نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۳۴۱-۳۲۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 329-341

مقاله پژوهشی

ردپای اکولوژیک آب و آب مجازی محصولات گندم و برنج در استان خوزستان در راستای مدیریت پایدار منابع آبی

علی بهلول‌زاده[۱]، غلامرضا سبزقبایی[۲*]، سولماز دشتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۳

چکیده:

عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب در کشور مدیریت منابع آب را، بخصوص در بخش کشاورزی، با چالش روبرو ساخته است. در این ارتباط مبادلات بین‌المللی محصولات کشاورزی و جابه‌جایی آب نهفته در آن‌ها که به آن آب مجازی گفته می‌شود، می‌تواند یکی از راهکارهای مدیریت آب باشد. در این پژوهش به بررسی ردپای اکولوژی آب و شاخص آب مجازی در تولید محصولات برنج و گندم در استان خوزستان پرداخته شده است. برای برآورد نیاز خالص آبی محصول (CWR)، مقدار ضریب گیاهی (Kc) و عمق ریشه محصولات از نرم‌افزار استاندارد فائو (CROPWAT.8) استفاده شده است. برای دریافت اطلاعات از کشاورزان منطقه از روش مصاحبه و پرسش‌نامه استفاده شد. بدین منظور پس از تعیین نمونه آماری به‌وسیله فرمول کوکران نمونه‌برداری به تعداد ۱۵۲ نفر انجام گرفت. برای محاسبه ردپای اکولوژیک آب در منطقه از روش «بالابه‌پایین» استفاده شد. در این روش ردپای اکولوژیک آب هر منطقه شامل دو مؤلفه ردپای اکولوژیک آب داخلی (WFi) و ردپای اکولوژیک آب خارجی (WFe) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی و مقایسه دو گیاه گندم و برنج در دشت‌های مختلف استان خوزستان نشان‌دهنده پتانسیل بالای استان در تولید گندم موردنیاز استان و صادرات مازاد آن به خارج از استان می‌باشد. همچنین تحلیل یافته‌ها نشان داد که کشت گیاه برنج در استان خوزستان به‌جز در نواحی بسیار محدودی در بخش‌های هفتگل و باغملک، به دلیل مصرف زیاد آب صرفه اقتصادی ندارد؛ لذا در برنامه‌ریزی‌های توسعه کشاورزی باید از کشت گیاه برنج جلوگیری نمود. طبق محاسبات ردپای اکولوژی آب برای مزارع گندم با سطح زیر کشت ۳۴۹۱۳۹ هکتار،۹۹۳/۷ میلیون مترمکعب و برای مزارع برنج با سطح زیر کشت ۲۴۰۴۴ هکتار ۲۱۷/۳ میلیون مترمکعب برآورد شد.

واژه های کلیدی: آب مجازی، استان خوزستان، برنج، ردپای اکولوژی، گندم

مقدمه

رشد و توسعه اقتصادی بالاتر از رشد بهره‌وری، مستلزم به‌کارگیری منابع طبیعی بیشتر جهت افزایش تولید و درآمد سرانه می‌باشد که این امر با رشد جمعیت در نیم‌قرن اخیر شدت یافته است (صادقی و همکاران،۱۳۹۴). رشد جمعیت و افزایش سرانه مصرف از یک‌سو و توسعه روزافزون فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی از سوی دیگر و کاهش نزولات جوی موجب شده است تا منبع آب به طور فزاینده‌ای کاهش یابد (اویسی و همکاران، ۱۳۹۸). آب به عنوان یکی از اساسی‌ترین عناصر حیات، امروزه با بحرانی جدی روبه‌رو است. کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در جهان است. با ادامه افزایش حجم تجارت بین‌الملل، این درک نیز وجود دارد که تجارت محصولات پر آب از مناطقی با بارندگی زیاد، به مناطق خشک می‌تواند به کاهش کمبود آب کمک کند و اهمیت حسابداری آب محصولات را برجسته کند (علی‌قلی و همکاران،۱۳۹۵).

آب مجازی یا ردپای آبی محصولات کشاورزی، شاخص قدرتمندی برای ارزیابی میزان استفاده از آب توسط گیاهان، آلودگی آب توسط روش‌های کشاورزی و تجارت بین کشورها است که اساس هر تجارت بین‌المللی محصولات است (Shtull-Trauring and Bernstein, 2018). مفهوم ردپای آب به‌عنوان شاخصی از کمیت، زمان و مکان مصرف آب شیرین برای این منظور تعریف شده است. شاخص ردپای آب در قیاس با شاخص ردپای اکولوژیک توسعه یافته است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ارزیابی آمایش سرزمین، گروه محیطزیست، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
۲- استادیار گروه محیطزیست، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
۳- دانشیار گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: Sabzghabaei@bkatu.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.2.9.1

آب مجازی آب جاسازی شده در محصولات است و به آب مورد نیاز برای تولید آن محصول مربوط می‌شود (نوراللهی و همکاران، ۱۳۹۶). با تأمین آب مجازی می‌توان تقاضا برای آب را در مناطق خشک و نیمه‌خشک پایین نگه داشت. همان‌طوری که گفته شد، اصطلاح آب مجازی بیانگر مقدار آبی است که برای تولید مواد غذایی یا کالاهای تجاری به مصرف می‌رسد (Antonelli et al..2018). اگر این مواد غذایی یا کالاها به یک منطقه خشک صادر شود دیگر در آن منطقه خشک نیاز به مصرف آب برای تولید این مواد نیست. ذخیره آب به فرم مجاری راهی برای غلبه بر دوره‌های کمبود است که نسبت به ذخیره‌گاهای مصنوعی کارآمدتر می‌باشد. افزایش رقابت بر سر منابع آب و افزایش تقاضا باعث شده بحث مدیریت آب مطرح شود (حسینی پورجعفری نژاد و همکاران،۱۳۹۲). انتقال آب جاسازی شده در تولیدات غذایی یکی از مؤلفه‌های مهم در مدیریت آب در سطح جهانی و به خصوص در مناطق کم آب است. تجارت آب مجازی نه‌تنها ذخیره آب در کشورهای واردکننده است بلکه ذخیره آب در زمان و در سطح جهان هم محسوب می‌شود (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۰). استان خوزستان با داشتن منابع آبی مناسب برای کشاورزی، منطقه بسیار مناسبی برای تولید طیف بسیاری از گیاهان زراعی و باغی می‌باشد، اما موقعیت قرارگیری استان خوزستان و اقلیم حاکم بر آن باعث شد که در بهره‌وری از منابع آبی آن جانب احتیاط را رعایت نماییم. به عبارتی یکی از مناسب‌ترین روش‌های مناسب در برنامه‌ریزی اصولی در استفاده از آب در استان خوزستان، اطلاع از میزان آب مجازی هر یک از گیاهان مورد کشت در استان خوزستان بر اساس نیاز آبی و راندمان آن گیاه می‌باشد. از جمله گیاهان مهم و استراتژیک در حال کشت استان خوزستان، برنج و گندم می‌باشد که کشاورزان علاقه به تولید آن دارند. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی حجم آب مجازی مبادلاتی را در شش نوع محصول مهم زراعی استان همدان، در چهار گروه (غلات، سبزیجات، صنعتی و علوفه‌ای) محاسبه کردند. نتایج حاکی از آن بود که حجم آب مجازی در گروه سبزیجات و صنعتی به‌ازای هر کیلوگرم محصول تولیدی کمتر از ۱ مترمکعب آب است که جزء محصولات کم‌مصرف با بهره‌وری بالا هستند. خرمی وفا و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهشی به بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب در مزارع گندم آبی و ذرت در منطقه کوزران کرمانشاه پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش انجام شده نشان داد که مقدار آب مجازی مزارع گندم در منطقه برای بازده آبیاری معادل ۱۰۰ ، ۴۰ و ۳۲ درصد به ترتیب برابر ۲۲۰۲ ، ۳۵۲۳ و ۳۶۹۹ مترمکعب بر تن بود. ردپای اکولوژیک آب برای مزارع گندم آبی با سطح زیر کشت ۴۸۵۱ هکتار ۱۸,۲ میلیون مترمکعب در سال و برای مزارع ذرت با سطح زیر کشت ۲۵۲۳ هکتار ۱۰,۵ میلیون مترمکعب برآورد شد. عابدی و تهامی پور (۱۳۹۵)، در تحقیقی که با هدف تعیین میزان آب مجازی و شاخص‌های مرتبط با آن برای مصرف محصولات عمده کشاورزی در استان زنجان صورت پذیرفت، نتایج حاصل از آن نشان داد که صادرات محصولات موردنظر حجمی معادل ۵۳/ ۲۶ میلیون مترمکعب صادرات آب مجازی را در پی داشت. همچنین محصولات زراعی ۹۵ و محصولات باغی ۵ درصد از آب مجازی صادراتی را تشکیل می‌دهند.

