

مقاله پژوهشی

تعیین شاخص‌های آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب چغندر قند (مطالعه موردی: شهرستان تربت حیدریه)

فاطمه رستگاری پور^{۱*}، امیر سالاری^۲ و فاطمه عزیززاده^۳

تاریخ پذیرش: ۸ خرداد ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۱۴ بهمن ۱۳۹۹

چکیده

بحرانی بودن وضعیت منابع آبی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از جمله استان خراسان رضوی، روند توسعه پایدار این مناطق را با چالش جدی مواجه نموده است. اتکای بیش از اندازه کشاورزی این مناطق به منابع آب زیرزمینی، لزوم توجه به مسائل مدیریت بهینه منابع آب و برنامه‌ریزی دقیق و اصلاح الگوی مصرف آب به منظور افزایش بهره‌وری آب آبیاری را دوچندان نموده است. در این تحقیق با هدف تعیین شاخص آب مجازی چغندر قند از آمار و اطلاعات طولانی‌مدت اقلیمی، سطح زیر کشت و میزان تولید محصول چغندر قند، میزان تخصیص منابع آب، آمار صادرات و واردات چغندر قند و روش‌های آبیاری مورد استفاده و راندمان‌های آبیاری منطقه شهرستان تربت حیدریه طی دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۰ استفاده گردید. نتایج نشان داد میزان آب مجازی چغندر قند در حالت عادی ۱/۲ مترمکعب بر کیلوگرم و با احتساب راندمان ۳۵ درصد، ۳/۴ مترمکعب بر کیلوگرم بوده و بطور پیوسته بر میزان کل آب مجازی ناشی از صادرات طی سال‌های مورد مطالعه افزوده می‌شود. نرخ افزایش سالانه آب مجازی طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۹۰ برابر با ۱۳۵۶۹۲/۴۴ مترمکعب بدست آمد. طی این دوره ۸ ساله، حجم کل آب استفاده شده برای تولید چغندر قند در داخل و خارج منطقه همواره در حال افزایش بوده و ردپای اکولوژیک آب داخلی بیشتر از ردپای اکولوژیک آب خارجی محاسبه گردید. نرخ رشدهای سالانه رد پای اکولوژیک آب داخلی، خارجی و کل طی این دوره ۸ ساله به ترتیب برابر با ۱۷۲۹۳۸/۲۵، ۱۴۹۸۸۵/۳۸ و ۳۲۲۸۲۳/۵ مترمکعب بدست آمد. ردپای آب سبز در تولید چغندر قند ۲۶۵ میلیون متر مکعب در سال یعنی حدود ۱۴ درصد کل ردپای آب محاسبه شده می‌باشد. پایین بودن ردپای آب سبز این منطقه نشان‌دهنده نقش کمتر نزولات جوی در تولید و وابستگی شدید تولید به منابع آبی زیرزمینی می‌باشد. ردپای آب سفید در تولید چغندر قند منطقه مورد مطالعه، ۹۵۰ میلیون مترمکعب در سال معادل ۵۲ درصد کل ردپای آب بدست آمد، این آمار بالا نشان‌دهنده زیاد بودن میزان تلفات آبی و پایین بودن راندمان آبیاری در سیستم‌های آبیاری منطقه تربت حیدریه می‌باشد. همچنین سهم بالاتر ردپای آبی نسبت به ردپای سبز نشان‌دهنده بهره‌مندی کمتر از منبع باران و بالا بودن سهم تبخیر و تعرق می‌باشد. نتیجه کلی این تحقیق آن است که کاهش سطح زیرکشت چغندر قند بهاره و تغییر الگوی کشت از بهاره به پاییزه و کاربرد سیستم‌های آبیاری با راندمان بالاتر در شهرستان تربت حیدریه می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش بهره‌وری آب داشته باشد.

کلمات کلیدی: آب سبز، آب مجازی، ردپای اکولوژیک آب، چغندر قند.

۱ - استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه

۲ - استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان

۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه

* نویسنده مسئول: (f.rastegaripour@torbath.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 نقش حیاتی دارد. با توجه به اینکه 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. بدون شک استفاده بهینه و پایدار از منابع آب، با توجه به تغییرات اقلیمی که در پیش است و با توجه به شرایط کشور، یک دغدغه ملی محسوب می‌شود. تغییرات اقلیمی باعث دگرگونی‌هایی در رژیم بارش، سرعت باد، تابش خورشید و دمای هوا گردیده و اثرات اساسی بر کشاورزی و امنیت غذایی و همچنین اثرات بسیار مخرب بر پایداری منابع آب خواهد داشت (هو کسترا و هانگ^۱، ۲۰۰۵).

رشد بسیار سریع جمعیت، توسعه اقتصادی اجتماعی جوامع، برداشت جهانی از آب شیرین و گسترش سطح آلودگی از جمله عواملی هستند که سبب شده تا کشور با کمبود و بحران آب بیش از پیش روبرو گردد (مکونن و هو کسترا^۲، ۲۰۱۰). کشاورزی از مصرف‌کننده‌های اصلی آب به‌شمار می‌رود و کاهش آب مصرفی در این بخش مهم اقتصاد، از استراتژی‌های مهمی محسوب می‌شود که برای کاهش معضل کمبود آب مدنظر کارشناسان قرار دارد (چوچانه^۳ و همکاران، ۲۰۱۵) در حقیقت

برداشت آب و مصرف آن توسط جوامع تنها در مصارف خانگی خلاصه نمی‌شود بلکه بیشتر آبی که مصرف می‌شود از طریق مواد غذایی است. این غذای مصرفی برای تولید از چندین زنجیره عبور کرده و سپس توزیع شده است (چپگاین^۴ و همکاران، ۲۰۰۶).

