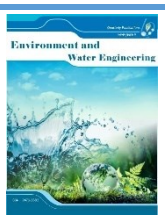
Environ. Water Eng., 2022, 8(2), 507-518 DOI: 10.22034/JEWE.2022.307605.1637

EWE

Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Short Paper

Determining Cultivation Pattern of Isfahan Agricultural Crops using Water Footprint and Virtual Water

Halimeh Piri[1*] and Mojtab Mobarki[2]

[1]Assist. Professor, Department of Water Engineering, College of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

[2]M.Sc., Alumni, Department of Water Engineering, College of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

Article information

Received: August 01, 2021
Revised: August 31, 2021
Accepted: September 01, 2021

Keywords:
Cultivation Pattern
Isfahan City
Virtual Water
Water Footprint

*Corresponding author**:**
h_piri2880@uoz.ac.ir

Abstract

This study was conducted with the aim of calculating the water footprint of the major agricultural products of Isfahan city, Iran and determining the optimal cultivation pattern from the perspective of water footprint and virtual water. To conduct the research, the water requirement of major agricultural products in Isfahan was calculated using CropWat 8 software. Then, the average volume of water consumption, virtual water, water footprint, and water use efficiency of these products for the statistical period 2011-2017 was calculated. The results showed that oilseeds and legumes had the highest water footprint. Forage plants, summer crops, and vegetables had the highest water use efficiency and the lowest water footprint, respectively. Accordingly, the cultivation of oilseeds in Isfahan is not recommended. In the group of wheat grains, in the group of plants, fodder, corn, forage, in the group of vegetables, onions, and in the group of summer vegetables, watermelon with 1815.52, 1720.5, 127949 and 2621,63 m^3/ha respectively is recommended for cultivation in Isfahan region due to having less water footprint. Due to recent droughts and water shortages, available water resources should be used in the best way, and crops with lower water requirements and higher yields should be planned.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

In the current situation, Iran is one of the countries that is facing a serious problem in the field of water. Most of the provinces of the country are facing the problem of a sharp drop in the level of groundwater aquifers. Therefore, in order to be able to provide water resources in a sustainable way in the coming years, it is necessary to study the amount of water consumed in different sectors. The water footprint is a multidimensional indicator for the use of freshwater which is not only limited to the direct consumption of water by the consumer or producer but also includes the indirect use of water. The water footprint is able to analyze the relationship between human consumption of fresh water and the use of water in the manufacture of a particular type of product. Examining the different components of water footprint and determining the share of each of its

components in the amount of virtual water trade in the agricultural sector, helps to understand the current situation and improve water resources management in the agricultural sector, especially in areas facing a water crisis. Therefore, in this research, the traces of water and virtual water of major agricultural products of Isfahan city were studied. Based on this, agricultural products suitable for cultivation should be introduced to this region.

Materials and methods

The study area of Isfahan city is in Isfahan province. This region has an ultra-cold climate based on the Domarten climate. The study of the annual production of the year shows that Isfahan province is ranked seventh in terms of the annual production of irrigated crops in the country. Also, Isfahan province, located in the central arid and semi-arid region, is one of the low-water provinces of Iran that has always been affected by the phenomenon of drought. For conducting meteorological information research in the study period (2011-2017) was received from the Meteorological Organization. Information about fertilizer consumption (nitrogen fertilizer) and the yield of each product was obtained from Isfahan Jihad Agricultural Organization. Components of the water footprint in this study include green water footprint, blue water footprint, gray water footprint, and white water footprint.

Total water footprint was expressed as Eq. 1:

$$WF_t = WF_{green} + W_{Fblue} + WF_{gray} + WF_{white} \quad (1)$$

where, WFt: total footprint, WFgreen: green water footprint, WFblue: blue water footprint, WFgray: gray water footprint and WFwhite: white water footprint. Eq. 2 was used to calculate the volume of virtual water consumed.

$$VWC = \frac{CWR}{Y} \quad (2)$$

where, CWR is the water requirement of the product (m^3/ha), Y is the amount of product produced (Kg/ha) and VWC is the volume of virtual water consumed (m^3/kg.ha). Eq. 3 was used to calculate the water consumption productivity of the products.

$$CWP = \frac{Y}{CWR} \quad (3)$$

Results

Table 1 shows the green Water Footprint, blue water, gray water, and white water studied products. The water footprint in all crops was more than the green water footprint. Due to water shortages and droughts in the region, available water resources should be used properly, and planting crops with high yields and low water requirements should be considered. The highest water footprint of green water was for the sesame oil plant (281.57 m^3/ton) and the lowest was for forage corn (6.27 m^3/ton). Beans have the highest water footprint (496.21 m^3/ton) among the studied products. The higher water footprint in beans is due to the higher white and blue water footprint in this product. One of the reasons for the increase in white water footprint is low irrigation efficiency and high water losses in these areas and poor irrigation management.

Based on the calculation of total water footprint, cultivation of plants in the oilseeds group is not recommended due to having the highest water footprint in Isfahan. In the group of wheat grains, in the group of plants, fodder, corn, forage, in the group of vegetables, onions, and in the group of summer vegetables, watermelon is recommended for cultivation in the Isfahan region due to having less water footprint. The amount of virtual water in all the studied products, except for the products of the oilseeds and beans group, is less than one, which indicates that these products are low-consumption products. The highest amount of virtual water used for the studied plants belonged to plants of oilseeds and beans. Forage plants, summer crops, and vegetables had the highest water use efficiency and the lowest water footprint, respectively. Therefore, in order to reduce the water footprint of agricultural products and increase water productivity, it is necessary to

use measures such as irrigation, mulching, and the use of modern irrigation systems.

