

Evaluation of Water Footprint and Water Use Efficiency in Rice Crop for Sustainability

Azar Sheikh Zeinoddin^{1*}, Hamed Ghiyasi²

Received: 29 April 2021 Accepted: 28 July 2022

1-Dept. of Agricultural Economics, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2- Dept. of Agricultural Economics, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

*Corresponding Author Email: azeinoddin@shirazu.ac.ir

Abstract

Objectives: After wheat, rice has the most important role in human nutrition. Despite the vital importance of its cultivation, high water consumption and water shortage crisis, the sustainability of the cultivation of this grain has faced many problems. Therefore, the purpose of this study is to investigate the water footprint and water use efficiency of rice among the provinces in order to move towards crop sustainability.

Materials & Methods: In this study, water footprint index was used to calculate water use efficiency in rice production. For this purpose, first the water footprint components for the provinces of the country were calculated and then the water use efficiency was calculated.

Results: The results of calculating water footprint showed that the lowest water footprint is related to Mazandaran and Guilan provinces and the highest water footprint is related to South Khorasan and Sistan & Baluchestan provinces. Also, the highest and lowest amount of green water footprint is related to Guilan and South Khorasan province, respectively. The results of water use efficiency calculation showed that Mazandaran (0.511) and Guilan (0.422) provinces had the highest efficiency and South Khorasan (0.135) and Sistan & Baluchestan (0.171) had the lowest efficiency.

Conclusion: By comparing the water footprint components among the provinces of the country, it is cleared that the ratio of blue, green and grey water footprint in total water footprint is 45-53%, 6-25% and 0-15%, respectively. Also, the total water footprint of the country was obtained in the range of 1958 and 2758 m³ per ton. Therefore, it is necessary to stop rice cultivation in provinces with high water.

Keywords: Rice, Blue Water Footprint, Green Water Footprint, Grey Water Footprint, Water Use Efficiency

ارزیابی ردپای آب و کارایی مصرف آب در محصول برنج در راستای پایداری

آذر شیخ زین‌الدین^{۱*}، حامد قیاسی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۶

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: azeinoddin@shirazu.ac.ir

چکیده

اهداف: برنج پس از گندم مهمترین نقش را در تغذیه انسان دارد. علیرغم اهمیت حیاتی این محصول، مصرف بالای آب و بحران آب در کشور، پایداری کشت این غله را با مشکلات زیادی روبه رو کرده است. از این رو، هدف از انجام این مطالعه بررسی ردپای آب برنج و کارایی مصرف آب در بین استان‌های کشور به منظور حرکت به سمت پایداری کشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، به منظور محاسبه کارایی مصرف آب در تولید برنج از شاخص ردپای آب استفاده شد. برای این منظور ابتدا اجزای ردپای آب برای استان‌های کشور محاسبه و سپس کارایی مصرف آب محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج محاسبه ردپای آب نشان داد که کمترین ردپای آب آبی مربوط به استان‌های مازندران و گیلان و بیشترین ردپای آب آبی مربوط به استان‌های خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار ردپای آب سبز به ترتیب مربوط به استان‌های گیلان و خراسان جنوبی می‌باشد. نتایج محاسبه کارایی مصرف آب نشان داد که استان‌های مازندران (۰/۵۱۱) و گیلان (۰/۴۲۲) بالاترین کارایی و استان‌های خراسان جنوبی (۰/۱۳۵) و سیستان بلوچستان (۰/۱۷۱) کمترین کارایی را در مصرف آب دارند.

نتیجه‌گیری: با مقایسه اجزای سازنده ردپای آب در بین استان‌های کشور مشاهده می‌شود که سهم ردپای آب آبی، خاکستری و سبز از کل ردپای آب به ترتیب بین ۴۵-۵۳ درصد، ۶-۲۵ درصد و ۰-۱۵ درصد است. همچنین کل ردپای آب کشور در دامنه ۱۹۵۸ و ۲۷۵۸ مترمکعب بر تن بدست آمد. بنابراین ضروری است کشت برنج در استان‌های با نیاز آبی بالا متوقف شود.

واژه‌های کلیدی: برنج، ردپای آب آبی، ردپای آب سبز، ردپای آب خاکستری، کارایی مصرف آب

مقدمه

بارندگی سالانه به‌طور متوسط حدود ۱۲۸۰ میلی‌متر است، اما در فلات مرکزی و مناطق پست در جنوب به ندرت از ۱۰۰ میلی‌متر عبور می‌کند. حساسیت ایران به تغییرپذیری زیاد دما و بارش منجر به ایجاد سدها و مخازن برای تنظیم و ایجاد جریان پایدارتر آب در

واقع شدن ایران بر روی کمربند بیابان، ایران را به سرزمینی خشک تبدیل کرده است. از سوی دیگر، بارش سالیانه در سطح کشور از نظر زمانی و مکانی اختلاف فاحشی را نشان می‌دهد. در نزدیکی دریای خزر، میزان

شاخص مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب نیز، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد (احسانی و خالدی ۲۰۰۲). بنا بر شاخص‌های ذکر شده، کشور ایران برای حفظ وضع موجود خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که این مقدار با توجه به امکانات و منابع آب موجود غیرممکن به نظر می‌رسد.

از این‌رو، با توجه به لزوم توجه به مدیریت منابع آب در دهه‌های اخیر، یکی از مفاهیم جدید در مدیریت آب، ردپای آب می‌باشد. شاخص ردپای آب در تولید محصول به منظور مدیریت کیفی و کمی منابع آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد (گلیک ۱۹۹۳؛ نورس ۲۰۰۵ و یانگ و همکاران ۲۰۰۶). ردپای آب، حجم آب شیرین استفاده شده برای تولید محصول است، که در طول زنجیره کامل عرضه محاسبه می‌شود. این شاخص یک شاخص چندبعدی است که نشان‌دهنده حجم آب مصرف شده و حجم آب آلوده شده بر اساس نوع آلودگی است که اولین بار توسط هوکسترا و هانگ (۲۰۰۲) معرفی و در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای توسط متخصصین در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است (هوکسترا و چاپاگین ۲۰۰۷، ۲۰۰۸؛ مکونن و هوکسترا ۲۰۱۱؛ مکونن و هوکسترا ۲۰۱۲؛ ژانگ و آنادون ۲۰۱۴؛ آبابایی و رضانی اعتدالی ۲۰۱۵؛ جارامیلو و دستونی ۲۰۱۵؛ تام و همکاران ۲۰۱۶؛ لوواری و همکاران ۲۰۱۶؛ ژانگ و همکاران ۲۰۱۶ و دامبروس و همکاران ۲۰۱۸). ردپای آب^۱ یک محصول به سه جز تقسیم می‌شود: ردپای آب آبی^۲، سبزی^۳ و خاکستری^۴. ردپای آب آبی، به حجم آبی (مقدار آب زیرزمینی یا آب‌های سطحی) که در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیاز خالص) اشاره دارد (هوکسترا و همکاران ۲۰۱۱، ۲۰۰۹؛ مکونن و هوکسترا ۲۰۱۱ و آلدایا و همکاران ۲۰۱۲). ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی موثر مرتبط است. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای رقیق‌سازی کودها و سمومی که در فرایند تولید محصول استفاده شده‌اند مورد نیاز است (هوکسترا

سراسر کشور شده است. پیش‌بینی می‌شود طی چند دهه آینده میانگین دما در ایران ۲/۶ درجه سلسیوس افزایش و میزان بارندگی ۳۵ درصد کاهش داشته باشد (دانشور و همکاران ۲۰۱۹). این امر می‌تواند به‌طور بالقوه خشکسالی را تشدید کرده و تولید محصولات زراعی را با مشکل مواجه کند.

در حالی که تنها ۱۲ درصد از مساحت ایران زیر کشت می‌رود، حدود ۹۳ درصد از مصرف آب ایران در بخش کشاورزی صورت گرفته است. این در حالیست که تنها ۱۰ درصد تولید ناخالص ملی کشور از راه کشاورزی به دست می‌آید و ۱۷ درصد نیروی کار کشور در این بخش مشغول هستند (مرکز آمار ایران ۲۰۲۰). با توجه به میزان منابع آب و سرانه مصرف، ایران از جمله کشورهایی است که در گروه کشورهای مواجه با کمبود فیزیکی آب قرار دارد. این گروه شامل کشورهاییست که در سال ۲۰۲۵ با کمبود فیزیکی آب مواجه هستند. این بدان معناست که حتی با بالاترین راندمان و بهره‌وری ممکن در مصرف آب، برای تأمین نیازهایشان آب کافی در اختیار نخواهند داشت. حدود ۲۵ درصد مردم جهان از جمله ایران مشمول این گروه می‌باشند (ببران و هنربخش ۲۰۰۸). بنابراین ایران یکی از مناطقی است که با محدودیت شدید منابع آب روبرو است. سرانه مصرف آب در سال ۱۹۶۲، ۵۵۷۰ مترمکعب در سال بوده است که با یک روند نزولی به ۱۶۴۴ مترمکعب در سال ۲۰۱۴ و ۱۰۰۰ مترمکعب در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته است که در مقایسه با میانگین جهانی (۶۲۲۵ مترمکعب در سال) به میزان قابل توجهی پائین می‌باشد (بانک جهانی ۲۰۲۱). از این‌رو، با توجه به وضعیت منابع آب در ایران و روند تغییرات اقلیمی، ضرورت مدیریت تقاضا و تعدیل مصرف آب آشکار می‌گردد. براساس شاخص فالکن مارک، کشور ایران در آستانه قرار گرفتن در بحران آبی است. با توجه به اینکه در دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ خورشیدی حدود ۶۹ درصد از کل آب تجدیدپذیر سالانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، براساس شاخص سازمان ملل، ایران نیز اکنون در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. بر اساس

³ -Green Water footprint

⁴ -Grey Water footprint

¹ -Water footprint

² - Blue water footprint

و چاپاگین ۲۰۰۷، ۲۰۰۸؛ هوکسترا و همکاران ۲۰۰۸، ۲۰۱۱؛ لیو و ساونیکه ۲۰۰۸؛ مکنون و هوکسترا ۲۰۱۱؛ هوکسترا و مکنون ۲۰۱۲ و آبابایی و رضانی اعتدالی (۲۰۱۴).

برنج یکی از محصولات آب‌بر بخش کشاورزی است. این محصول بعد از گندم دومین غذای اصلی مردم دنیاست و یک سوم سطح زیرکشت غلات دنیا را به خود اختصاص می‌دهد و تامین‌کننده ۲۵ تا ۶۰ درصد کالری ۲/۷ میلیارد نفر از جمعیت جهان می‌باشد. براساس آخرین آمار منتشر شده از سوی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) در سال ۲۰۱۹ حدود ۵۰۵ میلیون تن برنج در سطح زیرکشت ۱۶۲/۰۶ میلیون هکتار تولید می‌شود (سازمان خواربار و کشاورزی ۲۰۲۰). طبق آمارها به طور تقریبی ۹۰ درصد از برنج دنیا در آسیا تولید و مصرف می‌شود و حدود ۸ درصد از تولید برنج همه ساله در چرخه تجارت جهانی قرار می‌گیرد. متوسط عملکرد شلتوک در دنیا برابر با ۴۴۱۰ کیلوگرم در هکتار است (سازمان خواربار و کشاورزی ۲۰۱۵). بیش از ۸۰ درصد منابع آب شیرین در قاره آسیا برای اهداف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیمی از کل این آب صرف تولید برنج می‌شود. نیاز آبی برنج از سایر غلات بیشتر است و مقدار آن تابع عوامل متعددی مانند رقم، اقلیم و نوع کشت است.

