Archive of SID

حسابداری ردپای آب محصولات زراعی اصلی در استان فارس

نیلوفر اشک تراب[۱]* و منصور زیبایی[۲]

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۲۸

چکیده

وضعیت موجود منابع آب در ایران و روند گرایشات حاکم بر آن به خوبی ضرورت مدیریت تقاضا و تعدیل مصرف آب را نشان می‌دهد. در این راستا ایجاد حسابداری ردپای آب زمینه را برای شناسایی جریان‌های آب مجازی و اصلاح سیاست‌های تجاری فراهم می‌سازد. در این مطالعه ردپای آب برای شش محصول گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه‌فرنگی در سطح استان فارس محاسبه شد. نتایج نشان داد که بر اساس داده‌های سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، مجموع ردپای آب در تولید محصولات مورد مطالعه که نزدیک به ۶۰ درصد اراضی آبی و دیم استان فارس را تشکیل می‌دهند، حدود ۶/۶ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد که از این رقم حدود ۹۵ درصد مربوط به محصولات در چرخه آبی و حدود ۵ درصد (آب سبز) مربوط به محصولات دیم است. نزدیک به ۵۵ درصد (۳۶۱۳/۱۱ میلیون مترمکعب) از کل ردپای آب استان مربوط به تولید گندم آبی و دیم است. مجموع ردپای آب آبی و سبز برای محصولات گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه‌فرنگی به ترتیب معادل ۱۷۷۸، ۳۲۰، ۴۴۰، ۱۵۱، ۱۴۶ و ۱۴۷ میلیون مترمکعب است و در مجموع معادل با در حدود ۳ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد. سهم ردپای آب برای محصول گندم و جو آبی و دیم به ترتیب حدود ۲۰ درصد و افزون بر ۹۰ درصد می‌باشد در حالی‌که این نسبت برای شلتوک، ذرت دانه‌ای و چغندرقند کم‌تر از ۱ درصد است. بنابراین فرصت‌های زیادی برای بهبود بهره‌وری آب از راه افزایش عملکرد در هکتار به ویژه در اراضی تحت کشت گندم و جو وجود دارد. هم‌چنین، نسبت ردپای آب سفید+ خاکستری به کل ردپای آب برای محصولات مورد مطالعه به ترتیب ۴۷، ۴۹، ۶۱، ۶۱، ۶۰ و ۵۹ درصد است که به خوبی ضرورت بکارگیری سیستم‌های آبیاری کاراتر، کاهش تبخیر و تعرق غیرسودمند، تقلیل تلفات کود شیمیایی، استفاده موثرتر از باران، بهینه سازی تاریخ کاشت و انتخاب محصول و واریته های با عملکرد بالا را نشان می‌دهد. در نهایت، نتایج نشان دادند که دهستان‌های ایزدخواست شرقی و غربی واقع در شهرستان

[۱]- دانش آموخته دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

[۲] - استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

*- نویسنده مسئول مقاله:nilo.ashktorab@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

زرین دشت با توجه به شرایط آب وهوایی بالاترین و دهستان خنجشت در بخش مرکزی شهرستان اقلید کم‌ترین مجموع ردپای آب کشت گندم آبی را در سطح استان فارس به خود اختصاص داده‌اند.

طبقه بندی JEL:Q10 ، Q25، M40.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، اجزای ردپای آب، ردپای آب سفید، محصولات زراعی منتخب، دهستان، استان فارس.

پیش‌گفتار

توسعه اقتصادی-اجتماعی، رشد جمعیت و تغییر اقلیم چالش‌های عمده‌ای را برای پایداری و امنیت غذایی که یکی از مهمترین دغدغه‌های جوامع است، ایجاد کرده‌اند (Gleik, 1993; Vorosmarty et al., 2000). در این راستا، منابع آب که برای حیات بشر، معیشت پایدار و حفظ زیست‌بوم‌ها ضروری است تحت فشار واقع شده است. ایران یکی از مناطقی است که با محدودیت شدید آب روبرو است. سرانه آب در ایران در سال ۱۹۶۲، ۵۵۷۰ مترمکعب در سال بوده‌است که با یک روند بسیار نزولی به ۱۸۷۶ متر مکعب در سال ۲۰۰۸ و به ۱۶۴۴ متر مکعب در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته که در مقایسه با میانگین جهانی به مقدار ۶۲۲۵ متر مکعب، بسیار پایین است(Aquastat, 2010; World Bank, 2014). وضعیت موجود منابع آب در ایران و روند و گرایشات حاکم بر آن به خوبی ضرورت مدیریت تقاضا و تعدیل مصرف آب را نشان می‌دهد.

بخش کشاورزی، بخشی که بالاترین مصرف آب (۸۰ درصد کل مصرف) را داراست (Rost et al., 2008)، مرکز توجه برای کاهش مصرف آب واقع شده است. مهم‌ترین استراتژی برای ایجاد تعادل بین عرضه در حال کاهش و تقاضای در حال افزایش منابع آب، ارتقا بهره‌وری آب است. راههای متعددی جهت بهبود بهره‌وری و افزایش کارایی مصرف آب وجود دارد. در این میان، تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی مسیری برای بهبود کارایی جهانی مصرف آب از راه انتقال مجازی منابع آب به مناطق زیر استرس آبی است (Dalin et al., 2014)، چون کارایی استفاده از آب بین مناطق گوناگون، بسیار متفاوت است، تجارت بین المللی یا داخلی غذا می‌تواند حجم قابل توجهی از منابع آب را در سطح جهانی یا در سطح ملی صرفه‌جویی کند (Chapagain et al., 2006). آب استفاده شده در فرآیند تولید یک کالا، آب مجازی نامیده می‌شود. انتقال آب مجازی در شکل تجارت محصولات زراعی، دامی و صنعتی می‌تواند بعنوان ابزاری استراتژیک بمنظور افزایش دسترسی به آب در مناطقی که با محدودیت آب روبه‌رو هستند، بکار گرفته شود

www.SID.ir

Archive of SID

(Mubako, 2011) و افزون بر این، تجارت غذا ممکن است از راه تشویق مبادله آب مجازی از کشورهای با بهره‌وری بالای آب به کشورهای با بهره‌وری پایین‌تر، به صرفه‌جویی آب در مقیاس جهانی منتج شود (Dalin et al., 2014). در حقیقت از این راه برای هر واحد محصول، آب کم‌تری مصرف می‌شود (Chapagain et al., 2006). هرچند انتقال آب مجازی غیرمحتمل است که نابرابری در آب مصرفی جهانی را حل کند (Seekell et al., 2011)، اما می‌تواند آسیب‌پذیری اجتماعی را نسبت به خشکسالی تحت پاره‌ای از سناریوها کاهش دهد (D'Odorico et al., 2012). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که آب مجازی و تجارت آن مکانیزمی برای تخصیص مجدد آب میان مناطق با برخورداری متفاوت از منابع آب است. از راه تجارت محصولات آب‌بر می‌توان زمینه را برای تخصیص کاراتر آب به کاربردهای مفیدتر و مناسب‌تر در مناطق تحت استرس کم آبی فراهم ساخت (Mubako, 2011).

آب مجازی و ردپای آب معمولاً بصورت مترادف بکار گرفته می‌شوند در حالی‌که دارای تفاوت‌های قابل توجهی می‌باشند. اگر هدف از محاسبه ردپای آب، تنها محاسبه آب بکار گرفته شده برای تولید محصول باشد، می‌توان از محتوی آب مجازی یک محصول به جای ردپای آب صحبت کرد. اما مفهوم ردپای آب کاربرد گسترده‌ای دارد. برای مثال می‌توان ردپای یک مصرف‌کننده را با اندازه‌گیری ردپای آب کالاها و خدماتی که مصرف می‌کند، اندازه‌گیری کرد و یا در مورد ردپای یک تولیدکننده با نگاهی دقیق به ردپای کالاها و خدماتی که توسط او تولید می‌شود، صحبت کرد. علاوه بر این، مفهوم ردپای آب، مانند اصطلاح محتوی آب مجازی، تنها به حجم آب اشاره ندارد. در حقیقت ردپای آب یک شاخص چند بعدی است که نه تنها به حجم آب مورد استفاده توجه دارد که هم‌چنین، بر نوع آب مصرفی (تبخیر آب باران، آب سطحی و یا زیرزمینی و آلودگی آب) و محل و زمان مصرف آن در فرایند تولید، تاکید دارد (Chouchane et al., 2018).

