



انجمن مهندسان کشاورزی و منابع طبیعی ایران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره ششم، ۱۳۹۹

۱۲۰-۱۰۳

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2021.18398.3399

مقاله کامل علمی - پژوهشی

بررسی ردپای آب و بهره‌وری مصرف آب محصولات سیب‌زمینی، چغندر قند، گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای در اقلیم‌های مختلف ایران

* حلیمه پیری^۱ و مجتبی مبارکی^۲

^۱استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل،

^۲دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: 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 مصرف‌شده توسط محصولات کشاورزی در مراحل رشد، از شاخص آب مجازی و ردپای آب استفاده می‌شود. ردپای آب در یک محصول به‌صورت حجمی از آب شیرین که در تولید آن محصول مصرف شده است، تعریف می‌شود. ردپای آب به‌عنوان شاخصی برای تخصیص منابع آب شیرین تعریف شده است که بینش ارزشمندی درباره آثار محیط زیستی تولید یک محصول ارائه می‌کند. ردپای آب نشان‌دهنده آب مصرفی واقعی محصولات در سه جزء آبی، سبز و خاکستری است، که امروزه در راستای مدیریت نوین منابع آب با رویکرد یکپارچه مورد توجه قرار گرفته است. به‌منظور ارزیابی مناسب آب مصرفی در بخش کشاورزی، لازم است که شاخص ردپای آب در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: برای انجام پژوهش ابتدا داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. سپس نیاز آبی گیاهان چغندر قند، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی در اقلیم‌های همدان، اهواز، شهرکرد، مشهد و اصفهان با استفاده از نرم‌افزار CropWat محاسبه شد. مقدار عملکرد محصول و مقدار کود ازته مصرفی از جهاد کشاورزی هر استان اخذ شد. سپس میانگین حجم آب مصرفی، آب مجازی، ردپای آب و بهره‌وری مصرف آب این محصولات برای دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۹۰ محاسبه شد. برای محاسبه ردپای آب از روش چاپاگین و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج پژوهش نشان داد در بین محصولات مورد مطالعه گیاه سیب‌زمینی با ۲۹۴۵/۴ مترمکعب بر تن در شهر اهواز با اقلیم گرم و مرطوب بالاترین ردپای آب و چغندر قند با ۹۰۶/۱ مترمکعب بر تن در اقلیم سرد و خشک مشهد کم‌ترین ردپای آب را دارا بود. بیش‌ترین مقدار آب مجازی مصرف‌شده برای گیاهان مورد مطالعه سیب‌زمینی (۰/۸۴)

* مسئول مکاتبه: h_piri2880@uoz.ac.ir

مترمکعب بر کیلوگرم)، گوجه‌فرنگی (۰/۵۱ مترمکعب بر کیلوگرم)، چغندر قند (۰/۴۶ مترمکعب بر کیلوگرم) و ذرت علوفه‌ای (۰/۳۹ مترمکعب بر کیلوگرم) به ترتیب مربوط به اقلیم اهواز، شهرکرد، اهواز و اصفهان بود. کم‌ترین مقدار بهره‌وری مصرف آب (۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار) نیز متعلق به سیب‌زمینی در اقلیم اهواز بود. کم‌ترین آب مجازی و بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب برای گیاهان مورد مطالعه در اقلیم همدان به دست آمد.

نتیجه‌گیری: در پژوهش حاضر مصرف آب برای محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد حجم آب مصرفی در محصولات مورد مطالعه در اقلیم‌های مختلف متفاوت است. با توجه نتایج به دست آمده می‌توان گفت اقلیم همدان با توجه به پایین بودن مقادیر آب مجازی (۰/۲۹، ۰/۳، ۰/۱۹ و ۰/۱۴ مترمکعب بر کیلوگرم) و بالا بودن بهره‌وری مصرف آب (۳/۴۳، ۳/۳، ۵/۱۹ و ۷/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب) به ترتیب برای سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، چغندر قند و ذرت علوفه‌ای، نسبت به سایر اقلیم‌های مورد مطالعه برای کشت هر چهار محصول مناسب‌تر است. هم‌چنین با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و کمبود آب باید از منابع آب موجود به بهترین نحو استفاده نمود و کشت محصولات با نیاز آبی کم‌تر و عملکرد بالاتر مورد برنامه‌ریزی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، آب خاکستری، آب سبز، آب سفید، نیاز آبی

مقدمه

راندمان کاربرد آب متغیر است، بنابراین 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. 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 (۲۵). در مبانی نظری مربوط به آب مجازی، اصطلاح ردپای آب مطرح شده است و نشان‌دهنده میزان حجم آب مصرفی به تفکیک منابع آب سطحی، زیرزمینی و آب باران می‌باشد (۴). مفهوم آب مجازی و ردپای آب ارتباط نزدیکی به هم دارند.

یکی از عواملی که در بخش کشاورزی موجب کاهش کارایی راندمان آب شده عدم توجه به میزان مصرف آب در انتخاب محصولات کشاورزی و اعمال الگوی کشت نامناسب بر مبنای ارزش آب است. در بسیاری از مناطق کشور، کشت محصولات زراعی، بیلان منفی آب دشت‌ها و نیاز به پایداری تولید محصولات، منجر می‌شود تا در جهت روش‌های کمک به بهبود سفره‌های زیرزمینی آب و افزایش راندمان مصرف آب اقدام شود. هم‌چنین باید نسبت تخصیص زمین‌های کشاورزی و برنامه 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 (۵). از آنجایی که میزان آب مصرفی واقعی هر محصول تحت تأثیر بر اقلیم منطقه، میزان تولیدات، الگوی مصرفی، عملیات کشاورزی و

آب خاکستری در قسمت‌های جنوبی دیده می‌شود. میانگین ردپای آب سبز، آبی و خاکستری به ترتیب ۵۰۳/۳، ۱۳۹۲/۱ و ۲۸۶/۲ مترمکعب بر تن به دست آمد. هم‌چنین نتایج پژوهش نشان داد که کشت محصول گندم در همه اقلیم‌ها مناسب نبوده و در اقلیم‌های A-C-W و A-C-VW (طبقه‌بندی یونسکو) ایران توصیه نمی‌گردد (۳). ردپای آب کشت سیب‌زمینی در انگلستان 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 (۱۱). 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 (۸). خلیلی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی مدیریت منابع آب استان قم را بر اساس ردپای آب مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد سهم ردپای آب آبی در استان بیش‌تر از ردپای آب سبز و خاکستری بود. 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