برنج در ایران نیز جایگاه ویژه‌ای دارد، به‌طوریکه قسمت اعظم غذای مردم ایران به‌ویژه در استان‌های گیلان و مازندران را به خود اختصاص داده است. سطح زیرکشت ارقام مختلف برنج در کشور حدود ۴۳۷ هزار هکتار با تولید ۱/۹۹۳ میلیون تن برآورد شده است. متوسط عملکرد برنج در ایران ۴/۵۵۸ تن در هکتار و مصرف سرانه آن ۴۵/۵ کیلوگرم در سال است (سازمان خواربار و کشاورزی ۲۰۲۰). کشت برنج در ۲۰ استان کشور شامل مازندران، گیلان، خوزستان، گلستان، فارس، اصفهان، لرستان، کهگیلویه و بویر احمد، آذربایجان شرقی، زنجان، اردبیل، ایلام، قزوین، چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان،

کرمانشاه و آذربایجان غربی انجام می‌شود. گیلان با ۲۲۰ هزار هکتار اراضی، مازندران با ۲۱۴ هزار هکتار، گلستان با ۱۰۰ هزار هکتار، خوزستان با ۱۸۰ هزار هکتار عمده‌ترین تولیدکنندگان برنج کشور هستند (آمارنامه کشاورزی ۲۰۲۰). بنابراین با توجه به اهمیت محصول برنج در سبد غذایی کشور و نیاز آبی بالای این محصول و همچنین بحران آب موجود در کشور، ضرورت بررسی ردپای آب تولید برنج در کشور بیش از پیش آشکار می‌گردد. در ادامه به بررسی برخی از مطالعات داخلی انجام شده در زمینه محاسبه ردپای آب محصولات زراعی پرداخته شده است.

آبابایی و اعتدالی (۲۰۱۵) در مطالعه خود، اجزاء ردپای آب سبز (بارندگی مؤثر)، آبی (نیاز خالص آبیاری)، خاکستری (برای رقیق‌سازی کودهای شیمیایی) و سفید (تلفات آبیاری) در تولید محصول گندم را در ۱۵ استان عمده تولیدکننده گندم در سطح کشور برآورد کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که مجموع حجم ردپای آب در تولید محصول در سطح کشور در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۰ (۲۰۰۵-۲۰۱۱) در حدود ۴۲۱۴۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. در اراضی فاریاب، سهم ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به ترتیب ۲۳، ۲۵، ۱۷ و ۳۵ درصد از مجموع ردپای آب در تولید گندم در هر استان است. علیقلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) به مقایسه و ارزیابی ردپای آب گندم در اقلیم‌های مختلف ایران پرداختند. 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 آب خاکستری در قسمتهای جنوبی دیده می‌شود. میانگین ردپای آب سبز، آبی و خاکستری به ترتیب ۱۳۹۲/۵۰۳، ۸/۳ و ۲۸۶/۲ مترمکعب بر تن بدست آمد. بر این اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهند که کشت گندم در همه اقلیم‌ها مناسب نمی‌باشد. اشک تراب و زیبایی (۲۰۲۱) در مطالعه خود به حسابداری ردپای آب محصولات زراعی اصلی در استان فارس پرداختند. در این مطالعه ردپای آب برای ۶ محصول گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندر قند و گوجه‌فرنگی در سطح استان فارس محاسبه شد. نتایج نشان داد که بر اساس

کاربردی (متر مکعب) برای تولید محصول، بدست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده متوسط کارایی مصرف آب محصولات زراعی گندم، چغندرقد، سیب زمینی، ذرت دانه‌ای، پنبه، یونجه، جو، نخود آبی و نیشکر به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۵۶، ۴/۵۸، ۲/۱۸، ۵/۵۸، ۰/۷۱، ۱/۴۶، ۰/۵۶، ۰/۱۸ و ۲/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی اندازه‌گیری شد. حیدری (۲۰۱۹) در مطالعه خود به تشریح و بررسی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی بر اساس تبخیر و تعرق (WP_{ET}) پرداخت. در این مطالعه با استفاده از این روش و با استفاده از داده‌های موجود، WP_{ET} محصولات عمده حوزه آبخیز کرخه یعنی گندم، جو، یونجه، سیب زمینی، ذرت علوفه‌ای، شبدر، ذرت دانه‌ای، چغندرقد، پیاز، گوجه فرنگی، خیار و هندوانه، به ترتیب برابر ۱/۳۲، ۱/۴۹، ۱/۲۲، ۵/۷۴، ۷/۹۳، ۱/۷۳، ۱/۳۷، ۶/۱۷، ۶/۶۱، ۸/۲۴، ۵/۰۷ و ۶/۹۴ و سپس مقدار آن برای کل حوزه آبخیز برابر ۲/۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید.

با بررسی مطالعات گذشته آشکار می‌گردد که در داخل کشور و به صورت استانی مطالعه‌ای به منظور ارزیابی اجزای ردپای آب برنج صورت نگرفته است. همچنین در زمینه کارایی مصرف آب محصولات زراعی، مقدار بارش فصل رشد و آب مورد نیاز برای از بین بردن اثرات زیست‌محیط در محاسبات کارایی مصرف آب در نظر گرفته نشده است که وجه تمایز مطالعه حاضر با مطالعات گذشته در نظر گرفتن مصارف مستقیم و غیرمستقیم آب، در محاسبه کارایی مصرف آب است. از این‌رو، هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی اجزای ردپای آب محصول برنج به عنوان دومین محصول استراتژیک کشور می‌باشد. برای این منظور ابتدا ردپای آب این محصول در استان‌های تولیدکننده این محصول در طی دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹ محاسبه و سپس به ارزیابی اجزای ردپای آب این محصول در بین استانهای مختلف پرداخته شد. در گام بعدی جهت مقایسه بهتر استان‌های تولیدکننده برنج، کارایی مصرف آب در تولید برنج در راستای دستیابی به پایداری تولید محاسبه شد.

داده‌های سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، مجموع ردپای آب در تولید محصولات مورد مطالعه که نزدیک به ۶۰ درصد اراضی آبی و دیم استان فارس را تشکیل می‌دهند، حدود ۶/۶ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد که از این رقم حدود ۹۵ درصد مربوط به محصولات در چرخه آبی و حدود ۵ درصد (آب سبز) مربوط به محصولات دیم است. نزدیک به ۵۵ درصد (۳۶۱۳/۱۱ میلیون مترمکعب) از کل ردپای آب استان مربوط به تولید گندم آبی و دیم است. مجموع ردپای آب آبی و سبز برای محصولات گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقد و گوجه‌فرنگی به ترتیب معادل ۱۷۷۸، ۳۲۰، ۴۴۰، ۱۵۱، ۱۴۶ و ۱۴۷ میلیون مترمکعب است و در مجموع معادل با در حدود ۳ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد. بنابراین فرصتهای زیادی برای بهبود بهره‌وری آب از راه افزایش عملکرد در هکتار به ویژه در اراضی تحت کشت گندم و جو وجود دارد. همچنین، نسبت مجموع ردپای آب سفید و خاکستری به کل ردپای آب برای محصولات مورد مطالعه به ترتیب ۴۷، ۴۹، ۶۱، ۶۱، ۶۰ و ۵۹ درصد است که به خوبی ضرورت بکارگیری سیستم‌های آبیاری کارا تر، کاهش تبخیر و تعرق غیرسودمند، تقلیل تلفات کود شیمیایی، استفاده موثرتر از باران، بهینه‌سازی تاریخ کاشت و انتخاب محصول و واریته‌های با عملکرد بالا را نشان می‌دهد.

همچنین در مطالعات مختلفی به محاسبه کارایی آب مصرفی در تولید محصولات زراعی پرداخته شده است. منتظر و کوثری (۲۰۰۷) کارایی مصرف آب برای ۱۰ محصول زراعی منتخب طی دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۳ در ایستگاه‌های تحقیقاتی ۱۳ استان کشور محاسبه شد. بر اساس نتایج این مطالعه متوسط کارایی مصرف آب گندم (۱/۶۲)، جو (۲/۳۷)، برنج (۰/۴۲)، چغندرقد (۰/۵۳)، ذرت (۱/۱۷)، پنبه (۰/۶۱)، یونجه (۰/۸۹)، سیب زمینی (۲/۷۴)، گوجه فرنگی (۶/۷۷) و کنجد (۰/۱۱) کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. در مطالعه حیدری (۲۰۱۱) به منظور محاسبه کارایی مصرف آب در مناطق کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان، میزان عملکرد محصول اولیه (کیلوگرم) بر میزان حجم ناخالص آب آبیاری

روش تحقیق

در سال‌های اخیر با پیدایش شاخص ردپای آب که نمایشی از مجموع مصارف مستقیم و غیرمستقیم در بخش‌های مختلف جامعه است، درجه‌ای برای انجام تحقیقات در راستای مدیریت نوین منابع آب با رویکرد یکپارچه باز شده است. زیرا این شاخص، روش مناسبی برای ارزیابی ارتباط بین آب مورد استفاده و عملکرد محصول است (علیقلی‌نیا و رضایی ۲۰۱۷). کل ردپای آب در طی دوره رشد محصول (WF) از حاصل جمع اجزای آب آبی، سبز و خاکستری حاصل می‌شود (هوگسترا و چاپاگین ۲۰۰۷، ۲۰۰۸؛ هوگسترا و همکاران، ۲۰۱۱ و آبابایی و رضایی ۲۰۱۴):

$$WF_{it} = WF_{it.blue} + WF_{it.green} + WF_{it.grey} \quad [معادله ۱]$$

در معادله (۱)، i و t به ترتیب بیانگر استان‌های مختلف و دوره زمانی است. همچنین $WF_{it.blue}$ ردپای آب آبی، $WF_{it.green}$ ردپای آب سبز و $WF_{it.grey}$ ردپای آب خاکستری برای استان i در زمان t بر حسب (m^3) است.

به‌منظور محاسبه میزان آب مصرفی محصول^۱ از محاسبه تبخیر و تعرق روزانه^۲ (ET) میلی‌متر در روز) در طول دوره رشد (معادله ۲) استفاده می‌شود (هوگسترا و چاپاگین ۲۰۰۷، ۲۰۰۸؛ هوگسترا و همکاران، ۲۰۱۱ و آبابایی و رضایی ۲۰۱۴). در این رابطه $ET_{it.blue}$ تبخیر تعرق آب آبی (mm) استان i در دوره t است. ۱۰ فاکتور تبدیل واحد میلی‌متر به مترمکعب در هکتار می‌باشد. به‌منظور محاسبه ردپای آب آبی ($WF_{it.blue}$) از معادله (۳) استفاده شد:

$$CWU_{it.blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{it.blue} \quad [معادله ۲]$$

$$WF_{it.blue} = (CWU_{it.blue})/Y \quad [معادله ۳]$$

در معادله (۳) به‌منظور محاسبه آب آبی برحسب مترمکعب، CWU در سطح زیرکشت محصول ضرب شده

است (هوگسترا و چاپاگین ۲۰۰۷، ۲۰۰۸؛ هوگسترا و همکاران، ۲۰۱۱ و آبابایی و رضایی ۲۰۱۴).

