دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات
دوره پنجم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۴ (۱۴۳-۱۳۱)

اشتقاق توابع تولید محصول برای برآورد آب مجازی و قیمت آب آبیاری گندم

فریماه امیدی[۱] و مهدی همایی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲- استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۸- تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۴)

چکیده

گندم یکی از راهبردی‌ترین محصولات کشاورزی در سراسر جهان است که تولید آن نقش مهمّی در تغذیه انسان دارد. کمبود منابع آب و وقوع خشک‌سالی‌های پیاپی در ایران، تأمین آب برای کشت محصولات راهبردی همچون گندم را با چالش روبرو کرده است. از سوی دیگر، واردات زیاد گندم، ضرورت توجه به آب مجازی گندم و هزینه‌های ناشی از آن را دو چندان ساخته است. هدف از این پژوهش، تعیین مقدار آب مجازی سبز و آبی محصول گندم، تعیین قیمت آب مصرفی برای تولید گندم و بررسی جریان آب مجازی این محصول در کل کشور در یک دوره ده ساله بود. بدین منظور، داده‌های مربوط به سطح زیر کشت، مقدار تولید گندم و بارندگی برای سال‌های زراعی ۸۰-۱۳۷۹ تا ۸۹-۱۳۸۸ تهیه شد. مقدار تبخیر و تعرّق پتانسیل گندم برای هر استان و کل کشور با استفاده از بسته نرم‌افزاری NETWAT به دست آمد. پس از محاسبه نیاز آبی خالص گندم با استفاده از تابع تولید فائو، بارش موثر نیز محاسبه و مقدار آب مجازی آبی و سبز و قیمت آب آبیاری تعیین شد. نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی از دیم به فاریاب و نیز مدیریت نادرست بهره‌برداری از منابع آب و خاک، بدون توجه به اقلیم منطقه، افزایش سطح زیر کشت فاریاب، آب مجازی آبی و هزینه‌های ناشی از آن، کاهش سطح زیر کشت گندم دیم، آب مجازی سبز و محصول دیم در استان فارس را به همراه داشت. با وجود افزایش سطح زیر کشت گندم فاریاب در کل کشور در دو سال پایانی اجرای آزمایش (۸۹-۱۳۸۷)، محصول فاریاب کاهش یافت که سبب افزایش آب مجازی آبی و هزینه‌ها شد. چنین وضعیتی توجیه علمی، اقتصادی و زیست- محیطی ندارد و هزینه‌هایی که با این تغییر کاربری به دولت و کشاورزان تحمیل می‌شود، قابل بازگشت نیست.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید فائو، تغییر کاربری اراضی، نیاز آبی گندم، NETWAT

* نویسنده مسئول: mhomaee@modares.ac.ir

مقدمه

اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، ساکنان آن را از دیرباز در دسترسی به آب به چالش کشیده است. با توجه به وضعیت نامناسب مکانی و زمانی بارش‌های آسمانی در سال‌های اخیر، اراضی فاریاب حدود ۸۹ درصد از کل تولیدات کشاورزی و اراضی دیم تنها ۱۱ درصد از تولید محصولات کشاورزی را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، آبیاری در کشاورزی ایران و تولید غذا نقشی حیاتی دارد. با توجه به این که منابع آب قابل استفاده در بخش کشاورزی محدود هستند، آب به عنوان کالایی اقتصادی مطرح بوده که برنامه‌ریزی برای مصرف آن نیز باید با همین نگرش صورت گیرد (Hoekstra and Hung, 2005). در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت و نیاز به آب و غذای بیشتر، سبب شده تا کارشناسان بخش آب و کشاورزی برای یافتن راهکارهای صرفه‌جویی و مصرف بهینه آب تلاش کنند. در این زمینه، توابع تولید محصول– آب مصرفی و شاخص‌های مصرف آب، ابزارهای مناسب برای تعیین مقدار و چگونگی واکنش گیاه به آبیاری و مصرف آب هستند.

تابع تولید یک رابطه کلی و کاربردی است. از توابع تولید برای بیان رابطه بین واکنش کمّی و یا کیفی گیاه به نهاده‌های مختلف تولید مانند آب، کود و خاک استفاده می‌شود. از آنجا که محدودیت منابع آب قابل استفاده برای کشاورزی از عوامل مهم تعیین کننده سیاست‌های مدیریت آب در مزرعه به شمار می‌رود، معمولاً توابع تولید، مقدار محصول تولیدی را به صورت تابعی از آب مصرفی و یا آبی که صرف تبخیر و تعرق شده است، تعریف می‌کنند. به عبارت دیگر، آب به عنوان نهاده اصلی تولید محصول در نظر گرفته می‌شود (Letey and Dinar, 2000).

مفهوم آب مجازی از اواخر قرن بیستم مطرح شد (Allan, 1997) و از اوایل قرن بیست و یکم به عنوان معیاری برای تبادل آب بین کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا با سایر کشورهای جهان شناخته شد. با توجه به اقلیم خشک کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، بخش عمده نیاز این منطقه به غذا از طریق واردات مواد غذایی تأمین می‌شود که با این کار در واقع در مصرف منابع آب صرفه‌جویی می‌شود. در این کشورها، وارد کردن مواد غذایی به طور مجازی با تبادل آب برابری می‌کند (Yang and Zehnder, 2007). در فرآیند تولید یک محصول یا یک کالا، ممکن است منابع مختلف آب مانند آب زیرزمینی، آب سطحی، چشمه‌ها، آب باران، پساب‌ها و غیره استفاده شده باشند که در آن صورت نوع منبع تأمین آب می‌تواند در تحلیل آب مجازی نقش بسزایی داشته باشد. این ایده منجر به معرفی و طبقه‌بندی آب‌های مجازی به سه رنگ آبی، سبز و خاکستری شده است (Horlemann and Neubert, 2007).

آب سبز (Green water) یکی از منابع مهم تأمین آب مورد نیاز گیاهان به ویژه در اراضی دیم است. مقدار آبی که گیاه طی فرآیند رشد و نمو مصرف می‌نماید و یا در بافت خود ذخیره می‌کند و بر اثر تعرق از گیاه خارج می‌شود را آب سبز مجازی گویند. آب مجازی آبی (Blue water)، حجم آب سطحی یا زیرزمینی است که طی فرآیند تولید کالا یا خدمات به طور مستقیم یا غیر مستقیم مصرف می‌شود. منظور از آب خاکستری (Gray water)، آبی است که در چرخه تولید یک کالا آلوده می‌شود. آن مقدار از آب خاکستری که در بخش کشاورزی به مصرف گیاه می‌رسد و سپس به صورت پساب از مزرعه خارج می‌شود را آب خاکستری مجازی گویند.

هانگ و هوکسترا (Hung and Hoekstra, 2002) کیفیت جریان آب مجازی بین کشورهای مختلف را در ارتباط با تجارت فرآورده‌های کشاورزی مورد بررسی قرار دادند. آنها با در نظر گرفتن عامل زمان و برخی محصولات راهبردی زراعی و باغی، جریان حجمی آب مجازی بین کشورهای مختلف را در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ مطالعه و توازن آب مجازی کشورها در رابطه با نیاز آبی و امکان دسترسی آن‌ها به منابع آب را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج محاسبات آن‌ها نشان داد که کشورهای آمریکا، کانادا، تایلند، آرژانتین و هند، بزرگ‌ترین صادر کنندگان آب مجازی و کشورهای ژاپن، هلند، جمهوری کره، چین و اندونزی، مهم‌ترین وارد کنندگان آب مجازی هستند.

