی منطقه، حجم آب مجازی مصرف شده و صادر شده و درآمدهای اقتصادی هر بخش را نشان می‌دهند. میزان مصرف محصولات مختلف، با توجه به سرانه مصرف هر محصول در ایران و جمعیت حدود ۱/۲ میلیون نفری منطقه براساس سرشماری سال ۱۳۹۰ محاسبه گردید (AJM, 2015; SCI, 2015).

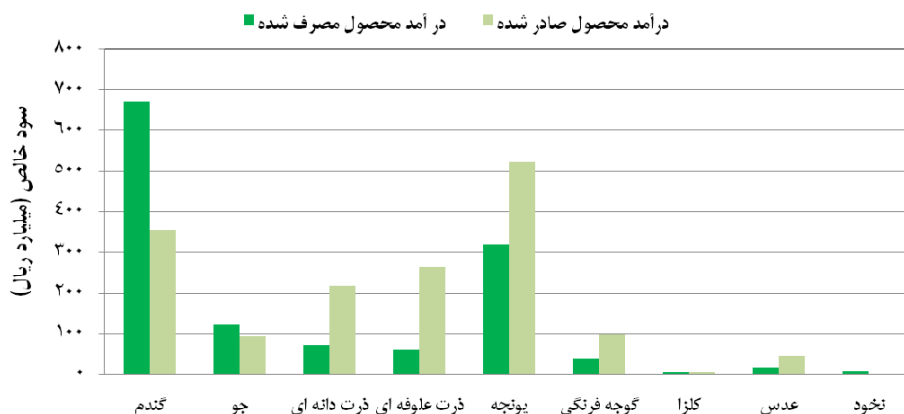
مجموع حجم آب مجازی مصرف شده و صادر شده از منطقه برای محصولات مختلف به ترتیب حدود ۱۰۳۱ و ۱۰۲۲ میلیون مترمکعب در سال و تقریباً با هم برابرند. از حجم آب مجازی صادر شده حدود ۷۸۳ میلیون مترمکعب سهم ردپای آب آبی، خاکستری و سفید است. میزان صادرات محصولات تابستانه شامل ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی از میزان مصرف منطقه بیشتر است. مجموع سهم بالای ردپای آب آبی و سفید این محصولات نسبت به آب سبز بسیار بالا است (جدول ۱). در نظر اول این‌گونه به نظر می‌رسد که چون آب مورد نیاز این اجزا از منابع آب سطحی و زیرزمینی تامین می‌شود، بنابراین صادرات محصولات مزبور بیشترین فشار را بر منابع آب سطحی و زیرزمینی وارد می‌کند. با توجه به کوچک بودن مساحت مزارع در منطقه (TRWC, 2006)، کشاورزان تمایل دارند محصولات با سود بیشتر نظیر ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی را کشت کنند. ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی به ترتیب ۱۳/۶، ۱۶/۵، ۳۲/۷ و ۶/۱ درصد (مجموعاً ۶۸/۹ درصد) از سودخالص حاصل از صادرات محصولات اصلی منطقه را شامل می‌شوند (شکل ۵). حجم تجارت آب مجازی ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه و گوجه فرنگی به ترتیب حدود ۷/۴، ۱۴/۸، ۲۳/۲ و ۹/۰ درصد (مجموعاً ۵۴/۴ درصد

از کل حجم تجارت آب مجازی منطقه یعنی حدود ۵۰۷ میلیون مترمکعب در سال است که از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت قزوین تامین می‌گردد (شکل ۴). با حذف صادرات این محصولات حدود ۳۹۷۵۰ هکتار از اراضی فاریاب بدون کشت باقی خواهند ماند که به عنوان یک گزینه می‌توان آن را به کشت محصولات دیم و یا محصولات آبی پاییزه یعنی گندم، جو و کلزا که نیاز آبیاری کمتری دارند اختصاص داد. در بخش‌های بعد دیده خواهد شد که مسئله انتخاب بهترین راه‌حل برای حفظ منابع آب برخلاف آنچه که در وهله اول به نظر می‌رسد می‌تواند براساس اصول به‌گزینی مربوط به حسابداری آب گزینه‌ای غیر از حذف کشاورزی آبی باشد. براساس نتایج بدست آمده 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 تولید گندم منطقه رقمی در حدود ۳۱۵ هزار تن است که از این میزان ۲۰۶ هزار تن در منطقه مصرف و ۱۰۹ هزار تن صادر می‌شود.