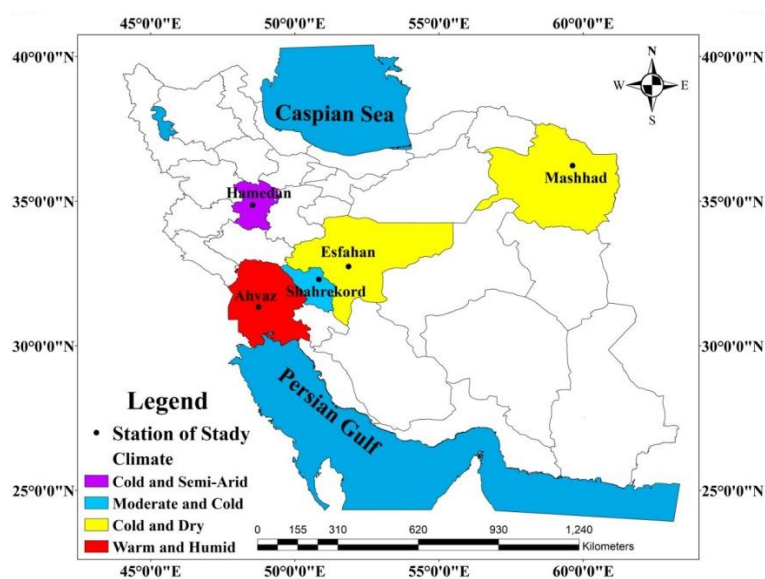
شاخص ردپای آب به‌عنوان یک شاخص جامع نشان‌دهنده مقدار واقعی آب مصرفی بر اساس شرایط و اقلیم هر منطقه می‌باشد. ردپای آب شاخصی چندبعدی برای استفاده از آب شیرین است که تنها به مصرف مستقیم آب توسط مصرف‌کننده یا تولیدکننده محصور نمی‌شود بلکه در این شاخص استفاده غیرمستقیم از آب نیز در نظر گرفته می‌شود. در واقع 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 (۱۴). این شاخص در تدوین استراتژی‌هایی جهت تخصیص منابع آب یک منطقه یا حوزه قابلیت استفاده دارد (۱۲). 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 (۱۷). 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 (۲۲). 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 روزافزون 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 ردپای آب آبی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی، بیش‌ترین مقدار ردپای آب سبز در قسمت‌های شمالی و غربی و بیش‌ترین مقدار ردپای

و بهبود مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی به‌خصوص در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند، می‌نماید. با توجه به این‌که محصولات سیب‌زمینی، چغندرقد، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی تقریباً در تمام استان‌های کشور با شرایط آب‌وهوایی متفاوت کشت می‌شود و پژوهشی راجع به تعیین مناطق مناسب برای کشت این محصولات بر اساس ردپای آب انجام نشده است، بنابراین در این پژوهش به بررسی اجزای ردپای آب، مقدار آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب در محصولات پاییزه سیب‌زمینی و چغندرقد و محصولات بهاره ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی در چهار اقلیم مختلف ایران پرداخته شد تا اقلیم‌های مناسب برای کشت این محصولات مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش از بین محصولات زراعی پاییزه سیب‌زمینی و چغندرقد و از بین محصولات بهاره ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی انتخاب شد. هم‌چنین با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیم‌های مختلف پنج شهر اصفهان، اهواز، شهرکرد، مشهد و همدان به‌ترتیب با اقلیم‌های سرد و خشک، گرم و مرطوب، سرد و معتدل، سرد و خشک و سرد و نیمه‌خشک موردبررسی قرار گرفت. شکل ۱ مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد. اطلاعات هواشناسی در دوره مطالعاتی (۱۳۹۶-۱۳۹۰) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. اطلاعات مربوط به کود مصرفی و عملکرد هر محصول از سازمان جهاد کشاورزی هر استان اخذ گردید.

و آب سبز به‌ترتیب ۵۶/۴ و ۲۴/۱ درصد می‌باشد. آن‌ها به‌منظور کاهش ردپای آب این محصول عوامل مختلف مانند استفاده از تکنولوژی‌های جدید و پیشرفته در آبیاری، افزایش دانش کشاورزان و اصلاح قیمت آب و قانون استفاده از آب‌های زیرزمینی را پیشنهاد کردند (۱۵). بذرافشان و همکاران (۲۰۲۰) توزیع زمانی و مکانی آب مجازی را برای گردو در ایران انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد متوسط حجم کل ردپای آب در محصول گردوی فاریاب ۱۴۹۳ میلیون مترمکعب در سال است که حدود ۹۴ درصد از کل حجم ردپای آب در تولید گردوی کشور یعنی معادل ۱۴۰۳ میلیون مترمکعب در سال به‌صورت تجارت آب مجازی از کشور صادر می‌شود. 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 (۱۰). تأثیرات اقدامات مدیریت مختلف کشاورزی از جمله راندمان آبیاری، بهره‌وری مصرف آب و ردپای آب آبی و سبز را برای محصول گندم زمستانه موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کم‌آبیاری بیش‌ترین تأثیر را در افزایش راندمان مصرف آب آبی داشته است، بدین‌ترتیب که راندمان آبیاری ۵ درصد افزایش و ردپای آب آبی ۳۸ درصد کاهش یافته است (۲۶). با توجه به اهمیت شاخص ردپای آب در بحث مدیریت منابع آب به‌خصوص 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



شکل ۱- مناطق مورد مطالعه.

Figure 1. Study areas.

γ ضریب سایکرومتری ($\text{KPa}^0\text{C}^{-1}$)، C_n ضریبی برای گیاه مرجع که مقدار آن ۹۰۰ می‌باشد ($\text{Kg}^0\text{KKj}^{-1}\text{day}^{-1}$)، C_d ضریب باد برای گیاه مرجع که مقدار آن ۰/۳۴ می‌باشد (s m^{-1}).

پس از محاسبه تبخیر و تعرق مقدار نیاز آبی گیاهان از رابطه ۳ محاسبه شد (۱۶):

$$\text{CWR} = \text{ET}_C \times A \quad (3)$$

که در آن، A مساحت زیرکشت (ha) و CWR (m^3) نیاز آبی است.