ایران حدود ۸۰ درصد منابع آب خود را در بخش کشاورزی به‌کار می‌گیرد و بخش کشاورزی نقش اساسی و حیاتی در اقتصاد ملی و تولید مواد غذایی در ایران دارد (سازمان محیط زیست، ۱۳۹۸)، به طوری که حدود ۲۷ درصد تولید ناخالص ملی و ۲۲ درصد نیروی کار کشور مرتبط با این بخش است. در این میان به واسطه پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی و عدم مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب در کشور به‌ویژه در مناطق بسیار کم‌آب و خشک، مدیریت منابع آب را به‌خصوص در بخش کشاورزی با مشکلات جدی روبرو ساخته است. علاوه بر آن در مناطق خشکی همانند قسمت‌های جنوبی کشور تقریباً ۱۰۰ درصد تولیدات کشاورزی از کشت آبی حاصل می‌شود (بابازاده و سرائی‌تبریزی، ۱۳۹۱).

سرعت فزاینده جهانی‌شدن سبب تسریع تجارت جهانی به‌صورت عام و تجارت آب مجازی به‌طور خاص گردیده است. تبادلات بین‌المللی کالاها از هر نوعی باعث انتقال مقدار زیادی آب مجازی به فواصل دورتر می‌گردد. محصولات کشاورزی با سهم ۸۰ درصدی از بازار تجارت مجازی آب، در واقع بزرگترین سهم را در این بخش داشته و واردات آب مجازی به عنوان ابزاری برای کاهش فشار بر منابع داخلی آب، جذابیت زیادی برای کشورهای کم‌آب دارد (چپگاین و همکاران، ۲۰۰۵).

۱ - Hoekstra and Hung

۲ - Mekonnen and Hoekstra

۳ - Chouchane

۴ - Chapagain

نخستین بار مفهوم آب مجازی توسط آلن مطرح شد (آلن، ۱۹۹۸)، با توجه به این شاخص، می‌توان مقدار آب مصرفی برای تولید یک واحد محصول را مشخص نمود. دانستن میزان مصرف آب مجازی در تولید مواد غذایی مختلف، نقش مهمی در بهبود مدیریت مصرف آن دارد. با توسعه مفهوم آب مجازی، موضوع ردپای آب با مفهومی نزدیک و البته جامع‌تر نسبت به آن پدید آمد. ردپای آب شاخصی چندبعدی برای استفاده از آب شیرین است که تنها به مصرف مستقیم آب توسط مصرف کننده یا تولیدکننده محصور نمی‌شود بلکه در این شاخص استفاده غیرمستقیم از آب نیز در نظر گرفته می‌شود. در واقع ردپای آب قادر است ارتباط بین مصارف انسانی از آب شیرین و میزان استفاده از آب در ساخت نوع خاصی از کالا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد (هوکسترا و چپگاین، ۲۰۰۷).

چغندر قند با نام علمی *Beta vulgaris* گیاهی دو ساله از تیره اسفناج، معمولاً در آب‌وهوای سرد کوهستانی از رشد و کیفیت مناسب‌تری برخوردار می‌باشد. چغندر قند سازگاری وسیعی نسبت به شرایط محیطی داشته، به سرما و گرما نسبتاً مقاوم بوده و نسبت به خشکی و شوری خاک نیز مقاوم است. عوامل محیطی مانند حرارت، نور، طول روز و رطوبت خاک تا حد زیادی تعیین کننده نحوه رشد و ذخیره قند در ریشه می‌باشد. خاک‌های بارور دارای زهکشی خوب، بافت متوسط و اسیدیته خنثی تا کمی قلیایی برای چغندر قند ایده‌آل است و عملکرد آن در خاک‌های نیمه‌سنگین به شرط وجود زهکشی مناسب نیز مطلوب می‌باشد. با اینکه چغندر قند به خشکی مقاوم است، اما حصول یک عملکرد بالا، مستلزم وجود رطوبت کافی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری است. برای چغندرکاری معمولاً آبیاری معتدل و سبک توصیه می‌گردد، برای تولید یک ریشه ۵۰۰ گرمی حدود ۴۰ تا ۵۰ لیتر آب مورد نیاز است. عملاً تمام روش‌های شناخته شده آبیاری در سطح

دنیا شامل آبیاری سطحی (از طریق جوی و پشته، آبیاری کرتی و نواری) و روش‌های مختلف آبیاری بارانی در چغندر قند مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقاومت بالای چغندر قند تنش خشکی، سبب می‌گردد تا با بهبود شرایط رطوبتی، مجدداً گیاه بتواند به وضعیت حداکثر تولید خود بازگردد. همچنین مرحله رشد حساس به تنش خشکی در چغندر قند مشابه آنچه که در گلدهی غلات دیده می‌شود وجود ندارد. ریشه‌های عمیق چغندر قند ظرفیت استخراج آب از اعماق ۹۰ تا ۱۱۰ سانتیمتری خاک را فراهم نموده (تأمین حدود ۷۰٪ آب مورد نیاز از عمق ۶۰ سانتیمتری) و در شرایطی خشکی سطح خاک، گیاه قادر است از اعماق پائین‌تر آب مورد نیاز خود را تأمین نموده و مشکلات تنش کم آبی را به حداقل رساند (خواجه‌پور، ۱۳۹۰).