Table 1 Green Water Footprint, blue water, gray water, and white water studied products

Product type	product	Green Water Footprint	Blue Water Footprint	Gray Water Footprint	White Water Footprint	Total Water Footprint
		M^3/ton				
Oil Seeds	Sesame	281.57	596.07	63.82	2150.58	3092.04
	Sunflower	210.58	448.11	53.24	2953.9	3665.83
	Canola	188.7	360.36	332.9	3392.92	4274.88
	Safflower	306.71	659.76	38.18	3605.17	4609.82
	Cotton	207.87	497.84	379.69	3550.4	4635.8
Cereals	Rice	108.58	244.03	27.1	2479.22	2858.93
	Millet	181.96	542.68	30.72	1735.04	2490.4
	Wheat	85.03	183.55	88.95	1457.99	1815.52
	Barley	100.27	218.02	74.3	1821.67	2214.26
Forage plants	Beetroot	10.44	27.23	22.46	1212.6	1272.73
	Fodder Corn	6.27	11.57	21.13	1681.53	1720.5
	Sorghum	7.15	15.91	16.85	1278.75	1318.66
	Clover	61.65	1488.26	2.14	1708.06	1920.11
	Alfalfa	40.49	101.22	1.07	2320.04	2462.82
vegetables	Eggplant	22.21	47.98	3.62	3855.08	3928.89
	Onion	8.05	24.4	1.09	1245.95	1279.49
	Cucumber	21.18	52.35	10.42	3191.65	3275.6
	Cucurbit	17.43	47.69	3.24	2988.95	3057.31
	Tomato	13.96	31.39	42.9	2002.35	2090.6
	Potato	10.84	31.31	49.47	2003.42	2095.04
	Sugar Beet	12.41	27.57	20.33	1031.27	1091.58
summer crops	Cantaloupe	7.50	19.05	52.48	2269.47	2348.5
	Melon	16.67	40.96	17.4	2451.23	2526.26
	Watermelon	15.18	38.34	18.71	2549.4	2621.63
Frijol	Beans	236.74	491.57	26.07	4231.83	4986.21

Conclusion

The results showed that the share of water footprint for all studied crops was more than green water footprint, which indicates the dependence of products on irrigation water. Oilseeds and legumes had the highest amounts of water footprint. White water footprint indicates irrigation management and water loss volume. Based on the calculation of total water footprint, cultivation of plants in the oilseeds group is not recommended due to having the highest water footprint in Isfahan, Iran.

In general, wheat in the group of grains, corn in the group of forage plants, onion in the group of vegetables, and watermelon in the group of summer crops, respectively, with 1815.52, 1720.5, 1279.49, and 2621.63 m^3/ha is recommended for cultivation in Isfahan region due to having less water footprint. It is also suggested that the economic productivity of the studied products and the export and import of virtual water to the region being studied and researched to evaluate the accuracy of the results of this research.

.

Acknowledgment

This research has been done with the financial support of the University of Zabol, Research Code IR-UOZ-GR-1837.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of Interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

DOI: 10.22034/JEWE.2022.307605.1637

دوره ۸، شماره ۲، صفحات: ۵۱۸-۵۰۷

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

مقاله کوتاه

تعیین الگوی کشت محصولات کشاورزی شهرستان اصفهان با استفاده از ردپای آب و آب مجازی

حلیمه پیری[1]* و مجتبی مبارکی[2]

[1]استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[2]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف محاسبه ردپای آب محصولات عمده کشاورزی شهرستان اصفهان و تعیین الگوی کشت بهینه از منظر ردپای آب و آب مجازی انجام شد. برای انجام تحقیق، نیاز آبی محصولات عمده کشاورزی شهرستان اصفهان با استفاده از نرم‌افزار CropWat 8 محاسبه شد. سپس میانگین حجم آب مصرفی، آب مجازی، ردپای آب و بهره‌وری مصرف آب این محصولات برای دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۹۰ محاسبه شد. نتایج نشان داد دانه‌های روغنی و حبوبات بیش‌ترین ردپای آب را داشتند. گیاهان علوفه‌ای، صیفی‌جات و سبزیجات به‌ترتیب بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب و کم‌ترین ردپای آب را داشتند.. در گروه غلات گندم، در گروه گیاهان علوفه‌ای ذرت‌علوفه‌ای، در گروه سبزیجات پیاز و در گروه صیفی‌جات هندوانه به‌ترتیب با ۱۸۱۵/۵۲، ۱۷۲۰/۵، ۱۲۷۹/۴۹ و ۲۶۲۱/۶۳ m^3/ha به‌دلیل داشتن رد پای آب کم‌تر برای کشت در منطقه اصفهان توصیه می‌شود. با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و کمبود آب باید از منابع آب موجود به بهترین نحو استفاده نمود و کشت محصولات با نیاز آبی کم‌تر و عملکرد بالاتر مورد برنامه‌ریزی قرار گیرد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۵/۱۰]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۶/۰۹]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۶/۱۰]

واژه‌های کلیدی:

آب مجازی

الگوی کشت

ردپای آب

شهرستان اصفهان

***نویسنده مسئول:**

h_piri2880@uoz.ac.ir

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با ظهور شاخص ردپای آب[1] که نشان‌دهنده مقدار آب مصرفی براساس شرایط و اقلیم هر منطقه در زنجیره تولید است، دریچه‌ای برای انجام پژوهش‌ها در راستای مدیریت نوین منابع آب با رویکرد یکپارچه باز شده است (Aligholina et al. 2017). ردپای آب شاخصی چندبعدی برای استفاده از آب شیرین است که تنها به مصرف مستقیم آب توسط مصرف‌کننده یا تولیدکننده محصور نمی‌شود بلکه در این شاخص استفاده غیرمستقیم از آب نیز در نظر گرفته می‌شود. در واقع، ردپای آب قادر است ارتباط بین مصارف انسانی از آب شیرین و میزان استفاده از آب در ساخت نوع خاصی از کالا را مورد تحلیل قرار دهد (Hoekstra et al. 2011). Piri and Mobaraki (2021b) توزیع زمانی و مکانی ردپای آب و کارایی مصرف

[1]Water Footprint

آب جو در مناطق مختلف ایران را موردبررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد بیش‌ترین ردپای کل آب در جنوب شرقی کشور و اقلیم فراخشک بود و کم‌ترین آن در نواحی شمالی و غربی کشور مشاهده شد. Farzi et al. (2019) الگوی کشت بهینه برای کرمانشاه را براساس ردپای آب تعیین کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد در بین محصولات موردمطالعه در بخش زراعی هندوانه، ذرت علوفه‌ای و چغندر قند به‌عنوان محصولات برتر از نظر شاخص ردپای آب و در مقابل کنجد، لوبیا و آفتابگردان به‌عنوان نامناسب‌ترین محصولات از این نظر شناخته شدند. Khalili et al. (2020) در پژوهشی مدیریت منابع آب استان قم را براساس ردپای آب موردبررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد سهم ردپای آب آبی در استان بیش‌تر از ردپای آب سبز و خاکستری بود. Piri and mobaraki (2021) به بررسی ردپای آب و بهره‌وری مصرف آب محصولات سیب‌زمینی، چغندر قند، گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای در اقلیم‌های مختلف ایران پرداختند. نتایج نشان داد حجم آب مصرفی در محصولات موردمطالعه در اقلیم‌های مختلف متفاوت است. با توجه نتایج به‌دست‌آمده اقلیم همدان با توجه به پایین بودن مقادیر آب مجازی و بالا بودن بهره‌وری مصرف آب نسبت به سایر اقلیم‌های موردمطالعه برای کشت هر چهار محصول مناسب‌تر است.