واژه ردپای آب بخشی از یک مفهوم وسیع‌تر مشتمل بر ردپای اکولوژیکی، کربن و آب است که در دهه گذشته در علوم محیط زیستی توسعه یافته است. هر چند از لحاظ روش شناختی، بین ردپاهای گوناگون، شباهت‌های زیادی وجود دارد، اما هر کدام دارای ویژگی‌های خاص خود هستند که به عنصر یا ماده مورد تاکید آن‌ها بستگی دارد. در ردپای اکولوژیکی، استفاده از زمین و طبیعت (هکتار)، در ردپای کربن، مقدار گازهای گلخانه‌ای تولید شده (معادل دی اکسیدکربن به تن) و در ردپای آب، انواع آب مصرفی (مترمکعب در سال) مورد توجه می‌باشد (Casolani et al., 2016). ردپاهای اکولوژیکی، کربن و آب، در حالت‌های کلی معیارهای کمی هستند که توجه به محیط‌زیست یا فشار وارد بر محیط‌زیست را از سوی انسان نشان می‌دهند. در همین راستا ردپای

www.SID.ir

Archive of SID

آب، توجه انسان به منابع محدود آب شیرین در جهان را به‌دست می‌دهد و بنابراین، می‌تواند پایه‌ای را برای ارزیابی اثرات محصول و خدمات بر سیستم‌های آب شیرین و ایجاد استراتژی‌هایی برای کاهش این اثرات، فراهم سازد (Zhang et al., 2018). ردپای آب می‌تواند، شاخصی در ارزیابی چرخه زندگی[1] (LCA) یک محصول باشد. هر چند استفاده کردن در LCA، تنها یکی از کاربردهای فراوان ردپای آب است (Jefferies et al., 2012).

برای مشخص شدن ضرورت محاسبه انواع ردپای آب، باید اشاره کرد که مقدار در دسترس بودن آب شیرین در زمین به بارش باران بر آن بستگی دارد. بخشی از باران تبخیر می‌شود و بخش دیگری از راه آبخوان‌ها و رودخانه به اقیانوس‌ها می‌رود. هر دو جریان تبخیری و روانابی می‌توانند برای اهداف انسان، مفید باشند. جریان تبخیری می‌تواند برای رشد محصول و یا برای حفظ اکوسیستم‌های طبیعی بکار رود. ردپای آب سبز، بخشی از کل جریان تبخیری که برای اهداف انسان، اختصاص یافته است را نشان می‌دهد. رواناب‌ها (آب جاری شده در آبخوان‌ها و رودخانه‌ها) می‌توانند برای بسیاری از اهداف از جمله آبیاری، شستشو، فرآوری و خنک کردن، استفاده شوند. ردپای آب آبی، حجم آب‌های زیرزمینی و سطحی مصرف شده برای نیازهای انسان را نشان می‌دهد. ردپای آب خاکستری، حجم آب موجود در آبخوان‌ها و رودخانه‌ها که بوسیله انسان آلوده می‌شود را اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین ردپای آب سبز، آبی و خاکستری، انواع گوناگونی از تامین آب را سنجش می‌کنند(Lovarelli et al., 2018). در صورت لزوم می‌توان ردپای آب را به اجزای خاص‌تری تقسیم کرد. بعنوان مثال می‌توان ردپای آب آبی را به آب سطحی و زیرزمینی و ردپای آب خاکستری را بر اساس نوع آلودگی تقسیم‌بندی کرد. از آنجا که هر مترمکعب آب مصرف شده در فرایند تولید، دارای اهمیت یکسانی نیست، ایده وزن دادن به اجزای ردپای آب بر اساس اهمیت آن ها، از جذابیت زیادی برخوردار است. با توجه به مطالب اشاره شده، به خوبی ضرورت ایجاد حسابداری ردپای آب ملی[2] مشخص می‌شود. با فراهم کردن چنین داده‌های ارزشمندی، زمینه برای شناسایی جریان‌های آب مجازی کشور، مدیریت کارامد تقاضای آب، افزایش بهره وری انواع آب و اصلاح سیاست‌های تجاری فراهم خواهد شد(Ding et al., 2018). مطالعه حاضر که گامی در جهت تدارک و ایجاد حسابداری ردپای آب ملی است به بررسی و محاسبه اجزا ردپای آب شش محصول اصلی (گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه‌فرنگی) در دشت‌های عمده استان فارس پرداخته‌است. نتایج این مطالعه که در سایر استان‌های کشور نیز تکرار خواهد شد،

[1] -Life Cycle Assessment
[2]- National Water Footprint Accounting

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های لازم و کلیدی را برای بررسی‌های عمیق‌تر در زمینه تشخیص جریان‌های آب مجازی در ایران بدست خواهد داد.

مطالعات انجام شده در رابطه با آب مجازی و ردپای آب را در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان به دو گروه تفکیک کرد. گروه نخست را مطالعاتی تشکیل می‌دهند که به معرفی مفاهیم و چارچوب نظری پرداخته و روش‌های مورد نظر برای محاسبه آب مجازی و ردپای آب را پیشنهاد و توسعه داده‌اند. گروه دوم مطالعاتی را شامل می‌شود که مفاهیم و روش‌های ارائه شده در مطالعات گروه اول را برای بعضی از کشورها بکار گرفته و اقدام به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از محاسبات آب مجازی و ردپای آب نموده اند. در این قسمت سعی شده است که روند تکاملی موضوع در حد امکان تشریح شده و پاره‌ای از مطالعات تجربی مرور شود.

Allan (1998) برای نخستین بار مفهوم آب مجازی را برای توصیف حجم کل آب مصرفی در تولید محصولات کشاورزی معرفی کرد و ضرورت واردات محصولات آب بر را در مناطقی که با محدودیت آب روبرو هستند، پیشنهاد نمود. اما مفهوم ردپای آب نخستین بار توسط Hoekstra (2003) مطرح و بعداً توسط هوکسترا و چاپاگین در سال ۲۰۰۸ بطور مبسوط تشریح شده است. آب خاکستری به منظور سنجش آلودگی آب در قالب حجم آب آلوده بیان می‌شود (Hoekstra et al., 2011). این جز از ردپای آب برای اولین بار برای تحلیل ردپای آب گندم در مناطق گوناگون ایتالیا توسط آلدایا مورد استفاده قرار گرفت (Aldaya & Hoekstra, 2010). در ادامه Ababaei & Ramezani Etedali (2014) از چارچوب پیشنهادی Hoekstra et al. (2009) استفاده کردند و اصطلاح جدیدی با عنوان ردپای آب سفید را برای اراضی در چرخه تولیدات گندم آبی به عنوان شاخص تلفات آب[1] معرفی کردند و نشان دادند که کل ردپای آب ملی تولید گندم ایران در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ حدود ۴۲۱۴۳ میلیون مترمکعب در سال بوده است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان دادند که پژوهشات در زمینه ردپای آب سفید و خاکستری ضروری است و باید در محاسبه ردپای آب محصولات مورد توجه قرار گیرند. ردپای آب یک محصول به عنوان حجم آب شیرین مورد استفاده در تولید آن تعریف می‌شود و باید در زنجیره کامل عرضه اندازه‌گیری شود. این معیار اغلب به صورت حجم آب به ازای هر واحد تولید (مترمکعب بر تن) بیان می‌شود (Mekonnen & Hoekstra, 2011).

مطالعات بسیاری بر اهمیت استفاده مسئولانه از منابع آب تاکید دارند (Ababaei & Ramezani Etedali, 2014) و در این راستا شاخص ردپای آب، ابزاری است که داده‌های جالبی را برای سیاست‌گذاران و اقتصاددانان فراهم می‌کند و برای مدیریت منابع آب مفید است (Steen-

[1] Water Loss

www.SID.ir

Archive of SID

Rodriguez et al. (2015) بر اهمیت عملیات کشاورزی نظیر آبیاری و کوددهی بر ردپای آب محصولات کشاورزی تاکید می‌کنند (Olsen et al., 2012). ردپای آب می‌تواند از راه افزایش عملکرد در هکتار با بکارگیری سیستم‌های آبیاری کاراتر (نظیر آبیاری قطره‌ای)، کاهش تبخیر و تعرق غیرسودمند (با استفاده از مالچ)، کاهش تلفات کود شیمیایی، ارتقا استفاده موثر از باران، بهینه‌سازی تاریخ کاشت و انتخاب محصولات و واریته‌های با عملکرد بالا، کاهش یابد (Chukalla et al., 2015; Zhuo et al., 2016). در زمینه اهداف اجتماعی، ردپای آب به عنوان شاخصی برای تامین امنیت و پایداری آب استفاده شده است (Marano & Filippi, 2015)، و در حقیقت آب شیرین به مقدار کافی از لحاظ کمی و کیفی، پیش شرط لازم جوامع بشری و اکوسیستم‌های طبیعی است. با وجود اهمیت ردپای آب به عنوان یک شاخص پایداری زیست‌محیطی، این شاخص را می‌توان به عنوان یک ابزار جزیی همراه با شاخص‌های دیگر، به منظور بررسی دقیق‌تر سیاست‌های یکپارچه بکار گرفت (Perry, 2014).