کل سودخالص بخش کشاورزی حدود ۲۹۰۳/۶ میلیارد ریال و سود خالص حاصل از کشت گندم در منطقه ۱۰۲۶/۳ میلیارد ریال است (شکل ۵) که رقمی در حدود ۳۵/۳ درصد از سود خالص بخش کشاورزی می‌باشد (با سهم حدود ۴۶ درصدی از مجموع حجم ردپای آب). با حذف صادرات گندم از منطقه به ترتیب حدود ۲۸/۴ و ۲۰/۲ درصد از کل حجم آب مجازی و منابع آبی صادر شده کاسته خواهد شد. اما تنها ۳۵۴/۱ میلیارد ریال از سودخالص ۱۵۹۹/۴ میلیارد ریال حاصل از صادرات محصولات اصلی (حدود ۲۲/۱۴ درصد) کم می‌شود. با حذف صادرات گندم، ۲۷۵۹۲ از سطح زیرکشت گندم آبی کاهش خواهد یافت.



شکل ۴- وزن محصولات و حجم ردپای آب مجازی مصرف شده و صادر شده



شکل ۵- درآمد اقتصادی حاصل از محصولات مصرف شده در منطقه و صادر شده از منطقه

ترکیب کشت بهینه برای منطقه

آنچه که از مباحث فوق و در نظر اول استنباط می‌گردد آن است که با حذف صادرات محصولات اصلی به طور مستقیم از خروج ۷۸۳ میلیون مترمکعب از منابع آبی محدود منطقه جلوگیری خواهد شد. سوال این‌جاست که آیا این تصمیم یک تصمیم کاربردی و عملی است؟ نکته‌ای که در اینجا مسئله را از بعد تصمیم‌گیری دچار مشکل می‌نماید دیده نشدن ابعاد اقتصادی مسئله است. حذف صادرات محصولات اصلی کشاورزی باعث کاهش سود خالص از حدود ۲۹۰۳/۶ به ۱۳۰۹/۱ میلیارد ریال می‌گردد و میانگین ردپای اقتصادی آب از حدود ۷۰۷/۲ به ۷۸۰/۳ مترمکعب بر میلیون ریال افزایش می‌یابد. بنابراین دیده می‌شود که حذف صادرات محصولات اصلی نه تنها به افزایش سودخالص به ازای آب مصرفی کمک نمی‌کند بلکه باعث کاهش آن نیز می‌شود. همچنین با حذف صادرات بخش قابل توجهی از اراضی بدون کشت باقی خواهد ماند که معضلات اجتماعی خاص خود را داشته و راه‌حل جامعی را می‌طلبد. ملاحظه پیچیدگی مطلب و عدم وجود راه حلی که بتواند با استفاده از ارقام محاسبه شده برای ردپای آب، با عدم دامن زدن به مسائل حاشیه‌ای به حفظ منابع آب منطقه کمک نماید، مقوله ترکیب کشت بهینه با استفاده از مؤلفه‌های حسابداری آب را مطرح می‌نماید. فرض بر آن است که می‌توان با مدیریت بهتر الگوی کشت، هم مصرف منابع آب را کاهش داد و هم از زیان شدید بخش کشاورزی و کاهش سطح زیرکشت جلوگیری کرد. با توجه به این پیش‌فرض که حذف یک محصول بدون معرفی کشت جایگزین، پی‌آمدهای خاص اجتماعی و اقتصادی خود را داشته و نیازمند بررسی‌های عمیق و کلان‌سیاسی، اقتصادی و اجتماعی می‌باشد در این مطالعه و برای بهینه‌سازی تجارت آب مجازی به نفع بیلان آبی دشت قزوین گزینه‌هایی مورد

بررسی قرار گرفته‌اند که سطح زیرکشت کنونی و میزان درآمد حاصله از فعالیت در بخش کشاورزی حفظ گردند.

برای بررسی تأثیر الگوی کشت با دیدن همه شرایط ممکن و در عین حال در نظر داشتن قابل اجرا بودن گزینه‌ها، ۱۲ سناریو برای مطالعه تعریف گردیدند. در این ۱۲ سناریو سه محدودیت مشابه وجود دارد. مجموع ردپای آب در تولید محصولات اصلی و مجموع ردپای منابع آبی منطقه نبایستی از میزان کنونی یعنی به ترتیب از ۲۰۵۳/۴ و ۱۴۱۱/۰ میلیون مترمکعب در سال بیشتر شود. همچنین سودخالص نبایستی از ۲۹۰۳/۶ میلیون ریال در سال که درآمدخالص کنونی از کشاورزی منطقه است کمتر شود. در سناریوهای ۱ تا ۶ مجموع سطوح زیرکشت محصولات در شرایط آبی و دیم برابر با مجموع سطوح زیر کشت آبی و دیم کنونی یعنی به ترتیب ۱۴۶۷۰۴ و ۱۰۸۸۲۰ هکتار باقی خواهد ماند. در سناریوهای ۷ تا ۱۲ نیز مجموع سطوح زیرکشت آبی و دیم با مجموع سطوح زیر کشت آبی و دیم کنونی که برابر با ۲۵۵۵۲۴ هکتار است برابر خواهد بود. این سناریوها عملاً برای نشان دادن پتانسیل‌های موجود در مدیریت منابع آب منطقه طرح شده‌اند و در همه حالت‌ها فرض بر آن بوده است که محدودیتی از نظر تغییر کشت از آبی به دیم و یا بالعکس وجود ندارد.