اجزای ردپای آب در این پژوهش شامل ردپای آب سبز^۲، ردپای آب آبی^۳، ردپای آب خاکستری^۴ و رد پای آب سفید^۵ است. 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

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 فائوپنمن-مانتیت و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT محاسبه شد (رابطه‌های ۱ و ۲).

$$\text{ET}_0 = \frac{0.408\Delta(\text{Rn}-\text{G}) + \gamma \frac{C_n}{T+273} U_2(\text{es}-\text{ea})}{\Delta + \gamma(1+C_d U_2)} \quad (1)$$

$$\text{ET}_C = K_C \times \text{ET}_0 \quad (2)$$

که در آن، ET_0 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 ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)، G شار گرمای خاک ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)، T_{mean} میانگین دمای هوای روزانه ($^{\circ}\text{C}$)، U_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دومتری از سطح زمین (m s^{-1})، e_s فشار بخار اشباع (KPa)، ea فشار بخار واقعی (KPa)، $\text{es}-\text{ea}$ کمبود فشار بخار اشباع (KPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع ($\text{KPa}^0\text{C}^{-1}$).

- 2- Green Water Footprint
- 3- Blue Water Footprint
- 4- Gray Water Footprint
- 5- White Water Footprint

- 1- Crop Water Requirement

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^T ET_{green} \quad (6)$$

که در آن، 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 موجود استفاده می‌کند (۱۰). از این رو، تبخیر و تعرق سبز گیاه از رابطه ۷ به دست آمد (۱۴):

$$ET_{green} = \min(ET_c, P_e) \quad (7)$$

که در آن، ET_c مقدار تبخیر و تعرق گیاه و P_e مقدار باران مؤثر است. ردپای آب آبی نیز به طور مشابه ردپای آب سبز محاسبه می‌شود و از رابطه‌های ۸، ۹ و ۱۰ به دست آمد (۱):

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (8)$$

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^T ET_{blue} \quad (9)$$

$$ET_{blue} = \max(0, ET_c - P_e) \quad (10)$$

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) است. یکی دیگر از اجزای ردپای آب در تولید محصول، حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی کودهای کشاورزی با استفاده از رواناب یا نفوذ عمقی است که به آن آب خاکستری گفته می‌شود (۱۳). در این پژوهش، ردپای آب خاکستری تنها برای کودهای

مرتبط است و به حجم آبی اطلاق می‌شود که در مناطق غیراشباع خاک به صورت رطوبت خاک ذخیره می‌شود و گیاه از آن استفاده می‌کند. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای از بین بردن آلودگی‌های ایجاد شده ناشی از کشت گیاه و تولید محصول در محیط استفاده شده‌اند، مورد نیاز است. پژوهشگران مفهوم آب سفید را ارائه دادند که در واقع حجم تلفات آب آبیاری را بیان می‌نماید (۱). بنابراین ردپای آب کل^۱ به صورت رابطه ۴ بیان می‌گردد.

$$WF_t = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{gray} + WF_{white} \quad (4)$$

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:

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 ۵ محاسبه شد (۱۴):

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (5)$$

که در آن، WF_{green} ردپای آب سبز (مترمکعب بر تن)، Y عملکرد گیاه (تن در هکتار) و CWU_{green} مقدار مصرف آب سبز گیاه (مترمکعب در هکتار) است. مقدار مصرف آب سبز گیاه از مجموع تبخیر و تعرق روزانه در طی فصل رشد گیاه به دست می‌آید:

1- Total Water Footprint

$$WF_{white} = \frac{10 \times (GI - CWU_{blue})}{Y} \quad (12)$$

که در آن، GI نیاز ناخالص آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است. برای محاسبه حجم آب مجازی مصرف شده^۱ از رابطه ۱۳ استفاده شد (۱۳):

$$WVC = \frac{CWR}{Y} \quad (13)$$

که در آن، CWR نیاز آبی محصول (مترمکعب در هکتار)، Y مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) و WVC حجم آب مجازی مصرف شده (مترمکعب بر کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

اگر حجم آب مجازی محاسبه شده برای هر محصول بیش‌تر از یک مترمکعب بر کیلوگرم باشد، آن محصول در رده محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کم‌تر از یک مترمکعب بر کیلوگرم باشد، جزء محصولات کم‌مصرف می‌باشد (۱).

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای تجزیه و تحلیل میزان استفاده از آب، بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. شاخص بهره‌وری مصرف آب کشاورزی^۲ (کیلوگرم بر مترمکعب بر هکتار) میزان محصول تولید شده به‌ازای مصرف هر مترمکعب آب را نشان می‌دهد. برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب محصولات از رابطه ۱۴ استفاده شد (۱۸):

$$CWP = \frac{Y}{CWR} \quad (14)$$

که در آن، Y مقدار عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و CWR نیاز آبی گیاه (مترمکعب) می‌باشد.

نیترژن به‌عنوان منبع آلودگی آب (نیترژن با آبشویی، بیش‌تر از دسترس خارج می‌شود و با ورود به آب‌های زیرزمینی، باعث آلودگی آن‌ها می‌گردد) از رابطه ۱۱ محاسبه شد. بدین‌منظور تنها استفاده از کود ازته به‌عنوان منبع ایجاد آلودگی مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات مربوط به میانگین میزان کود ازته از جهاد کشاورزی استان گرفته شد. محاسبه بر اساس روش ارائه شده توسط چاپاگین و همکاران (۲۰۰۶) و هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد (۷ و ۱۳). آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا با توجه به پژوهش چاپاگین و همکاران (۲۰۰۶) حداکثر غلظت مجاز نیترژن 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. بنابراین لازم بود تا غلظت این عامل کم‌تر از یک آستانه قرار گیرد. از آن‌جایی که هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد غلظت طبیعی نیترژن در آب و محیط در دسترس نبود، مقدار آن در این مطالعه صفر در نظر گرفته شد (۲۰).

$$WF_{gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y} \quad (11)$$

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

جزء دیگری از مجموع ردپای آب را تشریح شد که تحت عنوان آب سفید نام‌گذاری شده است. این جزء، حجم تلفات آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) را مورد توجه قرار می‌دهد و با رابطه ۱۲ محاسبه شد (۱):

1- Virtual Water Content
2- Crop Water Productivity

محصولات مورد مطالعه متوسط دوره ۱۳۸۹-۱۳۹۶

نتایج و بحث

می‌باشد.

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

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

Table 1. Green Water Footprint, blue water, gray water and white water products in the studied cities.