با روشن‌تر شدن اهمیت صرفه‌جویی آب در بخش‌های مختلف به ویژه در بخش کشاورزی، چاپاگین و همکاران (Chapagain *et al.*, 2006) و هوکسترا و چاپاگین (Hoekstra and Chapagain, 2008)، به این مهم پرداختند و نتیجه گرفتند که با جهانی‌تر شدن تجارت محصولات مختلف، وابستگی منابع آب کشورها به یکدیگر و امکان صرفه‌جویی در مصرف آب بیشتر می‌شود.

رشد روزافزون جمعیت و نیاز بیشتر به غذا، پژوهشگران را بر آن داشت که در کنار بررسی اثر تجارت جهانی بر

جریان آب مجازی، به مصرف آب مجازی محصولات کلیدی مانند گندم در سطح جهان بپردازند (Mekonnen and Hoekstra, 2010). در این پژوهش‌ها، مقدار آب مجازی سبز، آبی و خاکستری گندم از هر دو دیدگاه تولید و مصرف، با روش مکانی صریح تخمین زده شد که برای انجام این کار از یک مدل بیلان دینامیک آب شبکه‌بندی شده با قابلیت محاسبه در فاصله‌های زمانی یک روزه استفاده شد. در این مدل، از توازن آب خاک و داده‌های اقلیمی برای هر سلول استفاده و مقدار آب آلوده همراه با کود نیتروژن برای هر سلول محاسبه شد. نتایج این تحقیق در فاصله سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ نشان داد که آب سبز ۷۰ درصد، آب آبی ۱۹ درصد و آب خاکستری ۱۱ درصد از آب مصرفی گندم را در جهان تشکیل می‌دهند و تجارت جهانی تولیدات گندم، اثر بسزایی در صرفه‌جویی مصرف آب در سطح جهان دارد. همچنین، مشخص شد که در صادرات جهانی گندم، آب مجازی سبز و در تولید جهانی گندم، آب مجازی آبی اهمیت بیشتری دارد.

در همه پژوهش‌های یاد شده، تعیین نیاز آبی گندم و مقدار دقیق آب آبیاری، نخستین و مهم‌ترین گام برای تعیین مقدار آب مجازی محصول است. در ایران، آماری از مقدار آب آبیاری مصرفی برای تولید محصولات مختلف تهیه نمی‌شود و آمار موجود تنها سطح زیر کشت و مقدار تولید را پوشش می‌دهد. از طرفی، اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی در مزارع و شبکه‌های آبیاری کاری بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. بنابراین، برای تعیین مقدار آب آبیاری مصرفی برای تولید محصولات مختلف، به ناچار باید از آمار موجود بهره گرفت. با توجه به این که تابع تولید محصول در واقع نشان دهنده رابطه کمّی محصول تولید شده به ازای آب مصرفی است، می‌توان از آن برای تعیین مقدار آب مصرفی بهره برد.

تمامی پژوهش‌های انجام شده پیرامون رابطه آب و مقدار محصول منجر به ارایه روابط تجربی برای تعیین توابع تولید محصول به ازای آب مصرفی، تبخیر و تعرق و یا تعرق گیاه شده است (Cole and Mathews, 1923; Mathews and Brown, 1938; Arkley, 1963; Jensen, 1968; Hanks, 1974; Minhas, 1974; Stewart *et al.*, 1977; Hexem and Heady, 1978; Doorenbus and Kassam, 1979; Hanks and Rasmussen, 1982; De Wit, 1958). از جمله این روابط می‌توان به رابطه دورنباس و کاسام (Doorenbus and Kassam, 1979) و تابع تولید FAO اشاره کرد که به عنوان معادله اصلی مدل‌های CROPWAT و AQUACROP مورد استفاده قرار می‌گیرند. رابطه دورنباس و کاسام (Doorenbus and Kassam, 1979) بر پایه رابطه نسبی کمبود تبخیر و تعرق و کمبود محصول تولیدی نسبت به بیشینه عملکرد استوار است (رابطه ۱):

$$1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_{max}}\right) \qquad (۱)$$

که در آن، Y_a عملکرد واقعی محصول ($kg.ha^{-1}$)، Y_{max} بیشینه عملکرد ($kg.ha^{-1}$) که در شرایط بهینه به دست می‌آید، K_y ضریب واکنش عملکرد به آبیاری (بدون بعد)، ET_a تبخیر و تعرق واقعی ($m^3.ha$) و ET_{max} تبخیر و تعرق پتانسیل ($m^3.ha$) است.

با توجه به اینکه رابطه FAO رابطه‌ای ساده و کاربردی است و ورودی‌های آن نسبت به روابط تجربی دیگر ارایه شده قابل دسترس‌تر است، می‌توان از آن برای تعیین مقدار آب مصرفی استفاده کرد.

به طور کلی، توابع تولید به دو روش برآورد می‌شوند. یکی استفاده از مدل‌های نظری و تجربی که ناشی از فرآیندهای منحصر به فرد آب و محصول است. اصولاً کمیت پارامترها در این روش از اندازه‌گیری‌های مستقیم به دست می‌آید. دیگری، روش برآورد توابع تولید با استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر مشاهداتی مانند سطح تغییرات عملکرد، کمیت و کیفیت آب کاربردی و شوری خاک است (Karimi *et al.*, 2005). در باره تعیین رابطه آب مصرفی و محصول تولیدی می‌توان به پژوهش‌های کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2005, 2006, 2007) اشاره کرد که در آنها به بررسی اثر همزمان تنش‌های کم‌آبی و مواد غذایی پرداخته شده است. نتایج آنها نشان داد که توابع تولید خطی ساده، بهترین توابع برازش داده شده برای آب – عملکرد و آب – کود – عملکرد هستند، در حالی که برای برآورد کود – عملکرد تابع درجه دوم، مناسب‌ترین تابع است. پژوهش‌های کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2005, 2006) در گندم به هنگام وجود همزمان تنش‌های شوری و کم‌آبی نشان داد که آثار همزمان شوری و کم‌آبی روی عملکرد گیاه، وابسته به عوامل مختلفی است که تعیین تابع تولید می‌تواند راهکاری برای گردآوری همه این عوامل در قالب یک رابطه کاربردی باشد.