به‌منظور محاسبه آب سبز، ابتدا بارندگی موثر محاسبه شد. برای این منظور از روش وزارت کشاورزی ایالات متحده^۳ (USDA) استفاده شد، طبق این روش مقداری از آب باران که در طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصارف آن در دسترس قرار گیرد، بارش موثر نامیده می‌شود (سونگ و چن ۲۰۱۹). در این روش میزان بارندگی موثر در طول دوره رشد گیاه، طبق معادله (۴) محاسبه شد (دال و سیبرت ۲۰۰۲). سپس آب سبز به وسیله معادله (۵) مورد محاسبه قرار گرفت:

$$If: P < 250 \text{ mm. } P_{eff} = (P/125) \times (125 - 0.2P) \quad [معادله ۴]$$

$$If: P > 250 \text{ mm. } P_{eff} = 125 + 0.1P$$

$$WF_{it.green} = (P_{eff} \times 10)/Y \quad [معادله ۵]$$

در معادلات بالا P_{eff} بارش موثر در طول دوره رشد (mm)، P بارندگی در طول دوره رشد (mm)، $WF_{it.green}$ ردپای آب سبز محصول در استان i در سال t (m^3)، ۱۰ فاکتور تبدیل واحد mm به m^3 و S سطح زیرکشت محصول (هکتار) است. ردپای آب سبز به سهم آب حاصل از بارندگی موثر مرتبط است.

جزء خاکستری $WF_{it.grey}$ در ردپای آب (مترمکعب)، با استفاده از معادله (۶) محاسبه شد:

$$WF_{it.grey} = \left(\frac{\alpha \times ar_{it}}{C_{max} - C_{nat}} \right) / Y \quad [معادله ۶]$$

که ar_{it} نرخ کاربرد کود شیمیایی در استان i در دوره t (kg/ha)، α درصد نیتروژن آبشویی شده (%)، C_{max} حداکثر غلظت قابل قبول (kg/m^3) و C_{nat} غلظت طبیعی برای آلاینده بررسی شده (kg/m^3) است (هوگسترا و چاپاگین ۲۰۰۷، ۲۰۰۸؛ هوگسترا و همکاران، ۲۰۱۱ و آبابایی و رضایی ۲۰۱۴). مقدار α در این مطالعه ۱۰ درصد در نظر گرفته شد (چاپاگین و همکاران ۲۰۰۶). همچنین حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت کننده بر اساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد و از آنجایی که اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده در

^۱- Crop Water Use

^۲- Daily Evapotranspiration

در این معادله، Y بیانگر عملکرد در واحد هکتار (برحسب کیلوگرم در هکتار) و WF کل ردپای آب محصول برنج (برحسب مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

نتایج و بحث

در این مطالعه ردپای آب برای محصول برنج در استانهای تولیدکننده این محصول در طی دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹ محاسبه شده است. به دلیل طولانی بودن دوره، در جدول ۱ نتایج حاصل از محاسبه اجزای ردپای آب برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ گزارش شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در سال ۱۳۷۹، کمترین میزان کل ردپای آب برابر با $۲۱۴۰/۸$ مترمکعب بر تن و مربوط به استان مازندران می‌باشد. در این استان ردپای آب آبی $۱۶۲۱/۹$ (۷۵/۸ درصد کل ردپای آب)، ردپای آب سبز $۲۰۱/۶$ (۹/۴ درصد کل ردپای آب) و ردپای آب خاکستری $۳۱۷/۳$ (۱۴/۸ درصد کل ردپای آب) مترمکعب بر تن بدست آمد. همچنین استان خراسان جنوبی بیشترین مقدار ردپای کل ($۷۰۰۸/۵$ مترمکعب بر تن) را دارا می‌باشد. مقدار ردپای آب آبی، سبز و خاکستری در این استان به ترتیب $۵۹۷۳/۲$ ، صفر و $۱۰۳۵/۳$ مترمکعب بر تن می‌باشد. بنابراین بین کمترین و بیشترین ردپای آب در تولید محصول برنج اختلاف قابل توجهی (ردپای آب در استان خراسان جنوبی $۳/۲۷$ برابر ردپای آب استان مازندران می‌باشد) وجود دارد. استان‌های ایلام، سیستان و بلوچستان، خوزستان و لرستان به ترتیب بعد از استان خراسان جنوبی دارای بیشترین مقدار ردپای آب در سال ۱۳۷۹ می‌باشند.

در سال ۱۳۸۹ نیز مشابه سال ۱۳۷۹ به ترتیب استانهای مازندران ($۲۰۷۸/۵۲$) و خراسان جنوبی ($۷۴۴۳/۴$) دارای کمترین و بیشترین ردپای آب در تولید برنج هستند. در استان خراسان جنوبی ردپای آبی $۶۴۵۳/۳$ ، ردپای آب سبز صفر و ردپای آب خاکستری $۹۹۰/۱$ مترمکعب بر تن می‌باشد. استان ایلام نیز با ردپای آب $۷۳۴۲/۸$ مترمکعب بر تن بعد از استان خراسان جنوبی دارای بیشترین مقدار ردپای آب تولید برنج در

دسترس نیست این مقدار برابر با صفر در نظر گرفته شد (مکونن و هوکسترا ۲۰۱۰).

قدم اول در محاسبه نیاز آبی گیاهان برآورد مقدار دقیق تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد. در این مطالعه به منظور محاسبه تبخیر و تعرق و نیاز آبی از روش پنمن-مونتیث استفاده شد. همچنین داده‌های روزانه هواشناسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعت آفتابی به عنوان پارامترهای ورودی مدل استفاده شدند. اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی کل کشور به صورت روزانه برای دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ جمع‌آوری شد. همچنین عملکرد و مقدار کود نیتروژنه مصرفی در تولید محصولات برنج از آمارنامه کشاورزی برای دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹ جمع‌آوری شد.

کارایی مصرف آب^۱

بعد از محاسبه اجزای ردپای آب، کارایی مصرف آب در محصول برنج محاسبه شد. کارایی مصرف آب یکی از شاخص‌های مهم به منظور سنجش مقدار بهره‌وری آب کشاورزی می‌باشد. کارایی مصرف آب با استفاده از بهره‌وری عامل جزئی آب^۲ (PFP_w) محاسبه شد که از تقسیم عملکرد بر مقدار آب مصرفی در هر هکتار تعیین می‌شود. در این مطالعه به منظور محاسبه کارایی از PFP_w استفاده شد زیرا به اطلاعات گسترده‌ای نیاز ندارد و زمانی که اطلاعات اغلب به عملکرد و نرخ مصرف آب محدود می‌شود، استفاده از این روش مرسوم می‌باشد (تسنگ و همکاران ۲۰۲۱). این شاخص از نسبت مقدار محصول تولیدشده به ازای مقدار آب مصرفی گیاه بدست می‌آید (معادله ۷). هر چه این نسبت بزرگتر باشد نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب می‌باشد (لو و همکاران ۲۰۱۶).

$$WUE = 100 \times \left(\frac{Y}{WF} \right) \quad [\text{معادله ۷}]$$

^۱ - Water Use Efficiency

^۲ - Partial Factor Productivity of Water

آبی نسبت به ردپای آب سبز مشاهده قابل مشاهده است که این امر با توجه به دوره کشت برنج (تابستان) و کم بودن نرخ بارش در این دوره و همچنین با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک حاکم بر کشور، قابل پیش بینی می‌باشد. برنج از جمله محصولات است که نیاز به مصرف آب و کود بالایی دارد و همین امر منجر به آبشویی نیترات از خاک و آلودگی شدید آب‌های زیرزمینی شده و هزینه‌های گزافی را به محیط‌زیست وارد می‌نماید. در محاسبه ردپای آب خاکستری مقدار مصرف کود ازته مورد استفاده قرار می‌گیرد و ارتباط مستقیمی بین این دو وجود دارد (جدول ۲).

متوسط مصرف کود نیتروژنه در تولید برنج ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، اما اختلاف معنی‌دار از نظر مصرف کود ازته در بین استان‌های کشور وجود دارد. به گونه‌ای که دامنه کاربرد کود ازته در بین استان‌های کشور بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در بین استان‌های کشور، استان‌های اصفهان و گلستان به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مصرف کود را دارند. همین مسئله باعث شده است که استان گلستان مقدار ردپای آب خاکستری کمتری در طی دوره مورد بررسی داشته باشد. اما از آنجایی که در زمان محاسبه ردپای آب خاکستری به ازای هر تن محصول، عملکرد محصول نیز بر این متغیر تاثیرگذار می‌باشد از این رو پائین بودن عملکرد در واحد هکتار نیز عامل موثری بر میزان ردپای آب خاکستری می‌باشد. استان‌های خراسان جنوبی و خراسان شمالی بیشترین مقدار ردپای آب خاکستری را در بین تولیدکنندگان برنج دارند.

بین استان‌های کشور می‌باشد. در این استان ردپای آب آبی ۶۴۱۷/۱، ردپای آب سبز ۲۶ و ردپای آب خاکستری ۸۹۹/۷ مترمکعب بر تن می‌باشد. نهایتاً در سال ۱۳۸۹، استان‌های مازندران (۱۸۴۲/۹ متر مکعب بر تن) و استان گیلان (۱۸۸۳/۵ مترمکعب بر تن) کمترین، مقدار ردپای آب را در تولید محصول برنج دارند. همچنین استان‌های خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و لرستان نیز بیشترین ردپای آب را در تولید این محصول دارند. همچنین در طی دوره مورد مطالعه کمترین میزان ردپای آب آبی در بین استان‌های کشور مربوط به مازندران و گیلان می‌باشد که به دلیل بالا بودن مقدار رطوبت و بارندگی و تا حدودی بالا بودن عملکرد در این استان‌ها نسبت به سایر استان‌ها می‌باشد. همچنین استان‌های خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان نیز در طی دوره مورد مطالعه دارای بیشترین مقدار ردپای آب آبی می‌باشند که نشان دهنده بالا بودن نیاز آبی گیاه در این استان به دلیل اقلیم حاکم در این استان‌ها می‌باشد. بنابراین با توجه به بحران آب موجود در کشور، کشت این محصول در این استان‌ها به هیچ عنوان توجیه‌پذیر نمی‌باشد و لازم است استان‌هایی که نیاز آبی بالایی دارند حذف شوند. بیشترین مقدار ردپای آب سبز در طی دوره مورد مطالعه مربوط به استان گیلان (بیش از ۳۰۰ مترمکعب به ازای هر تن) و کمترین مربوط به استان خراسان جنوبی (با مقدار صفر) می‌باشد. بنابراین به خوبی مشاهده می‌شود که در بین استان‌های کشور اختلاف معنی‌داری از نظر میزان بارندگی در طی دوره رشد محصول برنج وجود دارد. اما بین هر دو جز ردپای آب آبی و سبز در تمامی استان‌ها، بالا بودن ردپای آب

جدول ۱- اجزای ردپای آب تولید برنج در سال‌های منتخب (واحد: مترمکعب بر تن)