اویسی و همکاران (۱۳۹۸)، در مطالعه خود به بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب در محصول گندم آبی در استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان می‌دهد استان اصفهان فقط در سال ۱۳۸۶ صادرکننده آب مجازی محصول گندم بوده و از طریق صادرات گندم در این سال حدود ۰/۱۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی به استان‌های دیگر صادر کرده است. ولی در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۷ تنها واردکننده آب مجازی بوده که دلایل آن افزایش سالیانه جمعیت و وجود خشکسالی در این منطقه است. در این دوره میانگین سالانه ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی استان اصفهان ۵/۸۷ میلیارد مترمکعب بوده و گندم در استان اصفهان با میانگین ۰/۶۵ میلیارد متر-مکعب واردات آب مجازی در سال، این حجم آب از منابع داخلی خود را ذخیره کرده است.

وی سنت دپئولو و همکاران در مطالعه‌ای که با هدف تعیین حجم آب مجازی موجود در بخش کشاورزی و دامداری برزیل انجام شد، شاخص‌ها و تعادل آب مجازی را محاسبه کردند و نتایج نشان داد که برزیل در تولید مواد غذایی به جزء دو محصول، گندم و برنج خودکفا است و محصولات باغی یک گروه منحصر به فرد را با تعادل آب مجازی منفی در برزیل تشکیل می‌دهند (Vicente de Pauloet al..2016).

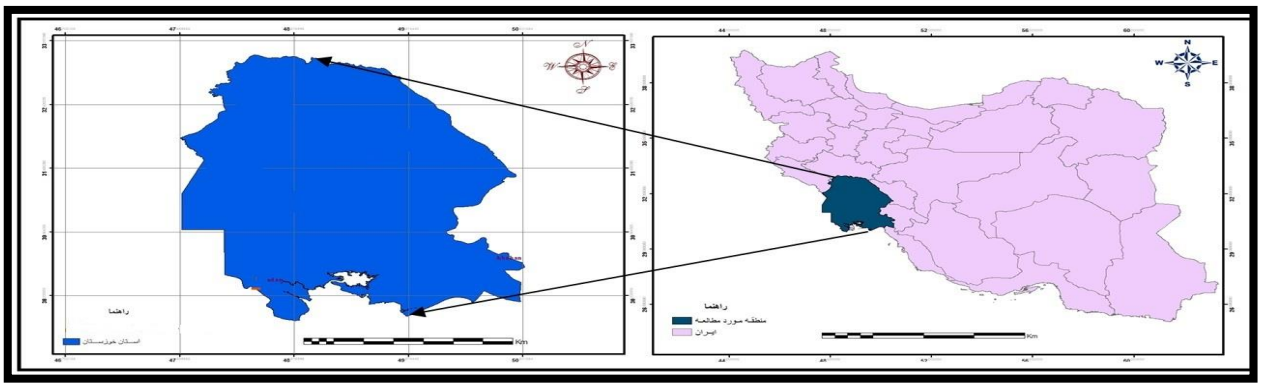
آبابائی و اعتدالی در پژوهشی که ارزیابی شاخص ردپای آب را برای سه نوع از مهم‌ترین غلات تولیدی ایران مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که ردپای آب سبز برای گندم و جو در کشور، به ترتیب ۲/۳ و ۱/۹ مرتبه بیش‌تر از ردپای آب آبی تولید این محصولات می‌باشد (Ababaei and Etedali.. 2017).

آرجن بیان داشت توسعه WFA نیز به نوبه خود به این زمینه‌های بزرگ تفکر کمک کرده است. با توجه به موارد ضروری نقش آب در تأمین غذا و انرژی ما، آب منبع اصلی توسعه آینده است. پیشرفت‌های بیشتر در WFA باید درک ما را در مورد چگونگی کمک افراد مختلف به اشکال حاکمیت آب که معیارهای مهم پایداری محیط‌زیست، برابری اجتماعی، بهره روی اقتصادی و امنیت تأمین را ادغام می‌کند، بهبود بخشد (Arjen, 2017).

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه شامل دشت‌های استان خوزستان می‌باشد که با مساحت ۶۳۶۳۳ کیلومترمربع در جنوب غربی ایران در جوار

خلیج‌فارس و اروندرود قرار دارد و از سه بخش متمایز کوهستانی و تپه‌ماهوری (در نواحی شمالی و شرقی)، فلات‌ها و جلگه‌ای (در مناطق مرکزی) و دشت شور و کم‌ارتفاع گسترده‌ای (در نواحی جنوبی و مجاورت خلیج‌فارس) تشکیل شده است و موقعیت‌های بسیار متنوع آب‌وهوایی و زمین‌شناسی را به وجود آورده است (پایگاه داده‌های علوم زمین، ۱۳۹۷). شکل شماره (۱) موقعیت قرارگیری منطقه موردمطالعه (استان خوزستان) را در کشور نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

هدف از این مطالعه، ردپای اکولوژی آب و شاخص آب مجازی در تولید محصولات برنج و گندم در استان خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۷ می‌باشد. به این منظور، حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران ۱۵۲ نفر تعیین شد. اطلاعات مربوطه برای به دست آوردن متغیرهای اثرگذار بر محصول موردمطالعه از طریق مصاحبه و روش میدانی با کشاورزان، وزارت جهاد کشاورزی و سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شد. در این مطالعه ابتدا آب مجازی دو محصول مهم و استراتژیک استان خوزستان(گندم، برنج) در سال ۱۳۹۷ محاسبه شد .سپس ردپای اکولوژیک آب از روش ونول و همکاران و دیگر شاخص‌های آب مجازی با روش هویکستراو همکاران مورد مطالعه قرار گرفت (Vanoel et al..2008; . Hoekstra et al.. 2009). آمار، اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارت است از:

داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی استان خوزستان در دوره آماری ۱۸ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۳) از سازمان هواشناسی استان دریافت گردید.

آمار سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات گندم و برنج در استان خوزستان در سال ۱۳۹۷ از جهاد کشاورزی استان جمع‌آوری شد.

آمار صادرات و واردات گندم و برنج استان در سال از اداره گمرک استان خوزستان جمع‌آوری شد.

روش‌های آبیاری مرسوم و راندمان‌های آبیاری درشت‌های کشاورزی از دفتر تأمین آب کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی کشور و استان خوزستان

حجم منابع آب تجدیدشونده استان و میزان تخصص داده شده منابع آب به بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از وزارت نیرو و جهاد کشاورزی کشور

نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 10.3 به دست آمده است.

نیاز ویژه آبی (میزان آب مجازی هر محصول) بر اساس متوسط نیاز آبی و متوسط عملکرد آن محصول در سطح استان از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\overline{\mathrm{SWD}_C} = \frac{\overline{CWR_C}}{\overline{CY_C}} \qquad (۱)$$

که در آن $SWDc$ نیاز ویژه آبی گیاه c (مترمکعب آب در تن محصول) ، CWRc متوسط نیاز خالص آبی، (صرف‌نظر از باران مؤثر) در سطح استان برای محصول (مترمکعب در هکتار) CYc متوسط عملکرد محصول c (تن در هکتار) می‌باشد.