نتایج بدست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است. از میان همه سناریوها، نتایج سه سناریو به عنوان بهترین سناریوها از نظر اقتصادی، حفظ منابع آب و صرفه‌جویی در منابع آب با حداقل تغییرات در الگوی کشت منطقه جلب توجه می‌نمایند. برخی از نتایج قابل بهره‌برداری و مستند برای مقایسه سناریوها در شکل ۶ ملاحظه می‌گردند.

۱- بهترین سناریو از دیدگاه اقتصادی

سناریوی ۹ همه کشت‌ها با یک نسبت حفظ شده‌اند ولی در سناریوی ۱۱ دو کشت گندم و جو دیم به دلیل ردپای اقتصادی آب بالا برای صادرات حذف شده‌اند. این سناریو نیز میانگین ردپای اقتصادی آب را به $503/7$ مترمکعب به ازای هر میلیون ریال سود خالص کاهش می‌دهد.

اگر قرار باشد با توجه به جمیع حالات یعنی حفظ درآمد، صرفه‌جویی در آب و ایجاد کمترین تغییر در الگوی کشت منطقه یک سناریو معرفی گردد سناریوی منتخب سناریوی ۹ می‌باشد. همانطوری که در شکل شماره ۷ دیده می‌شود سناریوی مزبور در حالی که در بسیاری از شرایط همانند سناریوی ۱۱ می‌باشد ولی از نظر نزدیکی به شرایط کنونی بهتر از سناریوی ۱۱ جلوه می‌نماید. بحث دیگری که در اینجا وجود دارد و می‌تواند این نتیجه‌گیری را تحت تأثیر قرار دهد وضعیت استراتژیک گندم است. اگر همچنان سیاست کلی و کلان کشور آن باشد که گندم در اولویت خاص قرار گیرد (Ramezani Etedali et al., 2013) سناریوی ۱۱ در جایگاه بهتری نسبت به سناریوی ۹ قرار خواهد گرفت زیرا در این سناریو تنها ۱۸ درصد از کشت گندم آبی در مقابل ۵۰ درصد سناریوی ۹ کم خواهد شد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

بررسی وضعیت محصولات اصلی دشت قزوین نشان می‌دهد ردپای اقتصادی آب منطقه حدود 707 مترمکعب بر میلیون ریال است. این موضوع وقتی جالب می‌شود که مشخص شود حجم آب مجازی صادر شده از منطقه حدود نیمی از کل مجموع ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی اصلی منطقه و حدود 783 میلیون مترمکعب سهم منابع آب منطقه است. این مقدار برای منطقه‌ای که با کمبود شدید منابع آب مواجه است تعجب‌برانگیز است. اما حذف صادرات محصولات کشاورزی سناریو برتر برای بهبود این وضعیت نیست. نتایج نشان می‌دهد حذف صادرات باعث افزایش ردپای اقتصادی آب به حدود $780/3$ مترمکعب بر میلیون ریال خواهد شد. بنابراین اصلاح ترکیب کشت برای بهبود این مقدار در منطقه ضروری است. تعیین ترکیب کشت بهینه با توجه به محدودیت‌های اقتصادی، اجتماعی، خودکفایی و منابع آب محدود منطقه از مهمترین چالش‌های مدیران منابع آب و کشاورزی دشت قزوین است. بهترین سناریو اقتصادی، سناریو ۸، باعث بهبود ردپای اقتصادی آب به $344/4$ مترمکعب بر میلیون ریال می‌شود. سناریو ۷ به‌عنوان بهترین سناریو از نظر صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی منطقه، ردپای اقتصادی آب را به