Fu et al. (2018) آب مجازی غلات در چین را موردبررسی قرار دادند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد جهت تولید غلات در چین ۱/۲۹۳ m^3/kg آب مجازی مصرف می‌شود. Deng et al. (2016) در پژوهش خود استان‌های کشور چین را به هشت منطقه تقسیم کردند و ردپای آب محصولات کشاورزی را در کنار سایر محصولات در هر منطقه موردبررسی قرار دادند. نتایج محاسبات آن‌ها نشان داد که فعالیت کشاورزی در اکثر مناطق سهم بیش‌تری از ردپای آب را به خود اختصاص داده است. ایشان بیان داشتند که با اقداماتی مثل افزایش بهره‌وری مصرف آب و اصلاح الگوی صادرات محصولات می‌توانند سهم زیادی از ردپای آب محصولات تولیدی مناطق را کنترل و کاهش دهند. Su et al. (2015) ردپای آب پنج محصول ذرت، سیب‌زمینی، نیشکر، ذرت خوشه‌ای و برنج منطقه نیمه‌گرمسیر تایوان را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که کم‌ترین ردپای آب مربوط به سیب‌زمینی بوده است. برای مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری نیشکر به‌علت استفاده بیش‌تر از آب باران و برای مناطق معتدل ذرت بهتر می‌باشد. Hess et al. (2015) ردپای آب کشت سیب‌زمینی در انگلستان را موردمطالعه قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود تنها به بررسی ردپای آب آبی پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط تنها ۶۱ Mm^3 آب برای تولید این محصول کشاورزی، در انگلستان مصرف می‌شود. با توجه به اهمیت شاخص ردپای آب در بحث مدیریت منابع آب به‌خصوص در بخش کشاورزی، از این روش برای تعیین اولویت کاشت بر محور اختصاص آب استفاده شد. بررسی اجزای مختلف ردپای آب و تعیین سهم هریک از اجزای آن در میزان تجارت آب مجازی در بخش کشاورزی، کمک شایانی به درک شرایط کنونی و بهبود مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی به‌خصوص در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند، می‌نماید. بنابراین، در این پژوهش به بررسی ردپای آب و آب مجازی عمده محصولات کشاورزی شهرستان اصفهان پرداخته شد تا بر این‌اساس محصولات کشاورزی مناسب کشت برای این منطقه معرفی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه شهرستان اصفهان در طول جغرافیایی ′۲ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ′۴۵ °۳۲ شمالی و ارتفاع m ۱۵۴۳/۵ از سطح دریا در استان اصفهان قرار دارد. این منطقه براساس اقلیم‌نمای دومارتن دارای اقلیم خشک فراسرد می‌باشد. استان اصفهان با بیش از km^2 ۱۰۷×۱۰۳ مساحت و تنوع جغرافیایی خود متشکل از ارتفاعات، اراضی پایکوهی و دشت‌ها بوده براساس آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۲ شامل ۲۳ شهرستان، ۱۰۷ شهر و ۱۲۷ دهستان می‌باشد. بخش کشاورزی در استان اصفهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی می‌باشد. براساس آمارنامه کشاورزی منتشر شده توسط وزارت جهاد کشاورزی استان اصفهان با ha ۲۷۵۲۶۹ مجموع اراضی آبی و دیم کشت‌شده، ٪۲/۱۶ از سطح اراضی کل کشور را شامل شده است . لذا از این نظر، رتبه هفدهم را در بین استان‌های کشور به خود اختصاص داده است. بررسی میزان تولید محصولات سالانه در سال موردبررسی نشان می‌دهد که استان اصفهان از نظر مقدار تولید محصولات زراعی سالانه آبی در رتبه هفتم کل کشور قرار می‌گیرد. همچنین، استان اصفهان با

قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک مرکزی یکی از استان‌های کم‌آب ایران است که همواره تحت تأثیر پدیده خشک‌سالی بوده است. گسترش اراضی تحت آبیاری از طریق احداث و توسعه شبکه‌های آبیاری و توسعه صنایع در استان اصفهان حجم قابل‌ملاحظه‌ای از منابع آب استان به‌ویژه رودخانه زاینده‌رود را مصرف می‌نماید (Mirzavand and Imani 2016). برای انجام پژوهش اطلاعات هواشناسی در دوره مطالعاتی (۱۳۹۶-۱۳۹۰) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. اطلاعات مربوط به کود مصرفی (کود نیتروژن) و عملکرد هر محصول از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان اخذ گردید.

۲-۲- محاسبه نیاز آبی گیاهان

برای محاسبه ردپای آب و آب مجازی لازم بود نیاز آبی گیاهان (CWR)[1] در هر اقلیم محاسبه شود. برای این کار ابتدا تبخیروتعرق گیاهان از روش فائوپنمن‌مانتیث و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT محاسبه شد (رابطه‌های ۱ و ۲).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\frac{C_n}{T+273}U2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+C_d\,U2)} \quad (۱)$$

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (۲)$$

که، ET_0 تبخیروتعرق مرجع (mm/day)، ET_C تبخیروتعرق گیاه (mm/day)، K_C ضریب گیاهی، Rn تابش خالص ورودی به سطح گیاه (MJ/m2.day)، G شار گرمای خاک (MJ/m2.day)، U2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع m ۲ از سطح زمین (m/s)، es: فشار بخار اشباع (KPa)، ea: فشار بخار واقعی (KPa)، es-ea: کمبود فشار بخار اشباع (KPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع (KPa/°C)، γ: ضریب سایکرومتری (KPa/°C)، Cn: ضریبی برای گیاه مرجع که مقدار آن ۹۰۰ می‌باشد (KgK/Kj.day)، Cd: ضریب باد برای گیاه مرجع که مقدار آن ۰/۳۴ m/s می‌باشد. Kc ضریب گیاهی است که از نشریه فائو ۵۶ اقتباس شده است. مقدار نیاز آبی گیاهان از رابطه (۳) محاسبه شد (Lu et al. 2016).