آگاهی از اینکه چگونه منابع آب تخصیص داده شده، در فرایند تولید مصرف می‌شود، برای سیاستگذاران و مدیران منابع آب بسیار ارزشمند است. بسیاری از مطالعات بر آب مجازی و انتقال آن متمرکز شده‌اند (Hoekstra & Hung,2002 , 2005; Hoekstra & Chapagain, 2007,2008; Liu et al.,2007) و پاره‌ای از مطالعات بین آب سبز و آب آبی تفاوت قائل شده‌اند (Liu et al., 2007, 2009; Liu & Yang, 2010; Siebert & Doll, 2008, 2010; Gerbens- Leenes et al., 2009; Aldaya et al., 2010; Ababaei & Ramezani Etedali, 2014). در همین راستا، Zhuo et al.(2016) ، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری را در حوزه آبریز رودخانه زرد برای دوره های ۱۹۶۱-۲۰۰۹ تخمین زدند و نشان دادند که جمع ردپای آب آبی و سبز به دلیل بهبود عملکرد در هکتار کاهش یافته است، اما ردپای آب خاکستری به دلیل استفاده رو به رشد کودهای شیمیای، افزایش یافته است. هم‌چنین، آن‌ها نتیجه گرفتند که نسبت ردپای آب آبی به سبز به دلیل توسعه سطح زیر کشت آبی، افزایش یافته است.

در زمینه استفاده از داده‌های مورد نیاز برای محاسبه آب مجازی و ردپای آب نیز مطالعات به دو گروه قابل تفکیک هستند. گروه اول مطالعاتی هستند که داده‌های مورد نیاز خود را از پایگاه‌های جهانی داده‌ها بدست آورده‌اند (Fader et al., 2010; Hanasaki et al., 2010; Hoekstra & Hung, 2002; Lovarelli et al., 2016; Mekonnen & Hoekstra, 2011 Siebert & Doll, 2010, Wilchens, 2014). چنین مطالعاتی نیاز به داده‌های دقیق در رابطه با واردات و صادرات زیست توده هم‌چنین، مصرف آب در فصل رشد و محل تولید دارند. هر چند داده موجود در پایگاه داده‌های جهانی امکان تخمین‌های کلی جریان‌های تجاری محصولات کشاورزی را می‌دهد اما دقت و شفافیت این داده‌ها محدود است. در این رابطه Shtull & Bernstein (2018) اقدام به محاسبه و

www.SID.ir

Archive of SID

تجزیه و تحلیل ردپای آب با استفاده از دو پایگاه داده‌های منطقه‌ای با شفافیت و دقت بالا و دو پایگاه داده‌های جهانی برای کشور اشغالگر قدس کرده‌اند. نتایج بر اساس این دو نوع داده، بطور معنی‌داری متفاوت بوده‌اند که بیانگر اهمیت ایجاد پایگاه داده‌های دقیق و با شفافیت بالای منطقه‌ای برای محاسبه ردپای آب است.

بیش‌تر مطالعات انجام شده در زمینه آب مجازی و ردپای آب در ایران محدود به یک محصول خاص و یا یک منطقه کوچک بوده است (Dehghanpour & Bakhshoodeh, 2008; Babazadeh & Saraeitabrizi, 2012; Pourjafarinezhad et al., 2012; Omidi & Homaei, 2014; Arabiyazdi et al., 2014) که نمی‌تواند داده‌های دقیق در مورد چگونگی استفاده از منابع آب را به سیاست‌گذاران ارائه دهد. تنها تعداد کمی از مطالعات وجود دارد که بیش از یک محصول و تنوع فضایی آب و هوا، خاک و مدیریت را در نظر گرفته‌اند (Montazer et al., 2008; Ababaei & Ramezani Etedali, 2014, 2017).

در مطالعه حاضر با استفاده از چارچوب پیشنهادی Hoekstra et al.(2009) که Ababaei & Ramezani Etedali (2014) توسعه یافته و جزء ردپای آب سفید به آن اضافه شده است، ردپای آب برای شش محصول اصلی (گندم، جو، ذرت دانه ای، گوجه فرنگی، چغندرقند و برنج) با استفاده از داده‌های منطقه‌ای برای استان فارس، محاسبه شده‌است. تا کنون چنین مطالعه‌ای برای این تعداد محصول در استان فارس که از لحاظ کشاورزی، جایگاه بالایی در اقتصاد ایران دارد، انجام نشده است.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

استان فارس از مهم‌ترین مناطق زراعی کشور به حساب می‌آید، این استان همواره با دوره‌های خشکی و خشکسالی مواجه می‌باشد و مساله آب در این استان اهمیت بسیاری دارد. بخش کشاورزی استان فارس جایگاهی بسیار مهم در کشور دارد. در سال ۱۳۹۵، استان فارس با سهم ۹/۹ درصدی در ارزش افزوده بخش کشاورزی کشور، در رتبه دوم و پس از استان خوزستان قرار گرفته است. از آن‌جایی که آب به عنوان یکی از محدودکننده‌ترین نهاده‌ها جهت تولید بخش کشاورزی در کشور و استان فارس به شمار می‌آید، حفظ و تقویت جایگاه استان در کشور منوط به برنامه‌ریزی‌های بلندمدت جهت مدیریت تقاضای آب در این بخش است (Fars Province Governor Office,2017).

www.SID.ir

Archive of SID

منابع آبی استان فارس در دهه اخیر شاهد تحولاتی بوده است. میانگین بارش این استان در سال آبی ۹۴-۹۳ به ۲۱۰/۶ میلی‌متر رسیده است که بیانگر هشت ساله شدن دوره خشکسالی اخیر در استان فارس می‌باشد. کاهش بارش به عنوان تنها منبع تغذیه منابع آب تاثیر ناخوشایندی بر این منابع داشته است. کاهش آبدهی رودخانه‌ها سبب کاهش حجم ذخیره آبی سدها شده است. خشکیدگی تالاب‌ها نیز حاصل کاهش آبدهی رودخانه‌ها است به گونه‌ای که تقریبا تمام تالاب‌های استان خشک شده‌اند. افت شدید سطح آب زیرزمینی استان از دیگر پیامدهای کاهش بارندگی است به گونه‌ای که در بیش‌تر آبخوان‌های آبرفتی، افت سطح آب زیرزمینی بیش از یک متر بوده است. علاوه بر کاهش ذخایر آب زیرزمینی، افزایش شوری و کاهش کیفیت آب زیرزمینی سبب شده است که در ۹۹ دشت (واقع در ۷۷ محدوده مطالعاتی استان)، توسعه بهره‌برداری ممنوع شود که ۲۰ محدوده آن با استان‌های مجاور مشترک می‌باشد. در واقع، می‌توان گفت که در دشت‌های عمده و بزرگ استان، ممنوعیت توسعه بهره‌برداری اعلام شده است. ۸۸/۸ درصد از کل مصارف آبی از محل برداشت از منابع آب زیرزمینی و ۱۱/۲ درصد از محل برداشت از منابع آب سطحی بوده است و از مجموع تخلیه سالانه کل منابع آب استان، ۹۲/۶درصد در بخش کشاورزی، ۵/۳ درصد در بخش شرب و ۰/۷۳ درصد در بخش صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fars Meteorological Bureau, 2018). مسائل جاری منابع آبی استان فارس، اهمیت مطالعه ابعاد گوناگون اقتصادی و مدیریتی جهت تخصیص مطلوب‌تر این عامل حیاتی و ایجاد انگیزه برای صرفه‌جویی و جلوگیری از هدر رفت آب و در نتیجه افزایش راندمان مصرف آب را پررنگ‌تر می‌کند.

محاسبه اجزای ردپای آب

ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید برای محصولات مورد مطالعه در گستره استان فارس با بکارگیری چارچوب پیشنهادی Hoekstra & Chapagain (2008) و Hoekstra et al.(2009) که بوسیله Ababaei & Ramezani Etedali (2014) توسعه یافته است، برآورد شد. بدین منظور، ابتدا حجم مصرف آب (CWU) آبی و سبز از روابط زیر محاسبه شد:

$$CWU_{blue,\,Irr} = IR = 10 \times IE \times GI \quad (۱)$$

$$CWU_{green,\,Irr} = 10 \times P_{eff} = 10 \times (ET_C - IR) \quad (۲)$$

$$CWU_{blue,\,RF} = 0 \quad (۳)$$

$$CWU_{green,\,RF} = 10 \times P_{eff} \quad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

در روابط بالا، نیاز ناخالص آبیاری (GI برحسب میلی متر) و راندمان متوسط آبیاری (IE) در منطقه با استفاده از نرم افزار AGWAT بدست آمد. نیاز خالص آبیاری (IR بر حسب میلی متر) از حاصلضرب نیاز ناخالص آبیاری در راندمان متوسط آبیاری برحسب میلی متر محاسبه می‌شود. P_{eff} بارندگی موثر را نشان می‌دهد. در این روابط Irr و RF به ترتیب نشان دهنده شرایط فاریاب و دیم و ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از میلی‌متر به مترمکعب بر هکتار می‌باشند. ردپای آب سبز و آب آبی، بر حسب مترمکعب بر تن، از تقسیم آب مصرفی سبز و آبی بر مقدار محصول تولیدی محاسبه شد. از آنجایی که مقدار تولید محصول در شرایط ردپای فاریاب و دیم متفاوت می باشند، محاسبه اجزا ردپای آب با استفاده عملکرد محصول در شرایط فاریاب و دیم به‌صورت جداگانه صورت گرفت.