ایران با مصرف سرانه ۱۹۴ کیلوگرم گندم در سال، رتبه هفتم جهان را به خود اختصاص داده است (FAO, 2013). با اختصاص نزدیک به ۳۰ درصد از اراضی زراعی کشور به کشت گندم، این محصول نقشی محوری در امنیت غذایی کشور دارد. با توجه به وضعیت اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران و خشک‌سالی‌های پیاپی، تأمین آب مورد نیاز گندم و نیز واردات حدود ۵ تا ۶ میلیون تنی این محصول برای تأمین نیاز غذایی داخل کشور، اهمیت تعیین محتوای آب مجازی گندم را بیش از پیش روشن می‌کند. از سوی دیگر، با توجه به آمارنامه‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی، استان فارس در دوره ده ساله مورد بررسی، با میانگین تولید سالانه بیش از یک میلیون تن گندم که ۹۰ درصد آن را محصول فاریاب تشکیل می‌دهد، به مدت ۹ سال در صدر تولید کنندگان گندم فاریاب کشور قرار داشته است. این موضوع، اهمیت این استان را در تولید گندم فاریاب و ضرورت بررسی مصرف آب آبیاری و هزینه‌های ناشی از آن را در این استان نشان می‌دهد. با توجه به این موضوع، پژوهش حاضر انجام شد که هدف از آن، تعیین مقدار آب مصرفی گندم در استان فارس و در کل کشور و نیز محاسبه آب مجازی سبز و آبی در یک دوره ده ساله بود. با محاسبه قیمت آب مصرفی گندم در سطح این استان و در سطح کشور، این امکان فراهم می‌شود که افزون بر بررسی جریان آب مجازی گندم، امکان صرفه‌جویی در هزینه آب مصرفی گندم نیز مورد بحث قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای تعیین آب مصرفی گیاه گندم، از تابع تولید FAO استفاده شد. برای تعیین متوسط تبخیر و تعرق بیشینه (ET_{max}) گندم در هر استان، تبخیر و تعرق بیشینه ۶۰۱ دشت در استان‌های کشور با استفاده از نرم‌افزار NETWAT تعیین شد. سپس عملکرد واقعی (Y_a) گندم برای همه استان‌های کشور از بانک اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی برای یک دوره ده ساله از سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ تا سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ استخراج شد. برای تعیین عملکرد بیشینه گندم (Y_{max}) در هر استان، همه داده‌های موجود هر استان از سال ۱۳۶۱ تا سال ۱۳۹۰ بررسی و بیشترین عملکرد ثبت شده به عنوان عملکرد بیشینه گندم آن استان انتخاب شد. ضریب واکنش عملکرد به آبیاری نیز بنابر استاندارد FAO در محاسبات لحاظ شد. سپس با داشتن همه داده‌ها، مقدار آب مصرفی (ET_a) گندم در هر استان و در کل کشور برای دوره ده ساله بر پایه معادله ۱ محاسبه شد. این مقدار آب به دست آمده، مجموع آب آبیاری و بارش موثر است، در حالی که برای محاسبه آب مجازی سبز و آبی، مقادیر آن‌ها باید به طور جداگانه تعیین شود. به این ترتیب، از داده‌های متوسط بارش ماهانه در هر سال آبی از ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ استفاده شد و با استفاده از روابط زیر و روشی که توسط اداره حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA S.C.S) ارایه شده است، مقدار بارش مؤثر به دست آمد:

$$P_{eff} = \frac{\left[P_m\left(\frac{125}{20} - 0.2P_m\right)\right]}{\frac{125}{30}} \quad , \quad P_m \le \frac{125}{30} \qquad (۲)$$

$$P_{eff} = \frac{125}{30} + 0.1P_m \quad , \quad P_m > \frac{125}{30} \qquad (۳)$$

که P_{eff} بارش مؤثر (میلی‌متر) و P_m میانگین بارش ماهانه (میلی‌متر) است.

برای تعیین مقادیر آب مجازی سبز و آبی نیز به ترتیب از روابط ۴ و ۵ استفاده شد (Chapagain *et al.*, 2005):

$$V_g = \frac{P_{eff}}{CY} \qquad (۴)$$

$$V_b = \frac{1}{CY} \qquad (۵)$$

که در آن‌ها، V_g و V_b به ترتیب آب مجازی سبز و آبی (متر مکعب آب بر تن محصول)، P_{eff} و I به ترتیب بارش مؤثر و آب آبیاری (متر مکعب) و CY مقدار محصول واقعی (تن) است.

برای برآورد قیمت آب آبیاری نیز روش یانگ (Young, 2005) مورد استفاده قرار گرفت:

$$P_w = P_y \times \frac{\partial_y}{\partial_w} \qquad (۶)$$

که در آن P_w قیمت هر متر مکعب آب (ریال)، P_y قیمت هر کیلو گرم محصول تولیدی (ریال) و $\frac{\partial_y}{\partial_w}$ تغییر مقدار محصول تولیدی به ازای تغییر مقدار آب مصرفی و در واقع همان مشتق تابع تولید محصول - آب مصرفی است.

با معلوم بودن مقادیر ET_{max} و Y_{max}، رابطه ۱ به عنوان تابع تولید محصول به شکل رابطه ۷ بازنویسی شد:

$$\left(1 - \frac{Y}{A}\right) = K_y\left(1 - \frac{W}{B}\right) \qquad (۷)$$

در این رابطه، Y عملکرد واقعی، A بیشینه عملکرد محصول (هر دو به کیلوگرم)، W مقدار آب مصرفی واقعی و B بیشینه آب مصرفی گیاه (هر دو به متر مکعب) است.

با مشتق‌گیری از رابطه ۷، مقدار $\frac{\partial_y}{\partial_w}$ به دست آمد:

$$\frac{\partial_y}{\partial_w} = \frac{AK_y}{B} \qquad (۶)$$

با معلوم بودن مقادیر A، B و K_y، مقدار $\frac{\partial_y}{\partial_w}$ و سپس با استفاده از رابطه ۶، قیمت آب محاسبه شد. برای محاسبه قیمت آب، قیمت محصول برابر با قیمت مصوب خرید محصول از کشاورز در هر سال زراعی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تبخیر و تعرق واقعی گندم طی یک دوره ده ساله که با استفاده از تابع تولید FAO به دست آمد، در جدول ۱ ارایه شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۱ بیانگر آن است که تبخیر و تعرق واقعی گندم فاریاب در استان فارس در کل این دوره ۱۰ ساله بیشتر از میانگین کشور است، در حالی که تبخیر و تعرق گندم دیم در سال‌های اول، چهارم، پنجم، هشتم، نهم و دهم در این استان کمتر از میانگین کشوری می‌باشد. بارش مؤثر سالانه این استان در این ۱۰ سال نیز همواره کمتر از میانگین کشوری بوده است. بنابراین، بدیهی است که مقدار آب آبیاری گندم فاریاب استان فارس بیشتر از میانگین کشور باشد.

مقدار آب مجازی آبی و سبز گندم در جدول ۲ ارایه شده است. نتایج نشان داد که مقدار آب مجازی آبی هر کیلوگرم گندم در استان فارس همواره بیشتر از میانگین آب مجازی واحد وزن گندم در سطح کشور طی دوره ۱۰ ساله ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ بود و بر عکس، آب مجازی سبز هر کیلوگرم گندم طی همین دوره در استان فارس، همواره کمتر از میانگین کشور بود. این نتایج نشان می‌دهد که آب مجازی سبز در این استان با توجه به مقدار بارش موثر سالانه و تولید گندم دیم، سهم اندکی از تولید را داراست.

نتایج نشان دادند که با افزایش قیمت گندم، قیمت آب آبیاری در هر سال نیز افزایش یافت (جدول ۳). قیمت آب آبیاری گندم در استان فارس در دوره ده ساله مورد مطالعه همواره کمتر از میانگین کشور بود، اما تفاوت قابل توجهی با آن نداشت. این موضوع در باره قیمت آب مجازی آبی نیز صادق بود. تعیین قیمت آب آبیاری در صرفه‌جویی مصرف آب از سوی کشاورزان موثر است. قیمت آب مجازی آبی نشان می‌دهد که به ازای هر کیلوگرم افزایش تولید محصول فاریاب، چه مقدار برای آب هزینه می‌شود. قیمت آب آبیاری و هزینه آب مجازی به ازای هر کیلوگرم گندم تولیدی، شاخص‌هایی قابل تبدیل به یکدیگر هستند که از آنها در ارزیابی‌های اقتصادی استفاده می‌شود.