$$CWR = ET_c \times A \quad (۳)$$

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

[1]Crop Water Requirement

۲-۳- محاسبه ردپای آب

اجزای ردپای آب در این پژوهش شامل ردپای آب سبز (WF_{green})[2]، ردپای آب آبی (WF_{blue})[3]، ردپای آب خاکستری (WF_{gray})[4] و ردپای آب سفید (WF_{white})[5] است. ردپای آب آبی، به حجم آب آبیاری مصرفی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) که جهت تولید محصول به گیاه داده می‌شود، اشاره دارد. ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی مؤثر مرتبط است و به حجم آبی اطلاق می‌شود که در مناطق غیراشباع خاک به‌صورت رطوبت خاک ذخیره می‌شود و گیاه از آن استفاده می‌کند. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای از بین بردن آلودگی‌های ایجادشده ناشی از کشت گیاه و تولید محصول در محیط استفاده شده‌اند، موردنیاز است. Ababai and Etedali Ramazani (2014) جزء دیگری از مجموع ردپای آب را تشریح نمودند که تحت عنوان آب سفید نام گذاری شده است. آب سفید در واقع حجم تلفات آب آبیاری (m^3/ha) را بیان می‌نماید. ردپای آب سفید با استفاده از رابطه (۴) تا (۷) محاسبه شد:

$$WF_{white} = \frac{10\times(GI-CWU_{blue})}{Y} \quad (۴)$$

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

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

$$ET_{blue} = \max(0, ET_c - P_e) \quad (۷)$$

که GI= نیاز ناخالص آب آبیاری (m^3/ha)، CWU_{blue}= مقدار مصرف ردپای آب آبی گیاه (m^3/ha)، Y= مقدار عملکرد (ton/ha) و ET_{blue}= تبخیر و تعرق آب آبی (mm)، ET_c= مقدار تبخیر و تعرق گیاه (mm/day) و P_e= مقدار باران مؤثر (mm) است. ردپای آب کل (WF_t)[6] به‌صورت رابطه (۸) بیان گردید (Ababai et al. 2014).

$$WF_t = WF_{green}+W_{Fblue}+WF_{gray}+WF_{white} \quad (۸)$$

۲-۴- محاسبه آب مجازی

آب مجازی جمع کل آب موردنیاز برای تولید مقدار معینی از محصول با توجه به شرایط اقلیمی، مکانی، زمان تولید و راندمان است. ردپای آب شاخصی است که برای نشان دادن حجمی از آبی که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید

[2]Green Water Footprint
[3]Blue Water Footprint
[4]Gray Water Footprint
[5]White Water Footprint
[6]Total Water Footprint

کالا و یا ارائه هرگونه خدمات به مصرف می‌رسد. برای محاسبه حجم آب مجازی مصرف‌شده[1] از رابطه (۹) استفاده شد (Hoekstra et al. 2011).

$$VWC = \frac{CWR}{Y} \quad (۹)$$

که CWR نیاز آبی محصول (m^3/ha)، Y مقدار محصول تولیدشده (kg/ha) و VWC حجم آب مجازی مصرف‌شده ($m^3/kg.ha$) می‌باشد.

۲-۵- محاسبه بهره‌وری مصرف آب

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای تجزیه‌وتحلیل میزان استفاده از آب، بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. شاخص بهره‌وری مصرف آب کشاورزی (CWP)[2] برحسب ($kg/m^3.ha$) که میزان محصول تولیدشده به ازای مصرف هر مترمکعب آب را نشان می‌دهد. برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب محصولات از رابطه (۱۰) استفاده شد (Mohammadi et al. 2017).

$$CWP = \frac{Y}{CWR} \quad (۱۰)$$

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- ردپای آب

عملکرد محصولات موردمطالعه، تبخیر وتعرق، نیاز آبیاری و باران مؤثر در جدول (۱) آورده شده است. آمار مربوط به متوسط دوره ۱۳۹۶-۱۳۹۰ می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نیاز آبی گیاهان موردمطالعه بالا و مقدار بارش مؤثر پایین می‌باشد. بنابراین بیشتر نیاز آبی گیاهان منطقه از طریق آبیاری تأمین می‌شد که نشان‌دهنده‌ی اتکای تولید محصولات کشاورزی بر استفاده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. متوسط ردپای آب در چهار بخش آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و آب سفید در جدول (۲) آورده شده است. سهم آب سبز در تولید محصولات پایین بود (جدول ۲). ردپای آب آبی در همه محصولات بیشتر از ردپای آب سبز بود. با توجه به کمبود آب و خشک‌سالی‌های به‌وجود آمده در منطقه باید از منابع آب موجود به نحو مناسبی استفاده کرد و کاشت محصولات با عملکرد بالا و نیاز آبی پایین موردنظر قرار گیرد. بیش‌ترین ردپای آب سبز برای گیاه روغنی کنجد (۲۸۱/۵۷ m^3/ton) و کم‌ترین آن برای ذرت علوفه‌ای (۶/۲۷ m^3/ton) بود. از نظر ردپای آب آبی نیز بیش‌ترین ردپای آب مربوط به کنجد (۵۹۶/۰۷ m^3/ton) و کم‌ترین آن (۱۱/۵۷ m^3/ton) مربوط به ذرت علوفه‌ای بود. ازنظر ردپای آب خاکستری پنبه با ۳۷۹/۶۹ m^3/ton بیش‌ترین و یونجه با ۱/۰۷ m^3/ton کم‌ترین مقدار ردپای آب خاکستری را داشتند. حجم تلفات آب آبیاری با استفاده از ردپای آب سفید بیان می‌شود. از نظر ردپای آب سفید بیش‌ترین ردپای آب سفید مربوط به لوبیا (۴۲۳۱/۸۳ m^3/ton) و کم‌ترین آن مربوط به چغندرقند (۱۰۳۱/۲۷ m^3/ton) بود. درمجموع بیش‌ترین ردپای آب (۴۹۸۶/۲۱ m^3/ton) از بین محصولات موردبررسی مربوط به لوبیا است. بالاتر بودن ردپای آب در لوبیا به‌علت بالاتر بودن ردپای آب سفید و آبی در این محصول می‌باشد. سایر پژوهش‌گران نیز در پژوهش خود بالابودن ردپای آب را به‌علت بالاتربودن ردپای آب سفید بیان کردند (Ababai and Etedali Ramazani, 2014). یکی از دلایل افزایش ردپای آب سفید، پایین بودن راندمان آبیاری و تلفات زیاد آب در این مناطق و مدیریت ضعیف آبیاری می‌باشد. چغندرقند با ۱۰۹۱/۵۸ m^3/ton کم‌ترین ردپای آب را دارا بود. نکته قابل‌توجه در بررسی بین هر دو جزء ردپای آب آبی و سبز برای همه محصولات، بالا بودن مقدار ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز می‌باشد که این نشان‌دهنده کم‌بودن آهنگ بارش‌ها و حاکی از پایداری اقلیم خشک و نیمه‌خشک در کشور از نظر کشاورزی می‌باشد. برای اکثر محصولات ردپای آب خاکستری کم‌تر از ردپای آب آبی بود که نشان‌دهنده مصرف کم کودهای شیمیایی در تولید این محصولات است اما در محصولات طالبی، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، سورگوم و ذرت علوفه‌ای ردپای خاکستری بیش‌تر از ردپای آبی است. کشاورزان منطقه برای افزایش بهره‌وری محصول و همچنین کاهش اثرات اقلیمی بر عملکرد محصول، از کودهای شیمیایی بیش‌تری در کاشت این محصولات استفاده کردند (جدول ۱).