یکی دیگر از اجزای ردپای آب در تولید محصولات گوناگون، حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی کودهای کشاورزی هدررفته (با استفاده از رواناب یا نفوذ عمقی) است. در این پژوهش به پیروی از اغلب مطالعات نظیر مطالعه Chapagain et al. (2006) و Ababaei & Ramezani Etedali (2014) ، ردپای آب خاکستری تنها برای کودهای نیتروژن به عنوان مهمترین منبع آلودگی اراضی کشاورزی در ایران محاسبه شد. ردپای آب خاکستری در تولید محصولات گوناگون از روابط زیر محاسبه شد:

$$WF_{gray,\ Irr} = \frac{\alpha_{Irr} \times NAR_{Irr}}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y_{Irr}} \quad (۵)$$

$$WF_{gray,\ RF} = \frac{\alpha_{RF} \times NAR_{RF}}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y_{RF}} \quad (۶)$$

α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR (کیلوگرم بر هکتار) نرخ مصرف کود، C_{Max} (مترمکعب بر هکتار) غلظت بحرانی نیتروژن، C_{Nat} (کیلوگرم بر مترمکعب) غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده و Y عملکرد (تن بر هکتار) را نشان می‌دهد. مقادیر α در شرایط فاریاب و دیم بترتیب پنج و ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است (Chapagain et al., 2006). غلظت بحرانی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده نیز بر اساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ میلی گرم بر لیتر منظور شد. از آنجا که داده‌های دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر (فرض معمول) در نظر گرفته شد (Chapagain et al., 2006). ردپای آب سفید نیز بر اساس روش پیشنهادی Ababaei & Ramezani Etedali (2014) با استفاده از روابط زیر، برآورد شد:

$$WF_{white,\ Irr} = \left(\max 0, \frac{10 \times (GI - IR)}{Y_{Irr}} - WF_{gray,Irr}\right) \quad (۷)$$

$$WF_{white,\ RF} = 0 \quad (۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

پس از محاسبه اجزا ردپای آب برای دشت‌های گوناگون، مجموع هریک از این اجزا در سطح استان به صورت متوسط وزنی این مقادیر در شرایط فاریاب و دیم با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$WFV_{x,y} = Prod_{x,y} \times WF_{x,y} \quad (۹)$$

اندیس x، جز ردپای آب (آبی، سبز، خاکستری یا سفید) ، y شاخص نوع کشت (فاریاب یا دیم) ، Prod حجم تولید محصول و WFV حجم کل هر یک از اجزا ردپای آب می باشد.

بررسی روند تغییرات راندمان آبیاری، طی سال‌های گوناگون نشان داد که راندمان کاربرد آبیاری در دو دهه ۷۱-۸۰ و ۸۱-۹۰ و نیم دهه ۹۱-۹۴ به ترتیب ۵۲، ۴/ ۵۸ و ۵۸/۸ درصد بوده است. هم‌چنین، بررسی‌ها نشان داد راندمان انتقال و توزیع (به معنی تلفات آب در کانال‌های انتقال و توزیع) نیز در دهه‌های مذکور به ترتیب ۵۷۱/۱، ۶۱/۷ و ۷۴/۶ درصد بوده است. بدین ترتیب راندمان کل در دهه‌های یاد شده به ترتیب ۲۹/۷، ۳۶/۱ و ۴۳/۸ درصد برآورد می‌شود. به سخن دیگر، راندمان کل آبیاری از سال ۱۳۷۵ به بعد، سالانه حدود یک درصد رشد داشته‌است که این روند افزایشی مطابق مقادیر پیش‌بینی شده در اسناد بالادستی (برنامه‌های توسعه کشور) بوده است. از عوامل مهم و موثر بر افزایش راندمان در این دهه‌ها می‌توان به تجهیز و نوسازی اراضی، افزایش مقدار آگاهی و دانش بهره‌برداران به مسائل آب و خاک، گسترش شبکه‌های آبیاری، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، ترویج و انتقال یافته‌های پژوهشاتی به بهره‌برداران اشاره نمود (Agricultural Technical and Engineering Research Institute, 2015). با توجه به داده‌های بالا و هم‌چنین، جمع آوری نظرات کارشناسان خبره استان، در مطالعه حاضر، اجزا ردپای آب محصولات مورد مطالعه بر اساس راندمان آبیاری ۴۰ درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

اجزای ردپای آب محصولات مورد مطالعه

سطح زیرکشت گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه فرنگی حدود ۶۰ درصد اراضی آبی و و دیم استان فارس را به خود اختصاص داده است. داده‌های مورد نیاز تولید این محصولات در جدول (۱) آورده شده است. گندم با مجموع ۳۵۵ هزار هکتار و تولید ۱۱۷۳ هزار تن مهمترین محصول از نظر سطح زیرکشت در الگوی کشت منطقه محسوب می‌شود و محصول جو با

www.SID.ir

Archive of SID

مجموع ۱۰۹ هزار هکتار و تولید ۲۰۸ هزار تن در سال ۹۶-۱۳۹۵ در رتبه دوم تولیدات استان فارس قرار گرفته‌است.

جدول ۱- سطح زیرکشت، تولید و عملکرد محصولات منتخب در استان فارس در سال ۹۶-۱۳۹۵

Table 1- cultivation area, production and yield of selected products in Fars province in 2016-2017

محصول Crop	سطح زیرکشت (هکتار) Cultivation area (Hectare)			مقدار تولید (تن) Production rate (tons)			عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) Yield (Kg/he)	
	آبی Irrigated	دیم Rainfed	مجموع Total	آبی Irrigated	دیم Rainfed	مجموع Total	آبی Irrigated	دیم Rainfed
گندم Wheat	276552	78977	355529	1104314	69395	1173709	3993	878
جو Barley	57604	52360	109963	167601	41149	208750	2909	785.9
شلتوک Rice	25695	0	25695	134279	0	134279	5225	0
ذرت دانه‌ای Maize	18836	0	18836	158304	0	158304	8408	0
چغندر قند Sugar beet	13271	0	13271	659002	0	659002	49658	0
گوجه فرنگی Tomato	18428	0	18428	959848	0	959848	52088	0

ماخذ: وزارت کشاورزی (۱۳۹۵).

Source: Ministry of Agriculture (2016)

داده های جدول ۱ نشان می‌دهد که عملکرد گندم آبی در استان فارس حدود ۴ تن در هکتار می‌باشد در صورتی‌که عملکرد گندم دیم حدود ۰/۹ تن در هکتار است، در مورد محصول جو نیز در شرایط آبی عملکرد ۲/۹ تن در هکتار و در شرایط دیم حدود ۰/۸ تن در هکتار است. عملکرد در هکتار شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه‌فرنگی نیز به ترتیب در حدود ۵، ۸، ۵۰ و ۵۲ تن در

www.SID.ir

Archive of SID

هکتار می‌باشد. مقدار کود ازته مصرفی هر یک از محصولات زراعی منتخب در استان در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که از بررسی این جدول بدست می‌آید، بالاترین مقدار مصرف کود ازته با حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به محصول ذرت دانه‌ای است و کم‌ترین مقدار مصرف نیز با حدود ۱۵۸ کیلوگرم در هکتار در مزارع جو استان گزارش شده است.

جدول ۲- مقدار کود ازته مصرفی محصولات منتخب در استان فارس (کیلوگرم در هکتار) در سال ۹۶-۱۳۹۵

Table 2- The Nitrogen application rate of selected products in Fars province (kg per hectare) in 2016-2017

مقدار کود ازته Nitrogen application rate		محصول Crops
دیم Rainfed	فاریاب Irrigated	
39.02	242.97	گندم Wheat
12.18	157.89	جو Barley
-	400	شلتوک Rice
-	500.92	ذرت دانه‌ای Maize
-	315.08	چغندر قند Sugar beet
-	214.29	گوجه فرنگی Tomato

ماخذ: وزارت کشاورزی (۱۳۹۵).