مجموع ردپای آب	ردپای آب سفید	ردپای آب خاکستری	ردپای آب آبی	ردپای آب سبز	محصول	شهر
Total Water Footprint	White Water Footprint	Gray Water Footprint	Blue Water Footprint	Green Water Footprint	product	city
M ³ /ton						
2101.91	2006.7	50.31	30.95	13.93	سیب زمینی Potato	اصفهان Esfahan
1870.01	1791.72	38.07	29.96	10.24	گوجه فرنگی Tomato	
1094.68	1033.83	20.21	28.09	12.49	چغندر قند Sugar beet	
1695.28	1657.85	18.79	12.48	6.14	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	
2945.4	2761.8	72.13	87.29	24.61	سیب زمینی Potato	اهواز Ahvaz
1823.6	1727.5	39.94	43.75	12.42	گوجه فرنگی Tomato	
1659.3	595.8	12.57	27.96	22.91	چغندر قند Sugar beet	
1937.4	1881.7	23.79	20.47	11.99	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	
2406.86	2294.88	62.11	27.91	21.95	سیب زمینی Potato	شهرکرد Sahrkord
2182	2092.1	44.15	30.75	14.73	گوجه فرنگی Tomato	
1077.31	1013.03	17.78	26.07	20.4	چغندر قند Sugar beet	
1893.35	1847.2	23.07	12.28	10.99	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	
2523.67	2402.12	65.18	27.34	29.02	سیب زمینی Potato	مشهد Mashhad
1566.44	1503.88	27.92	21.34	13.48	گوجه فرنگی Tomato	
906.1	849.65	14.83	20.13	21.48	چغندر قند Sugar beet	
2126.32	2074.12	25.07	12.21	14.91	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	
1763.76	1684.12	50.04	15.07	13.72	سیب زمینی Potato	همدان Hamedan
1602.95	1549.04	31.58	14.71	11.6	گوجه فرنگی Tomato	
1062.29	1014.37	17.21	15.99	14.93	چغندر قند Sugar beet	
2077.89	2035.2	24.83	9.01	9.05	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	

باشد. علیقلی نیا و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهش خود راجع به بررسی ردپای آب برای گیاه گندم در اقلیم‌های مختلف ایران به نتایج مشابه دست یافتند (۳). این روند تقریباً برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه این‌گونه بود اما برای محصول چغندر قند ردپای آب آبی بیش‌تر از ردپای آب خاکستری بود. علت آن مصرف کم‌تر کود در دوره رشد این گیاه است.

با توجه به جدول ۱ در اصفهان، مقایسه ردپای آب دو محصول پاییزه سیب‌زمینی و چغندر قند نشان داد علی‌رغم کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد سیب‌زمینی نسبت به چغندر قند، مشاهده می‌گردد ردپای آب سیب‌زمینی ۱/۹۱ برابر ردپای آب چغندر قند است. علت آن را می‌توان به عملکرد کم‌تر سیب‌زمینی در یک هکتار زمین (متوسط ۴۰ تن) نسبت به عملکرد چغندر قند (متوسط ۶۰ تن) دانست. از نظر ردپای آب سبز باید گفت چغندر قند با دارا بودن مقدار بیش‌تر ردپای آب سبز (۱۲/۴۹ مترمکعب بر تن) سهم بیش‌تری از بارندگی‌ها دریافت می‌کند. علت آن زمان کشت چغندر قند می‌باشد. چغندر قند در پاییز که بارندگی‌ها بیش‌تر است، کشت می‌شود به همین دلیل آب بیش‌تری از بارندگی‌ها دریافت می‌کند. سهم ردپای آبی در سیب‌زمینی بیش‌تر از چغندر قند می‌باشد و علت آن پایین بودن سهم آب سبز و حساسیت بیش‌تر سیب‌زمینی به کم‌آبی می‌باشد. سیب‌زمینی به واسطه سیستم ریشه‌ای نسبتاً کم‌عمق، کم تراکم و ضعیف آن به‌عنوان یک گونه نسبتاً حساس به خشکی شناخته می‌شود. ردپای آب خاکستری همان‌گونه که در مواد و روش‌ها توضیح داده شد نشان‌دهنده آلودگی توسط مصرف مواد کودی می‌باشد. سهم آب خاکستری برای سیب‌زمینی ۲/۴۸ برابر چغندر قند می‌باشد که نشان‌دهنده ایجاد آلودگی بیش‌تر توسط این محصول می‌باشد. تمایل زیاد کشاورزان به استفاده