جدول ۱- تبخیر و تعرق واقعی، مقدار بارش مؤثر و آب آبیاری گندم دیم و فاریاب در استان فارس و کل کشور طی سال‌های ۸۹-۱۳۷۹

Table 1. Actual wheat evapotranspiration, effective rainfall and irrigation water requirement of dry and irrigated wheat in Fars province and Iran from 2000 to 2010

سال زراعی Year	تبخیر و تعرق واقعی گندم (متر مکعب در هکتار) Actual wheat evapotranspiration ($m^3.ha^{-1}$)				بارش مؤثر (متر مکعب در هکتار) Effective rainfall ($m^3.ha^{-1}$)		نیاز خالص آبیاری کشت فاریاب (متر مکعب در هکتار) Net irrigation water requirement of irrigated farming ($m^3.ha^{-1}$)	
	فاریاب Irrigated farming		دیم Dry farming					
	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province
2000-2001	3,300.55	3,958.75	2,796.31	2,558.61	86.47	54.90	2,784.33	3,903.85
2001-2002	3,832.59	5,030.11	3,537.70	4,060.83	108.21	86.02	3,199.11	4,944.09
2002-2003	3,873.27	4,702.62	3,887.94	4,383.36	98.37	76.54	3,253.18	4,626.08
2003-2004	4,074.15	5,008.20	3,909.49	3,690.01	104.27	77.99	3,389.54	4,930.20
2004-2005	4,119.32	5,063.33	3,408.55	3,360.55	102.42	91.34	3,612.19	4,971.99
2005-2006	4,076.91	4,912.88	3,665.98	4,407.86	88.95	65.77	3,568.30	4,847.12
2006-2007	4,135.21	5,182.29	4,021.87	5,182.29	107.26	89.44	3,581.36	5,092.85
2007-2008	3,155.66	3,752.34	1,763.59	1,187.69	55.68	28.15	2,886.47	3,724.19
2008-2009	4,001.74	4,143.77	3,629.01	3,378.95	81.48	50.47	3,717.99	4,093.30
2009-2010	3,405.95	3,901.71	4,162.02	3,405.00	100.66	66.17	3,160.72	3,835.55

جدول ۲- آب مجازی آبی و سبز گندم در استان فارس و کل کشور در بازه زمانی ۸۹-۱۳۷۹

Table 2. Blue and green virtual water of wheat in Fars province and Iran from 2000 to 2010

سال زراعی Year	آب مجازی آبی (متر مکعب بر کیلوگرم) Blue virtual water ($m^3.kg^{-1}$)		کل آب مجازی آبی در سال (متر مکعب) Total blue virtual water per year (m^3)		آب مجازی سبز (متر مکعب بر کیلوگرم) Green virtual water ($m^3.kg^{-1}$)		کل آب مجازی سبز در سال (متر مکعب) Total green virtual water per year (m^3)	
	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province
2000-2001	1.002	1.099	6,610,124.88	1,372,912.58	0.12	0.08	331,363.41	5,456.09
2001-2002	0.980	1.080	8,068,035.96	1,738,029.54	0.12	0.09	503,271.54	7,705.02
2002-2003	0.984	1.085	8,564,647.35	1,753,458.96	0.11	0.07	535,487.69	16,705.18
2003-2004	1.006	1.082	9,804,885.60	2,014,846.28	0.12	0.09	558,943.62	10,178.10
2004-2005	1.021	1.078	10,179,994.54	2,077,021.82	0.12	0.11	512,458.47	15,602.48
2005-2006	1.026	1.085	10,403,669.21	2,218,500.48	0.11	0.06	483,460.60	8,479.48
2006-2007	1.019	1.078	10,771,179.59	2,454,692.13	0.85	0.07	4,521,464.04	16,748.71
2007-2008	1.050	1.110	6,825,304.46	1,353,989.88	0.14	0.11	199,073.28	1,722.18
2008-2009	1.027	1.097	9,213,995.95	1,434,341.88	0.11	0.06	517,612.35	5,487.79
2009-2010	1.026	1.096	8,169,467.60	1,215,776.42	0.12	0.08	655,420.45	6,782.80

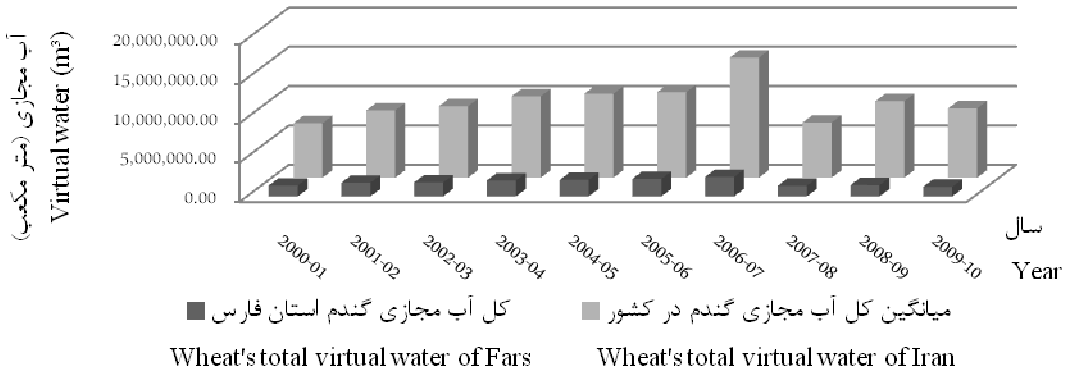
جدول ۳- قیمت خرید گندم و قیمت آب آبیاری در استان فارس در بازه زمانی ۸۹-۱۳۷۹

Table 3. Wheat purchased and irrigation water prices in Fars province for 2000 to 2010 period

سال زراعی Year	قیمت خرید یک کیلوگرم گندم (ریال) Wheat price (Iran's $Rial.Kg^{-1}$)	قیمت هر متر مکعب آب آبیاری (ریال) Irrigation water price (Iran's $Rial.m^{-3}$)		هزینه هر متر مکعب آب مجازی آبی (ریال) Blue virtual water costs (Iran's $Rial.m^{-3}$)	
		میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province	میانگین کشور Iran's average	استان فارس Fars province
2000-2001	1050	1036	1005	1137.82	1104.28
2001-2002	1300	1282	1244	1384.51	1343.69
2002-2003	1500	1480	1436	1604.61	1557.31
2003-2004	1700	1677	1627	1813.73	1760.26
2004-2005	2050	1979	1962	2134.41	2116.15
2005-2006	2050	1979	1962	2147.89	2129.52
2006-2007	2250	2172	2154	2341.75	2321.73
2007-2008	3050	2945	2920	3268.16	3240.21
2008-2009	3300	3186	3159	3496.13	3466.23
2009-2010	3700	3572	3542	3916.33	3882.84

مقدار کل آب مجازی استان فارس با میانگین کشور در شکل ۱ مقایسه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استان فارس برای تولید گندم طی دوره ده ساله مورد مطالعه، بین ۱۴ تا ۲۰ درصد از کل آب مجازی مصرف شده برای تولید گندم در سطح کشور را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که سهم این استان از کل تولید گندم کشور در این دوره ده ساله بین ۹ تا ۱۴ درصد است. بر طبق نتایج جدول‌های ۱ و ۲، سهم این استان از بارش‌های سالانه نیز به طور میانگین ۷۰ درصد است و طبق آمار موجود، این استان تنها ۲ تا ۵ درصد از کل تولید گندم دیم کشور را به خود اختصاص می‌دهد. از طرف دیگر، بخش عمده آب مجازی گندم در استان فارس را آب مجازی آبی تشکیل می‌دهد که این امر بیانگر وابستگی شدید کشت گندم این استان به آب آبیاری است.