Source: Ministry of Agriculture (2016)

بمنظور محاسبه ردپای آب محصولات منتخب در استان فارس، نیاز ناخالص آبیاری و تبخیر و تعرق با استفاده از نرم افزار AGWAT محاسبه شده‌است، بدین منظور داده‌های هواشناسی تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استان فارس نظیر دمای هوا، رطوبت، ساعت تابش خورشید و غیره از سازمان هواشناسی استان فارس جمع آوری و به عنوان داده‌های اولیه وارد نرم افزار AGWAT شده و با تعیین تاریخ کشت هر محصول در هر دشت و هم‌چنین، تعیین روش آبیاری هر محصول نیاز

www.SID.ir

Archive of SID

ناخالص آبیاری و تبخیر و تعرق هر محصول در هر دشت بدست آمده است و سپس با استفاده از داده‌های بدست آمده از نرم افزار مذکور نیاز خالص آبیاری با در نظر گرفتن راندمان ۴۰ درصدی آبیاری محصولات و بارندگی موثر محاسبه شده است. نسبت سطح زیرکشت هر دشت به کل سطح زیرکشت استان، وزن هر دشت را در محاسبه میانگین وزنی اجزا مصرف آب و ردپاهای گوناگون آب برای استان بدست داده است. میانگین نیاز ناخالص، تبخیر و تعرق و بارندگی موثر برای محصولات مورد مطالعه در جدول ۳ درج شده است. همانگونه که از بررسی این جدول استنباط میشود، هر چند بالاترین میانگین تبخیر و تعرق با حدود ۱۰۹۹ میلی‌متر در هکتار مربوط به چغندرقند است، اما میانگین نیاز ناخالص آبیاری برای شلتوک با حدود ۴۳۸۴ میلی‌متر در هکتار، بالاترین مقدار می‌باشد. کم‌ترین مقدار میانگین تبخیر و تعرق و نیاز ناخالص آبیاری نیز مربوط به محصول جو است و مطابق انتظار بالاترین میانگین بارندگی موثر نیز در تولید گندم و جو مشاهده شده است.

جدول ۳- اجزا مصرف آب در محصولات منتخب استان فارس (میلی متر)

Table 3- water consumption Components in selected products of Fars province (mm)

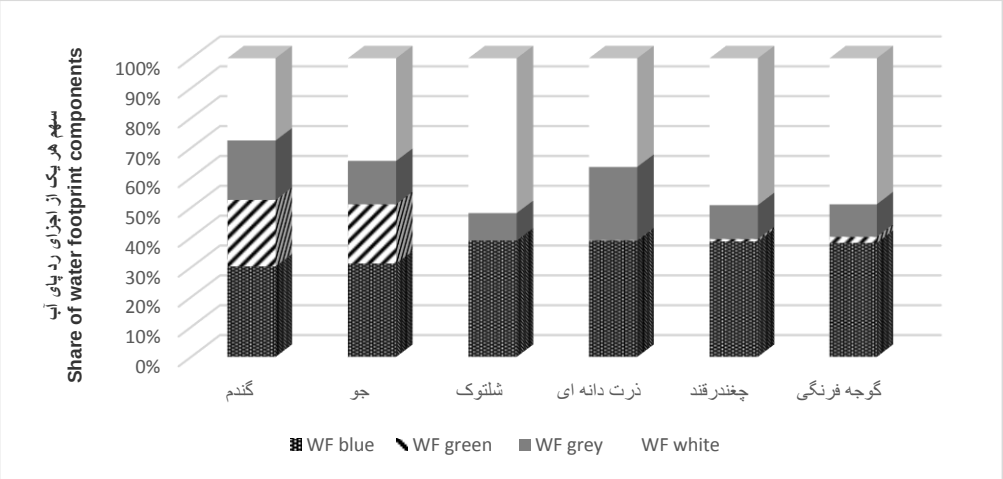
میانگین بارندگی موثر Average Effective rainfall	میانگین تبخیر و تعرق Average Evapotranspiration	میانگین نیاز ناخالص آبیاری Average gross irrigation requirement	محصول Crop
272.45	597.27	950.19	گندم Wheat
215.78	523.28	871.37	جو Barley
3.33	761.42	4384.41	شلتوک Rice
3.85	788.85	2041	ذرت دانه ای Maize
22.64	1098.73	2759	چغندر قند Sugar beet
40.93	789.53	1934.93	گوجه فرنگی Tomato

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research Finding.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- سهم هر یک از اجزای ردپای آب محصولات اصلی استان فارس در اراضی آبی با راندمان آبیاری ۴۰ درصد (مترمکعب بر هکتار)

Fig. 1- The share of the water footprint components of the main products of Fars province in irrigated lands with irrigation efficiency of 40% (cubic meters per hectare)

اجزا ردپای آب یعنی ردپای آبی، سبز، خاکستری و سفید در هکتار محصولات مورد مطالعه که هدف اصلی این مطالعه بوده است در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که از بررسی این جدول بدست می‌آید، بیش‌ترین ردپای آب با حدود ۴۴ هزار مترمکب در هکتار مربوط به محصول شلتوک است. پس از این محصول، چغندرقند، ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب با حدود ۲۸ هزار، ۲۰ هزار و ۱۹/۸ هزار مترمکعب در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. ردپای آب برای محصولات گندم و جو آبی نیز به ترتیب حدود ۱۲ و ۱۱ هزار مترمکعب در هکتار می‌باشد، لازم به تذکر است که در محاسبه ردپای آب، استراتژی تمام آبیاری در نظر گرفته می‌شود و تاکنون تاثیر اتخاذ استراتژی‌های کم آبیاری بر ردپای آب محصولات مورد توجه قرار نگرفته‌است. سهم هر یک از اجزا نیز در ردپای کل محصولات در شکل ۱ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۴- اجزا ردپای آب در محصولات منتخب آبی و دیم استان فارس (مترمکعب بر هکتار)

Table 4 - Water footprint components in selected water and rainfed products of Fars province (cubic meters per hectare)

ردپای آب (دیم) Water footprint (rainfed)			ردپای آب (فاریاب) Water footprint (irrigated)					محصول Crop
مجموع total	خاکستری gray	سبز green	مجموع total	سفید white	خاکستری gray	سبز green	آبی blue	
2919.64	195.1	2724.54	12226.4	3366.41	2429.7	2724.54	3705.71	گندم Wheat
2218.75	60.9	2157.85	10871.54	3736.45	1578.9	2157.85	3398.34	جو Barley
-	-	-	43877.38	22744.87	4000	33.33	17099.18	شلتوک Rice
-	-	-	20448.46	7440.9	5009.2	38.46	7959.9	ذرت دانه ای Maize
-	-	-	27816.36	13679.1	3150.8	226.36	10760.1	چغندر قند Sugar beet
-	-	-	19758.67	9660.19	2142.9	409.36	7546.24	گوجه فرنگی Tomato

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research Finding.

همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود سهم ردپای آب سبز درتولید هر هکتار از محصولات شلتوک، ذرت دانه‌ای و چغندرقند کم‌تر از یک درصد می‌باشد. در صورتی که سهم ردپای آب آبی در این سه محصول در هر هکتار بیش از ۴۰ درصد می‌باشد و ردپای آب سفید بین ۳۶ تا ۵۲ درصد (۳۶ ذرت دانه‌ای، ۴۹درصد چغندر قند و ۵۲ درصد شلتوک) می‌باشد. در رابطه با محصول گوجه‌فرنگی ردپای آب سبز ناچیز بوده و قابل چشم‌پوشی می‌باشد. اما در مقابل سهم ردپای آب سبز در تولید هر هکتار از گندم و جو به ترتیب با ۲۲-۲۰ درصد قابل توجه است. مطالعه Ababaei & Ramezani Etedali (2017) سهم ردپای آب آبی را برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای بالاتر از ۳۰ درصد و هم‌چنین، سهم ردپای آب سفید را ۱۵ تا ۳۰ درصد به ترتیب کم‌ترین برای گندم و بیش‌ترین برای جو به‌دست آورده است.

اجزا ردپای آب محصولات منتخب استان فارس، در اراضی آبی و دیم بر حسب مترمکعب بر تن در جدول ۵ آورده شده است. محصول گندم دارای ردپای آب آبی معادل ۹۲۸/۰۵ مترمکعب بر تن در استان فارس می‌باشد که این رقم نزدیک به ردپای آب آبی محاسباتی Ababaei & Ramezani

www.SID.ir

Archive of SID

Etedali (2017) است. مقدار ردپای آب خاکستری و سفید محاسبه شده در Ababaei & Ramezani Etedali (2017) بترتیب معادل ۴۵۲ و ۸۲۲ مترمکعب بر تن است، اما در مطالعه‌ی حاضر این ارقام ۶۰۸/۴۹ و ۸۴۳/۰۸ مترمکعب بر تن برآورد شده است که تفاوت در نتایج، ناشی از تفاوت در راندمان آبیاری در نظر گرفته شده در دو مطالعه می‌باشد. محصول جو در مقایسه با گندم در استان فارس از ردپای آب آبی و سفید بیش‌تری برخوردار است. مطالعهAbabaei & Ramezani Etedali (2017) ردپای آب آبی و سفید محصول جو را در استان فارس معادل ۹۷۰ و ۶۷۴ مترمکعب بر تن به ترتیب محاسبه نموده‌اند که در مقایسه با نتایج این مطالعه ارقام کم‌تری می‌باشند که این امر ناشی از راندمان آبیاری متفاوت در نظر گرفته شده در دو مطالعه می باشد.

بیش‌ترین ردپای آب سبز مربوط به محصول جو می‌باشد، محصولات ذرت‌دانه‌ای و چغندرقند کم‌ترین مقدار ردپای آب سبز را در میان محصولات منتخب استان فارس به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که مقدار بارندگی موثر که منشا ردپای آب سبز است برای این دو محصول کم‌تر از سایر محصولات می‌باشد.

