Research Paper

Evaluation of the Water Footprint Index of Crops in Khorasan Razavi, Kerman and Isfahan Provinces

Somayeh Naghavi*[1], Neda Baniasadi[2]

[1] Assistant Professor, Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran, Coresponding **Author**
https://orcid.org/0000-0001-7380-9554

Email:somnaghavi@ujiroft.ac.ir

[2] Agricultural Development Department, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Tehran University of Science and Research, Iran
https://orcid.org/0000-0001-7712

10.22125/IWE.2023.413388.1741

Received:
March 1, 2023
Accepted:
July 23, 2023
Available online:
October 3, 2023

Keywords:
Water Crisis,Water Footprint, Agricultural Products

Abstract

Water is an essential element for human sustainability and economic-social activities. Examining the solutions for optimal use of water through reviewing the allocation of water resources and its management is necessary. In this research, by using the water footprint index, were calculated the water footprint of alfalfa, watermelon, fodder corn, wheat, rapeseed, cucumber and onion products in Khorasan Razavi, Kerman and Isfahan provinces to determine Which province has more favorable planting conditions for each product from the point of view of the water footprint index. The results showed that Isfahan province has more favorable conditions than the other two provinces from the point of view of the water footprint of alfalfa, wheat, watermelon, cucumber, fodder corn and onion crops. Regarding the rapeseed crop, Khorasan Razavi and Isfahan provinces have no significant difference from each other, and Kerman province is the last priority in the cultivation of this crop. Among the crops produced in Kerman, Khorasan Razavi and Isfahan provinces, rapeseed has the highest share in the allocation of water footprint with the footprint index of 3719.75, 2910.49, and 2836.94 cubic meters per ton. In line with the findings of this research, it is suggested that according to the water footprint index, crops that need less water should be cultivated and produced in order of priority in these provinces.

1. Introduction

Uneven distribution of rainfall and lack of water in many parts of the world have created many problems for the production of agricultural products and even the provision of safe drinking water. As some scenarios predict, by 2025, 60% of the world's regions will experience water stress due to the increased use of water resources. Most of these regions are located in Africa, Asia and Latin America.

Therefore, due to the lack of proper time and place distribution of rainfall, agricultural management to increase the efficiency of water consumption is much more difficult than in countries with favorable water conditions. Water footprint is an indicator of direct and indirect consumption of fresh water by a consumer or a process. It is a multidimensional index and it determines the amount of water consumed or contaminated in the production and supply chain of the product according to its origin and the time and place of consumption.

2. Materials and Methods

In this research, the the water footprint evaluation method was used to calculate the water footprint components of agricultural products in Kerman, Razavi Khorasan and Isfahan provinces. For this purpose, the information related to the cultivated area, production and yield of alfalfa, watermelon, wheat, rapeseed, fodder corn, cucumber and onion products was determined through the agricultural statistics provided by the Agricultural Jihad Organization. Also, the statistics needed to check evaporation and transpiration, effective precipitation and water requirement of plants were collected from the water requirement system of the country's plants.

3. Results

In this research, the water footprint index of selected products in Isfahan, Khorasan Razavi and Kerman provinces was examined and compared. The results showed that among alfalfa, watermelon, fodder corn, wheat, rapeseed, cucumber and onion crops, in Isfahan, Kerman and Razavi Khorasan provinces, the highest water footprint index belonged to rapeseed. Therefore, the cultivation of this product in these three provinces does not have favorable conditions in terms of water footprin.

4. Discussion and Conclusion

The results of the comparison of water footprints in all three provinces indicated that the share of water footprints was higher than green and gray footprints in the production of selected products. In other words, direct irrigation and surface and underground water sources have played a more important role than rainfall for the production of these products in these provinces. In terms of the water footprint of alfalfa, wheat, watermelon, cucumber, fodder corn and onion crops, Isfahan province has more favorable conditions than the other two provinces. Regarding rapeseed, Khorasan Razavi and Isfahan provinces have no significant difference from each other, and Kerman province has unfavorable conditions for the cultivation of this crop. According to the water footprint index, the watermelon crop in Kerman province, the fodder corn crop in Razavi Khorasan province and the cucumber crop in Isfahan province have favorable conditions. In line with the findings of this research, it is suggested that according to the water footprint index, the products that need less water in this person's opinion should be cultivated and produced in order of priority in these provinces.

5. . Six important references

1) Chapagain A K, Hoekstra AY (2012). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspective. Journal of Ecological Economics 70: 749-758.

2) Fu, M., Guo, B., Wang, W., Wang., J., Zao, L., & Wan, J. 2019.Compreensive assessment of water fottprints and water scarcity pressure for main crops in Sandong Province, Chiana.Sustainability, 11(7):1856.

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

4) Lu, Y., Zhang, x., Chen, S., Shao L., and Sun, H.2016. Changes in water use efficinsy 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

5) Rasooli Majd N, Montaseri M, Bamenes J, Rezaei (2015). Identification and evaluation of te water footprint index, broken down by water, reen water and ray water, by applyni climate cane.masters Tesis, Faculty of Agriculture, Urimia University.

6) Yousefi H, Moammadi, a, Noorollai, Y and Sadatnejad, S.J.Water footprint evaluation of Tehran’s crops and garden crops.Journal of Water and Soil Conservation. 24(6): 67-85.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی در استان‌های خراسان رضوی، کرمان و اصفهان

سمیه نقوی[1*]، ندا بنی اسدی[2]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۵/۰۱

مقاله پژوهشی

چکیده

آب یک عنصر اساسی برای پایداری انسان و فعالیت‌های اقتصادی- اجتماعی است. بررسی راهکارهای استفاده بهینه آب از طریق بازنگری در تخصیص منابع آب و مدیریت آن امری لازم و ضروری است. در این پژوهش، با استفاده از ارزیابی شاخص ردپای آب، ردپای آب محصولات یونجه، هندوانه، ذرت علوفه‌ای، گندم، کلزا، خیار و پیاز در استان‌های خراسان رضوی، کرمان و اصفهان، محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند تا مشخص گردد، کدام استان از منظر شاخص ردپای آب، شرایط کاشت مطلوب‌تری برای هریک از محصولات دارد. نتایج نشان داد استان اصفهان از منظر ردپای آب محصولات یونجه، گندم، هندوانه،خیار، ذرت علوفه‌ای و پیاز از شرایط مطلوب‌تری نسبت به دو استان دیگر برخوردار است. در مورد محصول کلزا استان‌های خراسان رضوی و اصفهان تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند و استان کرمان در کشت این محصول در اولویت آخر قرار دارد. در بین محصولات زراعی تولیدی استان‌های کرمان، خراسان رضوی و اصفهان به ترتیب محصول کلزا با شاخص ردپای ۳۷۱۹/۷۵، ۹۴/۴۹، ۲۸۳۶/۲۹۱۰ مترمکعب بر تن بیشترین سهم را در اختصاص ردپای آب داشته است. در راستای یافته‌های این پژوهش پیشنهاد می‌شود با توجه به شاخص ردپای آب، محصولاتی که از نظر این شاخص به آب کم‌تری نیاز دارند، در این استان‌ها به ترتیب اولویت کشت و تولید شوند.