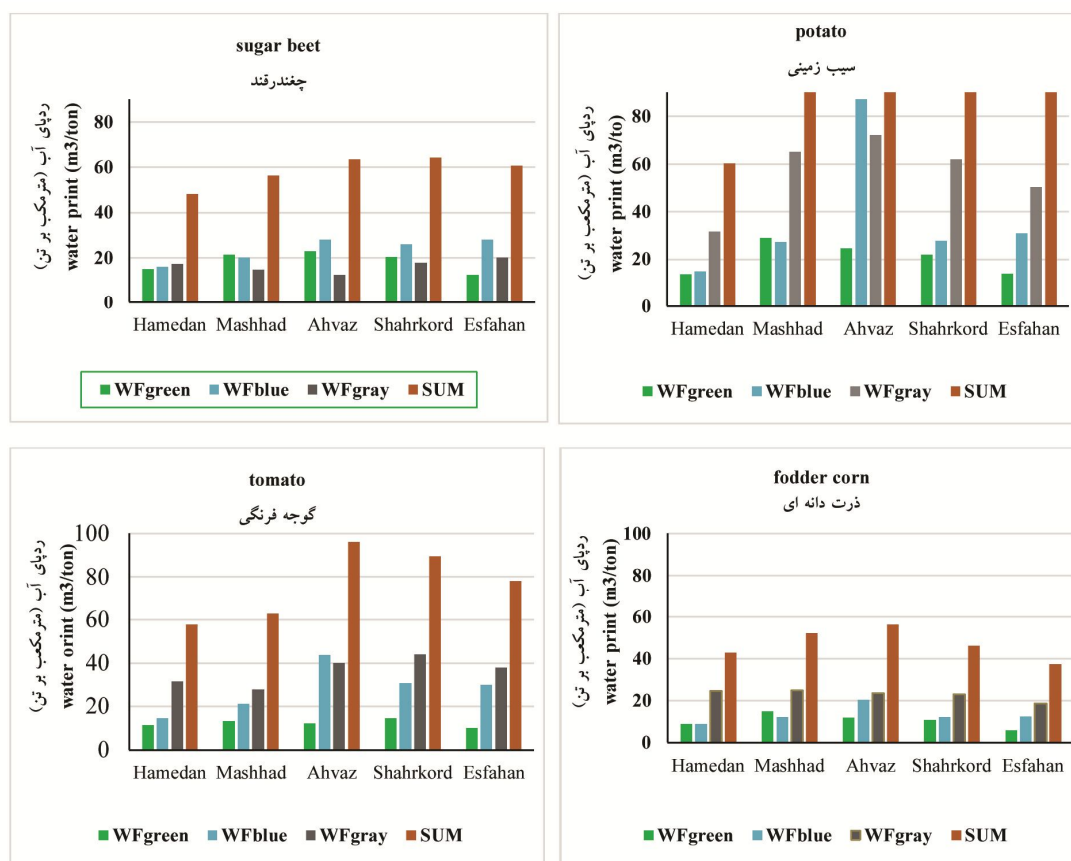
همان‌گونه که از جدول ۱ مشاهده می‌گردد سهم آب سبز در تولید محصولات پایین بود. سهم آب سبز در محصولات پاییزه بیش‌تر از محصولات بهاره بود. که علت آن بیش‌تر بودن میزان بارندگی‌ها در فصل پاییز و زمستان می‌باشد. بیش‌ترین ردپای آب سبز برای گیاه پاییزه سیب‌زمینی (۲۴/۶۱ مترمکعب بر تن) در اقلیم گرم و مرطوب اهواز و کم‌ترین آن برای محصول ذرت علوفه‌ای (۹/۰۵ مترمکعب بر تن) در اقلیم سرد و نیمه‌خشک همدان بود. از نظر ردپای آب خاکستری نیز سیب‌زمینی در اقلیم گرم و مرطوب اهواز بالاترین ردپای آب (۷۲/۱۳ تن بر مترمکعب) را داشت. در مجموع بیش‌ترین ردپای آب (۲۹۴۵/۴ مترمکعب بر تن) از بین محصولات مورد بررسی مربوط به گیاه سیب‌زمینی و شهر اهواز با اقلیم گرم و مرطوب است. بالاتر بودن ردپای آب در سیب‌زمینی به‌علت بالاتر بودن ردپای آب سفید و آبی در این محصول می‌باشد. سایر پژوهشگران نیز در پژوهش خود بالا بودن ردپای آب را به‌علت بالاتر بودن ردپای آب سفید بیان کردند (۱). یکی از دلایل افزایش ردپای آب سفید، پایین بودن راندمان آبیاری و تلفات زیاد آب در این مناطق و مدیریت ضعیف آبیاری می‌باشد. چغندر قند با ۹۰۶/۱ مترمکعب بر تن در اقلیم سرد و خشک مشهد کم‌ترین ردپای آب را دارا بود. نکته قابل‌توجه در بررسی بین هر دو جزء ردپای آب آبی و سبز تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها، بالا بودن مقدار ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز می‌باشد که این نشان‌دهنده کم بودن نرخ بارش‌ها و بیانگر پایداری اقلیم خشک و نیمه‌خشک در کشور 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. بنابراین ردپای آب خاکستری نیز باید به‌تبع آن رقم بیش‌تری

اقلیم نسبت داد. ذوب شدن برف‌ها باعث تأمین آب موردنیاز گیاه می‌شود که مصرف آب آبیاری را پایین می‌آورد. با توجه به جدول ۱ در اقلیم سرد و خشک مشهد و سرد و نیمه‌خشک همدان نیز روند ردپای آب سبز در محصولات به همین ترتیب (سیب‌زمینی بالاترین و ذرت علوفه‌ای کم‌ترین) بود. روند ردپای آب آبی در اقلیم‌های مختلف در بین محصولات متفاوت بود و علت آن پراکندگی و تفاوت بارش‌ها در این مناطق است. در مشهد سیب‌زمینی و در همدان چغندر قند بالاترین ردپای آب آبی را داشت.

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 سوئی ندارد و در مقابل آب آبی از آب‌های سطحی و زیرزمینی است که اثرات سو آن بر محیط‌زیست مشهود است (۲۰). بنابراین 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 (۱۹). بنابراین در ادامه برای مقایسه محصولات و این‌که کشت محصول در کدام اقلیم بهتر است، نمودار ردپای آب برای محصولات مورد مطالعه رسم شد (شکل ۲). به دلیل 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.

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 می‌شود. ردپای آب سفید نیز در سیب‌زمینی ۱/۹۴ برابر بیش‌تر از چغندر قند می‌باشد. علت پایین بودن ردپای آب سفید در چغندر قند نسبت به سیب‌زمینی مقاوم بودن آن نسبت به تنش آبی می‌باشد. به دلیل این‌که سیب‌زمینی حساس به کم‌آبی می‌باشد، کشاورزان آب بیش‌تری برای آبیاری آن به کار می‌برند. این امر باعث افزایش تلفات، کاهش راندمان آبیاری و بالا رفتن ردپای آب سفید می‌شود. زاهدی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود در خصوص مقایسه بهره‌وری و کارایی انرژی سیب‌زمینی و چغندر قند در اصفهان بیان داشتند کل انرژی مصرفی در مزارع چغندر قند نسبت به سیب‌زمینی پایین‌تر بود، این موضوع سبب شد که فشرده‌گی انرژی در مزارع سیب‌زمینی بالاتر از چغندر قند باشد که بیانگر مصرف نهاده‌های بیش‌تر از جمله مصرف آب در تولید محصول سیب‌زمینی است (۲۴).

با توجه به جدول ۱ در اقلیم گرم و مرطوب اهواز سیب‌زمینی با ۲۴/۶۱ مترمکعب بر تن بیش‌ترین و ذرت علوفه‌ای با ۱۱/۹۹ مترمکعب بر تن کم‌ترین ردپای آب سبز را دارا بودند. ردپای آب آبی، سفید و خاکستری نیز در چغندر قند از سایر محصولات بیش‌تر بود که علت آن را شاید به حساس بودن گیاه سیب‌زمینی به شرایط تنش و مصرف کود نسبت به سایر محصولات دانست. در اقلیم سرد و معتدل شهرکرد نیز سیب‌زمینی دارای بیش‌ترین ردپای آب سبز بود. اما از نظر ردپای آب آبی گوجه‌فرنگی با ۳۰/۷۵ تن بر مترمکعب بالاترین ردپا را داشت. علت پایین بودن ردپای آب آبی در سیب‌زمینی در این شرایط اقلیمی را شاید بتوان به بارش برف در این



شکل ۲- مقایسه رد پای آب محصولات مورد مطالعه در شهرها.