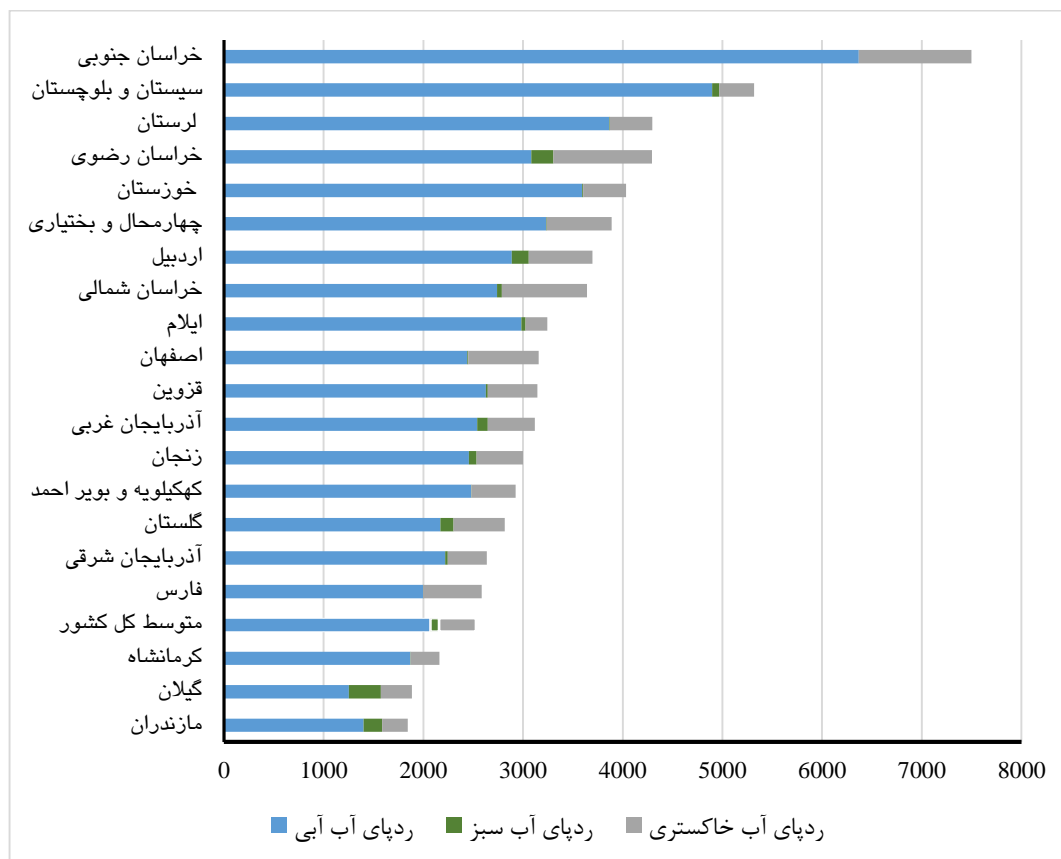
| استان | ۱۳۷۹ | | | ۱۳۸۹ | | | ۱۳۹۹ | | |
|----------------------|---------------|-------------------|--------------|---------------|-------------------|--------------|---------------|-------------------|--------------|
| | رد پای آب سبز | رد پای آب خاکستری | کل رد پای آب | رد پای آب سبز | رد پای آب خاکستری | کل رد پای آب | رد پای آب سبز | رد پای آب خاکستری | کل رد پای آب |
| آذربایجان شرقی | ۲۲۶۹/۳۹ | ۱۰۶ | ۲۳۷۵/۳۹ | ۲۸۸۶/۲۶ | ۷۹۶/۲۹ | ۳۶۸۲/۵۵ | ۱۷۲/۰۱ | ۶۲۸/۹۶ | ۳۶۹۷/۲۴ |
| آذربایجان غربی | ۲۳۴۱/۲۵ | ۱/۳ | ۲۳۴۲/۵۸ | ۲۴۴۱/۸۲ | ۶۹۹/۹۶ | ۳۱۴۰/۷۸ | ۹/۲۷ | ۷۰۴/۶۸ | ۳۱۵۵/۷۸ |
| اردبیل | ۵۵۳۸/۸۷ | ۱۲۸/۴۳ | ۵۶۶۶/۳۰ | ۲۹۸۳/۲۲ | ۸۹۹/۶۹ | ۳۸۸۲/۹۱ | ۴۰/۷۶ | ۲۱۸/۱ | ۳۲۴۲/۰۸ |
| اصفهان | ۳۱۸۲ | ۶۰/۸۳ | ۳۲۴۲/۸۵ | ۲۲۲۰/۴۱ | ۵۶۸/۹۳ | ۲۷۸۸/۳۴ | ۲۳/۴۱ | ۳۹۱/۹ | ۲۶۳۵/۷۳ |
| ایلام | ۲۴۰۳/۸۲ | ۵۸/۸۸ | ۲۴۶۱/۷۰ | ۲۵۳۸/۷۳ | ۴۲۴/۴۵ | ۲۹۶۲/۱۸ | ۱۰۸/۸۲ | ۴۷۲/۱۹ | ۳۱۱۹/۷۵ |
| چهارمحال و بختیاری | ۲۷۷۷/۷۴ | ۰/۰۳ | ۲۷۷۷/۷۴ | ۳۷۹۸/۲۱ | ۴۴۰/۵۳ | ۴۲۳۸/۷۴ | ۷/۵۴ | ۶۵۰/۷۳ | ۳۸۸۸/۶۴ |
| خراسان جنوبی | ۵۹۷۳/۲۳ | ۰ | ۵۹۷۳/۲۳ | ۷۴۴۲/۴ | ۹۹۰/۱ | ۸۴۳۲/۲۴ | ۰ | ۱۱۲۹/۸۸ | ۷۴۹۸/۲۶ |
| خراسان رضوی | ۲۵۳۸/۳۶ | ۲۴۹/۲۷ | ۲۷۸۷/۶۳ | ۴۴۲۵/۴۶ | ۸۰۷/۴۵ | ۵۲۳۲/۹۱ | ۲۲۰/۰۹ | ۹۸۹/۲۳ | ۴۲۹۲/۹۴ |
| خراسان شمالی | ۳۱۱۹/۲۸ | ۳۶۸/۹۸ | ۳۴۸۷/۲۶ | ۴۴۸۴/۶۶ | ۱۰۴۵/۶ | ۵۵۲۹/۷۲ | ۴۸/۳ | ۸۵۴/۰۸ | ۳۶۴۰/۵۳ |
| خوزستان | ۵۰۵۲/۶۷ | ۴/۲۷ | ۵۰۵۲/۷۱ | ۵۷۴۳/۱۵ | ۶۸۷/۲۴ | ۶۴۳۰/۳۹ | ۷/۲۳ | ۴۳۱/۸ | ۴۰۳۳/۷۵ |
| زنجان | ۳۰۲۰/۲۷ | ۱۰۰/۰۱ | ۳۰۲۰/۲۷ | ۳۵۷۵/۴۱ | ۴۹۱/۲۱ | ۴۰۶۶/۶۲ | ۷۶/۱ | ۴۶۴/۹۹ | ۲۹۹۸/۴۷ |
| سیستان و بلوچستان | ۵۶۰۱/۲۳ | ۸/۴۱ | ۵۶۰۱/۲۳ | ۶۷۵۵/۳۶ | ۴۳۰/۴۶ | ۷۱۸۵/۸۲ | ۷۱/۳۳ | ۳۴۹/۸۱ | ۵۳۱۷/۰۸ |
| فارس | ۲۱۸۱/۴۳ | ۲۶/۱۶ | ۲۲۰۷/۵۹ | ۲۸۲۶/۵۸ | ۶۴۰/۹ | ۲۸۹۰/۶۷ | ۰/۱۹ | ۵۸۷/۶۱ | ۲۵۸۴/۸۴ |
| قزوین | ۲۹۰۴/۲۳ | ۳۱/۶۱ | ۲۹۳۵/۸۴ | ۳۸۶۱/۸۳ | ۶۵۱/۹۱ | ۴۵۱۲/۷۴ | ۲۰/۳۹ | ۴۹۷/۴۵ | ۳۱۴۴/۴۱ |
| کرمانشاه | ۳۷۶۳/۶۵ | ۱۷/۰۲ | ۳۷۸۰/۶۷ | ۴۸۸۴/۳۶ | ۶۲۴/۵۱ | ۵۵۰۴/۸۷ | ۴/۸۸ | ۲۸۸/۴۱ | ۲۱۶۲/۲۱ |
| کهگیلویه و بویر احمد | ۳۱۶۳/۹۴ | ۵/۹۱ | ۳۱۶۳/۹۴ | ۴۶۵۷/۲۴ | ۹۰۰/۲۱ | ۵۵۵۷/۴۵ | ۲/۹ | ۴۴۳/۴۷ | ۲۹۲۵/۱۹ |
| گلستان | ۲۳۰۹/۶ | ۲۴۰/۷۱ | ۲۵۳۹/۷۷ | ۳۶۰۷/۵۵ | ۴۹۴/۳۷ | ۴۱۰۲/۹۲ | ۱۳۰/۶۹ | ۵۱۴/۹۱ | ۲۸۱۶/۹۶ |
| گیلان | ۱۶۳۵/۹۶ | ۴۶۳/۳۲ | ۲۱۰۰/۲۸ | ۲۸۰۸/۲۳ | ۴۵۲/۷۵ | ۳۲۶۰/۹۸ | ۳۲/۱۸ | ۳۰۹/۵ | ۱۸۸۳/۵ |
| لرستان | ۴۶۱۷/۵۷ | ۰ | ۴۶۱۷/۵۷ | ۹۵۹/۴۸ | ۰/۲۱ | ۹۵۹/۴۸ | ۵/۱۱ | ۴۲۸/۲۲ | ۴۲۹۷/۳۹ |
| مازندران | ۱۶۲۱/۹۳ | ۲۰/۱۵۷ | ۱۶۴۱/۱۰۸ | ۲۰۷۸/۵۲ | ۲۸۳/۳۲ | ۲۳۶۱/۸۴ | ۱۸۵/۱ | ۲۵۷/۹ | ۱۸۴۳/۹ |
| حداقل | ۱۶۲۱/۹۳ | ۰ | ۱۶۲۱/۹۳ | ۲۰۷۸/۵۲ | ۲۸۳/۳۲ | ۲۳۶۱/۸۴ | ۰ | ۲۱۸/۱ | ۱۸۴۳/۸۵ |
| حداکثر | ۵۹۷۳/۲۳ | ۴۶۳/۳۲ | ۶۴۳۶/۵۵ | ۷۴۴۳/۴ | ۱۰۴۵/۶ | ۸۴۳۲/۲۴ | ۳۲/۱۸ | ۱۱۲۹/۸۸ | ۷۴۹۸/۲۶ |
| میانگین | ۳۳۵۰/۸۲۱ | ۱۰۳/۶۳۵۵ | ۳۴۵۳/۶۷۶ | ۴۴۲۹/۳۷۷ | ۶۶۴/۹۸ | ۵۰۹۰/۹۳ | ۷۲/۷۹۶ | ۵۳۱/۱۹۴۵ | ۳۴۵۸/۸۸۲ |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

است. همچنین ردپای آب برنج برای کل کشور نیز در این نمودار گزارش شده است.

در ادامه توزیع مکانی متوسط هر یک از اجزای ردپای آب برنج طی دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹ برای استان‌های کشور در شکل ۲ نمایش داده شده است. با توجه به شکل، در طی دوره مورد مطالعه بیشترین ردپای آب آبی مربوط به استان‌های خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان، بیشترین ردپای آب سبز مربوط به استان‌های گیلان، مازندران، گلستان، اردبیل و خراسان رضوی و بیشترین ردپای آب خاکستری مربوط به استان‌های خراسان شمالی، خراسان جنوبی، اصفهان و اردبیل می‌باشد.