واژگان کلیدی: بحران آب، شاخص ردپای آب، محصولات زراعی.

[1] استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران نویسنده مسئول:Email:somnaghavi@ujiroft.ac.ir

[2] گروه توسعه کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، ایران
Email:Nedabaniasadi@ymail.com

مقدمه

آب یک عنصر اساسی برای پایداری انسان و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی است. با این وجود، کمبود آب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات پیش روی بسیاری از جومع در سراسر جهان است. امروزه بسیاری از مناطق جهان تحت تأثیر کمبود آب قرار دارند. پیش‌بینی افزایش جمعیت جهان در آینده، موجب تقاضای بیشتر مواد غذایی که تأثیر مستقیمی بر مصرف آب در بخش کشاورزی دارد، شده است (Hoekstra and Mekonnen, 2012).

رشد بسیار سریع جمعیت، توسعه اقتصادی- اجتماعی جوامع، برداشت جهانی از آب شیرین و گسترش سطح آلودگی‌ها از عوامل اصلی هستند که مسبب کمبود و بحران آب شده‌اند (Mekonnen and Hoekstra,2011; Postel,2000). رشد تولیدات کشاورزی باعث تشدید فشار بر اکوسیستم، منابع آب و انرژی خواهد شد (Pastor et al, 2019; Abdelkader and Elshorbagy 2021)کشاورزی از مصرف‌کننده‌های اصلی آب به‌شمار می‌رود به نحوی که ۸۵ درصد از مصارف منابع آب سطحی و زیرزمینی را به‌خود اختصاص داده است (Molden, 2007; Shiklomanov,2000) .

توزیع غیریکنواخت بارش و کمبود آب در بخش‌های زیادی از کره زمین، مشکلات زیادی را برای تولید محصولات کشاورزی و حتی تأمین آب شرب سالم به‌وجود آورده است. به‌طوری‌که برخی از سناریوها پیش‌بینی می‌کنند، تا سال ۲۰۲۵ میلادی، ۶۰ درصد از مناطق کره زمین به‌دلیل افزایش بهره‌برداری از منابع آب دچار تنش آبی شوند. بیشتر این مناطق در آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین قرار دارند (Acamo et al., 2000). توزیع زمانی نزولات جوی در کشور نیز به دلیل ناهماهنگی با فصول آبیاری وضعیت مناسبی ندارد و میزان آن در سال‌های مختلف و حتی فصول مختلف متغیر بوده و این مسأله مشکلات گوناگونی را در چند سال اخیر برای بخش‌های مختلف، به‌ویژه بخش کشاورزی به همراه داشته و زیان‌های زیادی را به این بخش تحمیل کرده است (Razavi and Davari, 2013). از این‌رو باتوجه به عدم توزیع زمانی و مکانی مناسب بارش، مدیریت کشاورزی جهت افزایش کارایی مصرف آب، بسیار دشوارتر از کشورهایی با شرایط آبی مطلوب است.

بررسی وضعیت موجود کشاورزی بیانگر آن است که با وجود پتانسیل افزایش تولید محصولات کشاورزی، به دلیل فقدان سیستم مدیریتی صحیح، امکان استفاده بهینه از منابع آب و خاک میسر نشده است. در این راستا بررسی راهکارهای استفاده بهینه آب از طریق بازنگری در تخصیص منابع آب و مدیریت آن امری لازم و ضروری است. اما از آن‌جایی که میزان آب مصرفی واقعی هر محصول تحت تأثیر بر اقلیم منطقه، میزان تولیدات، الگوی مصرفی، عملیات کشاورزی و راندمان کاربرد آن متغیر است، لذا نیاز به شاخصی است که بتوان با آن نیاز واقعی هر محصول را مورد ارزیابی قرار داد. در این راستا توسعه روش‌های مدیریتی کارآمد و جدید که بتوان با آن مقدار واقعی آب مصرفی را بر اساس الگوی مصرفی مردم، شرایط اقلیمی، راندمان کاربرد آب و عملکرد محصول، محاسبه کرد، امری لازم و ضروری است (Rasooli Majd et al.,2015).

برای بررسی صرفه تولید یک محصول از نظر مصرف آب در هر محدوده جغرافیایی، باید به مواردی از جمله حجم تولید محصول، عملکرد و راندمان تولید، میزان صادرات محصول، نوع آب مصرف شده و منبع تأمین این آب توجه کرد. برای تبیین مبادله آب در اشکال گوناگون، مفهوم ردپای آب در سال ۲۰۰۲ مطرح شد. ردپای آب شاخصی از مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب شیرین توسط یک مصرف‌کننده یا یک فرایند است. یک شاخص چندبعدی است و حجم آب مصرف و یا آلوده‌شده در زنجیره تولید و عرضه محصول را باتوجه به منشأ آن و زمان و مکان مصرف، تعیین می‌کند(Hoekstra,2003). در ادبیات استفاده بهینه از منابع آب و کاهش ضایعات و تلفات آن، بحث ردپای آب موردتوجه واقع شده است (Arabi and Nikniya,2010). شاخص ردپای آب به‌عنوان یک شاخص جهانی نشان‌دهنده مقدار واقعی آب مصرفی بر اساس شرایط و اقلیم هر منطقه می‌باشد (Aligholinia et al, 2015).

ردپای آب شامل سه جزء آب آبی[1]، آب سبز[2] و آب خاکستری[3] است. Hung (2002) اجزاء ردپای آب را به این صورت تعریف کرد: ردپای آب آبی مصرف منابع آب آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) در طی فرآیند تهیه محصول اشاره دارد و ردپای سبز به مصرف منابع آب سبز (آب باران) اشاره دارد. ردپای آب خاکستری یک محصول به عنوان حجم آب شیرین موردنیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای مشخص شدن ضرورت محاسبه انواع ردپای آب، باید اشاره کرد که مقدار در دسترس بودن آب شیرین در زمین به بارش باران بر آن بستگی دارد. بخشی از باران تبخیر می‌شود و بخش دیگری از راه آبخوان‌ها و رودخان به اقیانوس‌ها می‌رود. هر دو جریان تبخیری و روانابی می‌توانند برای اهداف انسان، مفید باشند. جریان تبخیری می‌تواند برای رشد محصول و یا برای حفظ اکوسیستم‌های طبیعی به‌کار رود. ردپای آب سبز، بخشی از کل جریان تبخیری که برای اهداف انسان، اختصاص یافته است را نشان می‌دهد. ردپای آب آبی، حجم آب‌های زیرزمینی و سطحی مصرف شده برای نیازهای انسان را نشان می‌دهد. ردپای آب خاکستری، حجم آب موجود در آبخوان‌های و رودخانه‌ها که به‌وسیله انسان آلوده می‌شود را اندازه‌گیری می‌کنند (Lovarelli et al., 2018). در داخل و خارج از کشور در خصوص ردپای آب مطالعاتی انجام گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

محققین بسیاری به بررسی میزان آب واقعی محصولات مختلف مانند گندم (Hoekstra and Chapagain, 2007)، چای (Jefferies et al., 2012)، برنج (Chapagain and Hoekstra,2012)، پنبه(Chico et al., 2013) پرداختند. کائو و همکاران (۲۰۱۸) شاخص کمبود ردپای آب را بر مبنای منابع آب آبی و سبز در استان جیانگ سو کشور چین طی دوره آماری ۱۹۹۶ تا۱ ۲۰۱۵ مورد مطعه قرر دادند. نتایج نشان داد که شاخص کمبود آب روند افزایشی داشته است.