هزینه آب مجازی آبی کل محصول تولیدی گندم فاریاب در استان فارس با میانگین کشور در شکل ۲ مقایسه شده است. همان‌گونه که این شکل نیز نشان می‌دهد، سهم این استان از کل هزینه آب مجازی آبی تولید گندم فاریاب کشور طی دوره ده ساله مورد مطالعه، از ۱۵ تا ۲۳ درصد متغیر بوده است. با توجه به این که مقدار آب مجازی و قیمت آب آبیاری، شاخص‌هایی برای تعیین مقدار مصرف آب و صرف هزینه به شمار می‌روند، تعیین مقادیر

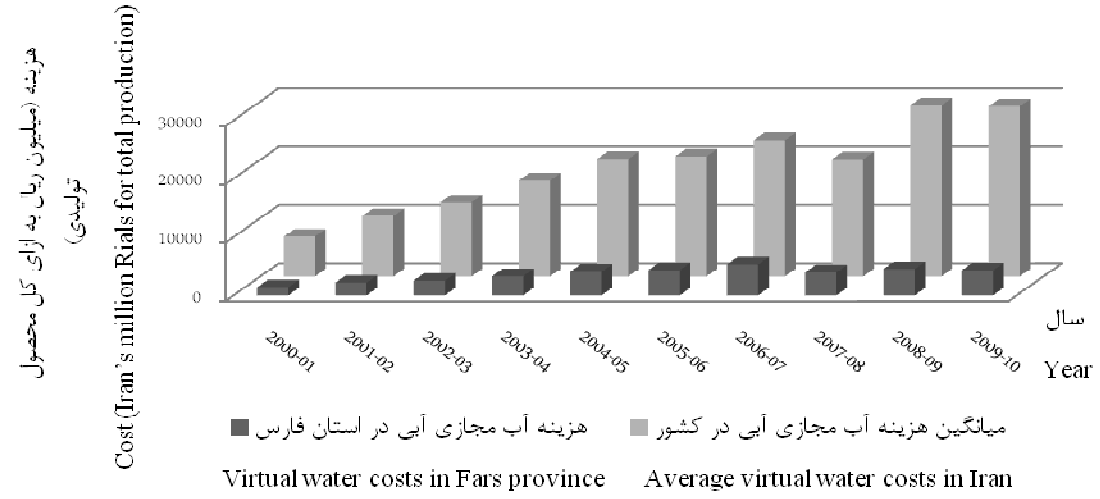


شکل ۱- کل آب مجازی سبز و آبی گندم استان فارس در مقایسه با میانگین کشور در بازه زمانی ۸۹-۱۳۷۹

Figure 1. Total green and blue virtual water of Fars province compared with Iran's average from 2000 to 2010

آنها می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و فنی داشته باشد. به عنوان مثال، واردات همان مقدار گندم تولید شده در سال آبی ۸۶-۸۵، می‌توانست افزون بر کاهش مصرف ۲/۵ میلیون متر مکعبی آب آبیاری، ۵/۳ میلیارد ریال صرفه‌جویی در بر داشته باشد.

همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، کل سطح زیر کشت گندم در استان فارس در دوره ۱۰ ساله مورد بررسی، کاهشی ۷ درصدی داشته است، به گونه‌ای که از ۴۵۱۰۶۷ هکتار در سال ۱۳۷۹ به ۴۱۹۴۸۸ هکتار در سال ۱۳۸۹ رسیده است. در مقابل، سطح زیر کشت گندم فاریاب از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۸۶ افزیشی ۳۷ درصدی نشان می‌دهد و همان‌گونه که در جدول ۲ و شکل ۲ نیز نشان داده شده است، بیشینه مقدار آب مجازی آبی و هزینه آب نیز مربوط به سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ است. این در حالی است که سطح زیر کشت فاریاب از سال ۱۳۸۶ تا پایان سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ روندی نزولی دارد، به گونه‌ای که در ابتدای دوره ۱۰ ساله مورد بررسی ۳۵۱۶۸۲ هکتار و در انتهای دوره ۳۱۶۹۷۶ هکتار بوده است. نکته قابل توجه این است که در سال زراعی ۸۴-۸۳ که حداکثر بارش موثر در این دوره ۱۰ ساله (۹۱/۳۴ متر مکعب در هکتار) رخ داده است، سطح زیر کشت گندم فاریاب کمتر از سال‌های ۸۵-۸۴ و ۸۶-۸۵ (به ترتیب با بارش موثر ۶۵/۷۸ و ۸۹/۷۴ متر مکعب در هکتار) بوده است. اکنون باید دریافت که با وجود مقدار بارش کمتر در سال‌های ۸۵-۸۴ و ۸۶-۸۵، چگونه سطح زیر کشت فاریاب در این سال‌ها روندی افزایشی نسبت به سال ۸۴-۸۳ داشته و آب مورد نیاز از چه منبعی و با چه هزینه‌ای تأمین شده است؟

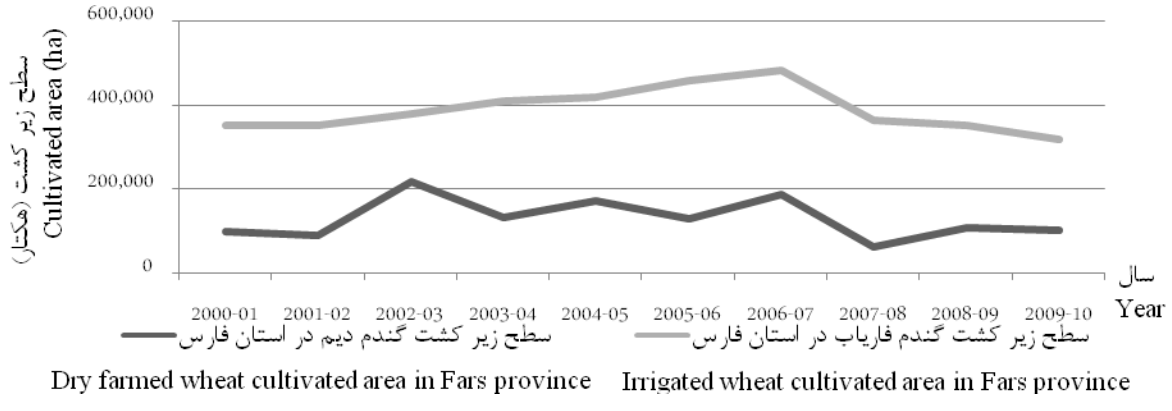


شکل ۲- هزینه آب مجازی آبی تولید گندم فاریاب استان فارس و میانگین کشور در بازه زمانی ۸۹-۱۳۷۹

Figure 2. The blue virtual water costs for irrigated wheat production in Fars province and Iran's average from 2000 to 2010

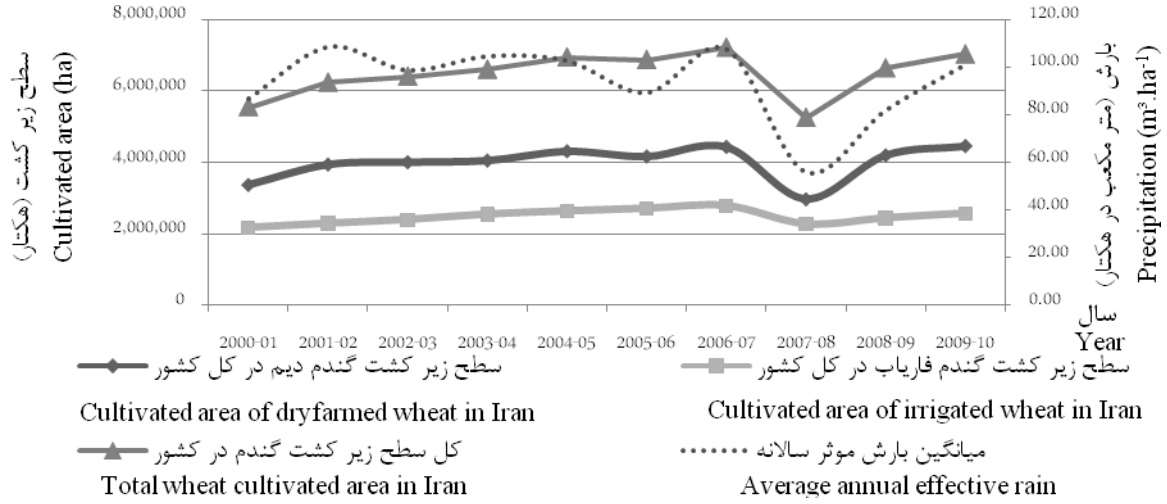
همان طور که در شکل ۳ ارایه شده است، تغییرات سطح زیر کشت گندم دیم در استان فارس روندی مشابه تغییرات میانگین بارش موثر سالانه دارد، اما شدت این تغییرات مطابق شدت تغییرات بارش موثر نبود. همان طور که ملاحظه می‌شود، در سال ۸۱-۸۰، مقدار بارش مؤثر نسبت به سال قبل افزایشی قابل توجه داشت، اما سطح زیر کشت گندم فاریاب تقریباً ثابت ماند و سطح زیر کشت گندم دیم کاهش یافت. در سال‌های بعد، سطح زیر کشت دیم با روندی مشابه بارش موثر تغییر کرد، اما سطح زیر کشت فاریاب بر خلاف روند کاهشی بارش، روندی افزایشی داشت. در دو سال پایانی این دوره نیز سطح زیر کشت دیم بر خلاف بارش موثر کاهش یافت. در دوره مورد بررسی، کل سطح زیر کشت گندم کاهشی ۱۷/۵ درصدی داشت، اما سطح زیر کشت فاریاب به جز سه سال پایانی، افزایش و سطح زیر کشت دیم روند کلی نزولی را طی کرد. بنابراین، در این دوره ده ساله، تغییر کاربری اراضی از دیم به فاریاب، به ویژه در هفت سال نخست، نقش اساسی در افزایش مصرف آب آبیاری و هزینه‌های ناشی از آن داشت.

شکل ۴ نشان می‌دهد که سطح زیر کشت گندم در سطح کشور از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ روند افزایشی داشته است. آنچه اهمیت دارد، شدت این تغییرات و اثرپذیری آن از میانگین بارش موثر سالانه است. سطح زیر کشت گندم دیم نسبت به تغییر مقدار بارش موثر حساسیت بیشتری داشت، اما در افزایش سطح زیر کشت فاریاب به جز در سال زراعی ۸۷-۸۶ که کمترین بارش را داشتند، خلل قابل توجهی وارد نیامده و دوباره روند افزایشی خود را ادامه داده است. در اینجا نیز تغییر کاربری اراضی، هر چند با شدتی کمتر، مطرح می‌شود. بیشترین مساحت طی ده سال مورد بررسی، در سال زراعی ۸۶-۸۵ به زیر کشت گندم فاریاب و دیم رفته است که این امر موجب افزایش ناگهانی مصرف آب مجازی تا حدود ۱۵ میلیون متر مکعب در همان سال شده است. کاهش حدود دو میلیون هکتاری کل سطح زیر کشت گندم در سال زراعی ۸۷-۸۶، موضوع چگونگی مصرف آب را نیز مطرح می‌کند. به عبارت دیگر، باید مشخص شود که چرا شیوه مصرف باید به گونه‌ای باشد تا با کاهش بارش که در کشور ما امری طبیعی است، سطح زیر کشت تا این حد کاهش یابد؟ اگر مدیریت بهره‌برداری از منابع در مسیر درست حرکت می‌کرد، برنامه‌ریزی‌ها باید طوری انجام می‌شد که در سال‌هایی مانند ۸۶-۸۵ که مقدار بارش افزایش یافته بود، همه منابع آب به یکباره صرف افزایش سطح زیر کشت نمی‌شد و بخشی از منابع برای مصارف آینده نگهداری و ذخیره می‌شد. بنابراین، باید از به زیر کشت بردن بی رویه اراضی خودداری شود تا مفهوم رسیدن به پایداری در تولیدات کشاورزی جنبه عملی پیدا کند. بدیهی است که تغییر کاربری اراضی که خود یکی از مصادیق مدیریت نادرست بهره‌برداری از منابع به شمار می‌رود، نه تنها نیاز به صرف هزینه‌های سرمایه-گذاری برای احداث شبکه‌ها و سیستم‌های آبیاری نوین و استحصال آب دارد، بلکه هزینه‌های سالانه برای نگهداری و بهره‌برداری از این شبکه‌ها و سامانه‌ها نیز از پیامدهای آن به شمار می‌رود. افزون بر این که مصرف آب آبیاری به طور قابل توجهی افزایش یافته و راهکارهایی همچون کم آبیاری، آبیاری تکمیلی و گردآوری اصولی آب باران در کشت دیم مورد بی‌توجهی قرار گرفته است.



شکل ۳- تغییرات سطح زیر کشت گندم دیم و فاریاب استان فارس طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹

Figure 3. Changes of the cultivated area of dry and irrigated wheat in Fars province from 2000 to 2010



شکل ۴- تغییرات سطح زیر کشت گندم دیم و فاریاب در کل کشور طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹

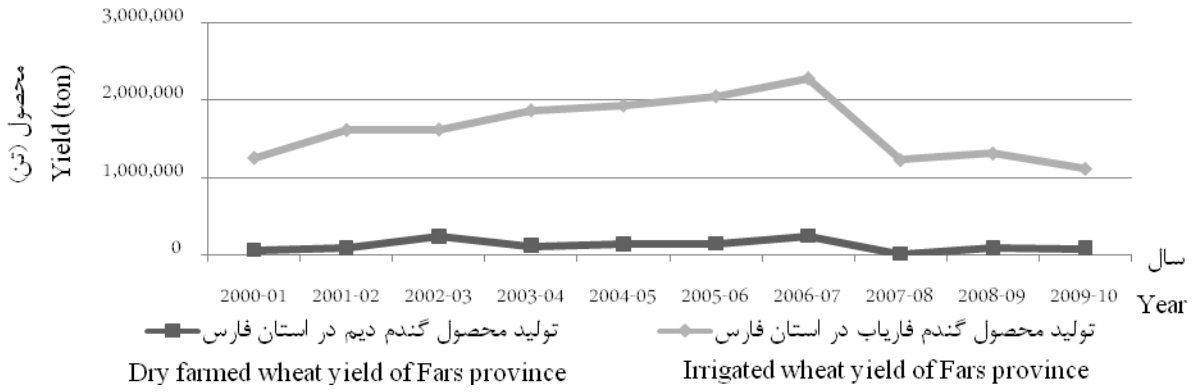
Figure 4. Changes of the cultivated area of dry and irrigated wheat in Iran from 2000 to 2010

تغییرات مقدار محصول گندم تولیدی به ترتیب در استان فارس و در کل کشور از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۸۹ به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ ارایه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار محصول گندم فاریاب استان فارس در ۷ ساله نخست دوره مورد بررسی، افزایشی ۸۲ درصدی داشت که به علت افزایش ۳۷ درصدی سطح زیر کشت فاریاب رخ داده است. این در حالی است که مقدار محصول گندم دیم این استان، با وجود کاهش سطح زیر کشت دیم، روندی تقریباً ثابت را طی کرده است (شکل ۵). این نتایج نشان می‌دهد که هر چند سهم سطح زیر کشت در تولید محصول مهم است، اما به اندازه سهم بارش و آب آبیاری موثر نیست. همان‌گونه که در نتایج مشاهده می‌شود، در بازه زمانی مورد مطالعه، سطح زیر کشت و مقدار کل محصول تولیدی در انتهای دوره تقریباً برابر با ابتدای دوره بود و تنها افزایش بی‌رویه سطح زیر کشت فاریاب و کاهش سطح زیر کشت دیم سبب شد تا مقدار مصرف آب آبیاری و هزینه‌های ناشی از آن به شدت افزایش یابد. این موضوع به روشنی ناکارآمدی تغییر کاربری اراضی از دیم به فاریاب را نشان می‌دهد. بر پایه شکل ۶، روند کلی تولید محصول گندم مشابه سطح زیر کشت است، اما در دو سال پایانی دوره مورد بررسی، با وجود روند افزایشی سطح زیر کشت فاریاب گندم، مقدار محصول فاریاب روندی کاهشی داشت که همین مساله سبب شد هزینه آب مجازی آبی در این دو سال به بالاترین مقدار خود در کل دوره مورد بررسی برسد. این موضوع خود شاهد دیگری بر مدیریت نادرست مصرف منابع آب و تغییر کاربری اراضی است.

صرف هزینه‌های گزاف برای تغییر کاربری اراضی و نیز افزایش مصرف آب، اگرچه ممکن است با افزایش تولید همراه باشد، اما در شرایطی که استفاده از راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب امری حیاتی است، به هیچ عنوان توجیه علمی، اقتصادی، زیست محیطی و عملی ندارد و هزینه‌هایی که با این تغییر کاربری به دولت و کشاورزان تحمیل می‌شود، قابل بازگشت نیست. بنابراین، بهترین راهکار از دیدگاه آب مجازی، تمرکز و تلاش برای افزایش سطح زیر کشت دیم، استفاده از روش‌های علمی صرفه‌جویی در استحصال آب مانند استفاده از سطوح آبگیر باران و نیز در بحث مصرف آب، روش‌هایی مانند کم‌آبیاری و کاربرد آبیاری تکمیلی در کنار کشت دیم است تا بتوان از این راه مقدار آب مجازی سبز را افزایش داد و با کاهش آب مجازی آبی، از تولید زهاب کاست و در هزینه‌های تولید نیز صرفه‌جویی کرد.

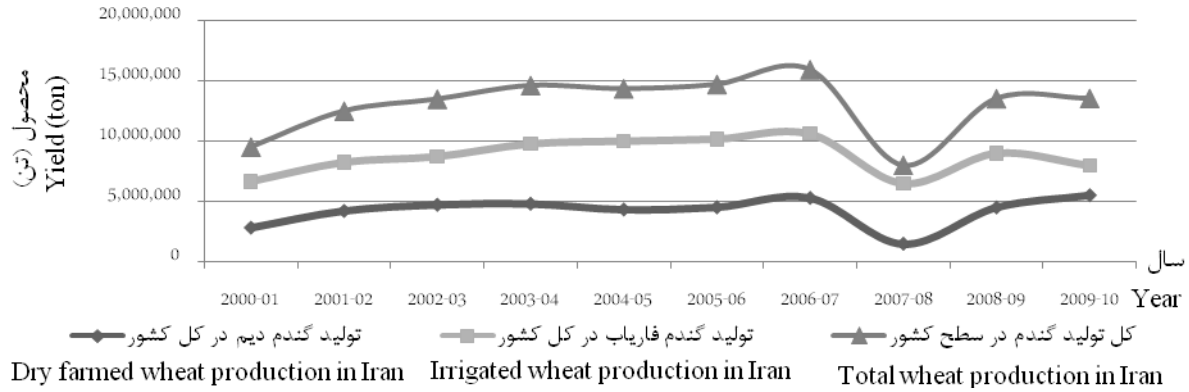
نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، می‌توان دریافت که تعیین دقیق مقدار آب مجازی سبز و آبی مستلزم تعیین مقدار آب آبیاری برای گندم است که آن نیز خود نیازمند داشتن داده‌های قابل اعتماد است. اگر امکان اندازه‌گیری دقیق آب آبیاری استفاده شده در مزارع وجود نداشته باشد، می‌توان از توابع تولید استفاده کرد.



شکل ۵- مقدار محصول تولیدی گندم فاریاب و دیم استان فارس طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹

Figure 5. Dry farmed and irrigated wheat production in Fars province from 2000 to 2010



شکل ۶- مقدار محصول تولیدی گندم فاریاب و دیم کل کشور طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹

Figure 6. Dry farmed and irrigated wheat production in Iran from 2000 to 2010

محاسبه آب‌های مجازی آبی و سبز و قیمت آب آبیاری این امکان را فراهم می‌آورد که حجم آب مصرفی و هزینه آن برای تولید واحد وزن گندم مورد توجه قرار گیرد. چنان‌که در پژوهش حاضر مشخص شد، حجم آب مجازی گندم در استان فارس به طور میانگین ۱۷ درصد کل آب مجازی گندم در سطح کشور و تولید این استان به طور میانگین ۱۱/۵ درصد کل تولید کشور است. بنابراین، اگرچه این استان طی ۹ سال از ۱۰ سال مورد مطالعه، بیشترین تولید گندم آبی را به خود اختصاص داد، اما مصرف آب بالایی نیز داشت.

استفاده از مفهوم آب مجازی و قیمت آب آبیاری، انجام تحلیل‌های اقتصادی را ساده‌تر کرده و این امکان را برای کارشناسان و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی فراهم می‌آورد که برنامه‌های خود را از دیدگاه اقتصادی تبیین کنند. از سوی دیگر، باید توجه داشت که تنها جنبه اقتصادی و صرفه جویی آب نباید ملاک عمل قرار گیرد و عوامل فرهنگی، اجتماعی، سیاسی و تحریم‌های موجود نیز باید در نظر گرفته شوند. بنابراین، هر چند از دیدگاه آب مجازی و صرفه‌جویی آب، به نظر می‌رسد که اگر بخشی از گندم وارد شود، در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود و هزینه‌ها کاهش می‌یابد، اما با توجه به اهمیت امنیت غذایی کشور، تحریم‌های موجود، کارآفرینی و مسایل اجتماعی مرتبط با آن، در هر حال تولید گندم در کشور در حد خودکفایی، امری نه تنها ضروری بلکه حیاتی است. نکته دیگری که تعیین آب مجازی آن را آشکار می‌سازد، تغییر کاربری اراضی است. همان‌گونه که از نتایج این پژوهش مشخص شد، آب مجازی سبز سهم اندکی از تولید را به خود اختصاص داده است. از آنجا که مقدار آب مجازی سبز و آبی به طور مستقیم به مقدار تولید و سطح زیر کشت بستگی دارد، لازم است که تغییرات سطح زیر کشت و تولید محصول مورد بررسی قرار گیرد.

References

Allan, J. A. 1997. Virtual Water: A long term solution for water short middle eastern economies? Paper Presented at the British Association Festival of Science, Water and Development Session, TUE.51, 14.45, 9. Roger Stevens Lecture Theatre, University of Leeds, London.

Arkley, R. J. 1963. Relationship between plant growth and transpiration. **Hilgardia** 34: 559-584.

Boggess, W., Lacewell, R. and Zilberman, D. 1993. Economics of water use in agriculture. Agricultural and Environmental Resource Economics. Oxford University Press, New York. pp: 319-372.

Chapagain, A. K., Hoeksra, A. Y. and Savenije, H. G. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. **Hydrology and Earth System Sciences** 10: 455-468.

Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. 2008. The global component of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. **Water International Journal** 33 (1): 19-32.

Cole, J. S. and Mathews, O. R. 1923. Use of water by spring wheat on the great plains under limited rainfall. USDA, Bureau of Plant Industry, Bulletin No, 1004.

De Wit, C. T. 1958. Transpiration and crop yields. Vol. 64.6. Versl. Handbook. Onderz. Institute of Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage, Wageningen, the Netherlands.

FAO. 1978. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Corporate Document Repository. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

Hanks, R. J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. **Agronomy Journal** 66: 660-665.

Hanks, R. J. and Rasmussen, V. P. 1982. Predicting crop production as related to plant water stress. **Advances in Agronomy Journal** 35: 193-215.

Hexem, R. W. and Heady, E. O. 1978. Water production functions for irrigated agriculture. Ames, IA, Iowa State University Press.

Hoekstra, A. Y. and Hung, P. Q. 2002. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11, IHE Delft.

Hoekstra, A. Y. and Hung, P. Q. 2005. Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. **Global Environmental Change Journal** 15: 45-56.

Hoff, H., Falkenmark, M., Gerten, D., Gordon, L., Karlberg, L., Rockström, J. 2010. Greening the global water system. **Journal of Hydrology** 384: 177-186.

Horlemann, L. and Neubert, S. 2007. Virtual water trade: A realistic concept for resolving the water crisis. German Development Institute Studies.

Jensen, M. E. 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T. T. (Ed.). Water deficits and plant growth. Vol. II. Academic Press, New York. pp: 1-22.

Karimi, A., Homaee, M. and Moezardalan, M. 2005. Uniformity of water and fertilizer distribution in drip-tape irrigation system. **Agricultural Science Journal** 5 (2): 53-67. (In Persian).

Karimi, A., Homaee, M., Moezardalan, M., Liyaghat, A. M. and Raiesi, F. 2006. Effect of fertigation on yield component and water use efficiency. **Agricultural Sciences and Technology Journal** 1 (21): 11-22. (In Persian).

Karimi, A., Moezardalan, M., Homaee, M., Liaghat, A. M. and Raiesi, F. 2007. Fertilizer use efficiency for sunflower with fertigation system. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science** 11 (40): 65-77. (In Persian).

Kiani, A. R., Mirlatifi, M., Homaee, M. and Cheraghi, A. M. 2005. Water use efficiency of wheat under salinity and water stress conditions. **Journal of Agricultural Engineering Research** 6 (24): 47-64. (In Persian).

Kiani, A. R., Mirlatifi, M., Homaee, M. and Cheraghi, A. M. 2006. Determination of the best water-salinity function for wheat production in North of Gorgan. **Journal of Agricultural Engineering Research** 6 (25): 1-14. (In Persian).

Letey, J. and Dinar, A. 2000. Simulated crop production functions for several crops when irrigated with saline waters. **Hilgardia** 54 (1): 1-32.

Mathews, O. R. and Brown, L. A. 1938. Winter wheat and sorghum productions in the Southern Great Plains under limited rainfall. United State Department of Agriculture, Washington DC, USA.

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.

Minhas, B. S., Parikh, K. S. and Srinivasan, T. N. 1974. Toward the structure of a production function for wheat yields with dated inputs of irrigation water. **Water Resources Research Journal** 10: 383-393.

Stewart, J. I., Hagan, R. M., Pruitt, W. O., Hanks, R. J., Riley, J. P., Danielson, R. E., Franklin, W. T. and Jackson, E. B. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Resource Laboratory Publication.

Vaux, H. J. Jr. and Pruitt, W. O. 1983. Crop-water production function. Advances in Irrigation. Vol. 2. Academic Press, Inc. pp: 61-95.

Yang, H. and Zehnder, A. 2007. Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management. **Water Resources Research Journal** 43 (12): 1-10. DOI: 10.1029/2007WR006048.

Young, R. A. 2005. Determining the economic value of water: Concepts and methods. Resources for the Future. Washington DC, USA.

Deriving crop production functions to estimate wheat virtual water and irrigation water price

Farimah Omidi[1] and Mehdi Homaee[2*]

1. Ph. D. Student, Dept. of Water Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 2. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran

(Received: April 28, 2014- Accepted: February 23, 2015)

Abstract

Wheat is one of the most strategic agricultural crops across the word and its production plays a significant role in human nutrition. Water resources scarcity and sequential droughts events in Iran are two challenging issues in providing water for strategic crops such as wheat. In the other hands, large amount of wheat is annually imported to the country which needs more attention to wheat virtual water and its economy. The objectives of this study were to determine the amount of green and blue virtual water of wheat, irrigation water price and virtual water flow in Iran and in particular in Fars province for ten consecutive years. Consequently, the cultivated areas, crop production and precipitation data were collected for the period of 2000 to 2010. The potential evapotranspiration of wheat for every province was obtained using NETWAT package. Calculating the actual evapotranspiration with FAO crop water production function, the effective rainfall as well as the blue and green virtual water and irrigation water price were determined. Results indicated that changing the land use from dry to irrigated farming and mismanagement of water and soil resources as well as disregarding the climate have increased the irrigated area, virtual blue water and costs being followed by decreasing dry farming cultivation area, virtual green water and crop yield in Fars province. Although the irrigated areas were increased in last two years in the country scale, the irrigated yield was reduced which increased virtual blue water and costs. There exists no scientific, economic, environmental and practical justification for such consequences and the costs which imposed on the government and people are not returnable.

Keywords: Changing land use, FAO crop production function, NETWAT, Wheat water requirement

*Corresponding author: mhomaee@modares.ac.ir