بهترین سناریو از نظر اقتصادی سناریوی شماره ۸ می‌باشد که در آن با حفظ مصرف آب در حد کنونی، با محدود کردن کشت آبی به ذرت دانه‌ای و کشت دیم به عدس یعنی زراعت‌هایی که دارای کمترین ردپای اقتصادی آب در دسته خود می‌باشند سودی معادل $1/61$ برابر با سود ناشی از الگوی کشت کنونی بدست می‌آید. در این سناریو مجموع سطوح زیر کشت دیم و آبی به ترتیب $1/08$ و $0/94$ برابر مجموع سطوح دیم و آبی در شرایط جاری می‌باشند. سناریوی درخور توجهی که با همین دیدگاه اقتصادی می‌توان به آن پرداخت سناریوی ۲ می‌باشد که در این سناریو با مصرف آبی در حد شرایط کنونی سود حاصله به میزان 41% افزایش می‌یابد. برای رسیدن به این شرایط، سناریوی مزبور حذف علوفه‌ای، یونجه، گوجه‌فرنگی و کلزا در کشت‌های آبی و حذف گندم در کشت دیم را پیشنهاد می‌نماید.

۲- بهترین سناریو از نظر صرفه‌جویی در مصرف منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی

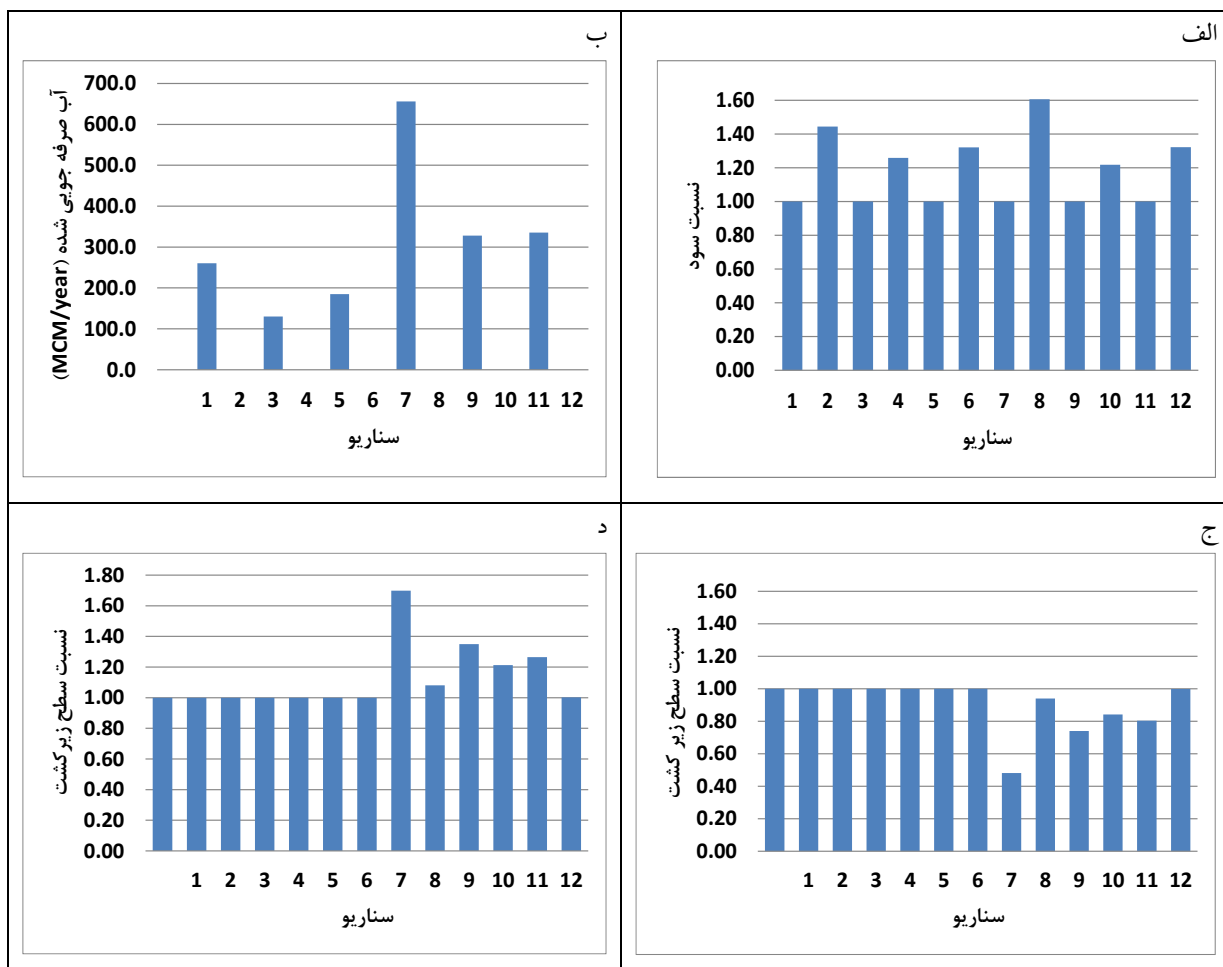
سناریوی ۷ بهترین سناریو از این نظر می‌باشد که با حفظ سوددهی بخش کشاورزی در حد شرایط کنونی منجر به صرفه‌جویی رقمی بالغ بر 656 میلیون مترمکعب می‌گردد. این سناریو برای رسیدن به این مقدار صرفه‌جویی و در عین حال ثابت نگه داشتن سود حاصله اولاً مانند سناریوی ۸ کشت را تک محصولی در نظر گرفته و برای انتخاب محصول هم از محصولات با کمترین ردپای اقتصادی یعنی ذرت دانه‌ای و عدس دیم استفاده نموده و ثانیاً برای کاهش مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی با حفظ قید ثابت نگه داشتن سطح کل زیرکشت به جایگزینی بخشی از کشت آبی به کشت دیم مبادرت ورزیده است.