بذرافشان و گرگانی‌نژاد (۱۳۹۷) تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی در محصول گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان را تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند متوسط وزنی ردپای آب در تولید گوجه‌فرنگی ۰/۹۳۶ مترمکعب در کیلوگرم می‌باشد، آنها بیشترین و کمترین میزان ردپای آب را ۱/۵۴ و ۰/۶۶ مترمکعب بر کیلوگرم بدست آورده و متوسط حجم ردپای صادرات آب مجازی گوجه‌فرنگی را ۱۰/۸ میلیون مترمکعب با ارزش ۲۸ میلیون ریال محاسبه نمودند. نتایج تحقیق رضوانی‌اعتدالی و همکاران (۱۳۹۶) از مفهوم ردپای آب مجازی برای محصولات اصلی آبی و دیم دشت قزوین نشان داد مجموع ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی آبی و دیم منطقه برای سال‌های ۲۰۱۴ - ۲۰۰۳، حدود ۲۰۵۳ میلیون مترمکعب در سال بوده و سهم آب‌های سبز، آبی، خاکستری و سفید به ترتیب ۳۱، ۲۵، ۲ و ۴۲ درصد می‌باشد. آنها پایین بودن راندمان آبیاری و مصرف بیش از حد کودهای ازته را از جمله دلایل اصلی افزایش مجموع سهم آب سفید و خاکستری در منطقه عنوان

نمودند. خروج حدود ۱۰۲۲ میلیون مترمکعب به صورت صادرات آب مجازی از منطقه از جمله سایر نتایج این تحقیق بیان گردیده شد.

اوضاع نامساعد و بحرانی دشت‌ها از لحاظ منابع آبی، ارزش اقتصادی محتوی آب محصولات را بیش تر مشخص می‌نماید. طی تحقیق پوران و همکاران (۱۳۹۶) ارزش اقتصادی محصولات استان‌های آذربایجان غربی، بوشهر، اصفهان، ایلام و سمنان با هدف حداکثر شدن بهره‌وری آب کشاورزی به ترتیب ۱۴۶۱۵، ۴۰۶۰۸، ۷۲۴۰، ۴۶۷۳ و ۳۹۲۷۴ ریال به ازای هر مترمکعب آب بدست آمد. گرگانی نژادماشیزی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به ارزیابی اجزای ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی دشت میناب و تأثیر آن بر روند تخریب طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ پرداختند. نتایج تغییرات ردپای آب در طول دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۸۶ در دشت میناب نشان داد میانگین ردپای آب حدود ۹۰ مترمکعب بر کیلوگرم و بیش‌ترین این تغییرات مربوط به میوه‌جات با ۶۰ مترمکعب بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن مربوط به غلات با ۳۰ مترمکعب بر کیلوگرم می‌باشد. دهقان پیر و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با تحلیل مکانی تغییرات آبی و آب سبز مجازی صیفی‌جات استان هرمزگان پی بردند که این استان به‌عنوان صادرکننده آب مجازی محصول پیاز دارای تراز تجارت آب مجازی ۳۸/۵۴۶ میلیون مترمکعبی بدون احتساب راندمان آبیاری و ۵۹/۳۴ میلیون مترمکعبی با احتساب راندمان آبیاری می‌باشد، در این استان بیشترین و کمترین حجم آب مجازی صادراتی به ترتیب مربوط به شهرستان‌های بندرعباس و بندرلنگه بدست آمد. تغییر الگوی کشت و ترویج گیاهان با مصرف آب کم، کاهش صادرات و سطح زیرکشت محصولات آبر (پر مصرف)، ترویج کشت گیاهان دارویی و گلخانه‌ای و استفاده مجدد از آب‌های نامتعارف (پساب تصفیه شده زه‌آب‌ها) نقش مؤثری در مدیریت و بهبود کاهش مصرف آب دارد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۶).

تحلیل زمانی ردپای آب ۴۳ محصول مختلف در ۱۲ منطقه کالیفرنیا نشان داد بادام از بالاترین ارزش اقتصادی در بین محصولات مورد مطالعه برخوردار می‌باشد، در این مطالعه متوسط ردپای آب بادام ۱۰/۲۴ متر مکعب بر کیلوگرم و ارزش اقتصادی آن ۰/۴۲ دلار بر مترمکعب بدست آمد (فالتون^۱ و همکاران، ۲۰۱۹) بررسی ردپای آب زعفران نیز نشان داد میزان کل ردپای آب زعفران طی دوره آماری ۲۰۱۴ - ۲۰۰۸ در ایران، ۱۵۴۱ میلیون مترمکعب در سال و سهم آب مجازی صادرشده ۱۳۵۴/۶ میلیون مترمکعب در سال بدست آمده، محاسبات نشان داد که استان‌های لرستان، آذربایجان شرقی و اصفهان دارای کم‌ترین و چهارمحال و بختیاری، سمنان و فارس دارای بیش‌ترین ردپای اقتصادی آب می‌باشند (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۶). ابابایی و رضانی‌اعتدالی^۲ (۲۰۱۷) به بررسی و ارزیابی ردپای آب در بخش غلات ایران (گندم، جو و ذرت) در بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ پرداختند. در این مطالعه میزان آب مجازی به تفکیک آب آبی، آب سبز، آب خاکستری و آب سفید به تفکیک استان‌های کشور محاسبه شده است.

اجرای سیاست تجاری‌سازی آب مجازی در مقیاس کوچک و محلی، سهمی بالقوه در کاهش کمیابی آب و بهبود مدیریت آب محلی دارد (لیو^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). کشور چین با دو نقش واردکنندگی آب مجازی از مناطق پرآب آمریکا در مورد برخی محصولات و از طرفی صادرکنندگی آب مجازی به مناطق کم‌آب آسیا، آفریقا و اروپا از سهم بیشتری در واردات نسبت به صادرات آب مجازی برخوردار است، غلات بیشترین سهم را در تجارت آب مجازی آن ایفا می‌نماید (شی^۴ و همکاران، ۲۰۱۴). کل مقدار آب مجازی غلات بین ۳۱ استان چین، ۱۱۳/۸ گیگامترمکعب در سال ۲۰۱۰ محاسبه گردید. فزونی آب مجازی دریافتی (۸۳/۵ گیگامترمکعب) بخش‌های شرقی (نسبتاً توسعه یافته)، نسبت به

۳ - Liu

۴ - Shi

۱ - Fulton

۲ - Ababaei and Ramezani Etedali

درصد سطح این استان را مناطق کوهستانی و ۵۰/۸ درصد آن را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. این استان شامل ۴ حوزه آبریز اترک، قره‌قوم، کویر مرکزی و شرق ایران است. استان خراسان رضوی به سبب وسعت زیاد از نظر شرایط طبیعی بسیار متنوع و هر یک از نواحی مختلف آن دارای ویژگی‌های خاصی است. شهرستان تربت‌حیدریه به‌عنوان قطب تولید چغندرقد استان خراسان رضوی، در حوزه آبریز کویر مرکزی قرار دارد. میزان بارندگی درازمدت شهرستان ۲۰۴/۱۶ میلی‌متر می‌باشد. طول رودخانه و مسیل‌های مهم در شهرستان ۸۸۷ کیلومتر و طول آبراهه‌های مهم ۲۹۳۰۹/۸۴ کیلومتر می‌باشد. همچنین دو شبکه شهید یعقوبی و شهید سیدابادی در حال حاضر در تربت‌حیدریه در دست بهره‌برداری هستند که مشخصات آن در جدول ذیل ارائه شده است (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۸).

بخش‌های غربی و میانی (کمتر توسعه یافته) نشان داد که انتقال آب مجازی از مناطق دارای فقر آبی به سمت مناطق دارای غنای آبی و از مناطق دارای کارایی بالای آب مصرفی به سمت مناطق دارای کارایی پایین آب مصرفی جریان دارد (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

هدف از انجام این تحقیق، تعیین مقدار آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب چغندرقد در شهرستان تربت‌حیدریه یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید این محصول می‌باشد.

مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی در منطقه خشک و نیمه‌خشک شمال شرقی ایران قرار دارد. مساحت این استان ۱۱۶۴۸۵/۴۹ کیلومتر مربع معادل ۷ درصد کل مساحت کشور می‌باشد. ۴۹/۲

جدول ۱. شبکه‌های آبیاری و زهکشی در دست بهره‌برداری شهرستان تربت‌حیدریه

نام شبکه	سال اتمام ساخت	سال بهره‌برداری	سطح کل (کیلومتر مربع)	سطح قابل آبیاری (کیلومتر مربع)	طول شبکه اصلی (کیلومتر)	طول شبکه درجه ۲ (کیلومتر)
شهید یعقوبی	۷۸	۷۸	۶۲۰۰	۵۹۰۰	۱۲/۵۰	۴۵/۶۰
شهید سیدابادی	۷۹	۷۹	۶۰۰	۵۰۰	۸/۲۰	

چغندرقد، مشخصات زراعت چغندرقد از نظر موقعیت، نوع منابع آب و خاک‌های غالب و نیز حجم منابع آب تجدید شونده و میزان تخصیص منابع آب به بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت (از جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای)، آمار صادرات و واردات چغندرقد (از اداره گمرک استان خراسان رضوی) و روش‌های آبیاری مرسوم و راندمان‌های آبیاری در دشت‌های کشاورزی (از دفتر تأمین آب کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی) می‌باشد.

در این مطالعه جهت تعیین آب مجازی چغندرقد به عنوان یکی از محصولات استراتژیک شهرستان تربت‌حیدریه در سال ۱۳۹۸، از روش‌های هوکسترا و هانگ^۲ (۲۰۰۲) و هوکسترا^۳ و همکاران (۲۰۰۹) و جهت تعیین شاخص ردپای اکولوژیک آب از روش ونول^۴ و همکاران (۲۰۰۸) استفاده گردید. آمار و اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی طی دوره ۳۰ ساله (از سازمان هواشناسی استان)، آمار سطح زیر کشت و میزان تولید محصول

۳ - Hoekstra

۴ - Vanoel

۱ - Wang

۲ - Hoekstra and Hung

طبق رابطه ۵ صادرات آب مجازی استان ممکن است یا ناشی از صادرات محصولات داخلی استان باشد و یا اینکه با صادرات مجدد محصولات واردات به استان، آبهای مصرفی خارجی دوباره به نقاط دیگر صادر شود.

$$V_e = V_{e,d} + V_{e,r} \quad (5)$$

در چرخه هیدرولوژی، منابع آب به چهار دسته آب آبی، سبز، خاکستری و سفید تقسیم می‌شوند. آب آبی به مجموع آبهای زیرزمینی و سطحی، آب سبز به سهم آب حاصل از بارندگی، آب خاکستری به حجم آب شیرین بکار رفته جهت رقیق کردن کودها و سموم مورد استفاده در تولید محصول و مفهوم آب سفید نیز به عنوان حجم تلفات آب آبیاری اطلاق می‌گردد (آبایی و رضوانی‌اعتدالی، ۲۰۱۴). اجزاء رد پای آب برای محصولات مختلف به صورت رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ تعریف می‌شود:

$$WF_{Green} = \frac{P_e * 10}{Y} \quad (6)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e) * 10}{Y} \quad (7)$$

$$WF_{White} = \frac{10 * (D_t - (ET_c - P_e))}{Y} \quad (8)$$

در روابط فوق WF_{Green} رد پای آب سبز، WF_{Blue} رد پای آب آبی و WF_{White} رد پای آب سفید (mm^3/ton) می‌باشد. همچنین P_e مجموع بارندگی موثر در طول دوره رشد گیاه (mm)، ET_c تبخیر و تعرق هر گیاه (mm)، Y عملکرد هر محصول (ton/ha) و D_t عمق آب آبیاری برای گیاه در طول فصل رشد (mm) می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد میزان آب مجازی محصول چغندر قند در حالت عادی ۱/۲ مترمکعب بر کیلوگرم و با احتساب راندمان ۳۵ درصد، ۳/۴ مترمکعب بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). نتایج مقادیر کل آب مجازی ناشی از صادرات چغندر قند در سطح استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که میزان کل آب

میزان آب مجازی هر محصول که نیاز خالص آبی نیز نامیده می‌شود، بر اساس متوسط نیاز آبی و متوسط عملکرد آن محصول در سطح منطقه مشخص از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$\overline{SWD}_C = \frac{\overline{CWR}_C}{\overline{CY}_C} \quad (1)$$

که در آن \overline{SWD}_C نیاز خالص آبی گیاه C بر حسب متر مکعب آب در تولید یک تن محصول، \overline{CWR}_C متوسط نیاز خالص آبی (صرف نظر از باران مؤثر) در سطح منطقه برای محصول بر حسب متر مکعب در هکتار و \overline{CY}_C متوسط عملکرد محصول بر حسب تن در هکتار می‌باشد.

طبق تعریف هوکسترا و چاپاگین (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) رد پای اکولوژیک آب هر منطقه شامل دو مؤلفه رد پای اکولوژیک آب داخلی (WF_i) و رد پای اکولوژیک آب خارجی (WF_e) است که در رابطه (۲) نشان داده شده است.

$$WF = WF_i + WF_e \quad (2)$$

در رابطه ۳ رد پای اکولوژیک آب داخلی (WF_i)، حجم کل مصرف سالانه منابع آبی استان است که برای تولید کالا و خدمات مصرفی مردم مورد استفاده قرار می‌گیرد، از آنجاکه صادرات محصولات یک استان منجر به صادرات آب به فرم مجازی ($V_{e,d}$) می‌شود در واقع این حجم آب برای ساکنان آن استان مصرف نشده لذا باید از حجم کل منابع آب تجدیدپذیر کسر شود.

$$WF_i = WU - V_{e,d} \quad (3)$$

در رابطه ۴ رد پای اکولوژیک آب خارجی (WF_e) برابر با حجم سالانه منابع آبی است که در استان‌ها یا کشورهای دیگر برای تولید محصولات وارداتی به استان مصرف شده است. اگر استانی محصولات وارداتی خود را دوباره به استان‌های دیگر صادر نماید، باید حجم آب مجازی این محصولات ($V_{e,r}$) را از رد پای اکولوژیک آب خارجی خود کسر نماید.

$$WF_e = V_i - V_{e,r} \quad (4)$$

مجازی ناشی از صادرات در طی سال‌های مختلف مدام در حال افزایش است. طی دوره ۸ ساله مورد مطالعه، مقدار آب مجازی این محصول در سطح استان خراسان رضوی $۱۰۸۵۵۳۹/۵$ مترمکعب افزایش یافته است، مقدار نرخ افزایش سالانه آب مجازی طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۹۰ برابر با $۱۳۵۶۹۲/۴۴$ مترمکعب می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۲. متوسط نیاز آبی (CWRc)، عملکرد (CY)، میزان آب مجازی (VW) بدون و با احتساب راندمان آبیاری

محصول	نیاز آبی	عملکرد	میزان آب مجازی	میزان آب مجازی با احتساب راندمان ۳۵ درصد
	CWRc	CY	VW	VW
	(m^3/ha)	(kg/ha)	(m^3/kg)	(m^3/kg)
چغندر قند	۱۳۱۴۳	۵۲۰۷۴	۱/۲	۳/۴

جدول ۳. کل آب مجازی ناشی از صادرات محصولات مورد نظر در استان خراسان رضوی

سال	آب مجازی ناشی از صادرات چغندر قند (m^3)
۱۳۹۰	۳۳۶۳۷۵/۵
۱۳۹۱	۵۷۳۳۱۹
۱۳۹۲	۷۰۴۶۰۵/۳
۱۳۹۳	۷۵۶۷۶۶/۸
۱۳۹۴	۹۰۷۶۰۳
۱۳۹۵	۱۱۸۵۴۴۲
۱۳۹۶	۱۲۲۴۲۸۳
۱۳۹۷	۱۳۰۱۸۱۵
۱۳۹۸	۱۴۲۱۹۱۵

پای اکولوژیک کل آب نیز با نرخ رشد سالانه $۳۲۲۸۲۳/۵$ مترمکعبی مواجه بوده است (جدول ۴).

ردپای آب سبز با حجم آب سالانه ۲۶۵ میلیون متر مکعب و سهم ۱۴ درصدی از کل ردپای آب، نشان‌دهنده سهم پایین حجم ردپای آب سبز این منطقه در تولید چغندر قند است (جدول ۵). با توجه به اینکه ردپای سبز در تولید محصولات کشاورزی به معنای استفاده بیشتر از باران در کشاورزی و فشار کمتر به منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه برای آبیاری محصولات می‌باشد، پایین بودن ردپای آب سبز این منطقه نشان‌دهنده وابستگی شدید تولید به منابع آبی سطحی و زیرزمینی و نقش کمتر نزولات جوی در تولید چغندر قند می‌باشد. ردپای آب سفید در تولید چغندر قند منطقه مورد مطالعه، ۹۵۰ میلیون مترمکعب در سال معادل ۵۲ درصد کل ردپای آب بدست آمد، این آمار بالا

نتایج ردپای اکولوژیک آب داخلی، خارجی و کل در تمام سال‌های مورد مطالعه نشان داد که حجم کل مصرف سالانه منابع آبی استان برای تولید چغندر قند همواره از حجم سالانه منابع آبی که در استان‌ها یا کشورهای دیگر برای تولید چغندر قند وارداتی به استان مصرف شده بیشتر است. همچنین در طی سال‌های مختلف، حجم کل آب استفاده شده برای تولید چغندر قند در داخل و خارج استان همواره در حال افزایش است، رد پای اکولوژیک آب داخلی طی دوره ۸ ساله ۱۳۸۳۵۰۶ مترمکعب (نرخ رشد سالانه $۱۷۲۹۳۸/۲۵$ مترمکعب) و رد پای اکولوژیک آب خارجی ۱۱۹۹۰۸۳ مترمکعب (نرخ رشد سالانه $۱۴۹۸۸۵/۳۸$ مترمکعب) افزایش نشان می‌دهد. به عبارتی طی این دوره ۸ ساله، رد پای اکولوژیک آب داخلی به مقدار ۱۸۴۴۲۳ مترمکعب بیشتر از رد پای اکولوژیک آب خارجی می‌باشد. رد

بهره‌مندی کمتر از منبع باران و بالا بودن سهم تبخیر و تعرق می‌باشد (جدول ۵).

نشان‌دهنده زیاد بودن میزان تلفات آبی و پایین بودن راندمان آبیاری در سیستم‌های آبیاری منطقه تربت‌حیدریه می‌باشد. همچنین سهم بالاتر ردپای آبی نسبت به ردپای سبز نشان‌دهنده

جدول ۴. ردپای اکولوژیک آب چغندرقد در استان خراسان رضوی (متر مکعب بر کیلوگرم)

سال	ردپای اکولوژیک آب داخلی	ردپای اکولوژیک آب خارجی	ردپای اکولوژیک آب کل
۱۳۹۰	۳۱۸۵۰۹	۳۰۲۷۳۷	۶۲۱۲۴۷
۱۳۹۱	۵۵۵۴۵۳	۵۱۵۹۸۷	۱۰۷۱۴۴۰
۱۳۹۲	۶۸۶۷۳۹	۶۳۴۱۴۴	۱۳۲۰۸۸۴
۱۳۹۳	۷۳۸۹۰۰	۶۸۱۰۹۰	۱۴۱۹۹۹۱
۱۳۹۴	۸۸۹۷۳۷	۸۱۶۸۴۲	۱۷۰۶۵۸۰
۱۳۹۵	۱۱۶۷۵۷۶	۱۰۶۶۸۹۸	۲۲۳۴۴۷۴
۱۳۹۶	۱۴۱۱۸۲۵	۱۲۱۱۸۵۰	۲۶۲۳۶۷۵
۱۳۹۷	۱۵۸۱۹۲۰	۱۳۸۱۴۹۲	۲۹۶۳۴۱۲
۱۳۹۸	۱۷۰۲۰۱۵	۱۵۰۱۸۲۰	۳۲۰۳۸۳۵

جدول ۵. اجزاء رد پای آب

نام محصول	عملکرد (Kg/h)	مصرف آب (mm)			رد پای آب (m ³ /ton)	
		ET _c	P _e	D _t	سبز آبی	سفید مجموع
چغندر قند	۵۲۰۷۴	۹۴۰	۳۰۰	۱۶۰۰	۶۱۰	۹۵۰
						۱۸۲۵

مواجه خواهد بود. چغندرقد به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات در الگوی کشت استان خراسان رضوی و مخصوصاً شهرستان تربت‌حیدریه بوده با مصرف بالای آب مطرح است، در این راستا، مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات کشاورزی به مدیریت بهتر آب کشاورزی در منطقه کمک شایانی می‌نماید. نتایج مطالعه پوراتن و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان داد هرچه وضعیت آبی مناطق نامساعدتر باشد، ارزش اقتصادی محتوی آب محصولات آن‌ها بیش‌تر خواهد بود.

در این تحقیق مجموع سهم ردپای آب سفید برای محصول چغندرقد حدود ۵۲ درصد کل ردپای آب مجازی بوده و این مسئله نشان می‌دهد راندمان سیستم‌های آبیاری بکار برده شده برای آبیاری چغندرقد پایین است و می‌بایست از روش‌های نوین آبیاری با راندمان بالاتر استفاده نمود، در مطالعه حاضر همچنین

در دهه‌های اخیر، توجه زیادی به گردش بالای آب مجازی در سطح جهانی شده است، در این راستا، تجارت آب مجازی بین کشورهای کم‌آب و پرآب می‌تواند سبب حفظ منابع آب ملی، رشد اقتصادی، رفاه اجتماعی، توسعه پایدار و کاهش فقر گردد. توجه به سیاست‌های مدیریت منابع آب و توسعه تجارت آب مجازی بر اساس مزیت‌نسیبی و همکاری همه‌جانبه مخصوصاً در کشورهای کشورهای خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران امری ضروری است. در این راستا، ایران به‌عنوان یکی از بزرگترین واردکنندگان آب مجازی نیازمند در نظر گرفتن پارامتر آب مجازی در برنامه‌ریزی‌های آبی در سطوح بین‌المللی و ملی می‌باشد. به‌طور جزئی‌تر، استان خراسان رضوی به عنوان بحرانی‌ترین دشت از لحاظ منابع آبی و یکی از کم‌آب‌ترین استان‌های ایران از نظر میزان منابع آبی در دسترس با چالش‌های سختی در توسعه

مطالعه، حجم کل آب استفاده شده برای تولید چغندرقد در داخل و خارج استان در حال افزایش است.

رهیافت ترویجی

یکی از مهم‌ترین کارها در رابطه با مسئله آب مجازی، ایجاد یک نظام تجارت داخلی و صرفه‌جویی در مصرف آب در سطح ملی است. سایر پیشنهادات عمده و اساسی عبارتند از:

۱- تصویب قوانین ضروری و کاربرد آن در سطح ملی در زمینه هدفمند نمودن یارانه آب، توسعه روش‌های بهینه کردن مصرف آب، اعمال مدیریت خشکسالی در نواحی مستعد، مدیریت آمار و اطلاعات مصرف آب، برنامه‌ریزی آب کشاورزی و صنعتی براساس آمایش سرزمین و اعمال قانون بر کنترل کیفیت آب‌ها بطور شفاف در بخش دولتی و آزاد.

۲- کاهش تلفات فیزیکی آب از محل استحصال تا محل مصرف، با اصلاح تأسیسات آبرسانی و آبیاری و استفاده از روش‌های آبیاری با راندمان بالا.

۳- برنامه‌ریزی در راستای اعتلای فرهنگ مصرف آب در راستای توسعه پایدار.

۴- کشت پاییزه محصولات و انطباق تقویم کاشت با تقویم نزولات جوی به‌منظور استفاده بیشتر از این منابع خدادادی.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد ۱۱۱۹۱ از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تربت‌حیدریه می‌باشد که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

حجم ردپای آب سبزی چغندرقد برای منطقه تربت‌حیدریه پایین بدست آمد. رضانی‌اعتدالی و همکاران (۱۳۹۶) نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند.

با توجه به اینکه ردپای سبزی در تولید محصولات کشاورزی به معنای استفاده بیشتر از باران در کشاورزی و فشار کمتر به منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه برای آبیاری محصولات می‌باشد لذا پایین بودن ردپای آب سبزی به این معناست که کمتر از آب باران استفاده شده است. نتایج مشابه توسط دهقان‌پیر و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد آب سبزی صیفی‌جات، سهم ناچیزی در فرآیند تولید داشته و این حجم آب مقادیر نزدیکی با بارش مؤثر در نظر گرفته شده در برنامه نتوات^۱ دارد.

مشابه نتایج محصول چغندرقد بکار رفته در این محصول که ردپای آبی سهم بالاتری نسبت به ردپای سبزی دارد، ابابایی و رضانی‌اعتدالی (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که کشت محصولات بهار در صورتی که به صورت پاییزه امکان‌پذیر باشد به دلیل استفاده از آب باران برای آبیاری، سهم ردپای سبزی را افزایش می‌دهد.

همچنین نتایج حاصل از تجارت آب مجازی نشان داد طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۰، همواره حجم کل مصرف سالانه منابع آبی استان خراسان‌رضوی برای تولید چغندرقد (ردپای اکولوژیک داخلی) از حجم سالانه منابع آبی خارجی که در استان‌ها یا کشورهای دیگر برای تولید چغندرقد وارداتی به استان خراسان‌رضوی مصرف شده (ردپای اکولوژیک خارجی) بیشتر است. از طرفی نتایج نشان داد همواره طی سال‌های مورد

منابع

بابازاده، ح. و سرائی‌تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی وضعیت کشاورزی استان هرمزگان از دیدگاه آب مجازی. مجله پژوهش آب در

کشاورزی، ۲۶(۴): ۴۸۵-۴۹۹.

بذرافشان، ا.، دهقان‌پیر، ش. و هلی‌ساز، ش. ۱۳۹۶. برآورد بیلان

- footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*, 179: 401- 411.
- Allan, JA. 1998. Virtual water: A Strategic Resource. *Global Solutions to Regional Deficits. Ground Water*, 36(4):545-546.
- Chapagain, AK., Hoekstra, AY. and Savenije, HHG. 2005. Saving water through global trade. *Value of Water Reserch Report Series*, 17, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. P. 1-12.
- Chapagain, AK., Hoelstra, AY. and Savenile, HHG. 2006. Water saving through international trade of agriculture products, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 455-468.
- Chouchane, H., Hoekstra, AY., Korel, MS. and Mekonnen, MM. 2015. The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators*, 52: 311- 319.
- Fulton, J., Norton, M. and Shilling, F. 2019. Water-indexed benefits and impacts of California almonds. *Ecological Indicators*, 96: 711- 717.
- Hoekstra, AY., Chapagain, AK., Aldaya, MM. and Mekonnen, MM. 2009. Water footprint manual, State of the art, Web www.waterfootprint.org. pp. 131
- Hoekstra, AY. and Chapagain, AK. 2007. Water footprint of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, 21(1): 35-48.
- Hoekstra, AY. and Hung, PQ. 2005. Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change Journal*, 15: 45-56.
- Hoekstra, AY. and Hung, PQ. 2002. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of Water Research Report Series*, 11, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands. P. 25-47
- Liu, J., Sun, S., Wu, P., Wang, Y. and Zhao, X. 2015. Evaluation of crop production, trade, and consumption from the perspective of water resources: A case study of the Hetao irrigation
- آب مجازی در بخش کشاورزی استان هرمزگان در طول دهه گذشته. *مجله مدیریت بیابان*، ۵(۱۰): ۱۱۶-۱۲۹.
- بذرافشان، ا. و گرگانی نژاد، ز. ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی در محصول گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان تحت تغییرات اقلیم. *نشریه علمی آب و خاک*، ۳۲(۱): ۲۹-۴۳.
- پوران، ر.، راغفر، ح.، قاسمی، ع. ر. و بزاران، ف. ۱۳۹۶. محاسبه ارزش اقتصادی آب مجازی با رویکرد حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری. *فصلنامه مطالعات اقتصاد کاربردی ایران*، ۶(۲۱): ۱۸۹-۲۱۲.
- خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۹۰. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان، ۵۸۲ صفحه.
- دهقان‌پیر، ش.، بذرافشان، ش. و هلی‌ساز، ا. ۱۳۹۴. یک مطالعه مقایسه‌ای بر روی آب مجازی از طریق مفهوم مسئله‌دار (استان هرمزگان). *پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد*.
- رضوانی‌اعتدالی، ه.، شکوهی، ع. ر. و مجتوبی، س. ا. ۱۳۹۶. بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی برای عبور از بحران آب منطقه قزوین. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)*، ۳۱(۲): ۴۲۲-۴۳۳.
- سازمان محیط زیست. ۱۳۹۸. گزارشات دوره‌ای سازمان محیط زیست.
- گرگانی‌نژادماشیزی، ز.، بذرافشان، ش. و غلامی، ح. ۱۳۹۶. بررسی روند تغییرات آب مجازی در دشت کشاورزی میناب و اثرات آن بر تخریب منابع. *پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد*، دانشگاه هرمزگان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- موسوی، ح.، خلیلیان، س. و وکیلی‌پور، م. ه. ۱۳۸۶. اثر کاربرد سیستم آبیاری تحت فشار بر راندمان فنی مزرعه سیب‌زمینی (مطالعه موردی: شهرکرد). *مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*، ۷۶(۳): ۱۷۱-۱۷۸.
- Ababaei, B. and Ramezani Etedali, H. 2017. Water

- district, China, for 1960–2010. *Science of The Total Environment*, 505: 1174-1181.
- Mekonnen, MM. and Hoekstra, AY. 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.
- Shi, J., Liu, J. and Pinter, AL. 2014. Recent evolution of China's virtual water trade: analysis of selected crops and considerations for policy, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18: 1349-1357.
- Vanoel, PR., Mekonnen, MM. and Hoekstra, AY. 2008. The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment. *Value of Water Research Report Series*, No. 33, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. p. 72.
- Wang, YD., Leeb, JS., Adbemabiese, L., Zamea, K. and Kang, S. 2015. Virtual water management and water energy nexus: A case study of three mid atlantic. *Resources, Conservation and Recycling*, 98(3): 76-84.
- Zehnder, AJB., Yang, H. and Schertenleib, R. 2002. Water issues: The need for action at different Levels. *Aquatic Sciences*, 65: 1-20.

Determination of virtual water indices and ecological footprint of sugar beet water in villages of Torbat Heydarieh city

Fatemeh rastegaripour^{1*}, Amir Salari² and Fatemeh azizzade³

Submitted: 2 February 2021

Accepted: 29 May 2021

Abstract

Water crisis at both worldwide and nationwide scales is serious and critical; therefore, water management in urban, agricultural and industrial sectors is regarded as an important issue. However, due to excessive use of water in agriculture, management of irrigation water used for agricultural products has become more important, requiring programming and altering irrigation water consumption pattern to enhance the efficiency of irrigation water. Accordingly, in this study the indicator of virtual water of sugar beet is measured in Torbat Heydariyeh. The data and statistics were gathered from agricultural Jihad organization, meteorological organization, and ministry of energy during 2011-2019. The model used was ecological water footprint index and other related indicators. The results showed that the amount of virtual sugar beet in normal state was 1.2 m³.kg, and with 35% efficiency was 3.4 m³.kg. The total amount of virtual water embedded in sugar beet exported from Khorasan Razavi province was observed to be increasing over the years. The green water footprint in sugar beet production was 265 million cubic meters per year, which is about 0.14 of the total water footprint calculated. Also, white water footprint in sugar beet production was 950 million cubic meters per year, which is about 52% of the total estimated water footprint, indicating low efficiency of irrigation systems in the region. The higher share of blue footprint compared with green footprint indicates less rain benefit and greater evapotranspiration. Therefore, using irrigation systems with higher efficiency and reducing sugar beet spring sowing area is recommended in Torbat Heydarieh city.

Keywords: Green water, Virtual water, Ecological water footprint, Sugar beet.

1- Assistant Professor of agricultural economics, university of Torbat Heydarieh

2- Assistant Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan

3- M.Sc, agricultural economics, university of Torbat Heydarieh

(*- Corresponding author Email: :f.rastegaripour@torbath.ac.ir)

DOI: 10.22048/rdsj.2021.271470.1916