جدول ۵- اجزا ردپای آب در محصولات منتخب آبی و دیم استان فارس (مترمکعب بر تن)

Table 5- Water footprint Components in selected water and rainfed products of Fars province (cubic meters per ton)

ردپای آب (دیم) Water footprint (rainfed)			ردپای آب (فاریاب) Water footprint (irrigated)					محصول Crop
مجموع total	خاکستری gray	سبز green	مجموع total	سفید white	خاکستری gray	سبز green	آبی blue	
3325.34	222.21	3103.13	3061.94	843.08	608.49	682.33	928.05	گندم Wheat
2823.19	77.49	2745.7	3736.43	1284.18	542.65	741.63	1167.97	جو Barley
-	-	-	8397.58	4353.08	765.55	6.38	3272.57	شلتوک Rice
-	-	-	2433.19	885.40	596.05	4.58	947.16	ذرت دانه ای Maize
-	-	-	560.15	275.47	63.45	4.56	216.68	چغندر قند Sugar beet
-	-	-	379.33	185.46	41.13	7.86	144.87	گوجه فرنگی Tomato

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research Finding.

www.SID.ir

Archive of SID

در بین اراضی آبی شلتوک و گوجه‌فرنگی با ۳۲۷۲/۵۷ و ۱۴۴/۸۷مترمکعب در تن به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ردپای آب آبی را در تولید محصول دارند. با توجه به جدول ۱ عملکرد آبی محصول گوجه‌فرنگی تقریبا ۱۰ برابر شلتوک در استان فارس می‌باشد و آب مورد نیاز برای آبیاری هر تن از این محصول در حدود ۱۰ برابر کم‌تر از محصول شلتوک می‌باشد. البته، درصد ماده خشک این دو محصول نیز بسیار متفاوت است.

مقدار ردپای آب سفید محصولات شلتوک، چغندرقند و گوجه فرنگی به مجموع کل ردپای آب در هر تن این محصولات سهمی در حدود ۵۰ درصد است که این امر بیانگر مدیریت مشابه زراعی این محصولات و هم‌چنین، تلفات بالای آب در تولید این محصولات می‌باشد، به عبارت دیگر راندمان آبیاری در محصولات گوناگون یکسان است. بنابراین بالاترین مقدار تلفات آبیاری با توجه به راندمان ۴۰ درصدی مربوط به این سه محصول می‌باشد.

ردپای آب خاکستری به منظور رقیق سازی مقدار کودهای رها شده در طبیعت[1] استفاده می‌شود و در مطالعه حاضر این رقم برای محصول شلتوک بیش‌ترین مقدار و برای گوجه‌فرنگی از کم‌ترین مقدار برخوردار بوده است. با توجه به جدول ۲ مقدار کود ازته مورد استفاده برای محصول گوجه‌فرنگی کم‌تر از سایر محصولات بوده و عملکرد آن با توجه به جدول ۱ بیش‌تر از سایر محصولات است.

در اراضی دیم سهم آب سبز نسبت به آب خاکستری بسیار بیش‌تر است که دلیل عمده آن، انطباق دوره‌ی رشد این محصولات با دوره‌ی بارندگی و استفاده محدودتر از کودهای ازته در سطح اراضی دیم در مقایسه با اراضی آبی می‌باشد. گندم و جو دیم دارای سهم ردپای آب سبز و خاکستری به ترتیب ۹۸ و ۲ درصد است. ردپای آب برای هر تن گندم و جو دیم از ردپای هر تن گندم و جو آبی بیش‌تر است که دلیل عمده آن تفاوت چشمگیر عملکرد در هکتار دیم و آبی و سهم قابل توجه آب سبز در کل ردپای آب است.

مجموع ردپای آب در تولید محصولات مورد مطالعه در استان فارس از راه حاصلضرب سطح زیرکشت یا مقدار تولید به‌ترتیب در ردپای هر هکتار یا هر تن محصول محاسبه و در جدول ۶ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود مجموع ردپای آب در تولید محصولات مورد مطالعه بر اساس سطح زیرکشت و تولید سال ۱۳۹۵، حدود ۶۶۰۰ میلیون مترمکعب یا ۶/۶ میلیاردمترمکعب در سال می‌باشد. از این رقم حدود ۶۲۵۴ میلیون مترمکعب (۹۵ درصد) مربوط به محصولات در چرخه آبی و حدود ۳۴۷ میلیون مترمکعب (۵ درصد) مربوط به محصولات دیم است. حدود ۵۵ درصد (۳۶۱۳/۱۱ میلیون مترمکعب) از کل ردپای آب محصولات مورد مطالعه مربوط به

[1] -N-Loss

www.SID.ir

Archive of SID

تولید گندم آبی و دیم است که بالاترین سهم را در الگوی کشت استان به خود اختصاص داده است. با توجه به اینکه استان فارس همواره در تحویل گندم مازاد به دولت حائز رتبه اول یا دوم بوده است، این موضوع فشار وارد بر منابع آب استان را به دلیل نقش استان در نیل به هدف ملی خودکفایی در تولید گندم به خوبی نشان می‌دهد و ضرورت توجه مسئولان را در زمینه تامین مالی برای مقابله با پیامدهایی که امروز استان در زمینه منابع آب با آن روبه‌روست به خوبی نشان می‌دهد.

جدول ۶- مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات منتخب آبی و دیم در استان فارس (میلیون مترمکعب)

Table 6- Total volume of water footprint in the production of selected water and rainfed products in Fars province (million cubic meters)

ردپای آب (دیم) Water footprint (rainfed)			ردپای آب (فاریاب) Water footprint (irrigated)					محصول Crop
سبز green	آبی blue	سبز	سبز green	آبی blue	خاکستری	سبز green	آبی blue	
230.76	15.42	215.34	3381.35	931.02	671.96	753.51	1024.86	گندم Wheat
116.17	3.18	112.98	626.23	215.23	90.94	124.29	195.75	جو Barley
–	–	–	1127.62	584.53	102.80	0.86	439.44	شلتوک Rice
–	–	–	385.18	140.16	94.36	0.72	149.94	ذرت دانه ای Maize
–	–	–	369.14	181.53	41.81	3.01	142.79	چغندر قند Sugar beet
–	–	–	364.10	178.01	39.49	7.54	139.06	گوجه فرنگی Tomato

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research Finding

در اراضی آبی، بیش از ۳۵ درصداز مجموع حجم ردپای آب در تولید محصولات مهم سهم حجم ردپای آب سفید می‌باشد. سهم تلفات آبیاری در منطقه حدود ۲۲۳۰/۴۸ میلیون مترمکعب در سال یعنی در حدود ۳۳ درصد از کل حجم ردپای آب دشت فارس می‌باشد که برای دشت‌هایی که با بحران کم آبی مواجه هستند، قابل توجه است. هم‌چنین، سهم حجم ردپای آب خاکستری که سهم محیط زیست بشمار می‌رود در اراضی دیم و آبی حدود ۵ و ۱۸ درصد است.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به این‌که گندم به عنوان محصولی استراتژیک با مجموع ۳۵۵ هزار هکتار سطح زیر کشت در استان فارس مهم‌ترین محصول در سطح استان می‌باشد، در این مطالعه به بررسی ردپای آب هر هکتار گندم در دهستان‌های استان پرداخته و دهستان‌های با بیش‌ترین ردپای آب در تولید هر هکتار گندم آبی شناسایی شده‌است. در جدول ۷ دهستان‌هایی که بیش‌ترین ردپای آب در تولید گندم آبی را داشته‌اند، نشان داده شده‌است. این داده‌های می‌تواند در تخصیص بهینه منابع به محصولات گوناگون و رسیدن به بالاترین بهره‌وری آب برای هر مترمکعب آب، مورد استفاده قرار گیرد. مقدار آب مورد نیاز گیاه برای جبران تلفات تبخیر و تعرق گیاه است بنابراین، مقدار آب مورد نیاز گیاه وابسته به تبخیر و تعرق است. از آنجا که شرایط اقلیمی از جمله تبخیر و تعرق، تابش خورشید، دمای هوا، سرعت باد متفاوت است بنابراین نیاز آبی گیاه که برآیند این عوامل اقلیمی و شرایط رشد گیاه است نیز متفاوت خواهد بود. در استان پهناور فارس نیز دهستان‌هایی وجود دارند که میانگین ردپای آب برای هر هکتار از محصولات تولیدی آن‌ها از جمله گندم از میانگین ردپای آب استان برای محصولات بالاتر است.