Figure 2. Comparison of water footprint of studied products in cities.

همچنین مطابق شکل ۲ بیشترین مقدار رد پای آب خاکستری برای سیبزمینی در شهر اهواز و مشهد مشاهده شد. علیقلی نیا و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود بیان داشتند رد پای آب خاکستری در شهرهای جنوبی ایران بیشتر می باشد و علت آن را شور بودن اراضی این مناطق و نیاز بالای آبشویی بیان داشتند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۳). بنابراین با توجه به شکل ۲ می توان گفت از بین محصولات پاییزه چغندر قند و محصولات بهاره ذرت علوفه ای به دلیل کمتر بودن رد پای آب برای کشت مناسب تر می باشند. شاخص رد پای آب را برای محصولات استان کرمانشاه محاسبه کردند و براساس آن الگوی کشت برای منطقه تعیین نمودند. نتایج پژوهش نشان

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود از بین محصولات پاییزه سیبزمینی و چغندر قند، مجموع رد پای آب چغندر قند در تمامی شهرها کمتر از سیبزمینی بود. همچنین از بین شهرهای مورد مطالعه همدان کمترین مقادیر رد پای آب را برای چغندر قند دارا بود. شهرهای اهواز، مشهد و شهرکرد مقادیر بالاتری از رد پای آب سبز را داشتند. مقایسه رد پای آب محصولات بهاره گوجه فرنگی و ذرت علوفه ای نشان داد در همه شهرها مجموع رد پای آب ذرت علوفه ای کمتر از گوجه فرنگی بود. که علت آن مقاومت بیشتر ذرت علوفه ای به کم آبی نسبت به گوجه فرنگی است. مقادیر رد پای آب خاکستری برای گیاه سیبزمینی از سایر محصولات بیشتر بود.

کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار) نیز متعلق به سیب‌زمینی در اقلیم اهواز بود.

بذرافشان و گرکانی‌نژادمشیزی (۲۰۱۹) در پژوهش خود راجع به ردپای آب زعفران به نتایج مشابه دست یافتند که بهره‌وری مصرف آب با ردپای آب و آب مجازی رابطه عکس دارد و افزایش آن‌ها موجب کاهش بهره‌وری مصرف آب می‌شود (۵). بیش‌ترین مقدار آب مجازی مصرف‌شده برای گیاهان مورد مطالعه سیب‌زمینی (۰/۸۴ مترمکعب بر کیلوگرم)، گوجه‌فرنگی (۰/۵۱ مترمکعب بر کیلوگرم)، چغندرقد (۰/۴۶ مترمکعب بر کیلوگرم) و ذرت علوفه‌ای (۰/۳۹ مترمکعب بر کیلوگرم) به ترتیب مربوط به اقلیم اهواز، شهرکرد، اهواز و اصفهان است که علت آن پایین بودن عملکرد این محصولات در این اقلیم‌ها باشد. همچنین با توجه نتایج مشاهده شده در جدول ۲ می‌توان گفت اقلیم همدان با توجه به پایین بودن مقادیر آب مجازی (۰/۲۹، ۰/۳، ۰/۱۹ و ۰/۱۴ مترمکعب بر کیلوگرم) و بالا بودن بهره‌وری مصرف آب (۳/۴۳، ۳/۳، ۵/۱۹ و ۷/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب) به ترتیب برای سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، چغندرقد و ذرت علوفه‌ای، نسبت به سایر اقلیم‌های مورد مطالعه برای کشت هر چهار محصول مناسب‌تر است. نتایج به‌دست آمده از محاسبات ردپای آب نیز بیانگر این مطلب می‌باشد. اقلیم‌های مشهد، شهرکرد، اصفهان و اهواز به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. محمدی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی انتخاب بهترین استان در تولید سیب‌زمینی با استفاده از شاخص ردپای آب پرداختند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد استان همدان مناسب‌ترین و بهترین استان برای کشت سیب‌زمینی می‌باشد (۱۸).

داد از بین محصولات زراعی با توجه به پایین بودن شاخص ردپای آب محصول هندوانه، ذرت علوفه‌ای و چغندرقد برای کشت مناسب می‌باشند و کنجد، لوبیا و آفتابگردان از این نظر نامناسب‌ترین محصولات هستند (۹).

مقادیر آب مجازی و بهره‌وری برای محصولات و شهرهای مورد مطالعه محاسبه شد. نتایج در جدول ۲ مشاهده می‌گردد. همان‌طور که از جدول ۲ مشاهده می‌گردد مقدار آب مجازی محصولات مورد مطالعه در تمامی اقلیم‌ها کم‌تر از یک است که نشان می‌دهد این محصولات جزء محصولات کم‌مصرف می‌باشند. نتایج پژوهش با نتایج روحانی و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد (۲۱). ایشان در پژوهش 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 به‌ازای 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 ۱/۲ تا ۷/۴۶ تن بر مترمکعب در اقلیم‌های مختلف 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. ذرت علوفه‌ای در اقلیم همدان با کم‌ترین مقدار آب مجازی (۰/۱۴ مترمکعب بر کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب (۷/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار) را دارا بود. کم‌ترین مقدار بهره‌وری مصرف آب (۱/۲

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

Table 2. Average requirement, yield, virtual water and water use productivity.

شهر	محصول	نیاز آبی Water Requirement (مترمکعب در هکتار) M ³ /ha	عملکرد yield (کیلوگرم در هکتار) Kg/ha	بهره‌وری مصرف آب Water use productivity (کیلوگرم بر مترمکعب) Kg/m ³	آب مجازی Virtual water (مترمکعب بر کیلوگرم) M ³ /Kg
اصفهان Esfahan	سیب‌زمینی Potato	141.72	38000	2.68	0.37
	گوجه‌فرنگی Tomato	138.17	35000	5.17	0.19
	چغندر قند Sugar beet	141.72	40000	2.82	0.35
	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	106.29	55000	2.53	0.39
اهواز Ahvaz	سیب‌زمینی Potato	214.92	25700	1.2	0.84
	گوجه‌فرنگی Tomato	209.55	42100	2.1	0.49
	چغندر قند Sugar beet	214.92	46600	2.17	0.46
	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	161.19	63300	3.92	0.25
شهرکرد Sahrkord	سیب‌زمینی Potato	172.04	36567	2.12	0.47
	گوجه‌فرنگی Tomato	167.74	32500	1.93	0.51
	چغندر قند Sugar beet	172.04	39029	2.26	0.44
	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	129.03	61130	4.73	0.21
مشهد Mashhad	سیب‌زمینی Potato	177.41	32000	1.8	0.55
	گوجه‌فرنگی Tomato	172.97	46000	2.65	.37
	چغندر قند Sugar beet	177.41	51667	2.91	0.34
	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	133.05	61000	4.58	0.22
همدان Hamedan	سیب‌زمینی Potato	123.18	42325	3.43	0.29
	گوجه‌فرنگی Tomato	120.1	39722	3.3	0.3
	چغندر قند Sugar beet	123.18	64583	5.19	0.19
	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	92.38	69103	7.46	0.14