در این پژوهش از نرم‌افزار CROPWAT.8 جهت برآورد نیاز آبی محصولات استفاده شد. به‌منظور تعیین نیاز آبی الگوی کشت به اطلاعاتی مانند اطلاعات دشت، اطلاعات گیاهی(سطح زیر کشت، تاریخ آبیاری، روش آبیاری)، مدیریت آبیاری(نوع آبیاری، زمان آبیاری، مقدار آبیاری)، بارندگی مؤثر و راندمان آبیاری نیاز است. برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی توسط این نرم‌افزار بر اساس روش ارائه شده در نشریه آبیاری و زهکشی فائو صورت گرفت (یوسفی و همکاران،۱۳۹۶). داده‌های هواشناسی ایستگاه‌ها به‌صورت روزانه طی دوره آماری ۱۸ ساله در یک بانک اطلاعات ذخیره گردید. نیاز خالص آبی هریک از محصولات گندم و برنج در شرایط غیراستاندارد بر اساس روش فائو پنمن مونتیت با در نظر گرفتن روش‌های متداول آبیاری و کیفیت آب‌وخاک محاسبه و با استفاده از داده‌های دفتر آب جهاد کشاورزی در مورد راندمان‌های آبیاری، نیاز آبیاری این محصولات محاسبه گردید (حسین پورجعفری نژاد و همکاران،۱۳۹۲).

برای محاسبه ردپای اکولوژیک آب در استان از روش ون اول و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد. ون اول و همکاران، ردپای اکولوژیک آب را به دو روش Top-down و Bottom-up محاسبه کردند (Aldaya and Hoekstra, 2010; Van Oel et al., 2008). در روش Bottom-up ردپای اکولوژیک آب شامل دو مؤلفه مصارف مستقیم و غیرمستقیم آب است:

$$WF = WF\ direct + WF\ indirect \quad (۲)$$

در این رابطه، WF ردپای اکولوژیک آب WF_{direct} مصرف مستقیم و $WF_{indirect}$ مصارف غیرمستقیم است.

ردپای اکولوژیک آب در استان از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Water\ footprint = WU + NVWI \quad (۳)$$

که در آن WU کل آب مصرفی داخل استان (مترمکعب در سال) و NVWI واردات خالص آب مجازی به استان است. در چرخه هیدرولوژی منابع آب به سه دسته آب آبی، سبز و خاکستری تقسیم می‌شوند. آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی آب آبی را تشکیل می‌دهند و به رطوبت خاک در مناطق غیراشباع، آب سبز می‌گویند (Chapagain et al..2006). WU مجموع آب آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) و آب سبز (رطوبت موجود در خاک) در استان است، اما از آنجا که اطلاعات مربوط به مصرف آب سبز استان نیاز به مطالعات گسترده‌ای دارد و منبع آب سبز بیشتر در مورد کشت دیم مدنظر قرار می‌گیرد، برای دستیابی به جواب‌های عملی در این پژوهش WU معادل منابع مصرفی آب آبی در نظر گرفته شد. از آنجا که همه محصولات مصرفی استان در استان تولید نمی‌شود، طبق تعریف هوکسترا (۲۰۰۹) و چاپاجین (۲۰۰۸) ، ردپای اکولوژی هر استان شامل دو مؤلفه ردپای اکولوژی آب داخلی (WF_i) و ردپای اکولوژی خارجی (WF_e) است که در رابطه زیر نشان داده شده است (Hoekstra., 2003; Chapagain..2008):

$$WF = WF_i + WF_e \quad (۴)$$

در رابطه (۵) ردپای اکولوژیک آب داخلی (WFi) حجم کل مصرف سالانه منابع آبی استان است که برای تولید کالا و خدمات مصرفی مردم مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که صادرات محصولات یک استان منجر به صادرات آب به فرم مجازی می‌شود ($V_{e,d}$)، در واقع این حجم آب برای ساکنان آن استان مصرف نشده، لذا باید از حجم کل منابع آب تجدیدپذیر کسر شود (حسین پورجعفری نژاد و همکاران،۱۳۹۲).

$$WFi = WU - V_{e,d} \quad (۵)$$

در رابطه (۵) ردپای 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 ($V_{e,r}$)، باید حجم آب مجازی این محصولات را از ردپای اکولوژیک آب خارجی خود کسر نماید.

$$WF_e = V_i - V_{e,r} \quad (۶)$$

طبق رابطه (۷)، صادرات آب مجازی استان ممکن است یا ناشی از صادرات محصولات داخلی استان باشد و یا اینکه با صادرات مجدد محصولات وارداتی به استان، آب‌های مصرفی خارجی دوباره به نقاط دیگر صادر شود.

$$V_e = V_{e,d} + V_{e,r} \quad (۷)$$

یک فرض منطقی وجود دارد که با واردکردن خالص آب مجازی به یک استان کم‌آب، بتوان نیازهای آبی استان را تأمین نمود. از طرف دیگر استانی با منابع آبی فراوان می‌تواند با صادرات آب به فرم مجازی به سود مطلوبی دست یابد (آبابایی و رمضانی اعتدالی،۱۳۹۴). در این باره نیاز به شاخص‌هایی است که بتوان ارتباط کم‌آبی استان و وابستگی به واردات آب مجازی و شاخص خودکفایی استان را بررسی نمود.

شاخص شدت مصرف آب استان WI ، به‌صورت نسبت کل برداشت داخلی آب برای مصارف کشاورزی (WU) به کل منابع موجود استان (WA) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$WI = \frac{WU}{WA} \times 100 \quad (۸)$$

که در آن، WI شدت مصرف آب در استان(درصد)، WU کل آب مصرفی استان (مترمکعب در سال) و WA منابع آب موجود در استان است .منابع آب تجدیدپذیر سالانه به‌عنوان معیاری برای منابع آب موجود استان در نظر گرفته شد (نور الهی و همکاران،۱۳۹۶).

وابستگی به آب (WD) شاخصی است که منعکس‌کننده وابستگی به منابع آب خارجی از طریق واردات آب مجازی می‌باشد. این شاخص به‌صورت نسبت کل واردات خالص آب مجازی استان به کل آب تخصیص‌یافته برای تولید محصولات غذایی محاسبه می‌شود (عربی یزدی و همکاران، ۱۳۹۳):

$$WD = \frac{NVWI}{WU + NVWI} \times ۱۰۰ \quad \text{اگر } NVWI\ 0 \quad (۹)$$

$$\text{اگر } NVWI < 0 \text{ ، } WD = 0$$

محدوده این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است اگر WD=۰ باشد یعنی واردات و صادرات ناخالص آب مجازی در تعادل است. اگر این شاخص منفی باشد آن منطقه صادرکننده آب مجازی است. اگر وابستگی آب یک منطقه به ۱۰۰درصد نزدیک شود، آن‌گاه آن منطقه به طور کامل به واردات آب مجازی متکی است. در مقابل شاخص وابستگی آب، شاخص خودکفایی که نشان‌دهنده توانایی منطقه برای تأمین آب (WSS) آب موردنیاز برای تولید داخلی است. اگر شاخص خودکفایی آب به صفر نزدیک شود یعنی استان به شدت به واردات منابع آب مجازی وابسته است اما اگر این شاخص به ۱۰۰ نزدیک شد مبین آن است که استان کل منابع آبی موردنیاز برای تولید کالا و خدمات را در داخل مرزهای خود دارد و نیاز به واردات منابع آب

مجازی ندارد (حسین پورجعفری نژاد و همکاران،۱۳۹۲).

$$WSS = \begin{cases} \frac{WU}{WU+NVWI} \times 100 & \text{اگر } NVWI\ 0 \\ WSS = ۱۰۰ & \text{اگر } NVWI\ 0 \end{cases} \quad (۱۰)$$