لذا ردپای آب خاکستری این محصولات نسبت به سایر محصولات منطقه افزایش داشت. Alighalnia et al. (2019) نیز در پژوهش خود راجع به بررسی ردپای آب برای گیاه گندم در اقلیم‌های مختلف ایران به نتایج مشابه دست یافتند. در بین کل محصولات موردمطالعه گیاهان علوفه‌ای کم‌ترین ردپای آب را داشتند.

[1] Virtual Water Content
[2] Crop Water Productivity

جدول ۱- اطلاعات محصولات موردمطالعه و باران مؤثر

Table 1 Information of the studied products and effective rain

Product Type	Product	Evapotranspiration (m^3/ha)	Water requirement (m^3/ha)	Effective rain (mm)	nitrogen fertilizer (Kg/ha)	Yield (Kg/ha)
Oil Seeds	Sesame	6701	6741	40	100	1800
	Sunflower	6030	6084	54	105	2600
	Canola	5960	6120	160	200	2650
	Safflower	6644	6754	110	90	1850
	Cotton	7802	7860	58	225	3200
Cereals	Rice	9140	9200	60	130	5500
	Millet	6453	6500	47	95	3800
	Wheat	6748	6850	102	200	3800
	Barley	5868	5970	102	176	3200
Forage Plants	Beetroot	6342	6500	158	250	54000
	Fodder Corn	10424	10443	19	350	58000
	Sorghum	8180	8200	20	310	55000
	Clover	10538	10560	22	80	14000
	Alfalfa	12388	12430	42	85	12000
	Eggplant	7375	7460	85	100	18500
Vegetables	Onion	7571	7651	80	110	48200
	Cucumber	8007	8017	10	150	21000
	Cucurbit	8638	8650	12	110	19500
	Tomato	6812	6835	23	330	31600
	Potato	7435	7580	145	450	35700
	Sugar Beet	4266	4426	160	250	34000
Summer Crops	Cantaloupe	8084	8100	16	250	31000
	Melon	8273	8291	18	190	33000
	Watermelon	8073	8091	18	200	35000
Frijol	Beans	10197	10232	35	80	2800

با توجه به جدول (۲) در اصفهان، بین محصولات دانه‌های روغنی بیش‌ترین ردپای آب با مقدار ۴۶۳۵/۸ m^3/ton مربوط به گیاه پنبه بود. گلرنگ، کلزا، آفتابگردان و کنجد به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بعد از پنبه گلرنگ با ۴۶۰۹/۸۲ m^3/ton بیش‌ترین ردپای آب را داشت درحالی‌که از نظر مقدار عملکرد با کنجد که کم‌ترین ردپای آب را بین محصولات این گروه دارا بود، تفاوت چندانی (۵۰kg) نداشت. در صورتی‌که ردپای آب در کنجد ۱۵۱۷/۷۸ m^3/ton کم‌تر از گلرنگ بود. در بین غلات برنج با ۲۸۵۸/۹۳ m^3/ton بیش‌ترین و گندم با ۱۸۱۵/۵۲ m^3/ton کم‌ترین ردپای آب را دارا بودند. بعد از برنج، ارزن با ۲۴۹۰/۴ m^3/ton بیش‌ترین ردپای آب در این گروه را داشت. از نظر عملکرد تفاوتی بین تولید گندم با کم‌ترین ردپای آب در این گروه و ارزن وجود نداشت درحالی‌که ردپای آب ارزن ۶۷۴/۸۸ m^3/ton از گندم بیش‌تر است. در بین گیاهان علوفه‌ای چغندر علوفه‌ای با ۱۲۷۳/۷۲ m^3/ton کم‌ترین و یونجه با ۲۴۶۲/۸۲ m^3/ton بیش‌ترین ردپای آب را دارا بودند. درحالی‌که یونجه با عملکرد ۱۲۰۰۰ ton/ha کم‌ترین عملکرد را دارد. در گروه سبزیجات بادمجان با ۳۹۲۸/۸۹ m^3/ton بیش‌ترین و چغندرقند با ۱۰۹۱/۵۸ m^3/ton کم‌ترین ردپای آب را داشتند. در این گروه پیاز با ۱۲۷۹/۴۹ m^3/ton بعد از چغندرقند کم‌ترین مقدار ردپای آب را داشت درحالی‌که از نظر تولید محصول، بالاترین عملکرد (۴۸۲۰۰kg) را در بین محصولات این گروه دارا بود. در این گروه سیب‌زمینی و چغندرقند از گیاهان کشت پاییز هستند اما ردپای آب در سیب‌زمینی ۴۷/۸۹٪ بیش‌تر از ردپای آب چغندرقند می‌باشد. سیب‌زمینی به‌واسطه سیستم ریشه‌ای نسبتاً کم‌عمق، کم تراکم و ضعیف آن به‌عنوان یک گونه نسبتاً حساس به خشکی شناخته می‌شود. سهم آب خاکستری برای سیب‌زمینی ۵۸/۹٪ بیشتر از ردپای آب خاکستری چغندرقند می‌باشد که نشان‌دهنده ایجاد آلودگی بیشتر توسط این محصول می‌باشد. تمایل زیاد کشاورزان به استفاده از کود جهت رشد و محصول بیش‌تر عامل بالا رفتن ردپای آب خاکستری می‌باشد. ردپای آب سفید نیز در سیب‌زمینی ۴۸/۵۲٪ بیش‌تر از