۳- بهترین سناریو از نظر مسائل اجتماعی و با صرفه‌جویی معنی‌دار در مصرف منابع آب

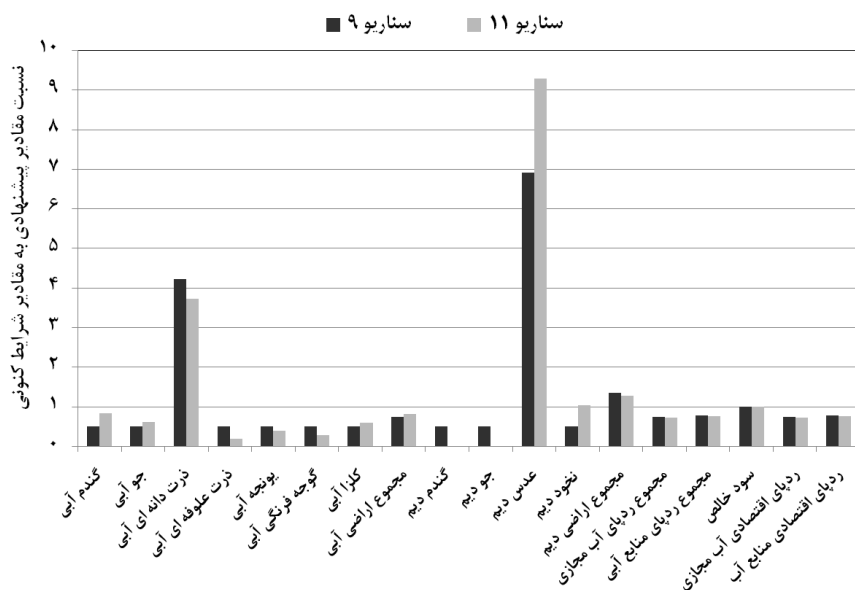
منظور از مسائل اجتماعی در این بخش در واقع تلاش در راه صرفه‌جویی با ایجاد کمترین تغییر در الگوی کشت و همین‌طور حفظ درآمد بخش کشاورزی در حد شرایط کنونی است. با در نظر گرفتن این شرایط، بهترین سناریو سناریوی شماره ۹ و بعد از آن شماره ۱۱ می‌باشد. در سناریوهای ۹ و ۱۱ به ترتیب 328 و 335 میلیون مترمکعب در مصرف منابع آب صرفه‌جویی شده است. در هردوی این سناریوها در حدود 20 الی 25 درصد از سطح اراضی کشت آبی نسبت به شرایط جاری کم شده و در حدود 30 الی 35 درصد نسبت به زمین‌های دیم کنونی بر مساحت آن‌ها اضافه شده است. فرق عمده‌ای که بین سناریوهای ۹ و ۱۱ وجود دارد آن است که در