جدول ۷- مجموع حجم ردپای آب هر هکتار گندم آبی در دهستان‌های استان فارس که بالاترین مقدار ردپای آب را در هر هکتار گندم دارا می باشند (مترمکعب بر هکتار)

Table 7- Total volume of water footprint per hectare of irrigated wheat in the rural district of Fars province, which have the highest amount of water footprint per hectare of wheat (cubic meters per hectare)

رتبه Rank	مجموع ردپای آب Total Water footprint	دهستان Rural District	بخش County	شهرستان City
1	14460	ایزدخواست شرقی East Izadkhast	ایزد خواست Izadkhast	زرین دشت Zarrin Dasht
1	14460	ایزدخواست غربی West Izadkhast		
2	14090	آباده طشک Abadeh Tashk	آباده طشک Abadeh Tashk	نیریز Neiriz
2	14090	بختگان Bakhtegan		
2	14090	حناء Hana		
2	14090	ده چاه Deh chah		
2	14090	مشکان Meshkan		

www.SID.ir

Archive of SID

3	13985	حومه Homeh		
3	13985	درز و سابیان Darz o sayeban	مرکزی Markazi	لارستان Larestan
3	13985	دهکویه Dehkoyeh		
4	13672	خرمی Khorami	مرکزی Markazi	خرم بید Khorambid
4	13672	قشلاق Gheshlagh		
5	13320	جلگاه Jolgah	مرکزی Markazi	جهرم Jahrom
5	13320	کوهک Kohak		
6	12855	خیر Khir	رونیز Roniz	استهبان Estahban
6	12855	ایج Eij	مرکزی Markazi	
7	12674	باغستان Baghestan	مرکزی Markazi	بوانات Bavanat
8	12543	بختاجرد Bakhtajerd		
8	12543	بالش Balesh		
8	12543	پاسخن Paskhan	مرکزی Markazi	داراب Darab
8	12543	فسارود Fasarood		
8	12543	نصروان Nasravan		
8	12543	هشیوار Hashivar		

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research Finding

همان‌گونه که از بررسی جدول ۷ بدست می‌آید. ردپای آب هر هکتار گندم در شهرستان زرین دشت معادل ۱۴۴۶۰ مترمکعب در یک سال زراعی است که بالاترین رقم در کل استان است. این شهرستان پس از شهرستان‌هایی لامرد و لار، بالاترین سطح دما و هم‌چنین، پس از شهرستان‌های

www.SID.ir

Archive of SID

نی‌ریز و داراب بیش‌ترین ساعات تابش آفتاب در استان را دارد Fars Meteorological Bureau, (2018). هم‌چنین، شهرستان زرین‌دشت جز چهار شهرستان با بیش‌ترین سطح تبخیر در استان فارس می‌باشد (Fars Meteorological Bureau, 2018). مجموع این عوامل باعث شده‌است که نیاز آبی ناخالص هر هکتار محصول گندم در دهستان‌های ایزدخواست شرقی و غربی بالا باشد.

دهستان‌های واقع در شهرستان‌های نیریز، لارستان، خرم‌بید، جهرم، استهبان، بوانات و داراب پس از زرین‌دشت بیش‌ترین ردپای آب در تولید گندم آبی را دارند. تبخیر و دمای بالا در شهرستان‌های مذکور از عوامل تاثیرگذار بر افزایش ردپای آب گندم آبی می‌باشد. درصد تلفات آبیاری یا سهم ردپای آب سفید در این دهستان‌ها بین ۳۰ تا ۴۲ درصد است که دهستان‌های شهرستان زرین دشت با ۴۲ درصد سهم ردپای آب سفید، بیش‌ترین تلفات آبیاری را در بین سایر مناطق به خود اختصاص داده‌اند. دهستان‌های آباده طشک، بختگان، حنا، ده چاه و مشکان در بخش آباده طشک شهرستان نیریز با ردپای آب گندم آبی ۱۴۰۹۰ مترمکعب در هکتار رتبه دوم را در بین دهستان‌های استان فارس به خود اختصاص داده‌اند. دهستان‌های واقع در شهرستان داراب کم‌ترین سهم تلفات آبیاری در حدود ۳۰ درصد در تولید گندم آبی را دارند.

دهستان خنجشت در بخش مرکزی شهرستان اقلید کم‌ترین مقدار ردپای آب معادل با ۷۰۵۰ مترمکعب در هکتار و دهستان‌های واقع در بخش مرکزی و بخش همایجان شهرستان سپیدان ردپای آب در کشت گندم آبی معادل با ۹۵۵۰ مترمکعب بر هکتار را دارا می‌باشند. با توجه به این‌که شهرستان‌های اقلید و سپیدان در منطقه معتدل و سرد استان فارس واقع شده و از تبخیر و تعرق کم‌تری برخوردار است، کم بودن ردپای آب کشت گندم آبی قابل توجیه است. دهستان‌های کامفیروز جنوبی و شمالی واقع در بخش کامفیروز شهرستان مرودشت با مجموع ردپای آب کشت گندم آبی معادل با ۱۱۲۷۰ مترمکعب بر هکتار سومین منطقه با ردپای آب کم در کشت گندم آبی در استان فارس می‌باشند.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت حسابداری ردپای آب در فراهم کردن داده‌های لازم برای مدیریت کارآمد منابع آب، در مطالعه‌ی حاضر به بررسی ردپای آب برای محصولات گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه‌فرنگی در استان فارس پرداخته شده‌است. در این پژوهش، علاوه بر ردپای آب سبز و آبی که اهمیت زیادی در تولید محصولات کشاورزی دارند، اجزاء آب خاکستری و سفید نیز برای محصولات منتخب استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که در میان محصولات مذکور بیش‌ترین ردپای آب مربوط به محصول شلتوک با مجموع

www.SID.ir

Archive of SID

ردپای آب معادل ۴۳۸۷۷/۳۸ مترمکعب بر هکتار می‌باشد که سهم ردپای آب آبی (آب آبیاری) برای این محصول بیش از ۴۰ درصد است. ردپای آب سفید که تلفات آبیاری را نشان می‌دهد در محصولات شلتوک، چغندرقند و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۲۲۷۴۴/۸۷، ۱۳۶۷۹/۱ و ۹۶۶۰/۱۹ مترمکعب بر هکتار می‌باشد که نشان دهنده حجم بالای تلفات آبیاری در این محصولات است. از این رو می‌توان دریافت که افزایش بهره‌وری آب یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. در این راستا چالش‌های تشدید کننده محدودیت منابع آبی، شامل تغییر اکوسیستم، افزایش آلودگی، افزایش جمعیت، توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، رشد شهرنشینی و فقر منابع مالی پارامترهای مهم و اساسی بشمار می‌روند.

مجموع ردپای آب برای محصول گندم در استان فارس معادل با ۱۲۲۲۶/۴ مترمکعب بر هکتار می‌باشد. با توجه به اینکه که گندم محصولی استراتژیک است و بیش‌ترین سطح زیرکشت را در استان دارد، در این مطالعه دهستان‌هایی با بیش‌ترین مجموع ردپای آب در کشت گندم آبی شناسایی شدند. نتایج نشان دادند که دهستان‌های ایزدخواست شرقی و غربی واقع شده در بخش ایزدخواست شهرستان زرین‌دشت بیش‌ترین ردپای آب گندم آبی را دارند که با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه که منجر به افزایش آبیاری (آب آبی) و از سوی دیگر افزایش تلفات آبیاری (آب سفید) شده است، بالا بودن ردپای آب در تولید آبی این محصول قابل توجیه می‌باشد. دهستان خنجشت در بخش مرکزی شهرستان اقلید کم‌ترین مقدار ردپای آب کشت گندم آبی معادل با ۷۰۵۰ مترمکعب در هکتار را دارد.

ردپای آب می‌تواند از راه افزایش عملکرد در هکتار با بکارگیری سیستم‌های آبیاری کاراتر (نظیر آبیاری قطره‌ای)، کاهش تبخیر و تعرق غیرسودمند (با استفاده از مالچ)، تقلیل تلفات کود شیمیایی، ارتقا استفاده موثر از باران، بهینه‌سازی تاریخ کاشت و انتخاب محصولات و واریته‌های با عملکرد بالا، کاهش یابد. واضح است که بهبود مدیریت زراعی و آبیاری تکمیلی در اراضی منطقه باعث کاهش ردپای آب سبز و افزایش بهره‌وری بارش در تولید محصولات دیم منطقه و هم‌چنین، افزایش کارایی آب آبی و کاهش تلفات آبیاری در اراضی آبی منطقه (آب سفید) خواهد شد. راه بهره برداری از آب سبز، تولید محصولات دیم است. در سال‌های اخیر با ظهور مفهوم آب مجازی و درک نقش تجارت موادغذایی در توزیع دوباره منابع آب و شناسایی استعداد مناطق در تولید محصولات با شاخص‌های کمی جدید، مدیریت آب سبز آسانتر شده است لذا در کنار بهبود راندمان آبیاری، استفاده از ردپای آب می‌تواند به بهره‌برداری بهینه از آن کمک نماید. در مجموع می‌توان از ردپای آب بمنظور سیاستگذاری‌های منابع آب، سیاستگذاری‌های مرتبط با بخش کشاورزی،

www.SID.ir

Archive of SID

سیاستگذاری‌های بخش محیط زیست و طرح الگوی تبادلات ملی و درون مرزی تولیدات صنعتی و کشاورزی استفاده کرد.