چغندرقند می‌باشد. علت پایین بودن ردپای آب سفید در چغندرقند نسبت به سیب‌زمینی مقاوم بودن آن نسبت به تنش آبی می‌باشد. به‌دلیل این‌که سیب‌زمینی حساس به کم‌آبی می‌باشد، کشاورزان آب بیشتری برای آبیاری آن به‌کار می‌برند. این امر باعث افزایش تلفات، کاهش راندمان آبیاری و بالارفتن ردپای آب سفید می‌شود. Zahedi et al. (2015) در پژوهش خود در اصفهان بیان داشتند کل انرژی مصرفی (میزان انرژی موجود در کلیه نهاده‌های ورودی و خروجی) در مزارع چغندرقند نسبت به سیب‌زمینی پایین‌تر بود، این موضوع سبب شد که فشردگی انرژی (نسبت انرژی وردی به هزینه‌های کل تولید) در مزارع سیب‌زمینی بالاتر از چغندرقند باشد که حاکی از مصرف نهاده‌های بیش‌تر از جمله مصرف آب در تولید محصول سیب‌زمینی است. در بین گروه صیفی‌جات هندوانه با ۶۳۲۶۲۱ m^3/ton بیش‌ترین و طالبی با ۲۳۴۸/۵ m^3/ton کم‌ترین ردپای آب را داشت.

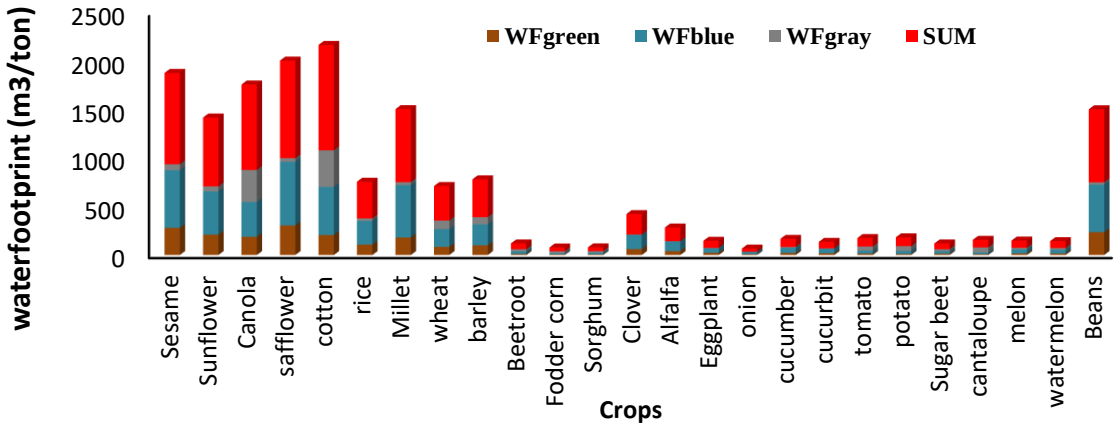
جدول ۲- مقادیر ردپای (m^3/ton) آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و آب سفید محصولات موردمطالعه

Table 2 Green water, blue water, gray water, and white water footprints (m^3/ton) of studied crops

Crop type	Crops	Green Water Footprint	Blue Water Footprint	Gray Water Footprint	White Water Footprint	Total Water Footprint
Oil Seeds	Sesame	281.57	596.07	63.82	2150.58	3092.04
	Sunflower	210.58	448.11	53.24	2953.9	3665.83
	Canola	188.7	360.36	332.9	3392.92	4274.88
	Safflower	306.71	659.76	38.18	3605.17	4609.82
	Cotton	207.87	497.84	379.69	3550.4	4635.8
Cereals	Rice	108.58	244.03	27.1	2479.22	2858.93
	Millet	181.96	542.68	30.72	1735.04	2490.4
	Wheat	85.03	183.55	88.95	1457.99	1815.52
	Barley	100.27	218.02	74.3	1821.67	2214.26
Forage Plants	Beetroot	10.44	27.23	22.46	1212.6	1272.73
	Fodder Corn	6.27	11.57	21.13	1681.53	1720.5
	Sorghum	7.15	15.91	16.85	1278.75	1318.66
	Clover	61.65	1488.26	2.14	1708.06	1920.11
	Alfalfa	40.49	101.22	1.07	2320.04	2462.82
Vegetables	Eggplant	22.21	47.98	3.62	3855.08	3928.89
	Onion	8.05	24.4	1.09	1245.95	1279.49
	Cucumber	21.18	52.35	10.42	3191.65	3275.6
	Cucurbit	17.43	47.69	3.24	2988.95	3057.31
	Tomato	13.96	31.39	42.9	2002.35	2090.6
	Potato	10.84	31.31	49.47	2003.42	2095.04
Summer Crops	Sugar Beet	12.41	27.57	20.33	1031.27	1091.58
	Cantaloupe	7.5	19.05	52.48	2269.47	2348.5
	Melon	16.67	40.96	17.4	2451.23	2526.26
	Watermelon	15.18	38.34	18.71	2549.4	2621.63
Frijol	Beans	236.74	491.57	26.07	4231.83	4986.21