جدول ۳- سطح زیر کشت برای محصولات اصلی آبی و دیم در سناریوهای مختلف

سناریوها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
شماره رابطه تابع هدف	۹	۱۰	۹	۱۰	۹	۱۰	۹	۱۰	۹	۱۰	۹	۱۰
شماره رابطه محدودیت‌ها	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
گندم آبی (ha)	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱	۱۳,۱۲/۱۱
جو آبی (ha)	۱۵,۱۴	۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴	۱۸,۱۵,۱۴	۱۸,۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴	۱۷,۱۵,۱۴
ذرت دانه آبی (ha)	۶۳۴۹۹	۲۵۸۹۷۷	۲۱۷۴۹/۵	۲۱۷۴۹/۵	۵۲۳۵۵	۲۳۲۸۸/۱	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵
ذرت علوفه آبی (ha)	۶۳۴۹۹	۲۵۸۹۷۷	۲۱۷۴۹/۵	۲۱۷۴۹/۵	۵۲۳۵۵	۲۳۲۸۸/۱	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵	۳۱۷۴۹/۵
یونجه آبی (ha)	۱۹۶۰۵	-	۹۸۰۷/۵	۹۸۰۷/۵	۷۳۴۴	۳۳۴۸/۵	۹۸۰۷/۵	۹۸۰۷/۵	۹۸۰۷/۵	۹۸۰۷/۵	۹۸۰۷/۵	۹۸۰۷/۵
گوجه فرنگی آبی (ha)	۷۷۶۲	-	۲۸۸۱	۲۸۸۱	۲۱۲۵	۳۳۸۱	۲۱۲۵	۲۱۲۵	۲۱۲۵	۲۱۲۵	۲۱۲۵	۲۱۲۵
کدو آبی (ha)	۲۰۹۷	-	۱۰۴۸/۵	۱۰۴۸/۵	۱۲۳۶	۱۲۳۶	۱۰۴۸/۵	۱۰۴۸/۵	۱۰۴۸/۵	۱۰۴۸/۵	۱۰۴۸/۵	۱۰۴۸/۵
گندم دیم (ha)	۸۰۶۹۴	-	۴۰۳۴۶/۸	۴۰۳۴۶/۸	-	-	-	-	-	-	-	-
جو دیم (ha)	۱۰۰۴۹	۵۰۲۴/۶	۳۰۸۱۹/۷	۵۰۲۴/۶	۵۰۲۴/۶	۵۱۴۹۵	-	۵۱۴۹۵	-	۵۱۴۹۵	-	۵۱۴۹۵
عدس دیم (ha)	۱۴۴۲۱	۱۰۸۸۲۰	۴۸۰۴۴/۲	۶۱۶۲۰/۵	۶۱۶۲۰/۵	۱۸۴۸۷۰	۵۲۵۶۰	۱۱۷۵۵۰	۹۹۴۵۵/۵	۳۱۲۰۸/۶	۱۳۳۹۰۶/۹	۵۱۷۰۶/۵
نخود دیم (ha)	۲۶۵۶	-	۲۹۹۵۶/۱	۱۸۲۸/۱	۳۳۶۵	۳۳۶۵	۱۸۲۸/۱	۱۸۲۸/۱	۱۸۲۸/۱	۱۸۲۸/۱	۱۸۲۸/۱	۱۸۲۸/۱
مجموع ردیابی آب (MCM/year)	۲۰۵۷۴	۱۵۴۸۲	۱۷۵۶۷	۱۸۰۱۷۳	۱۸۵۴	۱۹۷۳/۱	۱۸۶۵۵	۱۶۰۶/۱	۱۵۱۷/۶	۱۹۴۶/۲	۱۹۴۶/۴	۱۸۶۸۷
مجموع ردیابی منابع آبی (MCM/year)	۱۴۱۱	۱۱۵۰۵	۱۴۱۱	۱۲۸۰۸	۱۴۱۱	۷۵۶/۸	۱۴۱۱	۱۳۲۵/۹	۱۰۸۲/۹	۱۴۱۱	۱۰۸۲/۹	۱۴۱۱
سود خالص (میلیارد ریال)	۲۹۰۲/۶	۴۱۹۳/۸	۲۹۰۲/۶	۴۱۹۳/۸	۲۹۰۲/۶	۲۸۳۶/۹	۲۹۰۲/۶	۴۴۴/۵	۲۹۰۲/۶	۲۹۰۲/۶	۲۹۰۲/۶	۲۸۴۰/۰
ردیابی اقتصادی آب (مترمکعب بر میلیون ریال)	۷۰۷۷۲	۵۳۲۷	۴۱۷/۹	۴۱۷/۹	۵۷۱/۴	۳۳۵/۱	۴۴۴/۴	۳۳۵/۱	۵۲۱/۳	۳۳۵/۱	۵۲۱/۳	۴۴۴/۴
مجموع اراضی آبی (ha)	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴	۱۴۶۷۰۴
مجموع اراضی دیم (ha)	۱۰۸۸۲۰	۱۰۸۸۲۰	۱۰۸۸۲۰	۱۰۸۸۲۰	۱۰۸۸۲۰	۱۰۸۸۲۰	۱۰۸۸۲۰	۱۱۷۵۵۰	۱۳۳۹۰۶	۱۳۳۹۰۶	۱۳۳۹۰۶	۱۳۳۹۰۶
مجموع اراضی (ha)	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴	۲۵۵۵۲۴



شکل ۶- نتایج مربوط به سناریوهای ۱۲ گانه بهینه‌سازی ترکیب کشت دشت قزوین الف) نسبت سود حاصله به شرایط جاری (ب) میزان سطح آب سطحی و زیرزمینی صرفه جویی شده ج) نسبت سطح زیر کشت آبی به شرایط جاری د) نسبت سطح زیر کشت دیم به شرایط جاری



شکل ۷- مقایسه نسبت‌های مقادیر مختلف سناریوهای ۹ و ۱۱ نسبت به شرایط کنونی

water requirements. FAO Drainage and Irrigation Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome

Anonymous (2011) Water accounting conceptual framework for the preparation and presentation of general purpose water accounting reports in June. Water Accounting Standard Board (WASP) Report, 64p

Anonymous (2014) Final report of 5th National Conference on Iran Water Resources Management with a special focus on Urmia Lake (Second meeting: Reza Keshavarz), 61p

Antonelli M, Sartori y (2015) Unfolding the potential of the virtual water concept. What is still under debate? *Environmental Science & Policy* 50(2):240 – 251

Baynes T, Turner G, West J (2011) Historical calibration of a water account system. *Journal of Water Resources Management and Planning* 137(1):41-50

Chapagain AK, Hoekstra AY, Savenije HHG (2006) Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology Earth System Science* 10:455–468

Chukalla AD, Krol MS, Hoekstra AY (2015) Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. *Hydrology and Earth System Science* 19:4877–4891

Daneshkar Arasteh P, Shokoohi AR (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

Faramarzi M, Yang H, Mousavi J, Schulin R, Binder C, Abbaspour K (2010) Modeling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrology and Earth System Sciences, Discussions* 7(3):2609-2649

Gerbens-Leenes W, Hoekstra AY, Van der Meer TH (2009) The water footprint of bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(25):10219-10223

Ghahraman B, Sepaskhah AR (2004) Linear and non-linear optimization models for allocation of limited water supply. *Irrigation and Drainage* 53:39–54

Godfrey JM, Chalmers K (2012) *Water accounting: International Approaches to policy and decision making*. Edward Elgar Publishing, USA, 318p

Hoekstra AY, Chapagain AK (2007) Water footprints of nations: water use by people as a function of

۳۳۵/۱ مترمکعب بر میلیون ریال بهبود می‌بخشد. اما این دو سناریو کشت تک محصولی را برای اراضی فاریاب و دیم پیشنهاد می‌کنند که کاربردی بودن این سناریوها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بهترین سناریو که نزدیکترین پیشنهادها به شرایط کنونی را دارد، سناریوی ۹ است. این سناریو ردپای اقتصادی آب را به ۵۲۱/۳ مترمکعب بر میلیون ریال کاهش می‌دهد. این سناریو با تغییر سطح زیرکشت برخی از محصولات و همچنین با کاهش سطح اراضی آبی و تبدیل آن به اراضی دیم، باعث صرفه‌جویی ۳۲۸ میلیون مترمکعب در سال در منابع آب منطقه خواهد شد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- General Purpose Water Accounting
- 2- Environmental-Economic Accounting for Water
- 3- International Water Management Institute for water accounting
- 4- Water Footprint Accounting
- 5- US Environmental Protection Agency

۵- مراجع

Ababaei B, Ramezani Etedali H (2014) Estimation of water footprint components of Iran's wheat production comparison of global and national scale estimates. *Journal of Environmental Process* 1:193-205

Ababaei B, Ramezani Etedali H (2016) Water footprint components of cereal production in Iran. *Agricultural Water Management*. DOI:10.1016/j.agwat.2016.07.016 (In Press, Corrected Proof, Available online 21 July 2016)

Agriculture Jihad Ministry (AJM) (2015)

<http://www.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=c5c8bb7b-ad9f-43dd-8502-cbb9e37fa2ce>

Ahmadaali K, Liaghat A, Heydari N, Bozorg Haddad O (2013) Application of artificial neural network and adaptive neural-based fuzzy inference system techniques in estimating of virtual water. *International Journal of Computer Applications* 76(6):12-19

Aldaya MM, Allan JA, Hoekstra AY (2010) Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecological Economics* 69(4):887–894

Aldaya MM, Hoekstra AY (2010) The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agriculture System* 103:351–360

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop*

- grey water footprint of wheat. *Hydrology and Earth System Sciences* 14:1259-1276
- Montazar A, Zadbagher E (2010) An analytical hierarchy model for assessing global water productivity of irrigation networks in Iran. *Water Resources Management* 24 (11):2817-2832
- Najafi B, Torbati Dastgerdi S (2015) Optimization of machinery use on farms with emphasis on timeliness costs. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17:533-541
- Norse D (2005) Non-point pollution from crop production: global, regional and national issues. *Pedosphere* 15(4):499-508
- Pahlow M, Snowball J, Fraser G (2015) Water footprint assessment to inform water management and policy making in South Africa. *Water SA* 41(3):301-305
- Parker LD, Guthrie J, Linacre L (2011) The relationship between academic accounting research and professional practice. *Journal of Accounting, Auditing & Accountability* 24(1):5 – 14
- Portmann F, Siebert S, Bauer C, 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
- Qazvin Province Governor (QPG) (2016) <http://ostan-qz.ir>.
- Ramezani Etedali H, Ahmadaali K, Liaghat A, Parsinejad M, Tavakkoli AR, Ababaei B (2015) Optimum water allocation between irrigated and rainfed lands in different climatic conditions. *Biological Forum – An International Journal* 7(1):1556-1567
- Ramezani Etedali H, Liaghat A, Parsinejad M, Tavakkoli AR, Bozorg Haddad O, 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
- Schyns JF, Hamaideh A, Hoekstra AY, Mekonnen MM, Schyns M (2015) Mitigating the risk of extreme water scarcity and dependency: the case of Jordan. *Water* 7:5705-5730
- Sethi LN, Sudhindra N, Panda M, Nayak K (2006) Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. *Agricultural water management* 83 (3):209-220
- Shokoohi AR (2012) Comparison of SPI and RDI in drought analysis in local scale with emphasizing on their consumption pattern. *Water Resources Management* 21(1):35-48
- Hoekstra AY, Chapagain AK (2008) *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing, Oxford, UK
- Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM (2009) *Water footprint manual: State of the art 2009*, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands
- Hoekstra, AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM (2011) *The water footprint assessment manual: setting the global standard*, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands
- Karamouz M, Ahmadi A, Nazif S (2009) Development of Management Schemes in Irrigation Planning: Economic and Crop Pattern Consideration. *Scientia Iranica* 16(6):457-466
- Karamouz M, Kerachian R, Zahraie B (2004) Monthly water resources and irrigation planning: A case study of conjunctive use of surface and groundwater resources. *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 130 (5):391-402
- Karimi P, Bastiaanssen WGM, Molden D (2013) Water accounting plus (WA+) a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements, *Hydrology Earth Syst. Sci.* 17:2459– 2472
- Kermatzadeh A, Chizari AH, Moore R (2011) Economic optimal allocation of agriculture water: Mathematical Programming Approach. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13:477-490
- Kirby T (2011) Water accounting in Australia. *Chartered Accountants Journal* July 2011:38-40
- Liu J, Williams JR, Zehnder AJB, Yang H (2007) GEPIC – modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agricultural Systems* 94:478-493
- Liu J, Yang H (2010) Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: green and blue water. *Journal of Hydrology* 384:187-197
- Mahdi Moradi J, Bozorg Hadad O, Karney BW, Marino MA (2007) Reservoir operation in assigning optimal multi- crop irrigation areas. *Agricultural Water Management* 81:79-88
- Maknoun R (2014) Virtual water trading in Lake Urmia's Basin. Office of Sustainability- Amirkabir University of Technology (Last visited: August 14, 2016)
- Mekonnen MM, Hoekstra AY (2010) A global and high-resolution assessment of the green, blue and

- energy nexus: A case study of three Mid-Atlantic. Resources, Conservation and Recycling 98(3):76–84
- WWAP (2009) The united nations world water development report 3: water in a changing world, world water assessment programme, UNESCO Publishing, Paris/Earthscan, London
- Yang H, Wang L, Abbaspour KC, Zehnder AJ (2006) Virtual water highway: water use efficiency in global food trade. Hydrology and Earth System Sciences 3(1):1–26
- Zhang GP, Hoekstra AY, Mathew RE (2013). Water footprint assessment (WFA) for better water governance and sustainable development. Journal of Water Resources and Industry 1-2:1-6
- Zhuo L, Mekonnen MM, Hokestra AY, 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
- agricultural drought (case study: Qazvin and Takestan). Irrigation and water Journal 3(9):111-122. (In Persian)
- Shokoohi AR, Raziei T, DaneshkarArasteh P (2014) On the effects of climate change and global warming on water resources in Iran. International Bulletin of Water Resources & Development 2(4):1-9
- Statistical Center of Iran (SCI) (2015) <http://www.amar.org.ir>
- Tehran Regional Water Company (TRWC) (2006) Review of Qazvin irrigation and drainage network. Final report. (in Persian)
- 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
- Turner G, Baynes T, McInnis B (2010) A water accounting system for strategic water management. Water Resources Manage 24:513-545
- Wang Y D, Leeb JS, Agbemabiese L, Zamea K, Kang S (2015) Virtual water management and the water–