نتیجه‌گیری کلی

در بین منابع و نهاده‌های تولیدی، آب همیشه جایگاه مهمی داشته است. 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 این رو شاخصی برای مدیریت پایدار منابع آب با عنوان ردپای آب و آب مجازی ارائه شده است. در این پژوهش به بررسی ردپای آب محصولات سیب‌زمینی، چغندرقد، گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای در مراکز چند استان مختلف ایران 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 مناطق و اقلیم‌های مختلف ایران یکسان نبوده و بسته به نوع اقلیم، وضعیت آب و هوایی و نحوه کشت و زرع این محصولات متفاوت است. بنابراین لزوم مدیریت کشت این محصولات در اقلیم‌های مختلف ایران امری لازم و ضروری بوده که همواره باید مدنظر مسئولین و مدیران امر قرار گیرد. نتایج پژوهش نشان داد در اصفهان و شهرکرد در محصولات پاییزه چغندرقد و محصولات بهاره ذرت علوفه‌ای کم‌ترین ردپای آب را داشت، بنابراین کشت این دو محصول نسبت به سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی در این مناطق بهتر است. در اهواز، مشهد و همدان چغندرقد و گوجه‌فرنگی کم‌ترین ردپای آب را دارا بودند. علی‌قلی‌نیا و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی ردپای آب آبی و سبز محصولات عمده مورد کشت در حوضه دریاچه ارومیه بیان داشتند از بین محصولات یونجه، گندم، ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و چغندرقد، نسبت آب آبی به سبز در محصولات ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و چغندرقد بیش‌تر از یونجه و گندم بود و کشت این محصولات در منطقه ارومیه توصیه نمی‌شود (۲)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کشت همه محصولات

در هر اقلیمی مناسب نیست و باید برای اقلیم‌های مختلف محصولات مناسب آن اقلیم را کشت نمود. هم‌چنین نتایج نشان داد در بین محصولات مورد مطالعه گیاه سیب‌زمینی با ۲۹۴۵/۴ مترمکعب بر تن در شهر اهواز با اقلیم گرم و مرطوب بالاترین ردپای آب و چغندرقد با ۹۰۶/۱ مترمکعب بر تن در اقلیم سرد و خشک مشهد کم‌ترین ردپای آب را دارا بود. نتایج پژوهش در خصوص نسبت اجزای ردپای آب با نتایج پژوهش محمدی (۲۰۱۷)، یوسفی و همکاران (۲۰۱۶) و موکن و هوکسترا (۲۰۱۰) همخوانی دارد (۱۹، ۱۸ و ۲۳). از نظر آب مجازی ذرت علوفه‌ای در اقلیم همدان کم‌ترین مقدار آب مجازی (۰/۱۴ مترمکعب بر کیلوگرم در هکتار) را داشت. هم‌چنین در این پژوهش مفهوم دیگری از ردپای آب با نام ردپای آب سفید مورد بررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده میزان تلفات آب کشاورزی می‌باشد. از نظر ردپای آب سفید سیب‌زمینی بیش‌ترین ردپای آب سفید را داشت. از نظر بهره‌وری مصرف آب چغندرقد و ذرت علوفه‌ای در اقلیم همدان بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب را داشتند. محمدی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود راجع به بررسی منطقه مناسب برای کشت سیب‌زمینی بر اساس ردپای آب به این نتیجه رسید که استان همدان بهترین منطقه برای کاشت سیب‌زمینی می‌باشد. ایشان مجموع ردپای آب سبز، آبی و خاکستری را برای سیب‌زمینی در استان همدان ۳۴۶ تن بر مترمکعب برآورد کردند (۱۸). تفاوت در مقادیر ردپای آب یک محصول به‌سبب تفاوت در اقلیم، نوع خاک و مدیریت به‌کار گرفته شده در مزرعه می‌باشد. علی‌قلی‌نیا و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود راجع به ارزیابی ردپای آب گندم در اقلیم‌های مختلف ایران به این نتیجه رسیدند که کشت گندم برای تمام اقلیم‌های ایران مناسب نبوده و در اقلیم‌های خشک خنک گرم و خشک خنک خیلی گرم توصیه نمی‌شود

زراعی با عملکرد بیش‌تر کاهش داد. هم‌چنین می‌توان بر اساس مطالعات آب مجازی و ارزش‌گذاری اقتصادی آب، محصولات دارای آب مجازی زیاد را به هر منطقه وارد و محصولات با آب مجازی کم را صادر کرد و سطح زیر کشت محصولات پرآب را کاهش داد تا به مدیریت بهتر منابع آب کمک شود.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل کد پژوهانه UOZ-GR-9719-30 انجام شده است.

داده‌ها و اطلاعات

اطلاعات و داده‌های مورد نیاز در این مقاله از سازمان هواشناسی کشور و سازمان جهاد کشاورزی هر استان اخذ گردید.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

(۳). در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد کشت محصولات مورد مطالعه بر اساس ردپای آب در تمام اقلیم‌ها مناسب نبوده است و کشت این محصولات با توجه به پایین بودن ردپای آب، آب مجازی و بالاتر بودن بهره‌وری مصرف آب در همدان نسبت به بقیه شهرها توصیه می‌شود. با توجه به کمبود آب در کشور و اقلیم گرم و خشک ایران لزوم توجه به افزایش بهره‌وری آب امری ضروری است. هم‌چنین با مدیریت صحیح تولید، راندمان آبیاری، مدیریت صحیح مصرف آب در بخش کشاورزی، کم‌آبایی و افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌توان اثر تغییرات فاکتورهای اقلیمی و کاهش بارندگی در کشور 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 هدررفت کود، استفاده موثر از بارش، بهینه‌سازی کاشت محصول و انتخاب محصولات

منابع

1. Ababai, B., and Etedali Ramazani, H. 2014. Estimation of Water Footprint Components in Wheat Production in Iran. *Water and Soil*, 29: 6. 1458-1468. (In Persian)
2. Aligholina, T., Rezaei, H., Bahmanesh, J., and Montasseri, J. 2017. Study of water footprint index for dominant crops in the Lake Urmia Catchment and its relationship with irrigation management. *Soil Science*, 27: 4. 37-48. (In Persian)
3. Alighalnia, T., Sheibani, H., Mohammadi, A., and Hesam, M. 2019. Comparison and evaluation of water, green and gray water footprints in different climates of Iran. *Iranian Water Resources Research*, 15: 3. 235-245. (In Persian)
4. Arabi Yazdi, A., Nik nia, N., Majidi, N., and Emami, H. 2014. Water Security Assessment in Arid Climates Based on Water Footprint Concept (case study; south khorasan province). *Iran. J. Irrig. Drain*. 8: 4. 735-746. (In Persian)
5. Bazrafshan, A., and Garkani Nezhad Mashizi, Z. 2019. Evaluation of water consumption efficiency and water footprint of saffron product in Iran. *Saffron Agriculture and Technology*, 7: 4. 505-519. (In Persian)
6. Bazrafshan, Z., Ramezani Etedali, H., and Bazrafshan, A. 2020. Temporal and spatial distribution of water footprint components and virtual water trade in walnut products in Iran. *Echo Hydrology*. 7: 3. 583-593. (In Persian)

7. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., 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.
8. 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: 4682-4674.
9. Farzi, S., Golabi, M.R., and Radmanesh, F. 2019. Determining the optimal cultivation pattern based on water footprint index (Case study: Kermanshah province). *Irrigation and Drainage of Iran*, 39: 13. 588-602.
10. Fu, Y., Zhao, J., Wang, C., Peng, W., Wang, Q., and Zhang, C. 2018. The virtual Water flow of crops between intraregional and interregional in mainland China. *Agricultural water management*, 208: 204-213.
11. 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.* 87: 666-674.
12. Hoekstra, A.Y. 2013. *The Water Footprint of Modern Consumer Society*. Routledge, London, UK, 208p.
13. Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. 2011. *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. John Wiley and Sons. 203p.
14. 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.
15. Khalili, T., Mahdisarai, T., Babazadeh, H., and Ramezani Etedali, H. 2020. Water resources management of Qom Province by using the concept of water Footprint. *Ecohydrology*. 6: 4. 1109-1119. (In Persian)
16. 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. *J. Clean. Prod.* 116: 71-79.
17. 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.
18. Mohammadi, A., Yousefi, H., Noorollahi, Y., and Sadati-Nejad, S.J. 2017. Selecting the best province in potato production through the water footprint index. *Ecohydrology*, 2: 4. 523-532.
19. 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.
20. Rodriguez, C.I., de Galarreta, V.R., and Kruse, E.E. 2015. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Cleaner Production*. 90: 91-96.
21. Rouhani, N., Yang, H., Amin Sichani, S., Afyouni, M., Mousavi, F., and Kamgar Haghighi, A. 2008. Evaluating the exchange of food and water based on available water resources in Iran. *J. Agric. Sci. Technol.* 12: 46. 417-432. (In Persian)
22. 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.
23. Yousefi, H., Mohammadi, A., Nourollahi, Y., and Sadatinejad, J. 2016. Evaluation of water footprint index of Tehran province crops. *Soil Conservation*, 24: 6. 67-85. (In Persian)
24. Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R., and Mandani, F. 2015. Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. *Production and processing of agricultural and horticultural products*, 5: 17. 181-189. (In Persian)

25. 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.

26. 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.



Investigating water footprints and water consumption efficiency of crops of potatoes, sugar beets, tomatoes and forage corn in different climates of Iran

*H. Piri¹ and M. Mobarki²

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, College of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, College of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

Received: 09.25.2020; Accepted: 01.13.2021

Abstract

Background and Objectives: One of the practical strategies for managing water resources is to estimate the plant's water needs and determine the amount of water used in the various 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. Water footprint in a product is defined as the volume of fresh water used in the production of that product. Water footprint is defined as an indicator for the allocation of fresh water resources that provides valuable insights into the environmental impact of producing a product. Water footprint index shows actual consumption of water in three components: blue, green and gray, which is now considered in the direction of modern management of water resources with an integrated approach. In order to properly assess water consumption in the agricultural sector, it is necessary to study the water footprint index in different climates.

Materials and Methods: To conduct the research, meteorological data were first obtained from the Meteorological Organization. Then the water needs of sugar beet, potato, forage corn and tomato plants in Hamedan, Ahvaz, Shahrekord, Mashhad and Isfahan climates were calculated from the CropWat software. The yield of the crop and the amount of nitrogen fertilizer used were obtained from the agricultural jihad of each province. Then, the average volume of water consumption, virtual water, water footprint and water use efficiency of these products were calculated for the statistical period of 2011-2017. Chapagin et al. (2006) Method was used to calculate water footprint.

Results: The results showed that among the studied products, the potato plant with 2945.4 m³/ton in Ahvaz city with hot and humid climate has the highest water footprint and sugar beet with 906.1 m³/ton in climate cold and dry of Mashhad has the least water footprint. The highest amount of virtual water used for the studied plants is potato (0.84 m³/kg), tomato (0.51 m³/kg), sugar beet (0.46 m³/kg) and forage corn (0.39 m³/kg) was respectively to the climate of Ahvaz, Shahrekord, Ahvaz and Isfahan. The lowest amount of water consumption efficiency (1.2 kg/m³) also belonged to the potato in Ahvaz climate. The lowest virtual water and the highest water consumption efficiency for the studied plants were obtained in Hamedan climate.

Conclusion: In the present study, water consumption for agricultural products was investigated. The results showed that the volume of water consumed in the studied products varies in different climates. According to the obtained results, it can be said that the climate of Hamedan due to the low amount of virtual water (0.29, 0.3, 0.19 and 0.14 m³/kg) and high water consumption efficiency (3.43, 3.3, 5.19 and 7.46 kg/m³) for potatoes, tomatoes, sugar beets and fodder corn, respectively, is more suitable for cultivation of all four product compared to other climates studied. Hence, according to recent droughts and water shortage, available water resources should be used accurately and decision must be made for cultivating the products with less water requirement and better performance.

Keywords: Blue water, Gray water, Green water, Water Requirement, White water

* Corresponding Author; Email: h_piri2880@uoz.ac.ir