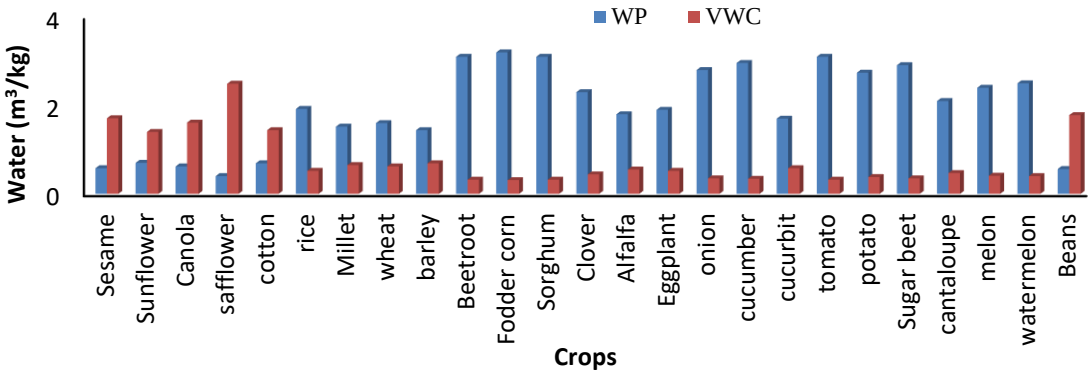
ردپای کل آب بر اجزای مصرف آب شامل آب سبز، آبی و خاکستری دلالت دارد که شامل فرایند مصرف آب از زمان کاشت تا برداشت است. علاوه بر آن کل مصرف آب یک محصول شامل آب آبی و آب سبز است که هر یک اثرات متفاوتی بر آب در دسترس دارند. مصرف آب سبز در تولید محصولات کشاورزی از آب باران است که بر روی محیط‌زیست اثر سویی ندارد و در مقابل آب آبی از آب‌های سطحی و زیرزمینی است که اثرات سو آن بر محیط‌زیست مشهود است (Rodriguez et al. 2015). لذا ردپای کل به مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب در تولیدات کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن دارد که کاربرد آن می‌تواند ارزیابی جامع‌تری از بهره‌وری آب زراعی و توزیع زمانی و مکانی آن داشته باشد (Ridoutt and Pfister 2010). بنابراین در ادامه برای مقایسه محصولات و این‌که کشت کدام محصول در اقلیم اصفهان بهتر است، نمودار ردپای آب برای محصولات موردمطالعه رسم شد (شکل ۱). به‌دلیل این‌که ردپای آب سفید نشان‌دهنده حجم آب مصرفی داده شده به مزرعه توسط کشاورز می‌باشد، این جزء در نمودار آورده نشده است. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود از بین محصولات موردمطالعه، گیاهان علوفه‌ای کم‌ترین ردپای آب را داشتند که علت آن مقاومت بیش‌تر گیاهان علوفه‌ای به کم‌آبی نسبت به سایر محصولات است. همچنین مشاهده

می‌گردد ردپای آب در محصولات گروه دانه‌های روغنی از سایر محصولات بیش‌تر است. Farzi et al. (2019) در تعیین الگوی کشت محصولات کشاورزی کرمانشاه به نتایج مشابه دست یافتند. ایشان در پژوهش خود بیان داشتند در بین محصولات موردمطالعه در بخش زراعی هندوانه، ذرت علوفه‌ای و چغندرقند کم‌ترین ردپای آب و کنجد، لوبیا و آفتابگردان بیش‌ترین ردپای آب را داشتند و برای کاشت در منطقه کرمانشاه مناسب نمی‌باشند. با توجه به نتایج شکل (۱) براساس محاسبه مجموع ردپای آب، کشت گیاهان گروه دانه‌های روغنی به‌دلیل داشتن بالاترین ردپای آب در اصفهان توصیه نمی‌شود. در گروه غلات گندم، در گروه گیاهان علوفه‌ای ذرت‌علوفه‌ای، در گروه سبزیجات پیاز و در گروه صیفی‌جات هندوانه به دلیل داشتن رد پای آب کمتر برای کشت در منطقه اصفهان توصیه می‌شود. به‌منظور تأمین نیاز منطقه به سایر محصولات کشاورزی می‌توان محصولات موردنیاز را از استان‌های هم‌جوار تهیه کرد.



شکل ۱- مقایسه رد پای آب محصولات موردمطالعه

Fig. 1 Comparison of the water footprint of studied products



شکل ۲- مقایسه آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب محصولات

Fig. 2 Comparison of virtual water and water use productivity

۳-۲- آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب

مقادیر آب مجازی و بهره‌وری برای محصولات موردمطالعه محاسبه و در شکل (۲) نشان داده شده است. اگر حجم آب مجازی محاسبه‌شده برای هر محصول بیش‌تر از ۱ m^3/kg باشد، آن محصول در رده محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کم‌تر از ۱ m^3/kg باشد، جزء محصولات کم‌مصرف می‌باشد (۱). همان‌طور که از شکل (۲) مشاهده می‌گردد مقدار آب مجازی تمامی محصولات موردمطالعه به‌غیراز محصولات گروه دانه‌های روغنی و لوبیا کم‌تر از ۱ است که نشان می‌دهد این محصولات جزء محصولات کم‌مصرف می‌باشند. نتایج پژوهش با نتایج Rouhani et al. (2008) مطابقت دارد. این پژوهش‌گران در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که سبزی‌ها، میوه‌ها و محصولات صنعتی در گروه محصولات کم‌مصرف و حبوبات، غلات، دانه‌های روغنی، خشکبار و خرما در گروه محصولات پرمصرف قرار دارند.

بهره‌وری مصرف آب با ردپای آب و آب مجازی رابطه عکس دارد و افزایش آن‌ها موجب کاهش بهره‌وری مصرف آب می‌شود (Bazrafshan and Garkani Nezhad Mashizi

2019). از دیدگاه بهره‌وری آب کشاورزی، هرچه میزان تولید محصول به‌ازای آب مصرفی بیش‌تر باشد، بهره‌وری بالاتر است. آب مجازی محصولات کشاورزی متأثر از نیاز آبی و عملکرد محصول می‌باشد که به شرایط اقلیمی محل کشت بستگی دارد. مقدار بهره‌وری محصولات موردمطالعه از ۰/۴ تا ۳/۴ ton/m^3 برای محصولات مختلف متغیر بود. با توجه به این‌که رابطه معکوسی بین بهره‌وری مصرف آب و آب مجازی وجود دارد، محصولاتی که دارای مقادیر بالای آب مجازی هستند، بهره‌وری مصرف آب پایینی دارند. ذرت علوفه‌ای با کم‌ترین مقدار آب مجازی ($۰/۳۱m^3/kg.ha$) بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب ($۳/۲ kg/m^3.ha$) را دارا بود. کم‌ترین مقدار بهره‌وری مصرف آب ($۰/۴۹ kg/m^3.ha$) و بیش‌ترین آب مجازی ($۲/۴۹ m^3/kg.ha$) نیز متعلق به گلرنگ بود. بیش‌ترین مقدار آب مجازی مصرف‌شده برای گیاهان مورد-مطالعه مربوط به گیاهان گروه دانه‌های روغنی و لوبیا بود. گیاهان علوفه‌ای، صیفی‌جات و سبزیجات به‌ترتیب بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب و کم‌ترین ردپای آب را داشتند. ازاین‌رو لازم است جهت کاهش ردپای آب محصولات کشاورزی و افزایش بهره‌وری مصرف آب از اقداماتی نظیر کم‌آبیاری، مالچ‌پاشی و استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری بهره گرفت (Chukalla et al. 2015).