فو و همکاران (۲۰۱۹) اجزای ردپای آب و فشار کمبود آب را طی دوره ۱۹۸۹-۲۰۱۶ برای محصولات اصلی استان شاندونگ واقع در کشور چین محاسبه کرده و به ارزیابی تنش آبی برای محصولات کشاورزی در این استان پرداختند. نتایج نشان داد تولیدات کشاورزی در اکثر مناطق استان با خطر کمبود آب مواجه است.

یوسفی و همکارن (۱۳۹۶) شاخص ردپی آب محصولات زراعی و باغی استان تهران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در تمامی محصولات مورد مطالعه، ردپای آب سبز بیش از سایر اجزای ردپای آب بود که نشان‌دهنده تکیه تولید محصولات بر بارش و رطوبت خاک است. علیقلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) به مقایسه و ارزیابی ردپای آب آبی، سبز و خاکستری گندم در اقلیم‌های مختلف ایران پرداختند. نتایج نشان داد کشت محصول گندم در همه اقلیم‌ها مناسب نبوده و در اقلیم‌های خشک معتدل گرم و خشک خنک خیلی گرم توصیه نمی‌گردد. شرزه‌ای و برقعی (۱۳۹۲) رابطه شاخص‌های اقتصادی با ردپای آب را بررسی و نشان دادند درآمد سرانه عامل مهمی در میزان افزایش ردپای آب سرانه در بخش صنعت و ردپای آب خارجی است.

رضوی کهنموئی (۱۳۹۹) اصول اساسی ارزیابی ردپای آب و چالش‌های موجود در ایران را مورد بررسی قرار داد. ارزیابی کامل ردپای آب در چهار مرحله تعیین اهداف، مرحله محاسبات، ارزیابی پایداری ردپای آب و تدوین قواعد سیاستگذاری، انجام می‌شود. در چارچوب ارزیابی ردپای آب ابتدا باید اهداف جامع و نهایی مطالعه، ایجاد آگاهی، اصالح الگوی مصرف، تحقق پایداری یا تصمیم‌گیری‌های سیاستی مشخص شود. همچنین باید مقیاس مکانی/زمانی و جامعه هدف مورد مطالعه (فرد، محصول یا محدوده جغرافیایی) تعیین شود. در گام بعد رویکرد مطالعه،محاسبه مصرف مستقیم یا غیرمستقیم، ردپای آبی، سبز یا خاکستری مشخص می‌شود. در این مقاله اصول اساسی این چارچوب و امکان پیاده‌سازی آن در ایران بیان شد.

باتوجه به مطالعات انجام شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که تاکنون مطالعه‌ای بدین شکل که در استان‌های خراسان رضوی، کرمان و اصفهان به بررسی ردپای آب برای

[1] Blue Water Footprint
[2] Green Water Footprint
[3] Gray Water Footprint

برخی از محصولات منتخب پرداخته باشد، انجام نشده است و اکثر مطالعات یا تک محصولی بوده و یا در استان‌های دیگر انجام گردیده‌اند. باتوجه به وابستگی محصولات کشاورزی به آب آبیاری در این استان‌ها، این موضوع موجب تلفات قسمت زیادی از منابع آب در بخش کشاورزی شده است. بنابراین با توجه به اهمیت شاخص ردپای آب در بحث مدیریت منابع آب به‌خصوص در بخش کشاورزی، در این پژوهش، شاخص ردپای آب محصولات یونجه، هندوانه، ذرت علوفه‌ای، گندم، کلزا، خیار و پیاز در استان‌های مذکور، محاسبه و بایکدیگر مقایسه می‌شوند تا مشخص گردد، کدام استان از منظر شاخص ردپای آب، شرایط کاشت مطلوب‌تری برای هریک از محصولات دارد. بنابراین لزوم توجه به ارائه الگوی کشت مناسب برای کاهش ردپای آب و حفظ منابع آبی استان‌های مذکور ضروری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران بیشتر در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد (امیری و اسلامیان، ۲۰۱۰). این تحقیق برای ۴ استان ایران با اقلیم‌های مختلف انجام شده است. طبق نظر دمارتون (۱۹۲۶)، استان های اصفهان و خراسان رضوی به ترتیب در اقلیم های خشک و نیمه خشک و استان کرمان خشک بیابانی گرم قرار دارند.

در این پژوهش از روش ارزیابی ردپای آب برای محاسبه اجزای ردپای آب محصولات کشاورزی استان‌های کرمان، خراسان رضوی و اصفهان استفاده شد. بدین منظور، اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت ، تولید و عملکرد محصولات یونجه، هندوانه، گندم، کلزا، ذرت علوفه‌ای، خیار و پیاز از طریق آمارنامه های کشاورزی ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی مورد بررسی قرر گرفت. همچنین، آمار مورد نیاز جهت بررسی تبخیر و تعرق، بارش مؤثر و نیاز آبی گیاهان از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور جمع‌آوری گردید.

در مرحله بعد استان‌های منتخب از منظر شاخص ردپای آب در کاشت محصولات مختلف بایکدیگر مقایسه می‌شوند تا مشخص گردد، کدام استان از منظر شاخص ردپای آب، شرایط کاشت مطلوب‌تری برای هریک از محصولات دارد.

محاسبه ردپای آب

ردپاهای آب آبی، سبز و خاکستری محصولات مختلف با استفاده ازچارچوب کاری ارائه شده توسط هوکستر و چاپاگین (۲۰۰۸) و هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) مورد محاسبه قرار گرفت (Hoekstra et al., 2011; Hoekstra and Capagain, 2008).

در این چارچوب، ردپای آب به عنوان شاخصی در نظر گرفته می‌شود که در آن تخصیص آب برای مصارف انسانی مدنظر قرار دارد و مصارف اکوسیستم در آن مورد بررسی قرار نمی‌گیرد(Hoekstra et al., 2011). نیاز آبی و بارش مؤثر با استفاده از سامانه نیاز آبی گیاهان به‌دست آمده است. در محاسبه ردپای آبی، فرض بر آن است که آبیاری زمانی صورت می‌گیرد که ۵۰درصد آب از دسترس گیاه خارج شده و رطوبت موجود در ناحیه ریشه به مقدار ظرفیت زراعی رسیده است. ردپای آب کل[1] محصولات از سه جزء ردپای آب آبی و ردپای آب سبزو ردپای آب خاکستری تشکیل و به صورت رابطه ۱ تعریف شده است (Lu et al., 2016):

$$WF_t = WF_{green} + WF_{gray} + WF_{Blue} \quad (1)$$

که در آن، هر جزء از ردپای آب محصولات زراعی، به‌صورت مترمکعب بر کیلوگرم بیان می‌شود.