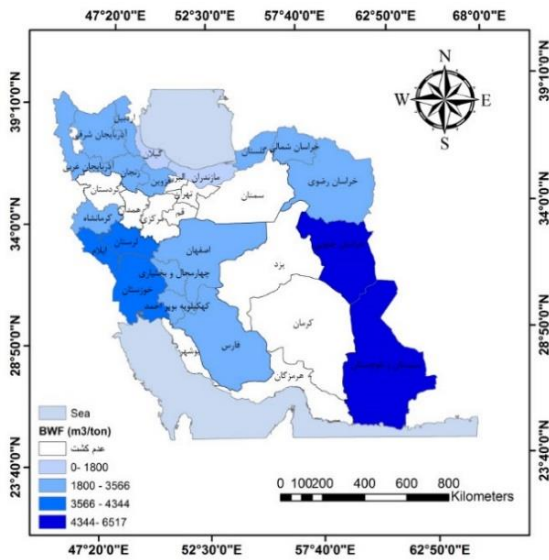
با مقایسه اجزای سازنده ردپای آب در بین استان‌های کشور مشاهده می‌شود که به طور متوسط بین ۴۵ تا ۵۳ درصد کل ردپای آب تولید برنج، مربوط به آب آبی می‌باشد. همچنین ردپای آب خاکستری بین ۶ تا ۲۵ و ردپای آب سبز بین صفر تا ۱۵ درصد از کل ردپای آب تولید برنج را به خود اختصاص می‌دهد. البته لازم به ذکر است که با توجه به اقلیم‌های متنوع موجود در کشور ردپای آب سبز در استان‌های شمالی کشور حدوداً ۱۵ درصد کل ردپای آب را به خود اختصاص داده است. در ادامه، به منظور درک بهتر این موضوع در شکل ۱ سهم هر یک از اجزای ردپای آب در سال ۱۳۹۹ نمایش داده شده



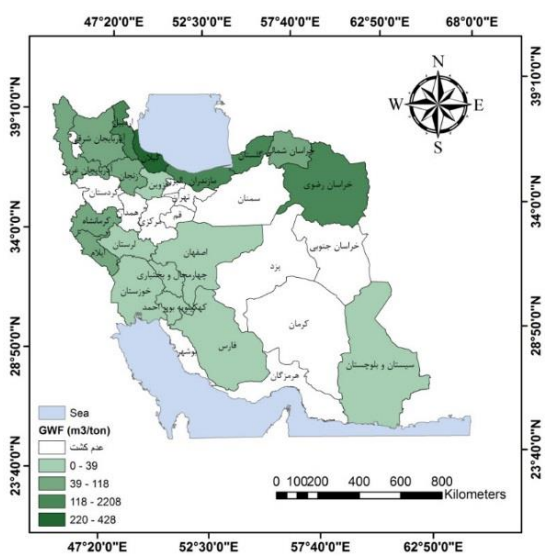
شکل ۱- اجزای ردپای آب برنج (مترمکعب بر تن) در سال ۱۳۹۹

متوسط بارندگی سالیانه منجر به کاهش کل ردپای آب خواهد شد. میانگین ردپای آب در تولید برنج در دامنه ۱۹۷۶/۸ (استان مازندران) تا ۷۵۸۲/۶ (استان خراسان جنوبی) قرار دارد. همچنین انحراف معیار و ضریب تغییرات کل ردپای آب، به ترتیب در دامنه ۱۸۴ تا ۱۷۷۵ و ۰/۰۸ تا ۰/۴۱ قرار دارد. انحراف معیار و ضریب تغییرات، هر دو شاخص‌های پراکندگی هستند. انحراف معیار نشان می‌دهد به‌طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند و ضریب تغییرات میزان پراکندگی به ازای یک واحد از میانگین را بیان می‌کند. نتایج این بخش نشان می‌دهد که در برخی از استان‌ها (ایلام، خوزستان، زنجان و سیستان و بلوچستان) در طی سال‌های مورد بررسی پراکندگی قابل توجهی در کل ردپای آب وجود دارد.

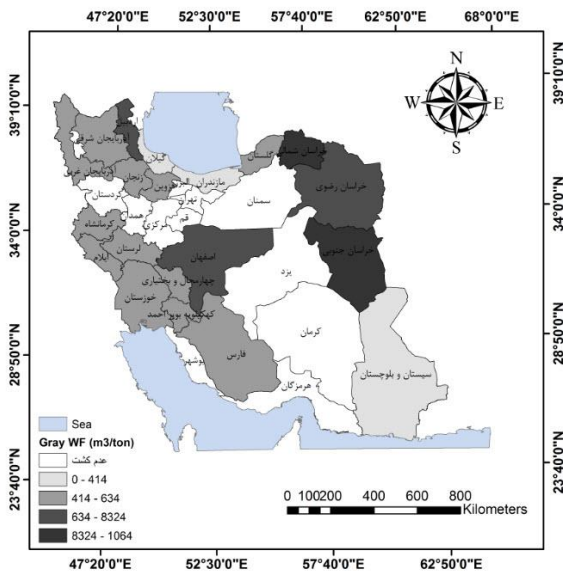
در جدول ۲ به بررسی ضریب همبستگی بین مصرف کود ازته و ردپای آب خاکستری، عملکرد و کل ردپای آب، بارندگی و کل ردپای آب پرداخته شده است. همچنین میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات کل ردپای آب نیز گزارش شده است. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که در تمام استان‌های کشور بین میزان ردپای آب خاکستری و مصرف کود ازته رابطه مثبت وجود دارد. این ضریب در استان‌های خراسان جنوبی، اصفهان، ایلام و چهارمحال و بختیاری بیش از ۰/۹ می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی بین کل ردپای آب و عملکرد منفی بدست آمد که بیانگر این مسئله است که هر چه عملکرد در واحد هکتار در استان افزایش یابد، کل ردپای آب محصول (بر حسب مترمکعب بر تن) کاهش خواهد یافت. همچنین در اکثر استان‌های کشور افزایش



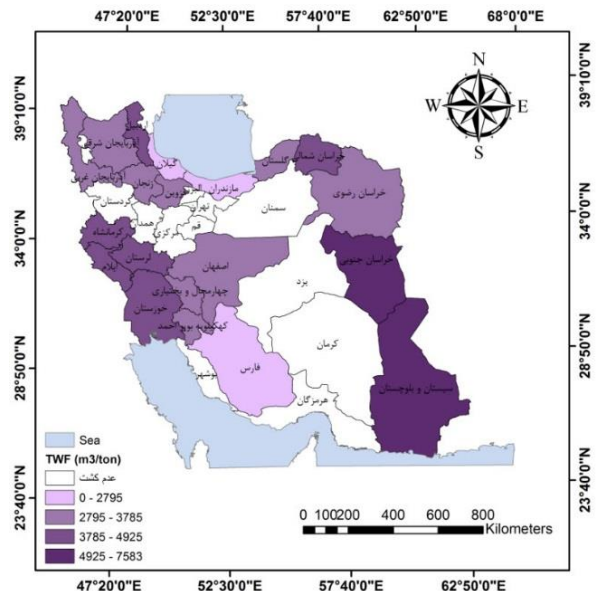
الف- توزیع مکانی ردپای آب آبی



ب- توزیع مکانی ردپای آب سبزی



ج- توزیع مکانی ردپای آب خاکستری



د- توزیع مکانی کل ردپای آب

شکل ۲- متوسط اجزای ردپای آب (برحسب مترمکعب بر تن) در محصول برنج (۱۳۷۹-۱۳۹۹)

این تفاوت‌ها در زمان تصمیم به تولید محصولات کشاورزی توجه شود.

در ادامه، اجزای ردپای آب برنج برای کل کشور محاسبه شد. برای این منظور، اجزای ردپای آب محاسبه شده برای هر استان در سهم سطح زیرکشت هر استان از کل کشور^۱ ضرب و با یکدیگر جمع شدند. نتایج حاصل

نتایج حاصل از این مطالعه وجود اختلاف معنی‌دار بین استان‌های مختلف تولیدکننده برنج در کل ردپای آب محصول برنج را تایید می‌کند که موید وجود اقلیم‌های مختلف و مناطق با آب و هوای متفاوت در فصول چهارگانه در کشور بوده و از این‌رو ضروری است به

^۱ از تقسیم سطح زیرکشت استان نام در سال tام بر کل سطح زیرکشت کشور در سال t بدست می‌آید.

از محاسبه اجزای ردپای آب برای کل کشور در شکل ۳ طی دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹ نمایش داده شده است. کل ردپای آب کشور در طی این دوره با نوساناتی همراه بوده است و از یک روند نزولی برخوردار می‌باشد. حداقل و حداکثر کل ردپای آب برابر با ۱۹۵۸ مترمکعب برتن (سال ۱۳۹۶) و ۲۷۵۸ مترمکعب برتن (سال ۱۳۸۹) و متوسط کل ردپای آب کشور معادل ۲۴۴۰ مترمکعب

بر تن بدست آمد. لازم به ذکر است که متوسط جهانی کل ردپای آب برنج معادل ۱۶۷۳ مترمکعب برتن می‌باشد که با مقایسه با متوسط کل ردپای آب کشور آشکار می‌گردد که کل ردپای آب برنج در کشور ۴۶٪ بیش از متوسط جهانی می‌باشد. همچنین سهم ردپای آب آبی، خاکستری و سبز به ترتیب ۸۰، ۱۷ و ۳ درصد از کل ردپای آب کشور، می‌باشد.

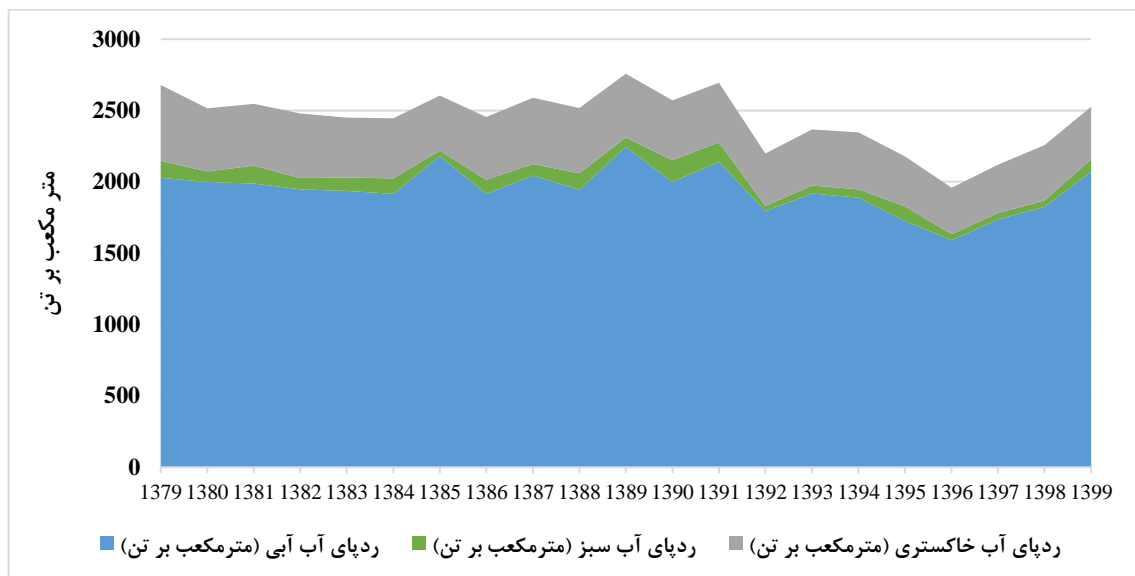
جدول ۲- ضریب همبستگی بین ردپای آب و عملکرد، بارندگی و دما

| استان | ρ_1 | ρ_2 | ρ_3 | میانگین ردپای کل | انحراف معیار ردپای کل | ضریب تغییرات ردپای کل |
|----------------------|----------|----------|----------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| آذربایجان شرقی | ۰/۸ | -۰/۶۵ | -۰/۱ | ۳۳۳۵/۵۳ | ۵۳۲/۱ | -۰/۱۵ |
| آذربایجان غربی | ۰/۶۲ | -۰/۹۵ | -۰/۱۲ | ۳۰۸۸/۹۵ | ۷۰۳/۶ | -۰/۲۳ |
| اردبیل | ۰/۰۳ | -۰/۹۳ | ۰/۱ | ۴۲۸۳/۱۷ | ۸۹۴/۷ | ۰/۲ |
| اصفهان | ۰/۹۴ | -۰/۸۹ | -۰/۴۹ | ۳۲۱۸/۲۸ | ۳۶۸/۳ | -۰/۱۱ |
| ایلام | ۰/۹۱ | -۰/۹۶ | -۰/۳۹ | ۴۹۲۵/۱ | ۱۷۷۵ | -۰/۳۷ |
| چهارمحال و بختیاری | ۰/۹۱ | -۰/۸ | -۰/۴۲ | ۳۴۵۸/۸۲ | ۸۴۸ | -۰/۲۴ |
| خراسان جنوبی | ۰/۹۶ | -۰/۷۲ | ۰/۰۷ | ۷۵۸۲/۶۳ | ۱۱۰۱ | -۰/۱۴ |
| خراسان رضوی | ۰/۷۵ | -۰/۷۸ | ۰/۶۱ | ۳۷۷۴/۲۸ | ۴۷۷ | -۰/۱۳ |
| خراسان شمالی | ۰/۶۱ | -۰/۸۵ | -۰/۲۷ | ۴۱۶۰/۹۸ | ۵۴۱/۶ | -۰/۱۳ |
| خوزستان | ۰/۷۷ | -۰/۷۸ | -۰/۲۴ | ۴۴۵۹/۵۶ | ۱۳۶۴ | ۰/۳ |
| زنجان | ۰/۷۲ | -۰/۹۵ | -۰/۵۲ | ۳۷۰۸/۵۱ | ۹۸۰/۶ | -۰/۲۷ |
| سیستان و بلوچستان | -۰/۵۹ | -۰/۸۳ | ۰/۱۷ | ۵۹۷۷/۵۵ | ۹۲۱/۴ | -۰/۱۵ |
| فارس | ۰/۶۲ | -۰/۸۹ | -۰/۱ | ۲۷۹۵/۴۳ | ۲۷۰/۷ | ۰/۱ |
| قزوین | ۰/۸۱ | -۰/۸۲ | -۰/۲۷ | ۳۷۸۵/۴۳ | ۴۱۶ | -۰/۱۱ |
| کرمانشاه | ۰/۵۲ | -۰/۷۹ | -۰/۴۸ | ۴۲۰۶/۴۷ | ۱۷۱۰ | -۰/۴۱ |
| کهگیلویه و بویر احمد | ۰/۷ | -۰/۹۱ | -۰/۱۶ | ۳۷۰۲/۷۸ | ۹۱۸/۵ | -۰/۲۵ |
| گلستان | ۰/۴۲ | -۰/۴۱ | ۰/۱۱ | ۳۰۰۸/۶ | ۲۴۷ | -۰/۰۸ |
| گیلان | ۰/۷۶ | -۰/۹۲ | ۰/۰۳ | ۲۴۰۹/۰۸ | ۳۰۵/۶ | -۰/۱۲ |
| لرستان | ۰/۸۴ | -۰/۹۲ | -۰/۱۶ | ۴۸۵۳/۶۲ | ۷۲۰ | -۰/۱۴ |
| مازندران | ۰/۵۵ | -۰/۹ | -۰/۰۸ | ۱۹۷۶/۸ | ۱۸۴ | -۰/۰۹ |

ρ_1 : ضریب همبستگی بین مصرف کود ازته و ردپای آب خاکستری

ρ_2 : ضریب همبستگی بین ردپای آب کل و عملکرد

ρ_3 : ضریب همبستگی بین ردپای آب کل و بارندگی



شکل ۳- اجزای ردپای آب برنج کشور طی دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹

گزارش شده است. در طی دوره مورد مطالعه محدوده تغییرات کارایی مصرف آب در تولید برنج از ۰/۰۹۵ (کرمانشاه سال ۱۳۸۷) تا ۰/۶۹۵ (مازندران سال ۱۳۹۶) در نوسان بوده است. همچنین متوسط کارایی تولید برنج در دامنه ۰/۲۴۱ تا ۰/۳۲۶ قرار دارد. بنابراین با توجه به مقادیر محاسباتی مشاهده می شود که به طور نسبی کارایی مصرف آب در تولید برنج پائین می باشد.

به منظور بررسی بهتر کارایی مصرف آب در تولید برنج، در شکل ۴ متوسط کارایی مصرف آب در هر یک از استان‌های تولیدکننده برنج طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود استان‌های مازندران (۰/۵۱۱) و گیلان (۰/۴۲۲) بالاترین کارایی و استان‌های خراسان جنوبی (۰/۱۳۵) و سیستان بلوچستان (۰/۱۷۱) کمترین کارایی را در مصرف آب دارند. بنابراین اختلاف معنی داری بین استان‌های کشور از نظر کارایی مصرف آب وجود دارد.

کل ردپای آب برنج در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۲۲۵۷ و ۲۵۲۷ مترمکعب به ازای هر تن بوده است. همچنین در این سال‌ها به ترتیب حدود ۴/۴۲ و ۴ میلیون تن شلتوک تولید شده است که با ضرب آن در ردپای آب برنج، کل ردپای آب برنج در کشور بدست می آید. بنابراین در سال ۱۳۹۸ حدود ۹/۹۸ میلیارد مترمکعب و در سال ۱۳۹۹ حدود ۱۰/۱۱ میلیارد مترمکعب آب در تولید برنج داخلی مصرف شده است (در سال ۱۳۹۸ به دلیل بارندگی‌های زیاد، وفور آب‌های سطحی و ذخیره مناسب آب در سدهای برخی استان‌های کشور از جمله خوزستان و گلستان، سطح زیرکشت برنج نسبت به سال ۱۳۹۹ بالاتر بوده است). بنابراین با توجه به حجم بالای ردپای آب در تولید برنج کشور، توجه به کارایی مصرف آب در تولید این محصول می تواند از اهمیت چندانی به منظور کاهش کل ردپای آب برخوردار باشد.

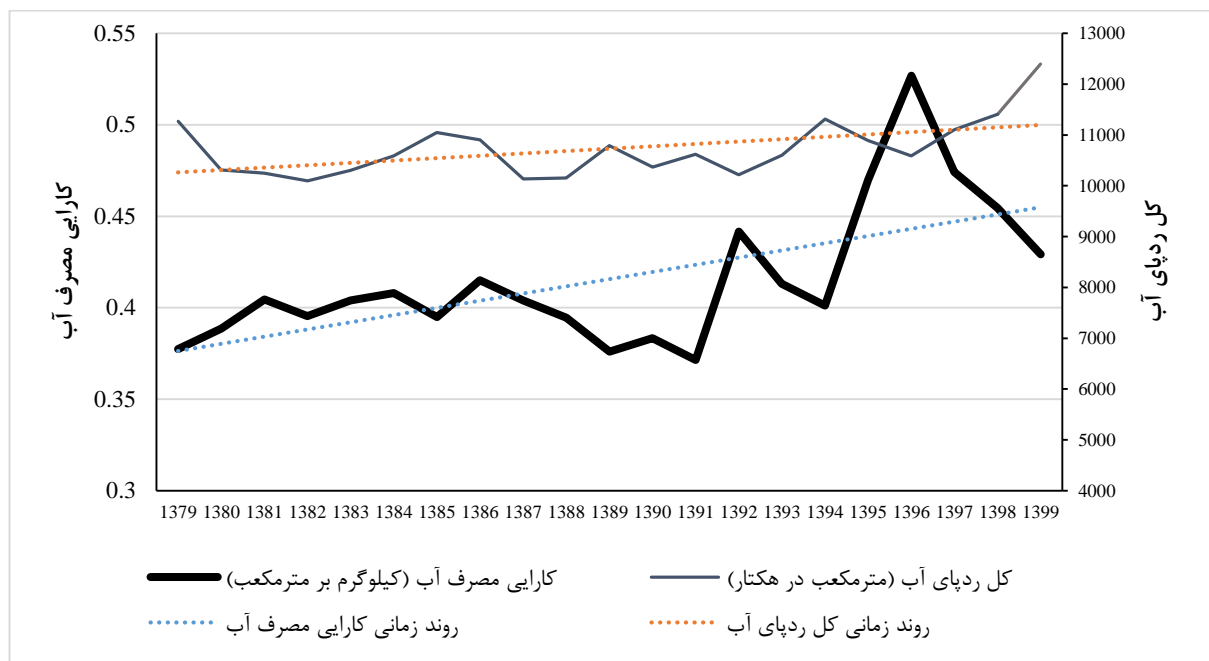
کارایی مصرف آب

در جدول ۳ نتایج حاصل از محاسبه کارایی مصرف آب در تولید برنج در بین استان‌های تولیدکننده برنج

جدول ۳- کارایی مصرف آب در تولید برنج (واحد: کیلوگرم بر مترمکعب)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|----------|
| ۱۳۹۹ | ۱۳۹۸ | ۱۳۹۷ | ۱۳۹۶ | ۱۳۹۵ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۱ | ۱۳۹۰ | ۱۳۸۹ | ۱۳۸۸ | ۱۳۸۷ | ۱۳۸۶ | ۱۳۸۵ | ۱۳۸۴ | ۱۳۸۳ | ۱۳۸۲ | ۱۳۸۱ | ۱۳۸۰ | ۱۳۷۹ | استان | |
| ۰.۳۷۹ | ۰.۳۲۸ | ۰.۳۴۵ | ۰.۳۰۳ | ۰.۳۳۹ | ۰.۳۶۸ | ۰.۳۵۱ | ۰.۳۱۵ | ۰.۳۹۰ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۳۳ | ۰.۳۳۹ | ۰.۳۴۲ | ۰.۳۶۵ | ۰.۳۲۰ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۶۸ | ۰.۳۶۵ | ۰.۳۹۱ | ۰.۳۵۳ | ۰.۳۶۴ | آذربایجان شرقی | |
| ۰.۳۲۱ | ۰.۳۰۰ | ۰.۳۲۹ | ۰.۳۵۳ | ۰.۳۲۷ | ۰.۳۴۷ | ۰.۳۲۸ | ۰.۳۴۰ | ۰.۳۶۶ | ۰.۳۴۲ | ۰.۳۶۳ | ۰.۳۶۳ | ۰.۳۵۹ | ۰.۳۰۵ | ۰.۳۸۹ | ۰.۳۲۰ | ۰.۳۸۹ | ۰.۳۰۹ | ۰.۳۰۶ | ۰.۳۹۶ | ۰.۳۴۵ | آذربایجان غربی | |
| ۰.۳۷۰ | ۰.۱۶۰ | ۰.۳۵۰ | ۰.۳۸۴ | ۰.۳۵۰ | ۰.۳۰۷ | ۰.۳۹۰ | ۰.۱۶۵ | ۰.۳۲۱ | ۰.۳۲۰ | ۰.۳۲۰ | ۰.۳۱۵ | ۰.۳۲۷ | ۰.۳۲۶ | ۰.۱۷۸ | ۰.۳۴۰ | ۰.۳۲۰ | ۰.۳۵۸ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۲۸ | اردبیل | |
| ۰.۳۱۷ | ۰.۳۸۳ | ۰.۳۸۹ | ۰.۳۰۷ | ۰.۳۱۷ | ۰.۳۳۵ | ۰.۳۰۹ | ۰.۳۶۸ | ۰.۳۰۶ | ۰.۳۰۶ | ۰.۳۰۴ | ۰.۳۰۸ | ۰.۳۳۵ | ۰.۳۳۷ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۲۳ | ۰.۳۵۲ | ۰.۳۱۱ | ۰.۳۹۲ | ۰.۳۱۷ | ۰.۳۲۷ | اصفهان | |
| ۰.۳۰۸ | ۰.۳۰۲ | ۰.۳۹۷ | ۰.۳۳۳ | ۰.۳۱۸ | ۰.۳۵۹ | ۰.۳۸۸ | ۰.۳۶۲ | ۰.۱۳۴ | ۰.۱۳۷ | ۰.۱۳۶ | ۰.۱۲۹ | ۰.۱۱۹ | ۰.۲۹۹ | ۰.۲۶۳ | ۰.۳۲۱ | ۰.۲۰۵ | ۰.۱۳۷ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۵۴ | ۰.۱۵۴ | ایلام | |
| ۰.۳۵۷ | ۰.۳۵۰ | ۰.۳۴۸ | ۰.۳۲۱ | ۰.۳۳۱ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۴۷ | ۰.۳۱۶ | ۰.۳۵۰ | ۰.۳۷۳ | ۰.۳۶۳ | ۰.۳۳۱ | ۰.۳۰۶ | ۰.۳۷۸ | ۰.۵۰۰ | ۰.۴۸۰ | ۰.۴۳۲ | ۰.۳۹۱ | ۰.۳۰۸ | ۰.۳۰۵ | ۰.۳۰۵ | چهارمحال و بختیاری | |
| ۰.۱۳۳ | ۰.۱۱۴ | ۰.۱۱۰ | ۰.۱۰۸ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۰۶ | ۰.۱۲۷ | ۰.۱۴۰ | ۰.۱۳۷ | ۰.۱۳۴ | ۰.۱۳۴ | ۰.۱۲۷ | ۰.۱۳۷ | ۰.۱۴۴ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۲۶ | ۰.۱۸۵ | ۰.۱۶۴ | ۰.۱۶۳ | ۰.۱۵۶ | ۰.۱۴۳ | خراسان جنوبی | |
| ۰.۳۳۳ | ۰.۱۹۱ | ۰.۳۲۴ | ۰.۳۷۷ | ۰.۳۸۳ | ۰.۳۸۲ | ۰.۳۷۶ | ۰.۳۸۶ | ۰.۳۴۱ | ۰.۳۵۴ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۱۵ | ۰.۳۶۵ | ۰.۳۰۳ | ۰.۳۰۱ | ۰.۳۹۱ | ۰.۳۸۰ | ۰.۳۶۸ | ۰.۳۸۰ | ۰.۳۷۶ | خراسان رضوی | |
| ۰.۳۷۵ | ۰.۳۹۵ | ۰.۳۴۵ | ۰.۳۷۷ | ۰.۳۶۱ | ۰.۳۹۹ | ۰.۳۷۷ | ۰.۳۲۷ | ۰.۳۲۷ | ۰.۳۲۴ | ۰.۳۲۳ | ۰.۳۳۸ | ۰.۱۷۵ | ۰.۳۲۷ | ۰.۱۹۱ | ۰.۳۴۶ | ۰.۳۴۰ | ۰.۳۵۸ | ۰.۳۴۹ | ۰.۳۲۸ | ۰.۳۱۹ | خراسان شمالی | |
| ۰.۳۴۸ | ۰.۳۴۷ | ۰.۳۶۸ | ۰.۳۳۹ | ۰.۳۳۱ | ۰.۳۵۹ | ۰.۳۳۶ | ۰.۳۳۶ | ۰.۱۶۶ | ۰.۱۶۷ | ۰.۱۷۴ | ۰.۳۲۶ | ۰.۱۱۴ | ۰.۲۸۷ | ۰.۳۱۰ | ۰.۳۲۸ | ۰.۳۱۰ | ۰.۳۱۹ | ۰.۳۰۱ | ۰.۳۲۲ | ۰.۱۷۷ | خوزستان | |
| ۰.۳۳۴ | ۰.۳۴۲ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۱۸ | ۰.۳۵۶ | ۰.۳۲۹ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۲۹ | ۰.۳۷۷ | ۰.۳۶۶ | ۰.۳۸۰ | ۰.۳۲۴ | ۰.۱۲۸ | ۰.۳۹۶ | ۰.۳۳۹ | ۰.۳۰۲ | ۰.۳۶۹ | ۰.۳۷۹ | ۰.۳۴۶ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۱۶ | زنجان | |
| ۰.۱۸۸ | ۰.۱۸۸ | ۰.۱۸۴ | ۰.۱۶۵ | ۰.۲۰۶ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۱۴ | ۰.۳۲۴ | ۰.۱۶۷ | ۰.۱۶۹ | ۰.۱۴۸ | ۰.۱۵۷ | ۰.۱۵۹ | ۰.۱۲۹ | ۰.۱۵۷ | ۰.۱۳۴ | ۰.۱۴۵ | ۰.۱۴۷ | ۰.۱۵۷ | ۰.۱۶۸ | ۰.۱۶۷ | سیستان و بلوچستان | |
| ۰.۳۸۷ | ۰.۳۷۱ | ۰.۳۴۰ | ۰.۳۴۵ | ۰.۳۷۳ | ۰.۳۸۵ | ۰.۳۷۴ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۶۱ | ۰.۳۵۱ | ۰.۳۵۴ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۰۵ | ۰.۳۳۶ | ۰.۳۳۷ | ۰.۳۴۸ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۳۳ | ۰.۳۲۱ | ۰.۳۱۰ | ۰.۳۴۸ | فارس | |
| ۰.۳۱۸ | ۰.۳۳۸ | ۰.۳۵۱ | ۰.۳۸۹ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۴۱ | ۰.۳۸۵ | ۰.۳۲۴ | ۰.۳۳۳ | ۰.۳۵۹ | ۰.۳۶۰ | ۰.۳۳۶ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۵۶ | ۰.۳۸۸ | ۰.۳۳۸ | ۰.۳۵۸ | ۰.۳۴۱ | ۰.۳۵۳ | ۰.۳۸۰ | قزوین | |
| ۰.۴۶۲ | ۰.۵۶۴ | ۰.۳۵۳ | ۰.۳۳۶ | ۰.۳۰۵ | ۰.۳۰۵ | ۰.۳۲۱ | ۰.۳۷۰ | ۰.۳۱۵ | ۰.۳۲۹ | ۰.۳۰۵ | ۰.۳۱۴ | ۰.۱۹۵ | ۰.۱۹۳ | ۰.۲۶۸ | ۰.۲۰۸ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۱۱ | ۰.۳۰۹ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۲۸ | کرمانشاه | |
| ۰.۳۴۲ | ۰.۳۰۲ | ۰.۳۹۵ | ۰.۳۳۱ | ۰.۳۳۳ | ۰.۳۶۶ | ۰.۳۶۶ | ۰.۳۶۶ | ۰.۳۶۷ | ۰.۳۲۹ | ۰.۳۲۱ | ۰.۳۱۵ | ۰.۱۶۶ | ۰.۱۵۶ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۷۶ | ۰.۳۶۷ | ۰.۳۱۶ | ۰.۳۶۷ | ۰.۳۶۵ | ۰.۳۷۳ | کهگیلویه و بویر احمد | |
| ۰.۳۵۵ | ۰.۳۲۰ | ۰.۳۸۴ | ۰.۳۶۰ | ۰.۳۶۷ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۲۵ | ۰.۳۳۴ | ۰.۳۲۴ | ۰.۳۲۱ | ۰.۳۰۶ | ۰.۳۷۷ | ۰.۳۹۹ | ۰.۳۵۹ | ۰.۳۴۱ | ۰.۳۵۲ | ۰.۳۴۵ | ۰.۳۳۴ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۳۳ | گلستان | |
| ۰.۵۳۱ | ۰.۵۲۸ | ۰.۵۱۹ | ۰.۴۹۶ | ۰.۴۹۹ | ۰.۴۹۶ | ۰.۴۹۹ | ۰.۴۱۲ | ۰.۳۷۳ | ۰.۳۷۳ | ۰.۳۵۶ | ۰.۳۹۱ | ۰.۳۸۰ | ۰.۴۰۳ | ۰.۳۸۷ | ۰.۴۱۱ | ۰.۴۲۷ | ۰.۴۰۵ | ۰.۴۰۳ | ۰.۳۹۷ | ۰.۳۵۶ | گیلان | |
| ۰.۳۳۳ | ۰.۳۲۹ | ۰.۳۳۲ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۵۶ | ۰.۳۵۰ | ۰.۳۷۱ | ۰.۳۴۶ | ۰.۱۷۲ | ۰.۱۸۲ | ۰.۱۵۷ | ۰.۱۷۸ | ۰.۳۱۹ | ۰.۱۹۵ | ۰.۱۹۵ | ۰.۱۹۲ | ۰.۱۸۵ | ۰.۱۷۶ | ۰.۳۱۰ | ۰.۳۰۸ | ۰.۱۹۶ | لرستان | |
| ۰.۵۴۳ | ۰.۵۵۵ | ۰.۵۵۵ | ۰.۶۹۵ | ۰.۵۷۵ | ۰.۴۶۱ | ۰.۴۹۵ | ۰.۵۴۴ | ۰.۴۴۷ | ۰.۴۴۷ | ۰.۴۷۴ | ۰.۴۸۱ | ۰.۴۸۷ | ۰.۴۹۷ | ۰.۵۲۷ | ۰.۴۹۶ | ۰.۴۸۱ | ۰.۴۷۰ | ۰.۵۰۳ | ۰.۴۶۳ | ۰.۴۶۷ | مازندران | |
| ۰.۱۳۳ | ۰.۱۱۴ | ۰.۱۱۰ | ۰.۱۰۸ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۰۶ | ۰.۱۲۷ | ۰.۱۴۰ | ۰.۱۳۴ | ۰.۱۳۷ | ۰.۱۳۴ | ۰.۱۲۷ | ۰.۱۲۷ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۱۶ | ۰.۱۲۶ | ۰.۱۴۵ | ۰.۱۳۷ | ۰.۱۵۴ | ۰.۱۴۳ | ۰.۱۴۳ | حداقل | |
| ۰.۵۴۳ | ۰.۵۶۴ | ۰.۵۵۵ | ۰.۶۹۵ | ۰.۵۷۵ | ۰.۴۶۱ | ۰.۴۹۵ | ۰.۵۴۴ | ۰.۴۴۷ | ۰.۴۴۷ | ۰.۴۷۴ | ۰.۴۸۱ | ۰.۴۸۷ | ۰.۴۹۷ | ۰.۵۲۷ | ۰.۴۹۶ | ۰.۴۸۱ | ۰.۴۷۰ | ۰.۵۰۳ | ۰.۴۶۳ | ۰.۴۶۷ | حداکثر | |
| ۰.۳۱۹ | ۰.۳۲۲ | ۰.۳۱۸ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۰۸ | ۰.۳۰۲ | ۰.۳۰۰ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۴۹ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۵۴ | ۰.۳۴۴ | ۰.۳۴۰ | ۰.۳۲۸ | ۰.۳۲۸ | ۰.۳۲۴ | ۰.۳۲۸ | ۰.۳۲۶ | ۰.۳۲۵ | ۰.۳۶۳ | ۰.۳۶۳ | ۰.۳۶۵ | میانهگین |

ماخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۵- مقایسه کارایی و ردپای آب در تولید برنج (کل کشور)

نتیجه گیری و پیشنهادها

برنج در ایران جایگاه ویژه‌ای دارد، به‌طوریکه قسمت اعظم غذای مردم ایران را به خود اختصاص داده است. سطح زیرکشت ارقام مختلف برنج در کشور حدود ۴۳۷ هزار هکتار با تولید ۱/۹۹۳ میلیون تن برآورد شده است. متوسط عملکرد برنج در ایران ۴/۵۵۸ تن در هکتار و مصرف سرانه آن ۴۵/۵ کیلوگرم در سال است (سازمان خواروبار کشاورزی ۲۰۲۰). در سال ۱۳۹۹ حدود ۲/۶ میلیون تن برنج سفید از کشت نزدیک ۴ میلیون تن شلتوک در سطح ۸۰۰ هزار هکتار اراضی شالیزاری تولید شد که باتوجه به نیاز کلی کشور به برنج سفید (سالانه حدود ۳ میلیون تن)، تولید داخلی حدود ۸۷ درصد نیاز کشور را تأمین می‌کند. با توجه به اهمیت برنج در سبد غذایی کشور و نیاز آبی بالای این محصول و همچنین بحران آب موجود در کشور، در این مطالعه ضمن محاسبه اجزای ردپای آب برنج در استان-های تولیدکننده به محاسبه کارایی مصرف آب در این استان‌ها پرداخته شد. توجه به شاخص‌هایی همچون کارایی مصرف آب و ردپای آب می‌تواند کمک شایانی به

مدیریت منابع آب در راستای دستیابی به پایداری، در کشور ارائه نماید.

در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ کمترین میزان ردپای آبی در بین استان‌های کشور مربوط به مازندران و گیلان می‌باشد که به دلیل بالا بودن مقدار رطوبت و بارندگی و تا حدودی بالا بودن عملکرد در این استان‌ها نسبت به سایر استان‌ها می‌باشد. همچنین استان‌های خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان نیز دارای بیشترین مقدار ردپای آبی می‌باشند که نشان دهنده بالا بودن نیاز آبی گیاه در این استان به دلیل اقلیم حاکم در این استان‌ها می‌باشد. بنابراین با توجه به بحران آب موجود در کشور، کشت این محصول در این استان‌ها به هیچ عنوان توجیه‌پذیر نمی‌باشد و لازم است استان‌هایی که نیاز آبی بالایی دارند حذف شوند. بیشترین مقدار ردپای آب سبز در طی دوره مورد مطالعه مربوط به استان گیلان (بیش از ۳۰۰ مترمکعب به ازای هر تن) و کمترین مربوط به استان خراسان جنوبی (با مقدار صفر) می‌باشد. بنابراین به خوبی مشاهده می‌شود که در بین استان‌های کشور اختلاف معنی‌داری از نظر میزان بارندگی در طی دوره رشد محصول برنج وجود دارد. همپنین در بین استان-های کشور استان‌های اصفهان و گلستان به ترتیب

بیشترین و کمترین مقدار مصرف کود را دارند. همین مسئله باعث شده است که استان گلستان مقدار ردپای آب خاکستری کمتری در طی دوره مورد بررسی داشته باشد. اما از آنجایی که در زمان محاسبه ردپای آب خاکستری به ازای هر تن محصول، عملکرد محصول نیز بر این متغیر تاثیرگذار می باشد از این رو پائین بودن عملکرد در واحد هکتار نیز عامل موثری بر میزان ردپای آب خاکستری می باشد. استان‌های خراسان جنوبی و خراسان شمالی بیشترین مقدار ردپای آب خاکستری را در بین تولیدکنندگان برنج دارند.

با محاسبه اجزای ردپای آب برنج برای کل کشور مشخص شد که حداقل، حداکثر و متوسط ردپای آب به ترتیب برابر با ۱۹۵۸، ۲۷۵۸ و ۲۴۴۰ مترمکعب بر تن می باشد که ۴۶٪ بیش از متوسط جهانی می باشد. همچنین سهم ردپای آب آبی، خاکستری و سبز به ترتیب ۸۰، ۱۷ و ۳ درصد از کل ردپای آب، می باشد. با توجه به بالا بودن سهم ردپای آب آبی در کل ردپای آب، لازم است استان‌هایی که از نظر اقلیمی در مناطق گرم و خشک (دمای هوا از عوامل مؤثر بر مقدار مصرف آب است که هر چه درجه حرارت هوا بیشتر باشد میزان تبخیر آب از مزرعه بیشتر شده، نیاز آبی گیاه افزایش خواهد یافت) واقع شده‌اند، از جمع تولیدکنندگان برنج کشور حذف شوند. کشت این محصول اساساً با شرایط آب و هوایی این استان‌ها سازگاری ندارد (خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، خراسان شمالی، خوزستان، لرستان و ...). در گام بعدی کارایی مصرف آب در تولید برنج محاسبه شد. لازم به ذکر است که در مطالعات انجام شده در زمینه کارایی مصرف آب محصولات زراعی، مقدار بارش فصل رشد و آب مورد نیاز برای از بین بردن اثرات زیست‌محیطی در محاسبات کارایی مصرف آب در نظر گرفته نشده است که وجه تمایز مطالعه حاضر با مطالعات گذشته در نظر گرفتن مصارف مستقیم و

غیرمستقیم آب، در محاسبه کارایی مصرف آب است. بر اساس نتایج بدست آمده، کارایی مصرف آب در تولید برنج در بین استان‌های کشور، از ۰/۰۹۵ (کرمانشاه سال ۱۳۸۷) تا ۰/۶۹۵ (مازندران سال ۱۳۹۶) در نوسان بوده است. همچنین کارایی مصرف آب کشور در تولید برنج بین ۰/۳۷ (سال ۱۳۹۱) تا ۰/۵۳ (سال ۱۳۹۶) قرار دارد و در طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ تقریباً از یک روند افزایشی برخوردار بوده است. یافته‌های این مطالعه با مطالعه حیدری (۱۳۹۰) همخوانی دارد، نتایج این مطالعه نشان داد که کارایی مصرف آب غلات (از جمله برنج) خیلی پایین است.

سپاسگزاری

اگرچه خشکسالی ضرورتی انکارناپذیر برای تغییرالگوی کشت در محصولات ایجاد کرده است، کاهش بارش در سال‌های اخیر، خطر زراعت محصولات پرآب به ویژه برنج را تشدید کرده است. از سوی دیگر، در دهه اخیر به دلایلی از جمله ارزش اقتصادی بیشتر برنج، توسعه سطح این محصول به روش غرقابی با استفاده از آب چاه رو به افزایش است که نتیجه آن آسیب جدی به آبخوان‌ها و منابع آب زیرزمینی است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که کشت برنج در استان‌های با نیاز آبی بالا (خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و ...) متوقف شده و محصولات با نیاز آبی کم متناسب با شرایط منطقه جایگزین شود. همچنین در سایر مناطق با شرایط اقلیمی مناسب‌تر، به منظور بهبود کارایی مصرف آب در کشت برنج، مدیریت کم آبیاری در کشت نشایی برنج و مدیریت کم آبیاری در کشت خشکه کاری برنج در بین کشاورزان برنج‌کار توسعه داده شود.

منابع مورد استفاده

- Ababaei B, and Ramezani Etedali H. 2015. Estimation of water footprint components in wheat production in the country. *Water and Soil*, 29 (6): 1458-1468. (In Persian).
- Agricultural statistics. 2020. <https://maj.ir/Index.aspx?page>

- Ashkotrab N and Zibaie M. 2021. Water footprint accounting of main crops in Fars province. *Journal of Agricultural Economics Research*, 13 (1): 207-234. (In Persian).
- Babran P and Honarbakhsh N. 2008. Water Crisis in the World and Iran. *Strategy Magazine*, 48. (In Persian).
- Ehsani M and Khaledi H. 2002. Recognizing and improving agricultural water productivity in order to ensure water and food security of the country. Eleventh National Conference of the National Irrigation and Drainage Committee of Iran. (In Persian).
- Heydari N. 2011. Determining and evaluating the water consumption efficiency index of crops under the management of farmers in the country. *Water and Irrigation Management*, 1 (2): 43-57. (In Persian).
- Heydari N. 2019. Explanation and study of agricultural water productivity index based on transpiration evaporation (Case study of Karkheh watershed). *Land Management*, 7 (2): 211-222. (In Persian).
- Arabzadeh B. 2009. New methods of cultivation and water management in rice cultivation in order to deal with water shortage and drought. the second national conference on the effects of drought and its management strategies.
- Ababaei B and Ramezani Etedali H. 2014. Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. *Journal of Environmental Process*, 1:193-205.
- Aldaya MM, Chapagain AK, Hoekstra AY and Mekonnen MM. 2012. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.
- Chapagain AK, Hoekstra AY and Savenije HH. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3): 455-468.
- Daneshvar MRM, Ebrahimi M and Nejadsoleymani H. 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-10.
- D'Ambrosio E, De Girolamo AM and Rulli MC. 2018. Assessing sustainability of agriculture through water footprint analysis and in-stream monitoring activities. *Journal of Cleaner Production*, 200: 454-470.
- Döll P and Siebert S. 2002. Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resources Research*, 38(4): 1-8.
- Gleick PH. 1993. *Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Hoekstra AY and Hung PQ. 2002. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade UNESCO-IHE (Ed.). *Value of Water Research Report Series*, Institute for Water Education.
- Hoekstra AY and Chapagain AK. 2006. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. In *Integrated assessment of water resources and global change* (pp. 35-48). Springer, Dordrecht.
- Hoekstra AY and Chapagain A.K. 2008. *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Hoekstra AY and Mekonnen M.M. 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(9): 3232-3237.
- <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Jaramillo F and Destouni G. 2015. Local flow regulation and irrigation raise global human water consumption and footprint. *Science*, 350(6265): 1248-1251.
- Liu J and Savenije HH. 2008. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 12(3): 887-898.

- Lovarelli D, Bacenetti J and Fiala M. 2016. Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, 548: 236-251.
- Mekonnen MM and Hoekstra AY. 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crops products. *Hydrological Earth System Science*, 15: 1577–1600.
- Mekonnen MM and Hoekstra AY. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1577-1600.
- Mekonnen M and Hoekstra AY. 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption.
- Montazar A and Kosari H. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. In *Proceedings of the international conference Water Saving in Mediterranean Agriculture & Future Research Needs*. Italy.
- Norse D. 2005. Non-point pollution from crop production: Global, regional and national issues. *Pedosphere*, 15(4):499–508.
- Song J and Chen X. 2019. Eco-efficiency of grain production in China based on water footprints: A stochastic frontier approach. *Journal of Cleaner Production*, 236: 117685.
- Tom MS, Fischbeck PS and Hendrickson CT. 2016. Energy use, blue water footprint, and greenhouse gas emissions for current food consumption patterns and dietary recommendations in the US. *Environment Systems and Decisions*, 36(1): 92-103.
- Tseng MC, Roel Á, Macedo I, Marella M, Terra JA and Pittelkow CM. 2021. Synergies and tradeoffs among yield, resource use efficiency, and environmental footprint indicators in rice systems. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100070.
- Worldbank.org (<https://data.worldbank.org/indicator>)
- Yang H, Wang L, Abbaspour KC and Zehnder AJB. 2006. Virtual water highway: water use efficiency in global food trade. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3(1):1-26.
- Zhuo L, Mekonnen MM, Hoekstra AY and Wada Y. 2016. Inter-and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961–2009). *Advances in water resources*, 87: 29-41.
- Zhang Y, Zhang J, Tang G, Chen M and Wang L. 2016. Virtual water flows in the international trade of agricultural products of China. *Science of the Total Environment*, 557:1-11.
- Zhang C and Anadon LD. 2014. A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China. *Ecological Economics*, 100: 159-172.