نتایج و بحث

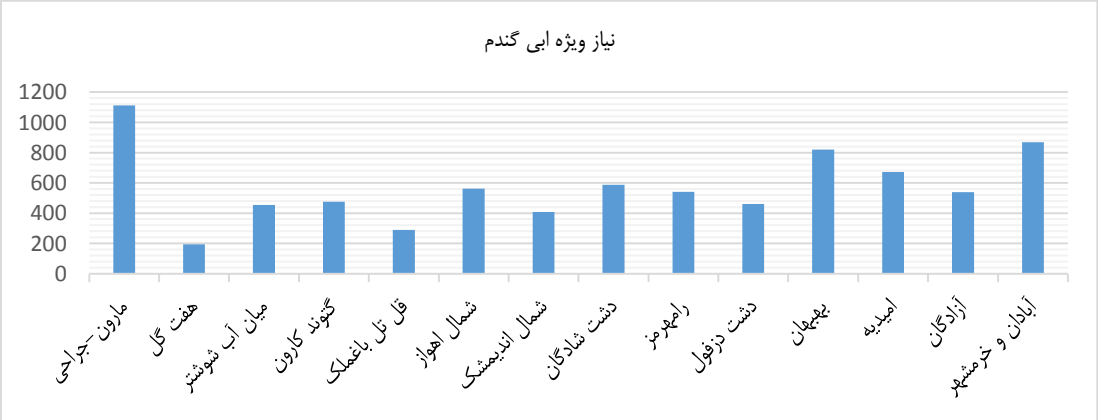
مهم‌ترین چالش حال حاضر کشور، عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب در بخش‌های مختلف اقتصادی، به‌ویژه بخش پرمصرف آن یعنی کشاورزی می‌باشد. دراین‌رابطه جابه‌جایی آب نهفته در محصولات کشاورزی در قالب آب مجازی جدیدترین مبادله جهان شده است. این مبادله در مقیاس‌های مختلف بین دو استان یا شهر و منطقه نیز می‌تواند معنی پیدا کند. به عبارتی ساده می‌توان چنین گفت که باید سعی شود که با پیش گرفتن استراتژی درست، محصولاتی که نیاز آبی کمتری دارند در منطقه کشت شوند و با فروش و از طریق صادرات به بیرون از منطقه و واردکردن محصولاتی که نیاز آبی بالاتری دارند، در مصرف آب صرفه‌جویی شود. برای دستیابی به این هدف مهم باید قبل از شروع سال زراعی اصطلاحاً ردپای اکولوژیک و یا مصرف آب را در بخش کشاورزی دنبال نمود. با شناسایی میزان مصرف آب در هر محصول و در هر مکان به‌راحتی می‌توان پی برد که بیشترین میزان مصرف آب در چه جایی و برای چه گیاهی بوده است. پس از مشخص‌شدن این مجهولات، گیاهان با راندمان بالا نسبت به میزان مصرف آب تعیین خواهد شد که در برنامه‌ریزی درست در آینده آب منطقه بسیار مؤثر می‌باشد. در مطالعه حاضر نیاز آبی دشت‌های مختلف استان خوزستان برای گیاه گندم و برنج بر اساس داده‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در آنها محاسبه گردید. استان خوزستان از جمله استان‌های کشور ایران است که به دلیل موقعیت جغرافیایی، آب و هوای متنوع، خاک حاصلخیز، برای کشت انواع مختلفی از گیاهان مستعد می‌باشد. اما وجود چنین شرایط ملاک بر نادیده‌گرفتن تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی و به‌تبع آن افزایش نیازهای گیاهان به‌ویژه در بخش نیاز آبی نیست. در حقیقت با برنامه‌ریزی درست بر اساس شناسایی ردپای اکولوژیک و میزان آب مجازی صادر شده توسط هر محصول کشت شده در استان می‌توان علاوه بر حفظ تعادل محیط‌زیست، به توسعه پایداری محیط‌زیست کمک نمود و با کمترین فشار به منابع طبیعی بیشترین سودآوری را داشته باشد.

جدول ۱- نیاز آبی، آب مجازی و بهره‌وری آب برای گندم در دشت‌های خوزستان

دشت	نیاز آبی گیاه (مترمکعب در هکتار)	سطح زیر کشت گندم (هکتار)	نیاز آبی گیاه در سطح زیر کشت (میلیون مترمکعب)	نیاز ویژه آبی گندم (مترمکعب به‌ازای هر تن)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
مارون – جراحی	۵۵۶۰	۲۰۷۷۶	۱۱۵,۵	۱۱۱۲	۰,۹۰
هفت گل	۹۷۰	۹۳۴	۰,۹	۱۹۴	۵,۱۵
میان آب شوشتر	۲۲۷۰	۴۱۳۸۳	۹۳,۹	۴۵۴	۲,۲۰
گتوند کارون	۲۳۸۰	۱۱۱۴۰	۲۶,۵	۴۷۶	۲,۱۰
قل تل باغملک	۱۴۵۰	۴۹۶۴	۷,۱	۲۹۰	۳,۴۵
شمال اهواز	۲۸۱۰	۱۲۲۱۴۹	۳۴۳,۲	۵۶۲	۱,۷۸
شمال اندیمشک	۲۰۴۰	۱۵۷۶۰	۳۲,۱	۴۰۸	۲,۴۵
دشت شادگان	۲۹۴۰	۹۲۲۲	۲۷,۱	۵۸۸	۱,۷۰
رامهرمز	۲۷۰۰	۲۵۶۰۹	۶۹,۱	۵۴۰	۱,۸۵
دشت دزفول	۲۳۰۰	۳۶۹۰۶	۸۴,۸	۴۶۰	۲,۱۷
بهبهان	۴۱۰۰	۱۹۱۵۵	۷۸,۵	۸۲۰	۱,۲۲
امیدیه	۳۳۶۰	۴۸۲۴	۱۶,۲	۶۷۲	۱,۴۹
آزادگان	۲۶۹۰	۲۴۶۸۰	۶۶,۳	۵۳۸	۱,۸۶
آبادان و خرمشهر	۴۳۴۰	۱۱۶۳۷	۵۰,۵	۸۶۸	۱,۱۵

دو محصول استراتژیک که به دلیل مصرف بالا و سودآوری آن‌ها در استان خوزستان، باعث تمایل کشاورزان خوزستان و همچنین سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با بخش کشاورزی شده است. این میزان از فعالیت کشاورزان در به زیر کشت بردن زمین‌های کشاورزی بدون درنظرگرفتن میزان منابع در دسترس امکان صدمات زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری را خواهد داشت. به همین منظور برای کاهش و یا جلوگیری از این اشتباهات در استان خوزستان ردپای اکولوژیک آب و میزان راندمان گیاه گندم و برنج را با توجه به مصرف آب مورد بررسی قرار گرفت. نیاز آبی مهم‌ترین پارامتری است که در ردپای اکولوژیک آب در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در جدول (۱) نتایج محاسبات موردنیاز آب مجازی و راندمان بهره‌وری آب برای گندم بیان شدند.

با توجه به نتایج جدول (۱) دشت مارون و جراحی با ۵۵۶۰ مترمکعب در هکتار، بیشترین نیاز آبی را برای گندم نشان می‌دهد و پس از آن دشت‌های محدوده شهرهای آبادان، خرمشهر، بهبهان و امیدیه بالاترین نیاز آبی را دارند. با نگاهی اجمالی به نقشه‌های دما، بارش، رطوبت نسبی و همچنین وضعیت باد که از مؤلفه‌های مهم در افزایش نیاز آبی هستند می‌توان پی برد که این شهرها به دلیل داشتن میانگین دمای بالاتر و بارش کمتر، تبخیر و تعرق بیشتری را دارند که همین امر باعث نیاز آبی گیاه گندم شده است. کمترین نیاز آبی گندم برای رشد در یک دوره مربوط به هفت گل با ۹۷۰ مترمکعب در هکتار است و پس از آن باغملک و شمال اندیمشک به دلیل برخورداری از آب‌وهوای ملایم‌تر و دریافت بارش بیشتر و تبخیر کمتر نیاز آبی کمتری را دارند. دو شاخص مهم در بررسی زیست‌محیطی و اقتصادی بودن کشت گیاه گندم در استان خوزستان باتوجه‌به ارزش آب، نیاز ویژه آبی گندم و بهره‌وری آب است. نتایج محاسبات شاخص‌های مذکور برای درک بصری بهتر به ترتیب در نمودارهای موجود در شکل (۲) و (۳) نشان داده شد.

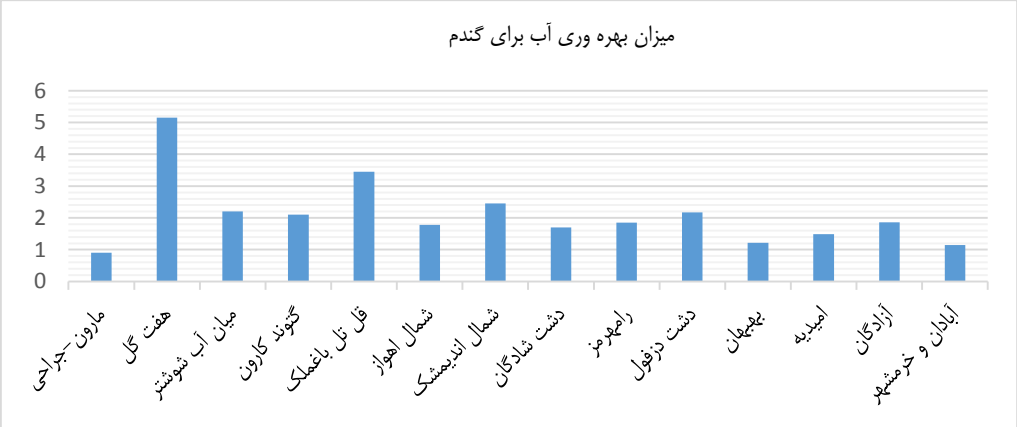


شکل ۲- نیاز ویژه آبی گندم (مترمکعب به‌ازای هر تن) دشت‌های خوزستان

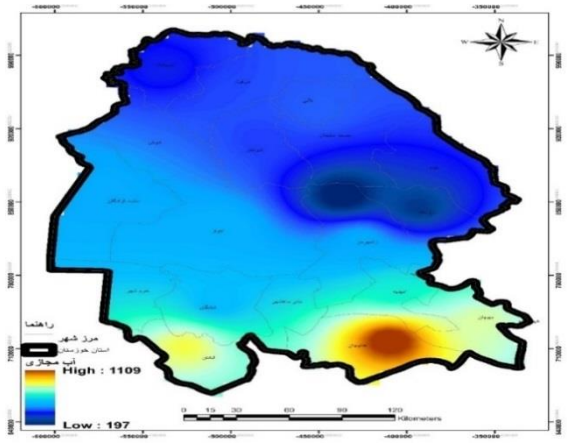
بر اساس شکل (۲) میزان نیاز ویژه آبی گندم در دشت‌های مختلف استان خوزستان، هفت گل، قله تل باغملک و منطقه شمالی اندیمشک کمترین نیاز و در حد پایین‌تر از ۴۰۰ مترمکعب به ازای هر تن گندم تولید شده را دارند. این میزان در شهرهای شوشتر گتوند، دشت آزادگان نسبتاً متوسط است، به‌طوری‌که دشت مارون و جراحی به دلیل خشکی اقلیم و دمای میانگین بالا و همچنین دریافت نزولات کم جوی با فاصله بیشتری از سایر شهرها، نیاز ویژه آبی برای گندم را نشان می‌دهد.

در نمودار مربوط به شکل (۳) میزان بهره‌وری آب گیاه گندم که یک شاخص عکس نیاز ویژه آبی گیاه است، نشان می‌دهد که کمترین بهره‌وری آب یا برداشت به‌ازای آب مصرف شده در کارون، آبادان، خرمشهر و بهبهان کمترین مقدار است. این میزان در دشت مارون و جراحی کمتر از یک کیلوگرم در برابر مصرف یک مترمکعب آب است. بیشترین راندمان گندم در استان خوزستان مربوط به شهر (دشت) هفت گل به مقدار بیش از ۵ کیلوگرم در برابر مصرف یک مترمکعب آب می‌باشد. شکل (۴) نشان‌دهنده وضعیت پراکنش نیاز ویژه آبی گندم در سطح استان خوزستان می‌باشد.

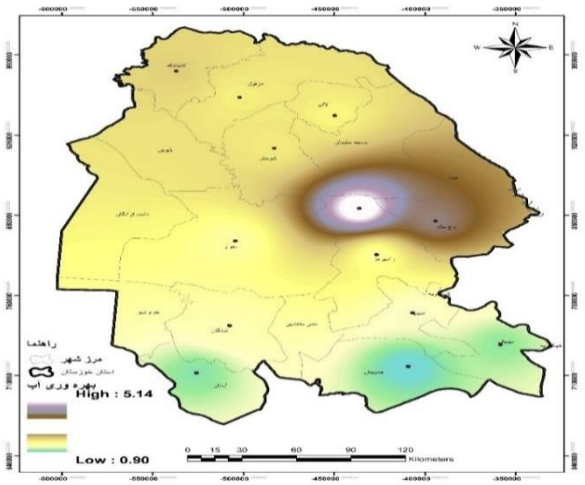
مطابق شکل (۴) هر چه از سمت شرق و شمال به قسمت‌های جنوبی و غربی استان خوزستان برویم، به میزان نیاز آبی و نیاز ویژه آبی گندم افزوده خواهد شد. کمترین نیاز ویژه آبی گندم در فصل رشد آن در قسمت‌های شمال و شرق شهرستان باغملک، جنوب شهرستان‌های مسجدسلیمان و شوشتر و همچنین شمال شهرستان اندیمشک می‌باشد. بیشترین نیاز ویژه آبی در مناطق جنوبی و بخصوص جنوبی شرقی، منطبق بر شهرهای بهبهان، هندیجان، آبادان و خرمشهر است.



شکل ۳- میران بهره‌وری آب برای گندم در دشت‌های استان خوزستان



شکل ٤- وضعیت پراکنش نیاز ویژه آبی گندم در سطح استان خوزستان



شکل ۵- وضعیت پراکنش میزان بهره‌وری آب برای گندم در استان خوزستان

با بررسی نقشه (۵) بهره‌وری آب گندم در استان خوزستان می‌توان مشاهده نمود که مناطق غربی و شمالی شهر باغملک و شمال شهر رامهرمز و همچنین جنوب شوشتر و مسجدسلیمان بالاترین راندمان گندم و یا به‌عبارتی‌دیگر بهره‌وری آب را دارند. این بهره‌وری در مناطق شمالی استان نیز وضعیت مناسبی را دارد اما به رفتن به سمت مناطق جنوبی و بخصوص حوالی شهرهای بهبهان، هندیجان و

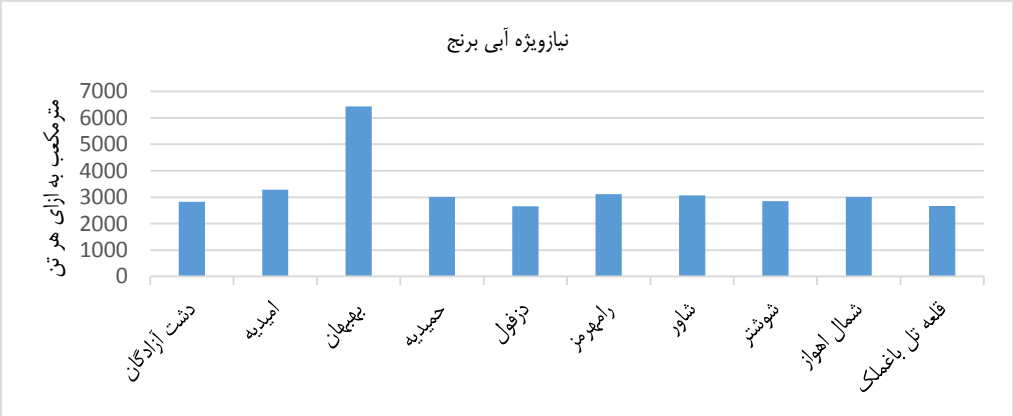
خرمشهر و آبادان این بهره‌وری با توجه به شدت خشکی اقلیم به دلیل دریافت کم نزولات جوی و تبخیر بالا، بسیار پایین‌تر از سایر مناطق است.

به‌طورکلی متوسط نیاز آبی گیاه گندم در استان خوزستان ۲۸۹۹ مترمکعب در هکتار است. میزان نیاز ویژه آبی برای گندم در استان خوزستان ۵۸۰ مترمکعب برای تولید یک تن گندم است. راندمان بهره‌وری آب برای تولید گندم در استان که نشان‌دهنده به‌صرفه بودن کشت این محصول می‌باشد، حدود ۱/۷ کیلوگرم به‌ازای مصرف یک مترمکعب آب در طول فصل رشد است. باتوجه‌به اهمیت گندم در سطح ملی و بین‌المللی، مطالعات گوناگونی بر روی ردپای آب مجازی در تولید این محصول صورت‌گرفته است (؛ Aldaya et al..2010 ؛ Hoekstra., 2005; Aldaya and Hokestra..2010 Chapagain.. 2008) با محاسبه تبخیر و تعرق، حجم تجارت جهانی آب مجازی مرتبط با گندم را در دو بازه زمانی ۱۹۹۵- ۱۹۹۹ و ۱۹۹۷-۲۰۰۱ بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد متوسط ردپای آب مجازی در تولید گندم در برخی از مهم‌ترین کشورهای جهان در حدود ۱۳۳۴ مترمکعب بر تن است.

جدول ۲- نیاز آبی، آب مجازی و بهره‌وری آب برای برنج در دشت‌های خوزستان

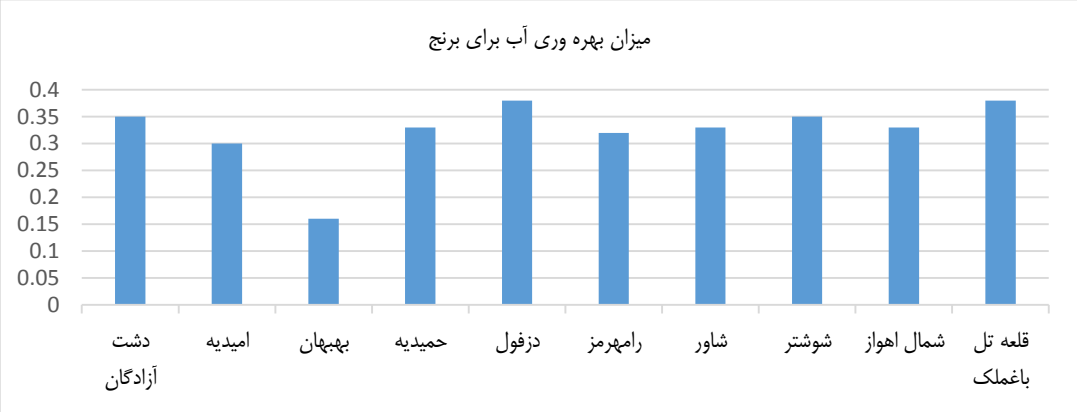
دشت	نیاز آبی گیاه (متر مکعب در هکتار)	سطح زیر کشت برنج (هکتار)	نیاز آبی گیاه در سطح زیر کشت (میلیون مترمکعب)	نیاز ویژه آبی برنج (مترمکعب به‌ازای هر تن)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
دشت آزادگان	۸۴۸۰	۴۱۲۷	۳۴,۹	۲۸۲۷	۰,۳۵
امیدیه	۹۸۵۰	۳۲۹	۳۲,۴	۳۲۸۳	۰,۳۰
بهبهان	۱۹۳۰۰	۷۷۲	۱۴,۸	۶۴۳۳	۰,۱۶
حمیدیه	۹۰۴۰	۱۹۰	۱,۷	۳۰۱۳	۰,۳۳
دزفول	۷۹۷۰	۱۳۸۲	۱۱	۲۶۵۷	۰,۳۸
رامهرمز	۹۳۶۰	۲۰۵۰	۱۹,۱	۳۱۲۰	۰,۳۲
شاوور	۹۲۲۰	۳۲۳۳	۲۹,۸	۳۰۷۳	۰,۳۳
شوشتر	۸۵۵۰	۴۷۰۷	۴۰,۲	۲۸۵۰	۰,۳۵
شمال اهواز	۹۰۲۰	۲۷۲۹	۲۴,۶	۳۰۰۷	۰,۳۳
قلعه تل باغملک	۷۹۹۰	۴۵۲۵	۳۶,۱	۲۶۶۳	۰,۳۸

نتایج محاسبات نیاز آبی برنج نشان می‌دهد که بیشترین نیاز آبی برای کشت گیاه برنج در شرایط آب‌وهوایی استان خوزستان مربوط به بهبهان و حوالی دشت مارون و جراحی به میزان ۱۹۳۰۰ مترمکعب در هکتار و پس از آن امیدیه، شمال اهواز، شاوور (شوش) و حمیدیه است. کمترین نیاز آبی نیز مربوط به دزفول (۷۹۷۰ متر مکعب در هکتار)، باغملک و شوشتر می‌باشد که در این مناطق بیشترین سطح زیر کشت برنج نیز وجود دارد (جدول ۲). این مناطق در فصل رشد برنج دارای دمای مطلوب و بارش نسبتاً بالاتری نسبت به سایر مناطق استان خوزستان هستند. شکل شماره (۶) میزان نیاز آبی ویژه گیاه برنج در دشت‌های استان خوزستان را نشان می‌دهد.



شکل ٦- نیاز ویژه آبی برنج (مترمکعب به‌ازای هر تن) دشت‌های خوزستان

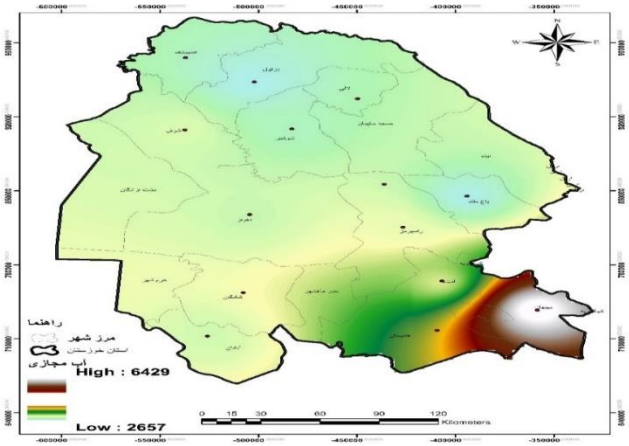
بررسی محاسبات نیاز ویژه آبی در استان خوزستان نشان می‌دهد که شهر دزفول کمترین نیاز ویژه آبی برنج در طی دوره رشد و در استان خوزستان دارد. پس از آن شهرهای باغملک و دشت آزادگان و شوشتر (شعیبیه) قرار دارند. خط روند افزایشی در نمودار نیاز ویژه آبی گیاه برنج در استان خوزستان یک‌روند نسبتاً ملایمی را نشان می‌دهد اما از شهر رامهرمز این روند یک شیب تندتری را پیدا می‌کند و پس از آن برای شهر بهبهان این افزایش بیش از تمام مناطق می‌باشد.



شکل ۷- میران بهره‌وری آب برای برنج در دشت‌های استان خوزستان

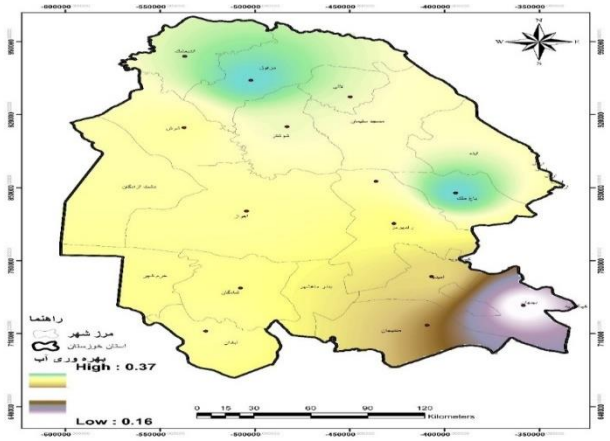
شکل شماره (۷) مقایسه میزان بهره‌وری آب در شرایط آب‌وهوایی استان خوزستان برای کشت گیاه برنج می‌باشد. در این مقایسه می‌توان مشاهده کرد که بهبهان باتوجه‌به نیاز آبی بالای که برای کشت و رشد و نمو گیاه برنج دارد، کمترین راندمان را در ازای مصرف آب دارد. این میزان از حدود ۱۶۰ گرم بر مقابل یک متر مکعب آب مصرف شده است. این میزان راندمان یا بهره‌وری در شهر امیدیه نیز نسبتاً ناچیز است. بیشترین راندمان آب در شهر دزفول به میزان حدود ۴۰۰ گرم به ازای یک متر مکعب آب مصرف شده برای رشد گیاه برنج در طول دوره رشد می‌باشد.

همان‌طور که گفته شد استفاده از نقشه توزیع نیاز آبی و میزان بهره‌وری به درک بهتر از وضعیت توزیع نیاز آبی و بهره‌وری در سطح استان خوزستان می‌انجامد. شکل شماره (۸) و شکل شماره (۹) به ترتیب نشان‌دهنده نقشه توزیع نیازویژه آبی و میزان بهره‌وری آبی برنج در بین دشت‌های مختلف استان خوزستان می‌باشد.



شکل ۸- وضعیت پراکنش نیاز ویژه آبی برنج در سطح استان خوزستان

نتیجه خروجی نقشه (۸) مدل میانیابی نیاز ویژه آبی در بین دشت‌های استان خوزستان نشان می‌دهد که منطقه جنوب شرقی استان خوزستان دارای بیشترین نیاز ویژه آبی برای رشد و نمو برنج است و هرچه به سمت نقاط شمالی و شرقی استان پیش برویم از میزان آن کاسته می‌شود. کمترین میزان آن نیز در حوالی شهرهای باغملک، شمال شهر رامهرمز، دزفول و اندیمشک است.



شکل ۹- وضعیت پراکنش میزان بهره‌وری آب برای برنج در استان خوزستان

شکل (۹) نقشه توزیع و نحوه پراکنش بهره‌وری آب نشان می‌دهد که بیشترین میزان راندمان آب در استان خوزستان مربوط به مناطق شمالی و در اطراف شهر دزفول و اندیمشک در حدود ۳۷۰ گرم برنج به‌ازای یک مترمربع آب است. همچنین مناطقی از شهرهای باغملک دارای این میزان راندمان می‌باشد. محاسبات گیاه برنج در سطح استان خوزستان نشان می‌دهد که در شرایط آب‌وهوایی استان خوزستان که در ابتدای بحث شرح داده شد، نیاز ویژه آبی در دوره رشد گیاه برنج به طور متوسط حدود ۲۹۹۳ مترمکعب برای تولید یک تن برنج است که میزان بالایی می‌باشد. همچنین میزان بهره‌وری آب به طور میانگین در سطح استان خوزستان حدود ۰,۳۳ کیلوگرم (۳۳۰ گرم) در ازای مصرف یک مترمکعب آب در طول دوره رشد برنج است. باتوجه‌به پیشینه کشت برنج در منطقه و تمایل کشاورزان به کشت آن، نیازهای آبی و راندمان این گیاه اهمیت زیادی دارد. نتایج محاسبات نیاز ویژه آبی و بهره‌وری آب برای کشت برنج در سطح دشت‌های استان خوزستان در جدول شماره (۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که ملاک انتخاب ایستگاه‌ها و مناطق بررسی شده برای محاسبه نیاز آبی و سایر محاسبات گیاه برنج، وجود کشت در این مناطق می‌باشد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده ردپای اکولوژی آب برای مزارع گندم با سطح زیر کشت ۳۴۹۱۳۹ هکتار،۹۹۳/۷ میلیون مترمکعب برآوردشده که برای مزارع برنج با سطح زیر کشت ۲۴۰۴۴ هکتار ۲۱۷/۳ میلیون مترمکعب برآورد شد. با توجه پتانسیل بالای استان در تولید گندم موردنیاز استان و صادرات مازاد آن به خارج از استان و همچنین مصرف زیاد آب برای کشت گیاه برنج در استان خوزستان، کشت این گیاه صرفه اقتصادی ندارد؛ بنابراین دلیل اصلی کاهش بهره‌وری آب در برنج می‌تواند مربوط به مساعد نبودن شرایط رشد این گیاه و هم‌زمانی بخش وسیعی از دوره رشد آن با آب‌وهوای نامساعد (مراکز تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی) در منطقه باشد و از سوی دیگر قرارگرفتن بخشی بزرگ از دوره رشد گندم در آب‌وهوای مناسب احتمالاً موجب بالارفتن بهره‌وری مصرف آب نسبت به گیاه برنج شده است.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به بررسی ردپای اکولوژیک آب و آب مجازی محصولات گندم و برنج در استان خوزستان در راستای مدیریت پایداری منابع آبی می‌پردازد. نیاز آبی مهم‌ترین پارامتری است که در ردپای اکولوژیک آب در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت. نیاز آبی نشان داد که دشت مارون و جراحی با ۵۵۶۰ متر مکعب در هکتار، بیشترین نیاز آبی را برای گندم دارد و پس از آن دشت‌های محدوده شهرهای آبادان، خرمشهر، بهبهان و امیدیه بالاترین نیاز آبی را دارند. نقشه‌های دما، بارش، رطوبت نسبی و همچنین وضعیت باد که از مؤلفه‌های مهم در افزایش نیاز آبی بودند که این شهرها به دلیل داشتن میانگین دمای بالاتر و بارش کمتر، تبخیر و تعرق بیشتری را دارند و همین امر باعث نیاز آبی گیاه گندم شده است. کمترین نیاز آبی گندم برای رشد در یک دوره مربوط به هفتگل با ۹۷۰ متر مکعب در هکتار است و پس از آن باغملک و شمال اندیمشک به دلیل برخورداری از آب‌وهوای ملایم‌تر و دریافت بارش بیشتر و تبخیر کمتر نیاز آبی کمتری را دارند. بیشترین میزان نیاز آبی گیاه برنج مربوط به بهبهان و حوالی دشت مارون و جراحی به میزان ۱۹۳۰۰ مترمکعب در هکتار و پس از آن امیدیه، شمال اهواز، شاوور (شوش) و حمیدیه است. کمترین نیاز آبی نیز مربوط به دزفول (۷۹۷۰ مترمکعب در هکتار)، باغملک و شوشتر می‌باشد؛ بنابراین مقایسه دو گیاه گندم و برنج در دشت‌های مختلف استان خوزستان، نشان‌دهنده پتانسیل بالای استان در تولید گندم موردنیاز استان و صادرات مازاد آن به

خارج از استان می‌باشد. همچنین تحلیل یافته‌ها نشان داد که کشت گیاه برنج در استان خوزستان به‌جز در نواحی بسیار محدودی در بخش‌های هفتگل و باغملک، به دلیل مصرف زیاد آب و شرایط آبی منطقه باید کشت گیاه پر مصرفی مانند برنج متوقف شده، گیاهانی جایگزینی که نیاز آبی کمتری دارند در برنامه زراعی کشاورزان استان گنجانده شود؛ بنابراین استان خوزستان صادرکننده آب مجازی است اما وابستگی استان به منابع آب خارجی صفر درصد است. استان خوزستان ۱۰۰ درصد در تأمین محصولات عمده موردنیاز خود از منابع آب داخلی استفاده می‌کند. تلاش در راستای خودکفائی در بخش کشاورزی، موجب افزایش شدت مصرف منابع آبی شده است. کاهش فشار وارده بر میزان منابع آب داخلی، مستلزم بهره گیری بیشتر از استراتژی مبادله آب مجازی در واردات محصولات آب بر به استان است که این امر نیز وابستگی به واردات را بیشتر خواهد کرد. در همین راستا پیشنهاداتی جهت تأثیر در برنامه‌های آینده کشاورزی استان ارائه شد که عبارت‌اند از:

تهیه نقشه‌های آب‌وهوایی و پهنه‌بندی اقلیمی در استان خوزستان در جهت اطلاع بهتر از وضعیت پارامترهای مختلف آب و هوایی در نقاط مختلف این منطقه از کشور و توجه به آنها در برنامه‌ریزی‌های آینده.

برآورد نیاز آبی گیاهان با استفاده از ابزار دقیق همچون لایسیمترهای و به‌موازات آن آزمایش خاک بستر زمین کشاورزی در جهت اطلاع از میزان مور نیاز آن گیاه و زمین بستر آن. با آگاهی دقیق از میزان آب موردنیاز، مصرف بیش از نیاز توسط کشاورزان صورت نخواهد گرفت.

میزان آب مجازی گیاهان مختلف در حال کشت در استان خوزستان اندازه‌گیری گردد و گیاهان دارای آب مجازی کمتر که دارای راندمان بالاتری هستند کشت و صادر شوند و گیاهان دارای آب مجازی بالاتر وارد شوند.

استفاده از علم ژنتیک در اصلاح گیاهان و استفاده از ارقام اصلاح‌شدهٔ دارای نیاز آبی کمتر و راندمان بیشتر در استان خوزستان.

بررسی تغییرات آب‌وهوایی آینده بر اساس مدل‌های مختلف تغییر اقلیم برای آگاهی از وضعیت آب‌وهوایی و تأثیر آن در روند میزان نیاز آبی گیاهان در استان خوزستان که می‌تواند از بروز بحران آبی جلوگیری کند و راهکارهای مقابله با آنها را شناسایی کنیم. همچنین در برنامه‌ریزی عرضه آب می‌توان بهتر عمل نمود.

منابع

ابابایی، ب. و رمضانی اعتدالی، ه. ۱۳۹۴. برآورد اجزاء ردپای آب در تولید محصول گندم در سطح کشور، نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹(۶): ۱۴۶۸-۱۴۵۸.

اویسی، ف.، فتاحی اردکانی، ا. و فهرستی ثانی، م. ۱۳۹۸. بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب در محصول گندم آبی استان اصفهان. نشریه علوم آب‌وخاک(علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۳(۱).

خرمی وفا، م.، نوری، م.، مندنی، ف. و ویسی، ه. ۱۳۹۵. بررسی آب مجازی، بهره‌وری و ردپای اکولوژیک آب در مزارع گندم آبی و ذرت در منطقه کوزران (شهرستان کرمانشاه). نشریه آب و توسعه پایدار. ۳(۲): ۱۹-۳۰.

زارع ابیانه، ح.، آرام، م. و اخوان، س. ۱۳۹۴. ارزیابی حجم آب مجازی مبادلاتی محصولات عمده زراعی استان همدان. مجله پژوهش آب ایران. ۹(۳): ۱۵۷-۱۶۱.

سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۳۹۰.

صادقی، س.ک.، کریمی تکانلو، ز.، متفکر آزاد، م. ع .، اصغر پور قورچی . ح. و اندایش، ی.۱۳۹۴. سنجش رد پای آب بخش های اقتصادی در ایران با رهیافت (SAM) ماتریس حسابداری اجتماعی، فصلنامه اقتصاد مقداری. ۱۱(۳): ۸۳-۱۱۱.

عابدی، س. و تهامی پور، م. ۱۳۹۵. اندازه‌گیری و تحلیل تراز تجاری آب مجازی در بخش کشاورزی استان زنجان، مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۴۷(۴): ۸۰۵-۸۱۴.

عبداللهی، ز.، زهتابیان، غ.، خسروی، ح. و جعفری، م. ۱۳۹۰. مفهوم آب مجازی و نقش آن در مدیریت منابع آب و اقتصاد جهانی، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، زنجان، شرکت آب منطقه‌ای زنجان.

عربی یزدی، ا.، علیزاده، ا. و محمدیان، ف. ۱۳۸۷. بررسی رد پای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران، نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳(۴): ۱-۱۵.

علی‌قلی‌نیا، ت.، رضایی، ح.، بهمنش، ج.، و منتصری، م. ۱۳۹۵. تخمین و ارزیابی ردپای آب آبی و سبز محصولات عمده مورد کشت در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب وخاک، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان. ۲۳(۳).

حسین‌پور جعفری نژاد، غ.،علیزاده، ا. و نشاط، ع. ۱۳۹۲. بررسی ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب مجازی در محصولات پسته و خرما در استان کرمان. فصلنامه علمی‌پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۴(۱۳). ۸۹-۸۰.

نوراللهی، ی.، محمدی، ع.، یوسفی، ح. و ساداتی نژاد، س.ج. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان تهران. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۶).

یوسفی، ح.، محمدی، ع.،نوراللهی، ی. و ساداتی، س.ج. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان

تهران. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۶).

Ababaei, B. and Etedali, H. R. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. Agricultural Water Management. 179: 401-411.

Aldaya, M.M and Hoekstra, A.Y. 2010. The water needed for Italians to eat pasta and pizza. Agricultural Systems, 103: 351–360.

Antonelli,.M.,Tamea,S. and Yang, d. 2018. Intra-EU agricultural trade, virtual water flows and policy implications Science of The Total Environment. 588: 439-448

Arjen ,Y., Hoekstra. 2017. Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field, Water Resour Manage , 31:3061–3081 .

Aldaya, M. M. and Hoekstra, A.Y. 2010. The water needed for Italians to eat pasta and pizza.Agr. Syst. 103: 351–360.

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: 186-203.

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

Shtull-Trauring, E. and Bernstein, N.2018. Virtual water flows and water-footprint of agricultural crop production, import and export: A case study for Israel, Science of The Total Environment. 622–623: 1438-1447

Hoekstra , A.Y. 2003. Virtual water: An introduction.In: Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water, Research Report Series. 12: 13- 23.

Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. 2010. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, pp. 25-47.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. and Mekonnen, M. M. 2009. Water footprint manual. State of the Art. 1-131 .

Van Oel, P. R., Mekonnen, M. and Hoekstra, A. Y. 2008. The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment

Vicente de Paulo, R., de Oliveira, S. D., Braga, C. C., Brito, J. I. B., Francisco de Assis, S., de Holanda, R. M. and de Araújo, L. E. 2016. Virtual water and water self-sufficiency in agricultural and livestock products in Brazil. Journal of environmental management. 184: 465-472.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 329-341

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۳۴۱-۳۲۹

Ecological Water Footprints and Virtual Water for Wheat and Rice Products in Khuzestan Province in Order to Manage Water Resources Sustainability

A. Bohlolzadeh[1], G. R. Sabzghabaei[2*], S. Dashti[3]
Recived: Nov.14, 2020 Accepted: Jan.12, 2021

Abstract

The imbalance between water supply and demand in the country has challenged water resource management, especially in the agricultural sector. In this regard, international trade in agricultural products and the displacement of water in them, which is called virtual water, can be one of the ways of water management. In this research, the study of water ecology and virtual water indexes in rice and wheat production in Khuzestan province have been investigated. To estimate the net blue product requirement (CWR), the amount of vegetation factor (Kc) and root depth of products are used by the FAO standard software (CROPWAT.8). An interview method and a questionnaire were used to obtain information from farmers in the area. For this purpose, 152 people were sampled by Cochran formula. The "top-down" method was used to calculate the ecological footprint of the region. In this method, the water ecological footprints of each area, including two components of internal water ecological footprint (WFi) and external water ecological footprint (WFe) were investigated. The results of the study and comparison of wheat and rice plants in different plains of Khuzestan province indicate the high potential of the province in producing wheat needed by the province and its excess export to the province. Also, the results showed that rice cultivation in Khuzestan province, except in very limited areas in Haftgel and Baghmalek parts, is not economical due to the high consumption of water. Therefore, in agricultural development plans, it is necessary to prevent the cultivation of rice.

Keyword: Ecological footprint, Khuzestan province, Rice, Virtual water, Wheat

1- MS.c Student of Assessment and Land Use Planning, Department of Environment, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
2- Assistant professor, Department of Environment, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
3- Associate Professor, Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: Sabzghabaei@bkatu.ac.ir)