ردپای آب سبز: مصرف آب در این دوره باتوجه به محاسبه تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد که در نهایت به‌صورت عددی با واحد مترمکعب بر کیلوگرم بیان می‌شود. ردپای آب سبز از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Hoekstra et al., 2011):

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (2)$$

که در آن، CWU_{green} مقدار مصرف ردپای آب سبز گیاه در منطقه (مترمکعب بر هکتار) و Y بازده محصول (کیلوگرم بر هکتار) می باشد. مقدار مصرف ردپای آب سبز گیاه بر اساس رابطه ۳ تعیین می‌گردد (Lu et al., 2016):

[1] Total Water Footprint

$$CW_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{T} ET_{green} \quad (۳)$$

که در آن، ضریب۱۰، تبخیر و تعرق را از میلی متر (ارتفاع) به حجم آب در واحد زمین (مترمکعب بر کیلوگرم) تبدیل می کند. در این رابطه T طول مدت رشد گیاه در دوره رشد d (روز) می‌باشد. ET_{green} نیز نشان‌دهنده تبخیر و تعرق آب سبز است. فرض دیگر در این محاسبه این است که تنها وقتی آب سبز موجود در خاک برای استفاده گیاه کافی نباشد، گیاه از آب آبی موجود استفاده می‌کند. از این رو، تبخیر و تعرق سبز گیاه(ET_{green}) از روش ارائه شده توسط هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) به دست می‌آید (رابطه ۴):

$$ET_{green} = \min\left(ET_c, P_{eff}\right) \quad (۴)$$

که در آن، ET_c مقدار تبخیر و تعرق گیاه و P_{eff} نیز نشان دهنده مقدار بارش مؤثر می‌باشد. نیاز آبی گیاه از مقدار بارش، دما، فشار هوا، سرعت باد، نوع گیاه، شرایط خاک و زمان کاشت تأثیر می‌پذیرد.

ردپای آب آبی: ردپای آب آبی (ربطه۵) تقریبا" همانند ردپای آب سبز مورد محاسبه قرار می‌گیرد با این تفاوت که تبخیر و تعرق آب آبی ET_{Blue} به صورت رابطه ۷ محاسبه می‌شود Hoekstra et al., 2011; Lu et al., 2016;):

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

$$\mathrm{CWU_{Blue}} = 10 \times \sum_{\mathrm{d=1}}^{\mathrm{T}} \mathrm{ET_{Blue}} \quad (۶)$$

$$\mathrm{ET_{Blue}} = \max\left(0, \mathrm{ET_c} - \mathrm{P_{eff}}\right) \quad (۷)$$

که در آن، CWU_{Blue} (رابطه۶) مقدار مصرف ردپای آب آبی یه در منطقه (مترمکعب بر هکتار) و Y بازده محصول (کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد.

ردپای آب خاکستری: در این تحقیق، ردپای آب خاکستری نیز موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور تنها استفاده از کود ازته به‌عنوان منبع ایجاد آلودگی موردمطالعه قرار گرفت. اطلاعات مربوط به میانگین میزان کاربرد کود ازته (NAR در کیلوگرم بر هکتار) از وزارت جهاد کشاورزی گرفته شد (Ministry of Agricultural,2021). روش محاسبه بر اساس روش ارائه شده توسط چاپاگین و همکاران (۲۰۰۶) و هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد (Hoekstra et al., 2011; Chapagain et al., 2006). آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) باتوجه به پژوهش چاپاگین و همکاران (۲۰۰۶)، حداکثر غلظت مجاز نیتروژن در منابع آب سطحی و زیرزمینی ر ۱۰ میللی گرم بر لیتر توصیه کرده است (Chapagain et al., 2006). 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. از این رو لازم بود تا غلظت این عامل کمتر اا‌ز یک آستانه قرار گیرد. از آن‌جایی که هیچگونه اطلاعاتی در مورد غلظت طبیعی نیتروژن در آب و محیط در دسترس نبود، مقدار آن در این مطالعه صفر در نظر گرفته شد. رابطه مورد استفاده برای محاسبه ردپای آب خاکستری به‌صورت رابطه ۸ ارائه می‌شود:

$$WF_{Blue} = \frac{\alpha_{Irr} \times NAR_{Irr}}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Yield_{Irr}} \quad (۸)$$

که در آن، α به‌صورت یک ضریب خاص در نظر گرفته شده و نشان‌دهنده درصد تلفات کودهای نیتروژن می‌باشد. این ضریب در شریط آبی ۱۰درصد و در شرایط دیم ۵درصد در نظر گرفته می‌شود (Chapagain et al., 2006). که در جدول () آورده شده است. NAR_{Irr} مقدار مصرف کود ازته (کیلوگرم بر هکتار)، C_{Max} حداکثر قابل قبول نیتروژن (میلی گرم بر لیتر)، C_{Nat} غلظت طبیعی نیتروژن (که برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود) و $Yield_{Irr}$ عملکرد محصول در کشت آبی (کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد.

نتایج و بحث

استان کرمان: وضعیت کشاورزی محصولات منتخب استان کرمان در جدول (۱) ارائه شده است:

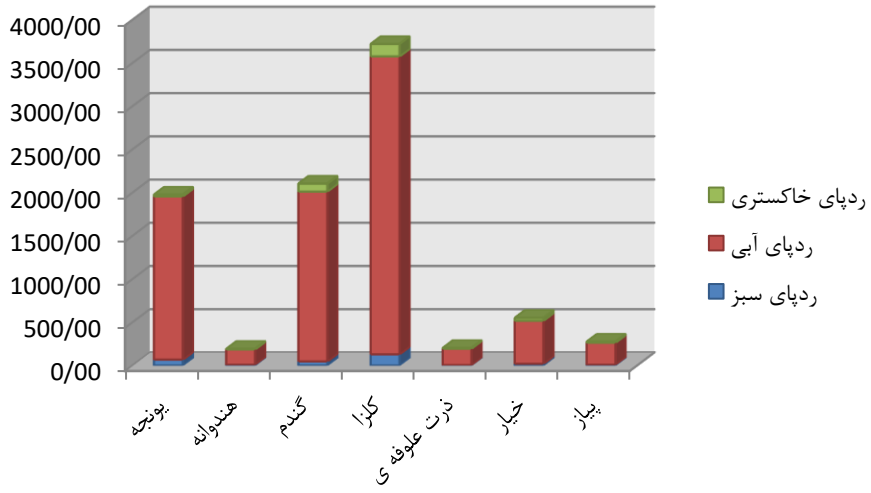
جدول(۱):وضعیت کشاورزی استان کرمان

محصول	سطح زیرکشت(هکتار) Harvested Area (ha)	میزان تولید(تن) Production(ton)	عملکرد(کیلوگرم/هکتار) Yield (kg ha^{-1})	تبخیر و تعرق گیاه (ET_c)	نیاز آبیاری (IR)	بارش مؤثر P_{eff}
یونجه	۱۴۴۱۳	۱۲۷۳۳۷	۸۸۳۵	۱۷۲۸/۲۴	۱۶۷۱/۱۷	۵۹/۸۳
هندوانه	۱۵۲	۵۲۲۷	۳۴۳۶۶	۶۳۷/۴۹	۶۰۹/۱۳	۲۸/۳۶
گندم	۳۸۷۷۰	۱۳۳۹۱۹	۳۴۵۴	۶۹۴/۸۹	۶۷۸/۶۳	۱۶/۳۹
کلزا	۴۴۵	۸۵۳	۱۹۱۶	۶۵۸/۲۶	۶۶۴/۹۶	۲۴/۸۷
ذرت علوفه‌ای	۲۶۵۸	۱۲۹۶۹	۴۵۸۹۰	۸۹۱/۲۷	۸۷۴/۷۲	۱۸/۶۵
خیار	۴۲	۲۹۵	۷۰۶۸	۳۶۵/۸۵	۳۵۶/۲۷	۱۳/۶۶
پیاز	۷	۲۴۵	۳۵۰۰۰	۹۲۰/۸۳	۸۹۳/۱	۲۷/۷۳

در جدول (۲) نتایج محاسبه شاخص ردپای محصولات منتخب ارائه شده است:

جدول(۲):. نتایج محاسبه ردپای آب محصولات زراعی در استان کرمان

محصول	ردپای سبز Green water	ردپای آبی Blue water	ردپای خاکستری Gray water
یونجه	۶۷/۷۲	۱۸۸۸/۴۱	۲۰/۸۵
هندوانه	۸/۲۵	۱۷۷/۲۵	۶/۵۲
گندم	۴۷/۴۵	۱۹۶۴/۳۹	۹۲/۳۶
کلزا	۱۲۹/۸۰	۳۴۴۶/۷۱	۱۴۳/۲۴
ذرت علوفه‌ای	۴/۰۶	۱۹۰/۱۵	۸/۳۳
خیار	۱۹/۳۳	۴۹۸/۲۹	۳۲/۳۰
پیاز	۷/۹۲	۲۵۵/۱۷	۱۲/۰۷



شکل(۱): نمودار مقایسه ردپای آب محصولات زراعی استان کرمان.

باتوجه به جدول (۲)، کل حجم ردپای آب در استان کرمان برای محصول یونجه ۱۹۷۶/۹۸ مترمکعب برتن بوده است که ۶۷/۷۲ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۱۸۸۸/۴۱ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۲۰/۸۵مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است. کل حجم ردپای آب برای محصول هندوانه، ۱۹۲/۰۲ مترمکعب برتن بوده است که ۸/۲۵ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۱۷۷/۲۵ مترمکعب آن مربوط به آب

آبی، ۶/۵۲مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است. کل حجم ردپای آب برای محصول گندم، ۲۱۰۴/۲۰ مترمکعب برتن بوده است که ۴۷/۴۵ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۱۹۶۴/۳۹ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۹۲/۳۶مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است. کل حجم ردپای آب برای محصول کلزا، ۳۷۱۹/۷۵ مترمکعب برتن بوده است که ۱۲۹/۸۰ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۳۴۴۶/۷۱ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۱۴۳/۲۶مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است. کل حجم ردپای آب برای محصول گندم، ۲۱۰۴/۲۰ مترمکعب برتن بوده است که ۴۷/۴۵ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۱۹۶۴/۳۹ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۹۲/۳۶مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است. کل حجم ردپای آب برای محصول ذرت علوفه‌ای، ۲۰۲/۵۵ مترمکعب برتن بوده است که ۴/۰۶ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۱۹۰/۱۵ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۸/۳۳مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است. کل حجم ردپای آب برای محصول خیار، ۵۴۹/۹۱ مترمکعب برتن بوده است که ۱۹/۳۳ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۴۹۸/۲۹ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۳۲/۳۰مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است. کل حجم ردپای آب برای محصول پیاز، ۲۷۵/۱۷ مترمکعب برتن بوده است که ۷/۹۲ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۲۵۵/۱۷ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۱۲/۰۷مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است.

همان‌گونه که مشخص است آب آبی، بیشترین سهم را از کل حجم ردپای آب به خود اختصاص داده است. در بین محصولات زراعی تولیدی استان کرمان، محصول کلزا با شاخص ردپای ۳۷۱۹/۷۵ مترمکعب بر تن بیشترین سهم را در اختصاص ردپای آب داشته است. کم‌ترین سهم ردپای آب در این استان، مربوط به محصول هندوانه ۱۹۲/۰۲ مترمکعب بر تن بوده است.

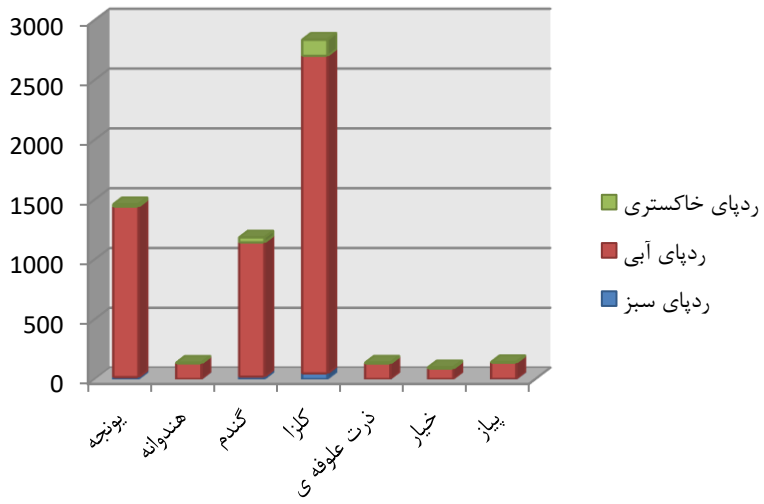
استان اصفهان: وضعیت کشاورزی محصولات منتخب استان اصفهان در جدول () ارائه شده است:

جدول(۳): وضعیت کشاورزی استان اصفهان

محصول	سطح زیرکشت(هکتار) Area (ha) Harvested	میزان تولید(تن) Production(ton)	عملکرد(کیلوگرم/هکتار) Yield (kg ha^{-1})	تبخیر و تعرق گیاه (ET_c)	نیاز آبیاری (IR)	بارش مؤثر P_{eff}
یونجه	۲۶۳۹۷	۲۸۵۲۹۰	۱۰۸۰۸	۱۵۵۸/۷۷	۱۴۴۵/۹۶	۱۷/۹۸
هندوانه	۱۰۲۲	۵۰۴۴۱	۴۹۳۴۸	۶۴۹/۸۵	۶۲۸/۱۸	۳/۸۱
گندم	۷۲۲۵۲	۳۸۵۳۰۸	۵۳۳۳	۶۰۹/۶۵	۴۲۱/۹۴	۱۱/۳۱
کلزا	۵۲۴	۱۲۴۰	۲۳۶۶	۶۳۹/۵۷	۵۳۲/۸۳	۱۱/۳۱
ذرت علوفه‌ای	۱۷۸۸۳	۱۰۹۳۰۹۴	۶۱۱۲۴	۷۹۹/۷۶	۷۸۳/۸۵	۷
خیار	۶۶۹	۲۶۸۸۹	۴۰۲۰۳	۳۵۴/۰۲	۲۹۵/۱۴	۳/۸۱
پیاز	۴۷۳۳	۳۱۹۷۳۳	۶۷۵۵۶	۹۲۸/۷۱	۹۱۸/۲۳	۱۰/۴۸

جدول(۴): نتایج محاسبه ردپای آب محصولات زراعی در استان اصفهان

محصول	ردپای سبز Green water	ردپای آبی Blue water	ردپای خاکستری Gray water
یونجه	۱۶/۶۴	۱۴۲۵/۶۰	۱۹/۲۶
هندوانه	۰/۷۷	۱۳۰/۹۲	۵/۴۴
گندم	۲۱/۲۱	۱۱۲۱/۹۶	۴۱/۳۸
کلزا	۴۷/۸۰	۲۶۵۵/۳۷	۱۳۳/۷۷
ذرت علوفه‌ای	۱/۱۴	۱۲۹/۷۰	۶/۸۵
خیار	۰/۹۵	۸۷/۱۱	۱۰/۱۷
پیاز	۱/۵۵	۱۳۵/۹۲	۴/۶۵



شکل(۲): نمودار مقایسه ردپای آب محصولات زراعی استان اصفهان.

باتوجه به جدول (۴)، در بین محصولات زراعی تولیدی استان اصفهان، محصول کلزا با شاخص ردپای ۲۸۳۶/۹۴ مترمکعب بر تن بیشترین سهم را در اختصاص ردپای آب داشته است.

به‌طور متوسط، کل حجم ردپای آب برای محصول گندم، ۸۵۶/۸۸ مترمکعب برتن بوده است که ۱۲/۸۷ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۸۱۲/۳۷ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۳۱/۶۵مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است.

کم‌ترین سهم ردپای آب در این استان، مربوط به محصول خیار ۹۸/۲۳ مترمکعب بر تن بوده است. در مورد محصولات موردنظر، ردپای آبی بیشترین سهم را داشته است و این موضوع نشان‌دهنده این است که آبیاری مستقیم و منابع آب سطحی و زیرزمینی نقش مهم‌تری را نسبت به بارش برای تولید این محصولات در این استان ایفا می‌کند.

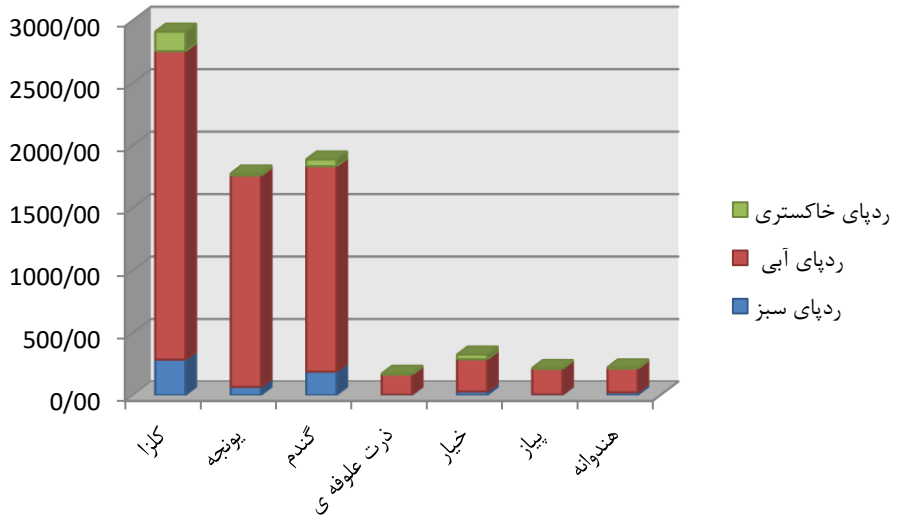
استان خراسان رضوی: وضعیت کشاورزی محصولات منتخب استان خراسان رضوی در جدول (۵) ارائه شده است:

جدول(۵): وضعیت کشاورزی استان خراسان رضوی

محصول	سطح زیرکشت(هکتار) Harvested Area (ha)	میزان تولید(تن) Production(ton)	عملکرد(کیلوگرم/هکتار) Yield (kg ha^{-1})	تبخیر و تعرق گیاه (ET_c)	نیاز آبیاری (IR)	بارش مؤثر P_{eff}
یونجه	۱۸۲۵۵	۱۵۴۴۸۶	۸۴۶۳	۱۴۸۸/۰۶	۱۳۴۷/۸۵	۵۶/۶
هندوانه	۳۶۲۰	۸۷۰۱۳	۲۴۰۳۴	۵۱۲/۱۵	۴۶۷/۰۲	۵۴/۹۸
گندم	۱۴۱۱۵۳	۴۸۶۵۷۷	۳۴۴۷	۶۳۱/۸۵	۴۹۱/۳۹	۶۵/۲۱
کلزا	۴۴۵۴	۹۱۲۶	۲۰۴۹	۵۶۴/۲۸	۴۵۳/۴	۵۸/۴۵
ذرت علوفه‌ای	۱۸۲۸۴	۷۶۴۰۸۲	۴۱۷۹۱	۶۹۰/۶	۶۴۹/۲	۱۳/۶
خیار	۷۳۶	۹۱۶۵	۱۲۴۵۰	۳۵۸/۵۸	۳۰۸/۲۲	۳۷/۰۷
پیاز	۷۸۳	۳۳۶۹۵	۴۳۰۳۴	۹۱۰/۰۶	۸۸۸/۷۹	۲۱/۸۱

جدول(۶): نتایج محاسبه ردپای آب محصولات زراعی در استان خراسان رضوی

محصول	ردپای سبز Green water	ردپای آبی Blue water	ردپای خاکستری Gray water
یونجه	۶۶/۸۸	۱۶۹۱/۴۳	۱۷/۳۴
هندوانه	۲۲/۸۸	۱۹۰/۲۲	۱۰/۳۷
گندم	۱۸۹/۱۸	۱۶۴۳/۸۶	۵۴/۷۹
کلزا	۲۸۵/۲۶	۲۴۶۸/۶۷	۱۵۶/۵۶
ذرت علوفه‌ای	۳/۲۵	۱۶۲	۷/۱۱
خیار	۲۹/۷۸	۲۵۸/۲۴	۳۷/۶۳
پیاز	۵/۰۷	۲۰۶/۴۱	۶/۳۵

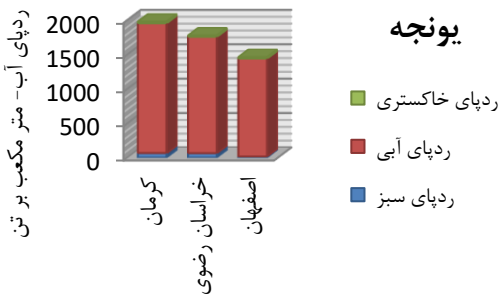


شکل(۳): نمودار مقایسه ردپای آب محصولات زراعی استان خراسان رضوی.

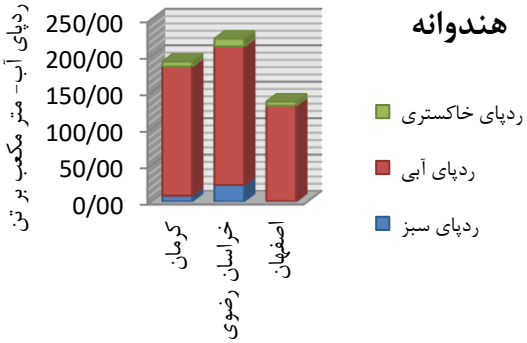
باتوجه به جدول (۶)، در بین محصولات زراعی تولیدی استان خراسان رضوی، محصول کلزا با شاخص ردپای ۲۹۱۰/۴۹ مترمکعب بر تن بیشترین سهم را در اختصاص ردپای آب داشته است. کم‌ترین سهم ردپای آب در این استان، مربوط به محصول ذرت علوفه‌ای ۱۷۲/۳۶ مترمکعب بر تن بوده است.

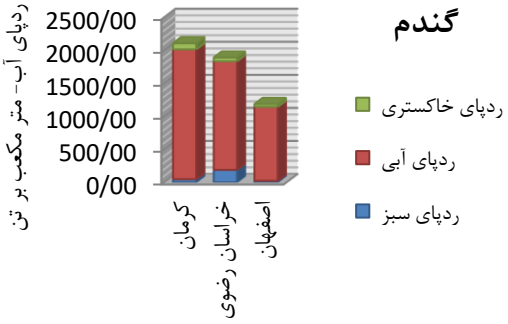
به‌طور متوسط، کل حجم ردپای آب برای محصول گندم، ۰/۹۶ مترمکعب برتن بوده است که ۰/۰۷ مترمکعب بر تن آن مربوط به آب سبز، ۰/۸۵ مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۰/۰۳مترمکعب بر تن آن مربوط به آب خاکستری بوده است.

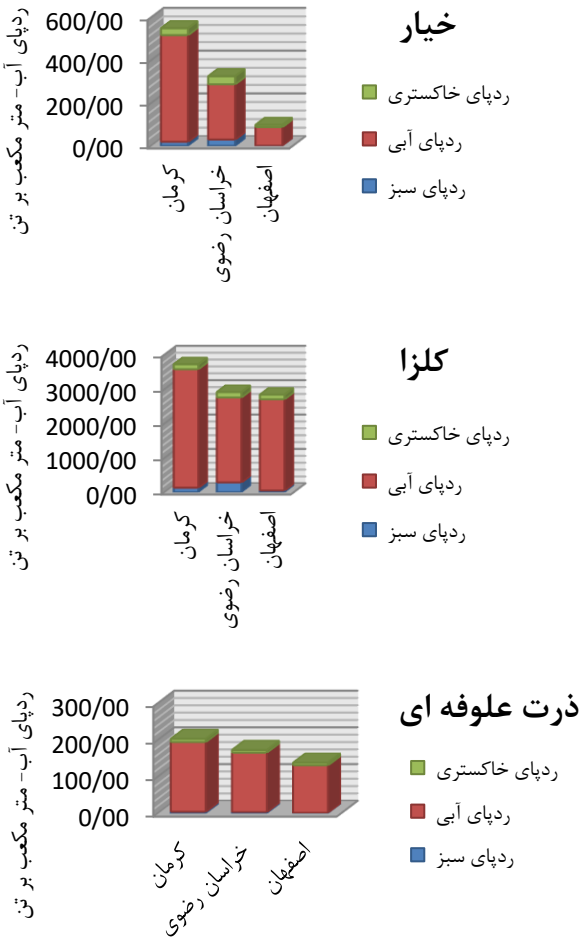
در ادامه، به‌منظور اینکه بتوان مشخص نمود که برای محصولات مشترک که در استان‌های اصفهان، کرمان و خراسان رضوی کشت می‌شوند، کدام استان از منظر ردپای آب در شریط مطلوب‌تری می‌باشد، مقایسه‌های زیر انجام گرفته است:


یونجه
ردپای آب- متر مکعب بر تن
2000
1500
1000
500
0
کرمان
خراسان رضوی
اصفهان
ردپای خاکستری
ردپای آبی
ردپای سبز

پیاز
ردپای آب- متر مکعب بر تن
300/00
200/00
100/00
0/00
کرمان
خراسان رضوی
اصفهان
ردپای خاکستری
ردپای آبی
ردپای سبز


هندوانه
ردپای آب- متر مکعب بر تن
250/00
200/00
150/00
100/00
50/00
0/00
کرمان
خراسان رضوی
اصفهان
ردپای خاکستری
ردپای آبی
ردپای سبز


گندم
ردپای آب- متر مکعب بر تن
2500/00
2000/00
1500/00
1000/00
500/00
0/00
کرمان
خراسان رضوی
اصفهان
ردپای خاکستری
ردپای آبی
ردپای سبز



شکل(۷): مقایسه ردپای آب محصولات کشاورزی در استان‌های کرمان، اصفهان و خراسان رضوی

در مورد محصولات منتخب، بیشترین سهم مربوط به ردپای آبی این محصولات در هر سه استان می‌باشد. به عبارت بهتر، آبیاری مستقیم و منابع آب سطحی و زیرزمینی، نقش مهم‌تری را نسبت به بارش برای تولید این محصولات در این استان‌ها ایفا می‌کند. به‌طور کلی، استان اصفهان از منظر ردپای آب محصولات یونجه، گندم، هندوانه،خیار، ذرت علوفه‌ای و پیاز از شرایط مطلوب‌تری نسبت به دو استان دیگر برخوردار است. در مورد محصول کلزا استان‌های خراسان رضوی و اصفهان تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند و استان کرمان در کشت این محصول از شرایط نامطلوبی برخوردار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کشاورزی بخش کلیدی و مصرف‌کننده اصلی منابع آب شیرین دنیاست. درک روشنی از تقاضای آب در بخش کشاورزی برای تولید و مصرف محصوت و همچنین کاهش تنش آبی برای رفع مشکلات کمبود آب، امری ضروری است. در این پژوهش به بررسی و مقایسه شاخص ردپای آب محصولات منتخب در استان‌های اصفهان، خراسان رضوی و کرمان پرداخته شد. نتایج نشان داد در بین محصولات یونجه، هندوانه، ذرت علوفه‌ای، گندم، کلزا، خیار و پیاز، در استان‌های اصفهان، کرمان و خراسان رضوی، بیشترین شاخص ردپای آب متعلق به محصول کلزا بوده است. بنابراین، کشت این محصول در این سه استان، از شرایط مطلوبی از منظر ردپای آب برخوردار نمی‌باشد. نتایج مقایسه شخص ردپای آب در هر سه استان حاکی از این بود

که سهم ردپای آبی نسبت به ردپای سبز و خاکستری در تولید محصولات منتخب بیشتر بوده است. به عبارت بهتر، آبیاری مستقیم و منابع آب سطحی و زیرزمینی، نقش مهم‌تری را نسبت به بارش برای تولید این محصولات در این استان‌ها ایفا کرده است. استان اصفهان از منظر ردپای آب محصولات یونجه، گندم، هندوانه،خیار، ذرت علوفه‌ای و پیاز از شرایط مطلوب‌تری نسبت به دو استان دیگر برخوردار است. در مورد محصول کلزا استان‌های خراسان رضوی و اصفهان تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند و استان کرمان در کشت این محصول از شرایط نامطلوبی برخوردار می‌باشد. باتوجه به شاخص ردپای آب، محصول هندوانه در استان کرمان، محصول ذرت علوفه‌ای در استان خراسان رضوی و محصول خیار در استان اصفهان از شرایط مطلوبی برخوردار هستند. در راستای یافته‌های این پژوهش پیشنهاد می‌شود با توجه به شاخص ردپای آب، محصولاتی که از نظر این شاخص به آب کم‌تری نیاز دارند، در این استان‌ها به ترتیب اولویت کشت و تولید شوند. همچنین طبق نتایج مطالعاتی چوکالا و همکاران (۲۰۱۵)، با اقداماتی مانند مالچ‌پاشی و افزایش بهره‌وری مصرف آب، مقدار ردپای آب محصولات را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. باتوجه به سهم بالای ردپای آبی در این استان‌ها، نیاز اساسی به تغییر راهبردهای مدیریتی برای منابع آب و تغییر در الگوی تخصیص منابع آب وجود دارد و بنابراین محصولاتی تولید شوند که به حفظ و مدیریت منابع آب موجود در این استان‌ها کمک می‌کنند.

منابع

Abdelkader, A and Elshorbagy, A.2021.ACPAR: a framework for linking national water and food security management with global conditions. Adv Water Resour 147:103809.

Alcamo, J., Henrichs, T and Roesch T.2000.World Water in 2025. Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. Kassel World Water Series Report2. C1enter for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany.

Aligholinia, T., Sheibani, H.,Mohammadi, O and Hesam M. 2018.Evaluation and Comparison of Blue, Green and Gray Water Footprint of Weat in Different Climates of Iran. Iran- Water Resources Researc. 15(3):234-245.

Aligholinia, T., Rezaei, H., Bahmanesh, J and Motaseri, M.2015.Sustainable managament of water resources in order to maximiza water extraction with a water footprint approach. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Urimia University.

Amiri, M. J nad Eslamian, S. S, 2010. Investigation of climate change in Iran. Journal of Environmental Science and Technology ,3(4),208–216. https://doi.org/10.3923/jest.2010.208.216

Arabi, A and Nikniya, N. 2010. A global perspective on water consumption; water footprint, an indicator of the impact of the pattern of national consumption on world water resources. The 5th National Geographic congress may 14th to May 16th, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Cao, X., Huan, X., Huang, H., Liu, J., Guo, X., Wang, W., and she, D.2018. Changes and driving mechanism of water footprint scarcity in crop production: A study of jiansu Province, Cina. Ecoloical Indicators,95,444- 454.

Chapaain, A. K., oekstra, A. Y., and Savenije, H.H.G. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. Hydrology and Eart System Science. 10:455-468.

Chapagain, A. K, Hoekstra, A.Y. 2012. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspective. Journal of Ecological Economics 70: 749-758.

Chico, D., Aldaya, M and Garrido, A.2013. 2013. A water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of Agricultural policies on the sustainability of consumer products. Journal of Cleaner Production. 57:238-248.

Chukalla, A.D., Krol, M.S., and Hoekstra, A.Y. 2015. Green ang Blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irriggation techniques, irriation strategies and mulching. Hydrology and Earth Syatem Science. 19:4877-4891.

De Martonne, E. 1926. Aerisme, et índices d'aridite. Comptesrendus de L'Academie des Sciences 182: 1395–1398

Fu, M., Guo, B., Wang, W., Wang., J., Zao, L., and Wan, J. 2019.Compreensive assessment of water fottprints and water scarcity pressure for main crops in Sandong Province, Chiana.Sustainability, 11(7):1856.

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

Hoekstra, A.Y and Chapagain, A. K. 2008. Lobalization of water: sarin the planets freshwater resources. Blackwell Publising, Oxford, UK.220p.

Hoekstra, A. Y., and Mekonnen, M.M. 2012. Te water foorprint of umainity. Proceedin of the National Academy of Sciences, 109(9):3232-3237.

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

Hung, a.H.P., and hoekstra, A.Y. 2002. Virtual water trades a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series, No. 11.

Jefferies, D., Munoz, I., Hodges, J., King, VJ., Aldaya, M., Ercin, A.E., Canals, LMI., Hoekstra, A.Y.2012. Water footprint and life cycle assessement as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. Journal of Cleaner Production. 33:155-166.

Lovarelli, D., Ingrao, C., Fiala, M and Bacenetti, J. 2018. Beyond the water footprint: A new framework proposal to assess freshwater environmental impact and consumption. Jpurnal of Cleaner Production, 172: 4189-4199.

Lu, Y., Zhang, x., Chen, S., Shao L., and Sun, H.2016. Changes in water use efficinsy 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.

Mekonnen, MM., and Koekstra, A.Y.2011. The green, blue and gray water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences. 15:1577-1600.

Ministry of Agricultural. 2021.Statistical Book. Costs of Crops Production.

Molden, D.2007. Water for food, water for life:a comprehensive assessment of water management in agricultural. Earthscan, 664p.

Pastor, A.V., Palazzo, A., Havlik, P., Biemans, H., Wada, Y., Obersteiner, M., Kabat. P., Ludwig F. 2019. The global nexus of food-trade-water sustaining environmental flows by 2050. Nat Sustain 2(6):499-507.

Postel, S.L.2000. Entering an era of water scarsity:the challenges ahead of Ecological applications. 10:941-948.

Rasooli Majd, N., Montaseri, M., Bamenes, J and Rezaei. 2015.Identification and evaluation of te water footprint index, broken down by water, reen water and ray water, by applyni climate cane.masters Tesis, Faculty of Agriculture, Urimia University.

Razavi kahnamuee, S.2019 Basic Priciples of Water Footprint Assessment and Existing Challenges in Iran. Journal of Water and Sustainable Development.3:1-12.

Razavi, SS and Davari, K .2013. The role of virtual water in managing water resources. Journal of Water and Sustainable Development 1:9-18 (In Persian).

Sharzeie, G.H and Borghei, M.2013. Effects of GDP per Capita on Water Footprint. Environmental Sciences.2 (40):1-8.

Shiklomanov, I.a. 2000. Appraisal and assessment of world water resources. Water International. 25:11-32

Yousefi, H., Moammadi, a., Noorollai, Y and Sadatnejad, S.J.2018.Water footprint evaluation of Tehran's crops and garden crops.Journal of Water and Soil Conservation. 24(6): 67-85.