Refrences

- Ababaei, B. and Ramezani Etedali, H. (2014). Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. *Journal Environmental Process*, *1*:193-205.
- Ababaei, B. and Ramezani Etedali, H. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agriculture Water Management*, *179*: 401-411.
- Agricultural Technical and Engineering Research Institute. (2015). Improving water productivity. Agricultural Education and Extension Research Organization, Authors: Abbasi, F. Naseri, A. Sohrab, F. Baghani, J. Abbasi, N. and Akbari, M. (In Persian).
- Allan, J.A. (1998). Fortunately, There Are Substitutes for Water: Otherwise Our Hydro Political Futures Would Be Impossible. Overseas Development Administration, London (United Kingdom).
- Aldaya, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010). The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agricultural System*, *103*:351–360.
- Aquastat. (2010). FAO Aquastat China Country Profile. Retrieved from http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries regions/Iran/index.stm
- Arabiyazdi, A. Niknia, N. Majidi, N. and Emami, H. (2014). Evaluating water security in dry regions from the perspective of water footprint index (case study: South Khorasan). *Journal of Irrigation and Drainage*, *8*(4): 735-746. (In Persian)
- Babazadeh, H. and Saraeiabrizi, M. (2012). Assessing the agricultural situation of Hormozgan province from the perspective of virtual water. *Journal of Water Research in Agriculture*, *26*(4):485-499. (In Persian)
- Casolani, N. Pattara, C. & Liberator, L. (2016). Water and Carbon footprint perspective in Italian durum wheat production. *Land Use Policy*, *58*: 394–402.
- Chapagain, A. K. Hoekstra, A. Y. & Savenije, H. H. G. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, *10*:455–468.
- Chouchane, H. Krol, M.S. & Hoekstra, A.Y. (2018). Virtual water trade patterns in relation to environmental and socioeconomic factors: A case study for Tunisia. *Science of the Total Environment*, *613–614*:287–297.
- Chukalla, A.D. Krol, M.S. & Hoekstra, A.Y. (2015). Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. *Hydrology and Earth System Sciences*, *19*: 4877–4891.
- Dalin, C. Hanasaki, N. Qiu, H. Mauzerall, D. L. & Rodriguez-Iturbe, I. (2014). Water resources transfer through Chinese interprovincial and foreign food trade.

www.SID.ir

Archive of SID

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, *111*(27): 9774–9779.
- Dehghanpour, H. & Bakhshoodeh, M. (2008). Investigating the limiting aspects of virtual water in Marvdasht region. *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, *8*:87-95. (In Persian)
- Ding, N. Liu, J. Yang, J. & Lu, B. (2018). Water footprints of energy sources in China: Exploring options to improve water efficiency. Journal of Cleaner Production, *174*: 1021-1031.
- D'Odorico, P. Carr, J. Laio F. & Ridol, L. (2012). Spatial organization and drivers of the virtual water trade: a community-structure analysis. *Environmental Research Letter*, *7*(3):034007.
- Fader, M. Rost, S. Muller, C. Bondeau, A. & Gerten, D. (2010). Virtual water content of temperate cereals and maize: present and potential future patterns. *Journal of Hydrology*, *384* (3–4):218–231.
- Fars Meteorological Bureau. (2018). Statistics and information, maps and tables and climatic classification of -Fars province. (In Persian)
- Fars Province Governor Office. (2017). General and economic appearance of Fars province. Deputy for Economic Affairs and Resource Development Coordination, Investment Attraction and Support Office. (In Persian)
- Gleik, P. H. (1993). Water Conflict. *Fresh Water Resources and International Security*, *18*(1): 79-112.
- Gerbens-Leenes, W. Hoekstra, A.Y. & van der Meer, T.H. (2009). The water foot print of bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106* (25): 10219–10223.
- Hanasaki, N. Fujimori, S. Yamamoto, T. Yoshikawa, S. Masaki, Y. Hijioka, Y. Kainuma, M. Kanamori, Y., Masui, T. & Takahashi, K. (2013b). A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways–Part 2: Water availability and scarcity. *Hydrology and Earth System Sciences*, *17*(7): 2393-2413.
- Hoekstra, A.Y. & 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.
- 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.
- Hoekstra, A.Y. & Hung, P.Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, *15*(1): 45-56.

www.SID.ir

Archive of SID

- Hoekstra, A. Y. & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, *21*:35-48.
- Hoekstra, A.Y. & Chapagain, A. K. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, *UK*.
- 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.
- Hoekstra, A.Y. Chapagain, A.K. Aldaya, M.M. & Mekonnen, M.M. (2011). The water footprint assessment manual: setting the global standard, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
- Jefferies, D. Muñoz, I. Hodges, J. King, V.J. Aldaya, M. Ercin, A. E. Milà i Canals, L. & Hoekstra, A.J. (2012). Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points frm pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*, 33: 155-166.
- Liu, J. Zehnder, A. J. B. & Yang, H. (2007). Historical trends in China's virtual water trade, Water International, *32*(1): 78–90.
- Liu, J. Zehnder, A.J.B. & Yang, H. (2009). Global consumptive water use for crop production: the importance of green water and virtual water. *Water Resource Reservation*, 45: W05428.
- 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.
- Lovarelli, D. Bacenetti, J. & Fiala, M. (2016). Water footprint of crop productions: a review. *Science of the Total Environment*, *548–549*: 236–251.
- Lovarelli, D. Ingrao, C. Fiala, M. & Bacenetti, J. (2018). Beyond the Water Footprint: A new framework proposal to assess freshwater environmental impact and consumption. *Journal of Cleaner Production*, *172*: 4189-4199.
- Marano, R.P. & Filippi, R.A. (2015). Water Footprint in paddy rice systems. Its determination in the provinces of Santa Fe and Entre Ríos, Argentina. *Ecological Indicator*, *56*:229–236.
- Mekonnen, M.M. & Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 1: Main Report, Research Report Series No. 48
- Ministry of agriculture-Jahad. (2016). http://www.maj.ir
- Ministry of Agriculture, Deputy Minister of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. (2016). Agricultural Statistics, Crop Year 1394-95, Volume One: Crop Products. Ministry of Agriculture Publications. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

- Montazer, A. A. Zadbagher, A. & Heidari, N. (2008). Development of virtual water evaluation model of irrigation networks using hierarchical analysis process. *Journal of Water and Soil*, *33*(4): 77-89. (In Persian)
- Mubako, S. T. (2011). Frameworks for estimating virtual water flows among U.S. states (Doctoral Dissertations, University of Carbondale).
- Omidi, F. & Homaei, M. (2014). Deriving Crop Production Functions to Estimate Wheat Virtual Water and Irrigation Water Price. *Cereal research, 5*(2):131-143. (In Persian)
- Perry, C. (2014). Water footprints: path to enlightenment, or false trail?. *Agricultural Water Management*, *134*:119–125.
- Pourjafarinezhad, A. Alizadeh, A. & Neshat, A. (2012). Investigating the ecological footprint of water and virtual water characteristics in pistachio and date products in Kerman province. *Irrigation and Water Engineering of Iran, 4*(13):80-89. (In Persian)
- Rodriguez, C.I. de Galarreta, V.R. & Kruse, E.E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, *90*:91–96.
- Rost, S., Gerten, D. Bondeau, A. Lucht, W. Rohwer, J. & Schapho, S. (2008). Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. *Water Resources Research*, 44(9), W09405.
- Seekell, D. D'Odorico, P. & Pace, M. (2011). Virtual water transfers unlikely to redress inequality in global water use. *Environmental Research Letter*, *6*(2):455–468.
- Shtull- Trauring, E. & Bernstein, N. (2018). Virtual water flows and water-footprint of agricultural crop production, import and export: A case study for Israel. *Science of the Total Environment*, *622–623*:1438–1447.
- 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.
- 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.
- Steen-Olsen, K. Weinzettel, J. Cranston, G. Ercin, A. E. & Hertwich, E.G. (2012). Carbon, land, and water footprint accounts for the European Union: consumption, production, and displacements through international trade. *Environment Science Technology*. *16*; 46(20):10883-91.
- Vorosmarty, C. J. Green, P. Salisbury, J. & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science*, *289*(5477): 284-288.

www.SID.ir

Archive of SID

- Wilchens, D. (2014). Virtual water and water footprints do not provide helpful insight regarding international trade or water scarcity. *Ecological Indicator*, *52*:277–283.
- World Bank. (2014). Annual freshwater withdrawals, total (billion cubic meters). Data. Retrieved from http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.K3.
- Zhang, Y. Zhang, J-H. Tian, Q. Liu, Z-H. & Zhang, H-L. (2018). Virtual water trade of agricultural products: A new perspective to explore the Belt and Road. *Science of the Total Environment*, *622–623*:988–996.
- Zhuo, L. Mekonnen, M. M. Hoekstra, A. Y. & 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*: 21-41.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir