بررسی ردپای آب، آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب سه گروه از محصولات پاییزه و بهاره، سبزیجات (گوجه فرنگی و سیب‌زمینی)، صنعتی (چغندرقند) و علوفه‌ای (ذرت علوفه-ای) در شهرستان اصفهان

مجتبی مبارکی[1]*، مرتضی مبارکی[2]

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. زابل، ایران
Email: mojtabamobaraki@uoz.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی شیمی دانشگاه شهید چمران اهواز ، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۳۰

چکیده

یکی از راه‌کارهای عملی مدیریت منابع آب، برآورد نیاز آبی گیاه و تعیین مقدار حجم آب مصرفی در مراحل مختلف تولید محصول است. به‌منظور محاسبه میزان حجم آب مصرف شده توسط محصولات کشاورزی در مراحل رشد، از شاخص آب مجازی و ردپای آب استفاده می‌شود. در این تحقیق ابتدا نیاز آبی گیاهان چغندرقند، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی محاسبه سپس میانگین حجم آب مصرفی، آب مجازی، ردپای آب و بهره‌وری مصرف آب این محصولات برای دوره آماری ۱۳۹۶- ۱۳۸۹ به‌دست آورده شد. نتایج نشان داد در بین محصولات مورد مطالعه سیب‌زمینی با مقدار ۲۱۰۱/۹۱ مترمکعب بر تن بالاترین ردپای آب و چغندرقند با میزان ۱۰۹۴/۶۸ مترمکعب بر تن کمترین ردپای آب را دارا بودند. بیشترین مقدار آب مجازی مصرف شده مربوط به ذرت علوفه‌ای (۰/۳۹ مترمکعب برکیلوگرم) و کمترین مقدار نیز مربوط به گوجه‌فرنگی (۰/۱۹ مترمکعب برکیلوگرم) بود. کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب (۲/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار) نیز متعلق به چغندرقند بود. همچنین در این مطالعه جزء دیگری از ردپای آب به نام ردپای آب سفید مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس آن بیشترین مقدار مربوط به سیب زمینی با مقدار (۲۰۰۶/۷ متر مکعب بر کیلوگرم) و کمترین مقدار نیز مربوط به چغندرقند با مقدار (۱۰۰۳/۸۳ متر مکعب بر کیلوگرم) بود. بنابراین مطابق نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت محصول گوجه‌فرنگی با توجه به پایین بودن مقادیر آب مجازی و بالا بودن بهره‌وری مصرف آب آن نسبت به دیگر محصولات مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه برای کشت مناسب‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: آب سبز، آب آبی، آب خاکستری، آب سفید، نیاز آبی.

مقدمه

یکی از عواملی که در بخش کشاورزی موجب پایین بودن کارآیی مصرف آب شده عدم توجه به میزان مصرف آب در انتخاب محصولات کشاورزی و اعمال نکردن الگوی کشت مناسب بر مبنای ارزش آب می-باشد. در بسیاری از مناطق کشور، کشت محصولات زراعی با نیاز آبی بالا، بیلان منفی آب دشت‌ها و نیاز به پایداری تولید محصولات کشاورزی، منجر می‌شود تا با راه‌کارهایی به افزایش راندمان مصرف آب در این بخش

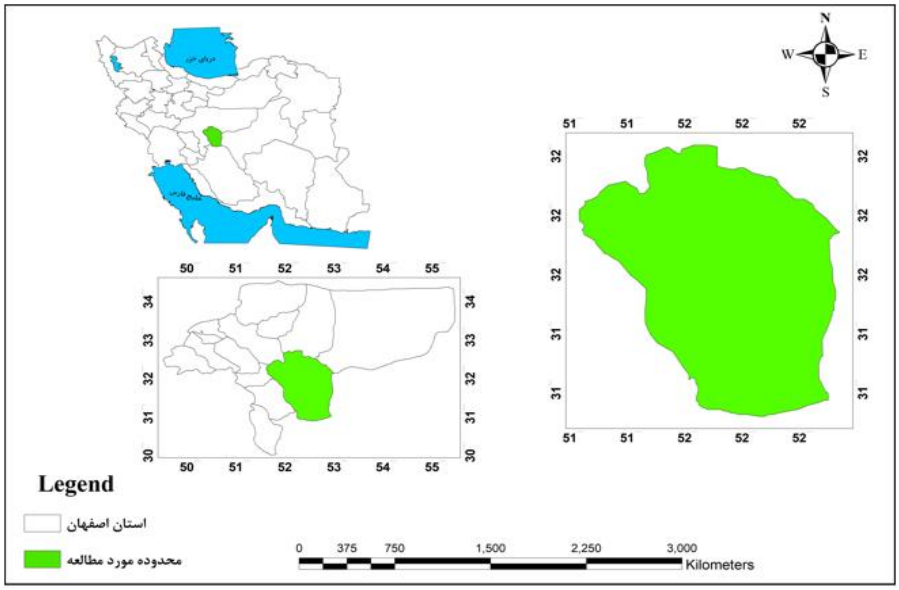
و در نتیجه بهبود سفره‌های آب زیرزمینی کمک شود. در بسیاری از مناطق کشور، کشت محصولات زراعی با نیاز آبی بالا، بیلان منفی آب دشت‌ها و نیاز به پایداری تولید محصولات کشاورزی، منجر می‌شود تا با راه‌کار-هایی به افزایش راندمان مصرف آب در این بخش و در نتیجه بهبود سفره‌های آب زیرزمینی کمک شود. همچنین باید نسبت تخصیص زمین‌های کشاورزی و برنامه‌ی کشت یک منطقه به انواع محصولات زراعی همان منطقه توسط محققان بخش کشاورزی تعیین و در اختیار سازمان‌های مربوطه قرار گیرد تا با برنامه‌ریزی مناسب اقدامات لازم انجام گیرد (روحانی و همکاران، ۲۰۰۸). از آن‌جایی‌که میزان آب مصرفی واقعی هر محصول تحت تأثیر اقلیم منطقه، میزان تولیدات، الگوی مصرفی، عملیات کشاورزی و راندمان کاربرد آب متغیر است، لذا نیاز به شاخصی است که بتوان با آن نیاز واقعی هر محصول را مورد ارزیابی قرار داد. در این راستا توسعه روش‌های مدیریتی کارآمد و جدید که بتوان با آن مقدار آب واقعی مصرفی را بر اساس الگوی مصرفی مردم، شرایط اقلیمی، راندمان کاربرد آب و عملکرد محصول، محاسبه کرد، امری لازم و ضروری است (رسولی‌مجد و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از راه‌کارها برای مدیریت استفاده از منابع در تولیدات محصولات کشاورزی، تعیین مقدار حجم آبی است که در فرایند تولید این محصول مصرف شده است. مقدار آبی که در کل مراحل رشد و تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد را آب مجازی می‌گویند (Zhuo و همکاران، ۲۰۱۶). در مبانی نظری مربوط به آب مجازی، اصطلاح ردپای آب مطرح شده است و نشان‌دهنده‌ی میزان حجم آب مصرفی به تفکیک منابع آب سطحی، زیرزمینی و آب باران می‌باشد (عربی‌یزدی و همکاران، ۲۰۱٤). مفهوم آب مجازی و ردپای آب ارتباط نزدیکی به هم دارند. شاخص ردپای آب به‌عنوان یک شاخص جامع نشان-دهنده‌ی مقدار واقعی آب مصرفی بر اساس شرایط و اقلیم هر منطقه می‌باشد. ردپای آب شاخصی چندبعدی برای استفاده از آب شیرین است که تنها به مصرف مستقیم آب توسط مصرف‌کننده 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 (Hoekstra و همکاران، ۲۰۱۱). این شاخص در تدوین استراتژی‌هایی جهت تخصیص منابع آب یک منطقه یا حوضه قابلیت استفاده دارد (Hoekstra، ۲۰۱۲). آب مجازی یک محصول حجم آبی است که در کل فرایند رشد و تولید محصول مصرف می‌شود. در واقع کل ردپای آب یک محصول، با عنوان محتوای آب مجازی آن محصول شناخته می‌شود (Hoekstra and Chapagain، ۲۰۱۱). ردپای آب شامل سه مؤلفه می‌باشد. ردپای آب آبی و ردپای آب سبز که دربرگیرنده مصارف آب از منابع آب آبی و سبز می‌باشد و ردپای آب خاکستری (Van Oel و همکاران، ۲۰۰۸). تاکنون مطالعات زیادی در خصوص آب مجازی و ردپای آب در حوزه‌های مختلف انجام شده است. در ابتدا بیشتر مطالعات برای تخمین هر سه جزء ردپای آب (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) در مقیاس کل جهان صورت گرفت ولی سپس با توجه به اهمیت روز افزون مدیریت منابع آب در مقیاس کوچک‌تر، ارزیابی این شاخص به‌صورت محلی دارای اهمیت شد. ردپای آب برای محصول گندم در اقلیم‌های مختلف ایران مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، بیشترین مقادیر ردّپای آب آبی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی، بیشترین مقدار ردّپای آب سبز در قسمت‌های شمالی و

غربی و بیشترین مقدار ردّپای آب خاکستری در قسمت-های جنوبی دیده می‌شود. میانگین ردّپای آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب ۵۰۳/۳، ۱۳۹۲/۱ و ۲۸۶/۲ مترمکعب بر تن به‌دست آمد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که کشت محصول گندم در همه اقلیم‌ها مناسب نبوده و در اقلیم‌های A-C-W و A-C-VW ایران توصیه نمی‌گردد (علیقلی‌نیا و همکاران، ۲۰۱۹). برآورد آب مجازی غلات در چین انجام شد. نتیجه نشان داد جهت تولید غلات در چین ۱/۲۹۳ مترمکعب بر کیلوگرم آب مجازی مصرف می‌شود (Fu و همکاران، ۲۰۱۸). ردپای آب کشت سیب‌زمینی در انگلستان را مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش تنها به بررسی ردپای آب آبی پرداخته شد. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط تنها ۶۱ میلیون مترمکعب آب برای تولید این محصول کشاورزی، در انگلستان مصرف می‌شود. با استفاده از نقشه‌های موجود در رابطه با کمبود آب مشخص شد که شرق انگلستان به‌عنوان نقطه‌ای نامناسب جهت تولید این محصول می‌باشد (Hess و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهشی استان‌های کشور چین به هشت منطقه تقسیم شد و ردپای آب محصولات کشاورزی در کنار سایر محصولات در هر منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج محاسبات نشان داد که فعالیت کشاورزی در اکثر مناطق سهم بیش‌تری از ردپای آب را به خود اختصاص داده است. ایشان بیان داشتند که با اقداماتی مثل افزایش بهره‌وری مصرف آب و اصلاح الگوی صادرات محصولات می‌توانند سهم زیادی از ردپای آب محصولات تولیدی مناطق را کنترل و کاهش دهند (Deng و همکاران، ۲۰۱۶). تأثیرات اقدامات مدیریت مختلف کشاورزی از جمله راندمان آبیاری، بهره‌وری مصرف آب و ردپای آب آبی و سبز را برای محصول گندم زمستانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کم‌آبیاری بیشترین تأثیر را در افزایش راندمان مصرف آب آبی داشته است، بدین ترتیب که راندمان آبیاری ۵ درصد افزایش و ردپای آب آبی ۳۸ درصد کاهش یافته است (Zhuo and Hoekstra، ۲۰۱۷). در بررسی ردپای آب تولید سیب‌زمینی در آرژانتین، کل ردپای آب سیب‌زمینی را ۲۲۴ مترمکعب بر تن بیان کردند که از این مقدار سهم ردپای آب آبی و آب سبز به‌ترتیب ۵۶/۴ و ۲۴/۱ درصد می‌باشد. آن‌ها به‌منظور کاهش ردپای آب این محصول عوامل مختلف نظیر استفاده از تکنولوژی‌های جدید و پیشرفته در آبیاری، افزایش دانش کشاورزان و اصلاح قیمت آب و قانون استفاده از آب‌های زیرزمینی را پیشنهاد کردند (Rodriguez و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به اهمیت شاخص ردپای آب در بحث مدیریت منابع آب به-خصوص در بخش کشاورزی، از این روش برای تعیین اولویت کاشت بر محور اختصاص آب استفاده شد. بررسی اجزای مختلف ردپای آب و تعیین سهم هریک از اجزای آن در میزان تجارت آب مجازی در بخش کشاورزی، کمک شایانی به درک شرایط کنونی و بهبود مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی به‌خصوص در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند، می‌نماید. بنابراین در این تحقیق به بررسی اجزای ردپای آب، مقدار آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب در محصولات پاییزه سیب‌زمینی و چغندرقند و محصولات بهاره ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی در شهرستان اصفهان پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان اصفهان با مساحت ۳/ ۱۶۱۰۴ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۵۱/۳۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲/۳۸ درجه شمالی در ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن این شهرستان در یک اقلیم فرا خشک سرد با میانگین بارش سالانه حدود ۱۳۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است. از نظر کشاورزی بیشترین سهم از سطح استان را به اختصاص می‌دهد. برای انجام تحقیق از بین محصولات زراعی پاییزه سیب‌زمینی و چغندرقند و از بین محصولات بهاره ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی انتخاب شد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

محاسبه نیاز آبی گیاهان

برای محاسبه ردپای آب و آب مجازی لازم بود نیاز آبی گیاهان[۱] (CWR) در هر اقلیم محاسبه شود. برای این کار ابتدا تبخیر و تعرق گیاهان از روش فائوپنمن‌مانتیث و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT محاسبه شد.

$$ET_{\cdot} = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\frac{C_n}{T+273}U2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+C_d\,U2)} \qquad (1)$$

$$ET_C = K_C \times ET_{\cdot} \qquad (2)$$

در این رابطه، $ET_{\cdot}$: تبخیر و تعرق مرجع ($mm\ day^{-1}$)، ET_C: تبخیر و تعرق گیاه ($mm\ day^{-1}$)، K_C: ضریب گیاهی، Rn: تابش خالص ورودی به سطح گیاه ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، G: شار گرمای خاک ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، T_{mean}: میانگین دمای هوای روزانه ($^{\circ}C$)، U_2: میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($m\ s^{-1}$)، e_s: فشار بخار اشباع (KP_a)، ea: فشار بخار واقعی (KP_a)، es-ea: کمبود فشار بخار اشباع (KPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع ($KPa^{\cdot}C^{-1}$)، γ: ضریب سایکرومتری ($KPa^{\cdot}C^{-1}$)، C_n: ضریبی برای گیاه مرجع که مقدار آن ۹۰۰ می‌باشد ($Kg^{\cdot}KKj^{-1}day^{-1}$)، Cd: ضریب باد برای گیاه مرجع که مقدار آن ۰/۳۴ ($s\ m^{-1}$) می‌باشد.

[۱]. Crop Water Requirement

پس از محاسبه تبخیر و تعرق مقدار نیاز آبی گیاهان از رابطه ۳ محاسبه شد (Hoekstra and Hung، ۲۰۰۲):

$$CWR = ET_C \times A \quad (۳)$$

در این رابطه A مساحت زیر کشت (هکتار) و CWR نیاز آبی (متر مکعب) می‌باشد.

محاسبات ردپای آب و آب مجازی

اجزای ردپای آب در این تحقیق شامل ردپای آب سبز[۱]، ردپای آب آبی[۲]، ردپای آب خاکستری[۳] و رد پای آب سفید[۴] می‌باشد. ردپای آب آبی، به حجم آب آبیاری مصرفی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) که جهت تولید محصول به گیاه داده می‌شود، اشاره دارد. ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی مؤثر مرتبط است و به حجم آبی اطلاق می‌شود که در مناطق غیراشباع خاک به‌صورت رطوبت خاک ذخیره می‌شود و گیاه از آن استفاده می‌کند. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای برای از بین بردن آلودگی‌های ایجاد شده ناشی از کشت گیاه و تولید محصول در محیط استفاده شده اند، مورد نیاز است. محققین مفهوم آب سفید را ارائه دادند که در واقع حجم تلفات آب آبیاری را بیان می‌نماید (آبابایی و رمضانی اعتدالی، ۲۰۱٤). بنابراین ردپای آب کل [۵] به صورت رابطه ۴ بیان می‌گردد.

$$WF_t = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{gray} + WF_{white} \quad (۴)$$

که در آن: WF_t: ردپای کل، WF_{green}: ردپای آب سبز، WF_{blue}: ردپای آب آبی، WF_{gray}: ردپای آب خاکستری و WF_{white}: ردپای آب سفید می‌باشد.

هر کدام از اجزای ردپای آب به شرح زیر محاسبه گردید:

ردپای آب سبز

مصرف آب در این دوره با توجه به محاسبه تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد که در نهایت به صورت عددی با واحد مترمکعب بر تن بیان می‌شود. ردپای آب سبز محصول از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (۵)$$

که در آن: WF_{green} ردپای آب سبز(متر مکعب بر تن)، Y عملکرد گیاه (تن در هکتار) و CWU_{green} مقدار مصرف آب سبز گیاه (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

مقدار مصرف آب سبز گیاه از مجموع تبخیر و تعرق روزانه در طی فصل رشد گیاه به‌دست می‌آید:

$$CWU_{green} = ۱۰ \times \sum_{d=۱}^{T} ET_{green} \quad (۶)$$

در رابطه ۳، T طول دوره رشد گیاه(روز)، ET_{green} تبخیر و تعرق آب سبز (میلی‌متر در سال)، عدد ۱۰ تبخیر و تعرق را از میلی‌متر (ارتفاع) به حجم آب در سطح زمین (مترمکعب در هکتار) تبدیل می‌کند.

در این رابطه فرض شده است تنها وقتی آب سبز موجود در خاک برای استفاده گیاه کافی نباشد، گیاه از آب آبی

۱. Green Water Footprint
۲. Blue Water Footprint
۳. Gray Water Footprint
٤. White Water Footprint
٥. Total Water Footprint

موجود استفاده می‌کند (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو، تبخیر و تعرق سبز گیاه از روش ارائه شده توسط هوکسترا و همکاران به‌دست می‌آید (Hoekstra و همکاران، ۲۰۱۱):

$$ET_{green} = \min(ET_c , P_e) \quad (۷)$$

که در آن: ET_c مقدار تبخیر و تعرق گیاه و P_e مقدار باران مؤثر می باشد.

ردپای آب آبی

ردپای آب آبی نیز به طور مشابه ردپای آب سبز محاسبه می‌شود و به صورت رابطه ۵ ارائه می‌گردد:

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (۸)$$

$$CWU_{blue} = ۱۰ \times \sum_{d=۱}^{T} ET_{blue} \quad (۹)$$

$$ET_{blue} = \max(۰ , ET_c - P_e) \quad (۱۰)$$

که در آن: CWU_{blue} مقدار مصرف ردپای آب آبی گیاه (مترمکعب در هکتار) و ET_{blue} تبخیر و تعرق آب آبی(میلی‌متر در سال) می‌باشد.

ردپای آب خاکستری

یکی دیگر از اجزای ردپای آب در تولید محصول، حجم آب مورد نیاز برای رقیق سازی کودهای کشاورزی با استفاده از رواناب یا نفوذ عمقی است که به آن آب خاکستری گفته می‌شود (Hoekstra و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش، ردپای آب خاکستری تنها برای کودهای نیتروژن به‌عنوان منبع آلودگی آب محاسبه شد. بدین منظور تنها استفاده از کود ازته به عنوان منبع ایجاد آلودگی مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات مربوط به میانگین میزان کود ازته از آمارنامه-های جهاد کشاورزی استان گرفته شد. محاسبه بر اساس روش ارائه شده توسط چاپاگین و همکاران (۲۰۰۶) و هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا با توجه به پژوهش چاپاگین و همکاران (۲۰۰۶) حداکثر غلظت مجاز نیتروژن در منابع آب سطحی و زیرزمینی را ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر توصیه کرده است. این استاندارد از زمانی اتخاذ شد که آب‌های ناشی از فعالیت کشاورزی دوباره جمع‌آوری می‌شدند و بعد از انتقال به منابع اولیه خود، در مصارف شهری مورد استفاده قرار می‌گرفتند. لذا لازم بود تا غلظت این عامل کم‌تر از یک آستانه قرار گیرد. از آن‌جایی که هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد غلظت طبیعی نیتروژن در آب و محیط در دسترس نبود، مقدار آن در این مطالعه صفر در نظر گرفته شد (Mekonnen and Hoekstra، ۲۰۱۰).

$$WF_{gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{۱}{Y} \quad (۱۱)$$

که در آن: α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR مقدار مصرف کود نیتروژن برای گیاه(کیلوگرم بر هکتار)، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار) و C_{Nat} غلظت نیتروژن در آب دریافت کننده است.

ردپای آب سفید

جزء دیگری از مجموع ردپای آب را تشریح شد که تحت عنوان آب سفید نام گذاری شده است. این جزء، حجم تلفات آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) را مورد توجه قرار می دهد و به شرح زیر محاسبه شد (آبابایی و رمضانی اعتدالی، ۲۰۱۴):

$$WF_{white} = \frac{۱۰ \times (GI - CWU_{blue})}{Y} \quad (۱۲)$$

که در آن: GI نیاز ناخالص آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است.

حجم آب مجازی مصرف شده

برای محاسبه حجم آب مجازی مصرف شده[۱] از رابطه ۱۳ استفاده شد (Hoekstra and Hung، ۲۰۰۲):

$$VWC = \frac{CWR}{Y} \quad (۱۳)$$

در این معادله CWR نیاز آبی محصول (مترمکعب در هکتار)، Y مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) و VWC حجم آب مجازی مصرف شده (مترمکعب بر کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

اگر حجم آب مجازی محاسبه شده برای هر محصول بیشتر از یک متر مکعب بر کیلوگرم باشد، آن محصول در رده محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کمتر از یک مترمکعب بر کیلوگرم باشد، جزء محصولات کم-مصرف می‌باشد (آبابایی و رمضانی اعتدالی، ۲۰۱٤).

بهره‌وری مصرف آب

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای تجزیه و تحلیل میزان استفاده از آب، بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. شاخص بهره‌وری مصرف آب کشاورزی[۲] (کیلوگرم بر متر مکعب بر هکتار) میزان محصول تولید شده به ازای مصرف هر مترمکعب آب را نشان می‌دهد. برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب محصولات از رابطه ۱۰ استفاده شد (Hoekstra and Chapagain، ۲۰۰۷):

$$CWP = \frac{Y}{CWR} \quad (۱۴)$$

در این رابطه: Y مقدار عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و CWR نیاز آبی گیاه (مترمکعب) می‌باشد.

نتایج و بحث

متوسط ردپای آب در چهار بخش آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و آب سفید در جدول (۱) آورده شده است. آمار مربوط به عملکرد و سایر اطلاعات محصولات مورد مطالعه متوسط دوره ۱۳۹۶-۱۳۸۹ می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر ردپای آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و آب سفید محصولات در شهرستان مورد مطالعه

شهر	محصول	ردپای آب سبز	ردپای آب آبی	ردپای آب خاکستری	ردپای آب سفید	مجموع ردپای آب
		(متر مکعب بر تن)				
	سیب‌زمینی	۱۳/۹۳	۳۰/۹۵	۵۰/۳۱	۲۰۰۶/۷	۲۱۰۱/۹۱
	گوجه‌فرنگی	۱۰/۲۴	۲۹/۹۶	۳۸/۰۷	۱۷۹۱/۷۲	۱۸۷۰/۰۱
	چغندرقند	۱۲/۴۹	۲۸/۰۹	۲۰/۲۱	۱۰۳۳/۸۳	۱۰۹۴/۶۸
	ذرت علوفه‌ای	۶/۱۴	۱۲/۴۸	۱۸/۷۹	۱۶۵۷/۸۵	۱۶۹۵/۲۸

همان‌گونه که از جدول (۱) مشاهده می‌گردد سهم آب سبز در تولید محصولات پایین بود. سهم آب سبز در محصولات پاییزه بیشتر از محصولات بهاره بود، که علت آن بالا بودن میزان بارندگی‌ها در فصل پاییز و زمستان می‌باشد. بیشترین ردپای آب سبز برای گیاه پاییزه سیب‌زمینی (۱۳/۹۳ مترمکعب بر تن) و کمترین آن مربوط به ذرت علوفه‌ای (۶/۱۴ مترمکعب برتن) بود. از نظر ردپای آب خاکستری نیز سیب‌زمینی بالاترین ردپای آب (۵۰/۳۱ تن بر متر مکعب) را داشت. در مجموع بیشترین ردپای آب (۲۱۰۱/۹۱ مترمکعب بر تن)

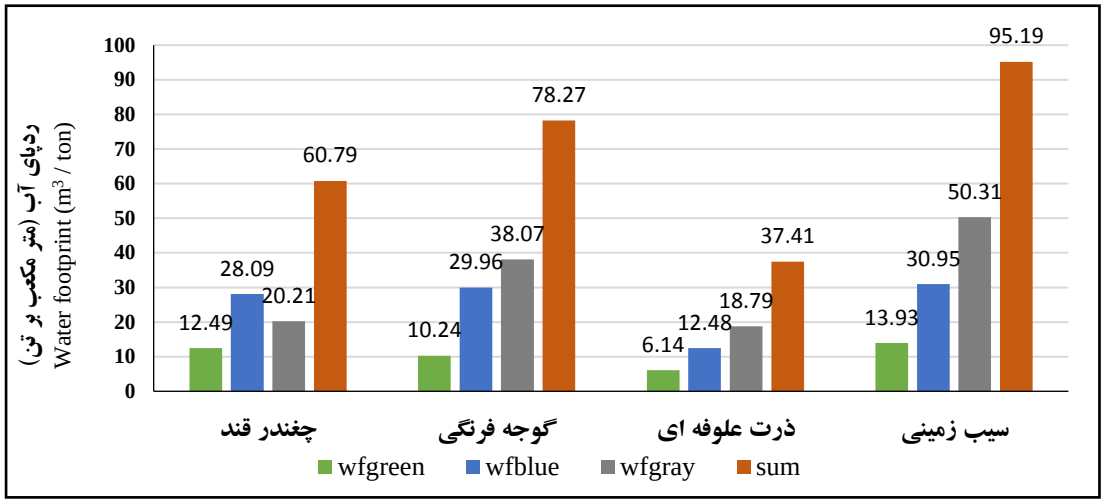
[۱] . Virtual Water Content

[۲] . Crop Water Productivity

از بین محصولات مورد بررسی مربوط به گیاه سیب-زمینی می‌باشد. بالاتر بودن ردپای آب در سیب‌زمینی به‌علت بالاتر بودن ردپای آب سفید و خاکستری در این محصول می‌باشد. سایر محققین نیز در تحقیق خود بالا بودن ردپای آب را به علت بالاتر بودن ردپای آب سفید بیان کردند (آبابایی و رمضانی اعتدالی، ۲۰۱٤). چغندرقند نیز با ۱۰۹۴/۶۸ مترمکعب بر تن کمترین میزان ردپای آب را دارا بود. نکته قابل توجه در بررسی بین هر دو جزء ردّپای آب آبی و سبز در همه محصولات، بالا بودن مقدار ردّپای آب آبی نسبت به ردّپای آب سبز می‌باشد که این نشان‌دهنده کم بودن نرخ بارش‌ها و حاکی از پایداری اقلیم خشک و نیمه‌خشک در منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی می‌باشد. بنابراین، انتظار می‌رود که برای افزایش بهره‌وری محصول و همچنین کاهش اثرات اقلیمی بر عملکرد محصول، استفاده از کودهای شیمیایی کاری رایج در بین کشاورزان باشد. لذا ردّپای آب خاکستری نیز باید به‌تبع آن رقم بیشتری باشد. اما بر خلاف دیگر محصولات برای محصول چغندرقند ردپای آب آبی بیشتر از ردپای آب خاکستری بود که علت آن مصرف کمتر کود در دوره رشد این گیاه می‌باشد.

با توجه به جدول (۱) در شهرستان اصفهان، مقایسه ردپای آب دو محصول پاییزه سیب‌زمینی و چغندرقند نشان داد علی‌رغم کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد سیب-زمینی نسبت به چغندرقند، مشاهده می‌گردد ردپای آب سیب‌زمینی ۱/۹۱ برابر ردپای آب چغندرقند می‌باشد. علت آن را می‌توان به عملکرد کمتر سیب‌زمینی در یک هکتار زمین (متوسط ۴۰ تن) نسبت به عملکرد چغندرقند (متوسط ۶۰ تن) دانست. از نظر ردپای آب سبز باید گفت چغندرقند با دارا بودن مقدار بیشتر ردپای آب سبز (۱۲/۴۹ مترمکعب برتن) سهم بیشتری از بارندگی‌ها دریافت می‌کند. علت آن زمان کشت چغندرقند می‌باشد. چغندرقند در پاییز که بارندگی‌ها بیشتر می‌باشد، کشت می‌شود به همین دلیل آب بیشتری از بارندگی‌ها دریافت می‌کند. سهم ردپای آب آبی در سیب‌زمینی بیشتر از چغندرقند می‌باشد و علت آن پایین بودن سهم آب سبز و حساسیت بیشتر سیب‌زمینی به کم‌آبی می‌باشد. ردپای آب خاکستری همان‌گونه که در مواد و روش‌ها توضیح داده شده نشان‌دهنده آلودگی توسط مصرف مواد کودی می‌باشد. سهم آب خاکستری برای سیب‌زمینی ۲/۴۸ برابر چغندرقند می‌باشد که نشان‌دهنده ایجاد آلودگی بیشتر توسط این محصول می‌باشد. تمایل زیاد کشاورزان به استفاده از کود جهت رشد و محصول بیشتر عامل بالا رفتن ردپای آب خاکستری می‌باشد. حجم تلفات آب آبیاری با استفاده از ردپای آب سفید بیان می-شود. ردپای آب سفید نیز در سیب‌زمینی ۱/۹۴ برابر چغندرقند می‌باشد. علت پایین بودن ردپای آب سفید در چغندرقند نسبت به سیب‌زمینی مقاوم بودن آن نسبت به تنش آبی می‌باشد. زاهدی و همکاران در تحقیق خود در خصوص مقایسه بهره‌وری و کارایی انرژی سیب‌زمینی و چغندرقند در اصفهان بیان داشتند کل انرژی مصرفی در مزارع چغندرقند نسبت به سیب‌زمینی پایین‌تر بود، این موضوع سبب شد که فشردگی انرژی در مزارع سیب‌زمینی بالاتر از چغندرقند باشد که حاکی از مصرف نهاده‌های بیشتر از جمله مصرف آب در تولید محصول سیب‌زمینی است (زاهدی و همکاران، ۲۰۱۵). ردپای کل آب بر اجزای مصرف آب شامل آب سبز، آبی و خاکستری دلالت دارد که شامل فرایند مصرف آب از زمان کاشت تا برداشت است. علاوه بر آن کل مصرف آب یک محصول شامل آب آبی و آب سبز است که هر یک اثرات و هزینه‌های متفاوتی بر آب در دسترس دارند.

مصرف آب سبز در تولید محصولات کشاورزی از آب باران است که بر روی محیط‌زیست اثر سویی ندارد و در مقابل آب آبی از آب‌های سطحی و زیرزمینی است که اثرات سو آن بر محیط زیست مشهود است (Ridutt and Pfister، ۲۰۱۰). لذا ردپای کل به مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب در تولیدات کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن دارد که کاربرد آن می‌تواند ارزیابی جامع‌تری از بهره‌وری آب زراعی و توزیع زمانی و مکانی آن داشته باشد (Lu و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین در ادامه برای مقایسه محصولات و این‌که کشت کدام محصول در منطقه مورد مطالعه بهتر است، نمودار ردپای آب برای محصولات مورد بررسی رسم شد (شکل ۲). به‌دلیل بیشتر بودن ردپای آب سفید نسبت به سایر ردپاهای آب و این‌که این جزء آب نشان‌دهنده حجم آب مصرفی داده شده به مزرعه توسط کشاورز می‌باشد، این جزء در نمودار آورده نشده است.



شکل ۲- مقایسه ردپای آب محصولات مورد مطالعه در شهرستان اصفهان

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود بین محصولات پاییزه سیب‌زمینی و چغندرقند، مجموع ردپای آب چغندرقند کمتر از سیب‌زمینی می‌باشد. مقایسه ردپای آب محصولات بهاره گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای نشان داد مجموع ردپای آب ذرت علوفه‌ای کمتر از گوجه‌فرنگی بود. که علت آن مقاومت بیشتر ذرت علوفه‌ای به کم‌آبی نسبت به گوجه‌فرنگی می‌باشد. مقادیر ردپای آب خاکستری برای گیاه سیب‌زمینی از سایر محصولات بیشتر بود. بنابراین با توجه به شکل (۲) می‌توان گفت از بین محصولات پاییزه چغندرقند و محصولات بهاره ذرت علوفه‌ای به‌دلیل کمتر بودن ردپای آب برای کشت در این منطقه مناسب‌تر می‌باشند.

شاخص ردپای آب را برای محصولات استان کرمانشاه محاسبه کردند و بر اساس آن الگوی کشت برای منطقه تعیین نمودند. نتایج تحقیق نشان داد از بین محصولات زراعی با توجه به پایین بودن شاخص ردپای آب محصول هندوانه، ذرت علوفه‌ای و چغندرقند برای کشت مناسب می‌باشند و کنجد، لوبیا و آفتابگردان از این نظر نامناسب‌ترین محصولات هستند (فرزی و همکاران، ۲۰۱۹).

آب مجازی و بهره‌وری

مقادیر آب مجازی و بهره‌وری برای محصولات مورد مطالعه محاسبه شد. نتایج در جدول (۲) مشاهده می‌گردد.

جدول ۲- میانگین نیاز آبی، عملکرد، آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب محصولات

شهر	محصول	نیاز آبی (متر مکعب در هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	آب مجازی (متر مکعب بر کیلوگرم)
	سیب‌زمینی	۱۴۱/۷۲	۳۸۰۰۰	۲/۶۸	۰/۳۷
	گوجه‌فرنگی	۱۳۸/۱۷	۳۵۰۰۰	۵/۱۷	۰/۱۹
	چغندرقند	۱۴۱/۷۲	۴۰۰۰۰	۲/۸۲	۰/۳۵
	ذرت علوفه‌ای	۱۰۶/۲۹	۵۵۰۰۰	۲/۵۳	۰/۳۹

همان‌طور که از جدول (۲) مشاهده می‌گردد مقدار آب مجازی برای تمامی محصولات مورد مطالعه کمتر از یک می‌باشد که نشان می‌دهد این محصولات جزء محصولات کم‌مصرف می‌باشند. نتایج تحقیق با نتایج روحانی و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. ایشان در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که سبزی‌ها، میوه‌ها و محصولات صنعتی در گروه محصولات کم‌مصرف و حبوبات، غلات، دانه‌های روغنی، خشکبار و خرما در گروه محصولات پرمصرف قرار دارند. از دیدگاه بهره‌وری آب کشاورزی، هرچه میزان تولید محصول به ازای آب مصرفی بیشتر باشد، بهره‌وری بالاتر است. آب مجازی محصولات کشاورزی متأثر از نیاز آبی و عملکرد محصول می‌باشد که به شرایط اقلیمی محل کشت بستگی دارد. مقدار بهره‌وری محصولات مورد مطالعه از ۲/۵۳ تا ۵/۱۷ تن بر مترمکعب متغیر بود. با توجه به این‌که رابطه معکوسی بین بهره‌وری مصرف آب و آب مجازی وجود دارد، محصولاتی که دارای مقادیر بالای آب مجازی هستند، بهره‌وری مصرف آب پایینی دارند. در این مطالعه گوجه‌فرنگی با کمترین مقدار آب مجازی (۰/۱۹ مترمکعب بر کیلوگرم در هکتار) بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب (۵/۱۷ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) را دارا بود. کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب (۲/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار) نیز متعلق به ذرت علوفه‌ای بود. بذرافشان و گرکانی‌نژادمشیزی در تحقیق خود راجع به ردپای آب زعفران به نتایج مشابه دست یافتند و بیان داشتند بهره‌وری مصرف آب با ردپای آب و آب مجازی رابطه عکس دارد و افزایش آن‌ها موجب کاهش بهره‌وری مصرف آب می‌شود (بذرافشان و گرکانی‌نژاد مشیزی، ۲۰۱۹). بیشترین مقدار آب مجازی مصرف‌شده برای گیاهان مورد مطالعه به ترتیب ذرت علوفه‌ای (۰/۳۹ مترمکعب بر کیلوگرم)، سیب‌زمینی (۰/۳۷ مترمکعب بر کیلوگرم)، چغندرقند (۰/۳۵ مترمکعب بر کیلوگرم) و گوجه‌فرنگی (۰/۱۹ مترمکعب بر کیلوگرم) بود که علت آن شاید پایین‌بودن عملکرد این محصولات در منطقه مورد مطالعه باشد. نتایج به‌دست آمده از محاسبات ردپای آب نیز موید این مطلب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین بخش مصرف‌کننده آب در جهان سبب استفاده فشرده از منابع آب و تأثیر مستقیم بر کیفیت و کمیت آب شده است. از این‌رو شاخصی برای مدیریت پایدار منابع آب با عنوان ردپای آب و آب مجازی ارائه شده است. در این تحقیق به بررسی ردّپای آب محصولات سیب‌زمینی، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای در شهرستان اصفهان پرداخته شد. نتایج نشان داد که مقدار آب مصرفی واقعی این محصولات در چهار جزء آب آبی، آب سبز، آب خاکستری و آب سفید در این منطقه یکسان نبوده و بسته به نوع آبیاری، نوع محصول و نحوه کشت و زرع محصولات متفاوت است. بنابراین استفاده از سیستم‌های آبیاری با راندمان بالا و همچنین لزوم مدیریت کشت این محصولات در منطقه مورد مطالعه امری لازم و ضروری بوده که همواره باید مدنظر مسئولین و مدیران امر قرار گیرد. نتایج تحقیق نشان داد در بین محصولات مورد مطالعه گیاه سیب-زمینی با ۲۱۰۱/۹۱ مترمکعب بر تن بالاترین مقدار ردپای آب و چغندرقند با ۱۰۹۴/۶۸ مترمکعب بر تن کمترین میزان ردپای آب را دارا بود. از نظر آب مجازی گوجه‌فرنگی کمترین مقدار آب مجازی (۰/۱۹ مترمکعب بر کیلوگرم در هکتار) را داشت. همچنین در این تحقیق مفهوم دیگری از ردپای آب با نام ردپای آب سفید مورد بررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده‌ی میزان تلفات آب کشاورزی می‌باشد. از نظر ردپای آب سفید سیب‌زمینی بیشترین مقدار ردپای آب سفید را داشت. از نظر بهره-وری مصرف آب نیز گوجه‌فرنگی بیشترین میزان بهره-وری مصرف آب را دارا بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، کشت محصولات گوجه‌فرنگی و چغندرقند با توجه به پایین بودن مقادیر ردپای آب، آب مجازی و بالاتر بودن میزان بهره‌وری مصرف آب در این منطقه نسبت به دو محصول دیگر دارای اولویت بیشتری باشد. با توجه به کمبود آب در کشور و به‌تبع آن استان اصفهان و قرارگیری منطقه مورد مطالعه در یک اقلیم خشک لزوم توجه به افزایش بهره‌وری آب امری ضروری است. همچنین با مدیریت صحیح تولید، راندمان آبیاری، مدیریت صحیح مصرف آب در بخش کشاورزی، کم-آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌توان اثر تغییرات فاکتورهای اقلیمی و کاهش بارندگی در این منطقه را جبران نمود و با تغییر و تعدیل الگوهای کشت می‌توان به حفظ محیط زیست، توسعه پایدار کشاورزی، خودکفایی و حفظ امنیت غذایی رسید. ردپای آب را نیز می‌توان با افزایش بازده محصول، استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد، کاهش تبخیر و تعرق، کاهش هدر رفت کود، استفاده موثر از بارش، بهینه‌سازی کاشت محصول و انتخاب محصولات زراعی با عملکرد بیشتر کاهش داد.

منابع

آبابایی، ب. و رمضانی اعتدالی، ه. ۱۳۹۴. برآورد اجزاء ردپای آب در تولید محصول گندم در سطح کشور. نشریه آب و خاک، ۲۹(۶): ۱۴۵۸-۱۴۶۸.

علیقلی‌نیا، ت.، شیبانی، ح.، محمدی، ا، و حسام، م. ۱۳۹۸. مقایسه و ارزیابی ردپای آب آبی، سبز و خاکستری گندم در اقلیم‌های مختلف ایران. نشریه تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵(۳)، ۲۳۴-۲۴۵.

عربی‌یزدی، ا.، نیک‌نیا، ن.، مجیدی، ن، و امامی، ح. ۱۳۹۳. بررسی امنیت آبی در اقلیم‌های خشک از دیدگاه شاخص رد پای آب (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۸(۴): ۷۳۵-۷۴۶.

بذرافشان، ا، و گرکانی‌نژاد مشیزی، ز. ۱۳۹۸. ارزیابی کارایی مصرف آب و ردپای آب در محصول زعفران در ایران. نشریه زراعت و فناوری زعفران. ۷(۴): ۵۰۵-۵۱۹.

رمضانی‌اعتدالی، ه.، شکوهی، ع، و م، 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 کشاورزی). ۳۱(۲): ۴۲۲-۴۳۳.

گلابی، م.، فرزی، س، و رادمنش، ف. ۱۳۹۸. تعیین الگوی کشت بهینه مبتنی بر شاخص ردپای آب (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۳): ۶۰۲-۵۸۸.

روحانی، ن.، یانگ هونگ.، امین‌سیچانی، س.، افیونی، م.، موسوی، س.ف، و کامگارحقیقی، ع. ا. ۱۳۸۷. ارزیابی مبادله محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران. مجله علوم آب و خاک. ۱۲(۴۶): ۴۱۷-۴۳۲.

یوسفی، ح.، محمدی، ع.، نوراللهی، ی، و ساداتی‌نژاد، س، ج. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان تهران. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۶): ۶۷-۸۵.

زاهدی، م.، عشقی‌زاده، ح.، و مندنی، ف. ۱۳۹۴. کارآیی انرژی و بهره وری در نظام های تولید سیب زمینی و چغندرقند استان اصفهان. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۵(۱۷): ۱۸۱-۱۹۰.

Chapagain AK, Hoekstra AY, Savenije HHG, and Gautam R, 2006. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecological Economics. 60(1): 186–203.

Deng, G., Ma, Y., and Li, X. 2016. Regional water footprint evaluation and trend analysis of China - based on interregional input–output model. J. Clean. Prod. 112: 4672-4682.

Fu, Y., Zhao, J., Wang, C., Peng, W., Wang, Q., and Zhang, C. ۲۰۱۸. The virtual Water flow of crops between intraregional and interregional in mainland China. Agricultural water management. 208, 204-213.

Hess, T.M., Lennard, A.T., and Daccache, A. 2015. Comparing local and global water scarcity information in determining the water scarcity footprint of potato cultivation in Great Britain. J. Clean. Prod. ۸۷: ٦٦٦-٦٧٤.

Hoekstra, A.Y. 2013. The Water Footprint of Modern Consumer Society. Routledge, London, UK, 208p.

Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. 2011. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. John Wiley and Sons.

Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q. 2002. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series. 11, p.166.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK, 203p.

Hoekstra,A.Y. and Chapagain,A.K. 2007. Water footprint of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resource Management. 21(1), 35-48.

Lu, Y., Zhang, X., Chen, S., Shao, L., and Sun, H. 2016. Changes in water use efficiency and water footprint in grain production over the past 35 years: a case study in the North China Plain. Journal of Cleaner Production. 116: 71–79.

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.

Ridoutt, B.G., and Pfister, S. 2010 .A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. Global Environmental Change. 20: 113-120.

Rodriguez CI, de Galarreta VR, and Kruse EE, 2015. Analysis of water footprint of potato production in the Pampean region of Argentina. Cleaner Production. 90: 91–96.

Van oel, P.R., Mekonnen, M.M and Hoekstra, A.A. 2008. The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment. Value of Water Research Report Series No. 33, UNESCOIHE, Delft, the Netherlands.

Zhuo, L. and Hoekstra, A.Y. 2017. The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint. Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 4, 185-194.

Zhuo, L., Mekonnen, M. M., and Hoekstra, A. Y. 2016. Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China—with a focus on crop production, consumption and trade. Environment international. 94, 211-223.

Investigation of water footprint, virtual water and water use of three groups of autumn and spring products, vegetables (tomatoes and potatoes), industrial (sugar beet) and fodder (fodder corn) in Isfahan.

Abstract

One of the practical solutions for water resources management is to estimate the plant's water needs and determine the amount of water consumed at different stages of crop production. In order to calculate the amount of water consumed by agricultural products in the growth stages, the virtual water index and water footprint are used. In this study, first the water requirement of sugar beet, potato, forage corn and tomato plants was calculated, then the average volume of water consumption, virtual water, water footprint and water use efficiency of these products for the statistical period 2010-2017 were obtained. The results showed that among the studied crops, potatoes with the amount of 2101.291 m^3/ton had the highest water footprint and sugar beet with the amount of 1094.68 m^3/ton had the lowest water footprint. The highest amount of virtual water consumed was related to fodder corn (0.39 m^3/kg) and the lowest amount was related to tomatoes (0.19 m^3/kg). The lowest water use efficiency (2.82 kg/m^3/ha) also belonged to sugar beet. Also in this study, another component of water footprint called white water footprint was examined, according to which the highest amount was related to potatoes with the amount (2006.7 m^3/kg) and the lowest amount was related to sugar beet with the amount of (1003/833 m^3/kg). Therefore, according to the obtained results, it can be said that the tomato crop is more suitable for cultivation than other crops in the study area due to its low virtual water content and high water consumption efficiency.

Keywords: *green water, blue water, gray water, white water, Requierment water.*