۴-نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی ردپای آب و آب مجازی محصولات کشاورزی شهرستان اصفهان پرداخته شد تا براساس آن محصولات مناسب برای کشت در منطقه تعیین گردد. نتایج نشان داد:

۱- سهم ردپای آب آبی برای تمام محصولات موردمطالعه نسبت به ردپای آب سبز بیش‌تر بود که نشان‌دهنده وابستگی محصولات به آب آبیاری می‌باشد.

۲- گیاهان دانه‌های روغنی و حبوبات دارای بیش‌ترین مقادیر ردپای آب بودند. در مقابل گیاهان علوفه‌ای کم‌ترین ردپای آب و بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب را داشتند.

۳- برای تمام محصولات موردمطالعه ردپای آب سفید بالا بود که نشان می‌دهد مدیریت و راندمان آبیاری در منطقه پایین است.

به طور کلی در گروه غلات گندم، در گروه گیاهان علوفه‌ای ذرت‌علوفه‌ای، در گروه سبزیجات پیاز و در گروه صیفی‌جات هندوانه به‌ترتیب با ۱۸۱۵/۵۲، ۱۷۲۰/۵، ۱۲۷۹/۴۹ و m^3/ha ۲۶۲۱/۶۳ به‌دلیل داشتن ردپای آب کم‌تر برای کشت در منطقه اصفهان توصیه می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود بهره‌وری اقتصادی محصولات موردمطالعه و صادرات و واردات آب مجازی به منطقه نیز موردبررسی و پژوهش قرار گیرد تا صحت نتایج این پژوهش مورد ارزیابی قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل کد پژوهانه IR-UOZ-GR-1837 انجام شده است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های اخذشده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Ababai, B. and Etedali Ramazani, H. (2014). Estimation of water footprint components in wheat production in Iran. Water Soil, 29(6), 1458-1468 [In Persian].

Alighalnia, T., Sheibani, H., Mohammadi, A. and Hesam, M. (2019). Comparison and evaluation of water, green and gray water footprints in different climates of Iran. Iran. Water Resour. Res., 15(3), 235-245 [In Persian]

Aligholina, T., Rezaei, H., Bahmanesh, J. and Montasseri, J. (2017). Study of water footprint index for dominant crops in the Lake Urmia Catchment and its relationship with irrigation management. Soil Sci., 27(4), 37-48 [In Persian]

Bazrafshan, A., and Garkani Nezhad Mashizi, Z. (2019). Evaluation of water consumption efficiency and water footprint of saffron product in Iran. Saffron Agri. Technol., 7(4), 505-519 [In Persian].

Chukalla, A. D., Krol, M. S. and Hoekstra, A. Y. (2015). Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and

mulching. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 4877-4891.

Deng, G., Ma, Y. and Li, X. (2016). Regional water footprint evaluation and trend analysis of China - based on interregional input–output model. J. Clean. Prod., 112, 4682-4674.

Farzi, S., Golabi, M. R. and Radmanesh, F. (2019). Determining the optimal cultivation pattern based on water footprint index (Case study: Kermanshah province). Irrig. Drain. Iran, 39(13), 588-602 [In Persian].

Fu, Y., Zhao, J., Wang, C., Peng, W., Wang, Q. and Zhang, C. (2018). The virtual water flow of crops between intraregional and interregional in mainland China. Agri. Water Manage., 208, 204-213.

Hess, T. M., Lennard, A. T. and Daccache, A. (2015). Comparing local and global water scarcity information in determining the water scarcity footprint of potato cultivation in Great Britain. J. Clean. Prod., 87, 666-674.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. and Mekonnen, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: setting the global standard. Earthscan, London, UK, 203p.

Su, M. H., Huang, C. H., Li, W. Y., Tso, C. T. and Lur, H. S. (2015). Water footprint analysis of bioethanol energy crops in Taiwan. J. Clean. Prod., 88, 132-138.

Khalili, T., Mahdisarai, T., Babazadeh, H. and Ramezani Ettedali, H. (2020). Water resources management of Qom Province by using the concept of water Footprint. Ecohydrol., 6(4), 1109-1119 [In Persian].

Lu, Y., Zhang, X., Chen, S., Shao, L. and Sun, H. (2016). Changes in water use efficiency and water footprint in grain production over the past 35 years: a case study in the North China Plain. J. Clean. Prod., 116, 71-79.

Mirzavand, M. and Imani, R. (2016). Determining the optimal cropping pattern based on virtual water concept and economic profitability for water crisis prevention: A case study of Kashan plain, Isfahan province, Iran. Int. Bull. Water Resour. Develop., 3, 51-59 [In Persian].

Mohammadi, A., Yousefi, H., Noorullahi, Y. and Sadati-Nejad, S. J. (2017). Selecting the best province in potato production through the water footprint index. Ecohydrol., 2(4), 523-532.

Piri, H., Mobaraki, M. (a). (2021). Investigation of water footprint and water use efficiency of potato, sugar beet, tomato and fodder corn products in different climates of Iran. Water Soil Protect., 27(6), 103-120 [In Persian].

Piri, H., Mobaraki, M. (b). (2021). Temporal and spatial distribution of water footprint and water use efficiency in different regions of Iran. Iran. J. Irrig. Drain., 15(1), 164-176 [In Persian].

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

Rodriguez, C. I., de Galarreta, V. R. and Kruse E. E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the Pampean region of Argentina. Clean. Prod., 90, 91-96.

Rouhani, N., Yang, H., Amin Sichani, S., Afyouni, M., Mousavi, F. and Kamgar Haghighi, A. (2008). Evaluating the exchange of food and water based on available water resources in Iran. J. Agri. Sci. Technol., 12(46), 417-432 [In Persian].

Zahedi, M., Eshghizadeh, H. R. and Mandani, F. (2015). Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. Prod. Process. Agri. Horticul. Product., 5(17), 181-189 [In Persian].

How to cite this paper:
Piri, H. and Mobarki, M. (2022). Determining cultivation pattern of Isfahan agricultural crops using water footprint and virtual water. Environ. Water Eng., 8(2), 507-518. DOI: 10.22034/JEWE.2022.307605.1637