Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

Investigating virtual water content and agricultural water productivity indicators in crops (Case study: Dehloran County, Ilam Province)

Fatemeh Basereh[1], Hedieh Ahmadpari[2]*, Mohamdreza Sharifi[3]

[1] Former M.Sc. Student, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[2] Former M.Sc. Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
[3] Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Extended Abstract

Introduction

Due to the limited water resources in Iran, optimal utilization of water resources is necessary to achieve food security and sustainable development of the agricultural sector. One of the suitable solutions for the optimal use of water resources is to estimate the virtual water content and the physical and economic water productivity of agricultural products. Virtual water is the amount of water that an agricultural product consumes during the production process to reach the stage of evolution, and its amount is equivalent to the total amount of water consumed in the different stages of the production chain from the beginning to the end. The amount of virtual water required to produce a product differs according to climatic, cultural, management, and planning conditions in each country and even region. This issue makes it necessary to study the estimation of virtual water content in each region. In recent years, many types of research have been conducted to estimate the virtual water content and the physical and economic productivity of water in crops. Dehloran County is the main hub of agricultural production in Ilam Province. So far, no study has been conducted in the field of estimating the virtual water content of crops in this county. This study was therefore conducted to estimate virtual water content and physical and economic water productivity of crops (i.e., wheat, barley, maize, rapeseed, tomato, cucumber, carrot, melon, watermelon, and sesame) of Dehloran County.

Materials and Methods

The Dehloran County, located in the south of Ilam Province, with 6229 km^2 constitutes about one-third of the total area of Ilam Province. This county has 103000 ha of suitable agricultural land, of which 67000 ha are irrigated and 36000 ha are rainfed, and it is considered the agricultural hub of Ilam Province. Most of the irrigated area in the study area is devoted to cultivating crops such as wheat, barley, maize, rapeseed, tomato, cucumber, watermelon, melon, sesame, and carrot. This study investigated the virtual water content and the physical and economic water productivity of these crops in the agricultural year 2021-2022. The virtual water content of crops was estimated from the sum of green, blue, gray, and white virtual water. This study used the FAO Penman-Monteith and USDA methods in CROPWAT 8.0 software to estimate reference crop evapotranspiration and effective rainfall. Crop yields, nitrogen fertilizer consumption rates, production costs, and sales prices of crops were obtained from the Agricultural Jihad of Dehloran County. To check the validity of the mentioned data, an interview was conducted with the farmers of Dehloran County. The results of the interview confirmed the validity of the data. According to the data obtained from the water resources affairs of Dehloran County, the irrigation efficiency is equal to 85%, which was used to estimate the gross irrigation requirement. Crop per drop (CPD), benefit per drop (BPD), net benefit per drop (NBPD), and unit virtual water value (UWV) indicators were used to estimate the physical and economic water productivity of crops.

Results and Discussion

The results showed that the virtual water content of wheat, barley, rapeseed, maize, watermelon, melon, sesame, tomato, cucumber, and carrot crops is equal to 1.82, 1.64, 3.90, 1.49, 0.31, 0.29, 6.99, 0.49, 0.30, and 0.35 $m^3\ kg^{-1}$, respectively. The amount of physical water productivity (CPD index) of wheat, barley, rapeseed, maize, watermelon, melon, sesame, tomato, cucumber, and carrot products is equal to 1.53, 2.04, 0.63, 0.81, 4.17, 5.45, 0.22, 2.59, 5.45, and 3.94 kg m^{-3}, respectively. The amount of BPD index of wheat, barley, rapeseed, maize, watermelon, melon, sesame, tomato, cucumber, and carrot crops is equal to 0.17, 0.19, 0.14, 0.09, 0.13, 0.16, 0.10, 0.09, 0.19, and 0.12 million rials m^{-3}, respectively. The amount of NBPD index of wheat, barley, rapeseed, maize, watermelon, melon, sesame, tomato, cucumber, and carrot crops is equal to 0.06, 0.09, 0.04, 0.06, 0.07, 0.05, 0.10,

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

0.04, 0.11, and 0.07 million rials m^{-3}, respectively. The amount of UWV index of wheat, barley, rapeseed, maize, watermelon, melon, sesame, tomato, cucumber, and carrot crops is equal to 0.06, 0.06, 0.06, 0.08, 0.10, 0.10, 0.06, 0.07, 0.12, and 0.09 rials m^{-3}, respectively. According to the CPD index, cucumber, melon, watermelon, carrot, and tomato crops are respectively placed in the first to fourth priorities for cultivation. According to the BPD index, cucumber, barley, wheat, melon, and rapeseed crops are placed in the first to fourth priorities for cultivation. According to the NBPD index, cucumber, sesame, barley, watermelon, and carrot crops are placed in the first to fourth priorities for cultivation. According to the UWV index, cucumber, melon, watermelon, carrot, and maize crops are placed in the first to fourth priorities for cultivation.

Conclusion

Examining the amount of CPD, BPD, NBPD, and UWV indicators of the studied crops shows that cucumber has the highest physical and economic water productivity compared to other studied crops and its cultivation in Dehloran County reduces water consumption and implies high economic benefits for farmers. Melon has the lowest virtual water content and the highest physical water productivity compared to other studied crops. However, the high cost of melon production has caused this crop to not have high water economic productivity. Therefore, it is necessary to adopt supportive policies from the government to reduce production costs and increase the relative advantage of this crop. Sesame has the lowest yield and the highest virtual water content compared to other studied crops. Sesame is placed in the last priority of cultivation based on the CPD index. However, the low cost of production and high income of sesame has caused this crop to be the second priority for cultivation based on the NBPD index. The high NBPD index of sesame necessitates the need to focus on indicators that are effective in increasing the yield of sesame. Rapeseed has the second rank in terms of low yield and high virtual water content among the studied crops. Rapeseed has been placed in the eighth priority for cultivation based on the CPD index. In addition, according to the NBPD index, rapeseed has been placed in the last priority of cultivation compared to other studied crops. Therefore, it is recommended to remove this crop from the cultivation pattern of Dehloran County and replace it by planting crops with high economic productivity and low water requirements.

Keywords: Dehloran County, Economic productivity, Physical productivity, Virtual water content

Article Type: Research Article

Acknowledgment

We are grateful to the Department of Agricultural Jihad of Dehlran and Regional Water Affairs.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that there are no conflicts of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Data availability statement

All information and results are presented in the text of the article. The raw data file will also be available through correspondence with the author.

Authors' contribution

Fatemeh Basereh: Conceptualization, performing software/statistical analysis, writing the first version of the article; **Hedieh Ahmadpari:** Conceptualization, guidance, editing and revision of the article, statistical analysis, control of results; **Mohamdreza Sharifi:** Conceptualization, consultation, revision of the article, statistical analysis.

*Corresponding Author, E-mail: fbasere1991@gmail.com

Citation: Basereh, F., Ahmadpari, H., & Sharifi, M. (2024). Investigating virtual water content and agricultural water productivity indicators in crops (Case study: Dehloran County, Ilam Province). *Water and Soil Management and Modelling*, *4*(3), 1-18.
DOI: 10.22098/mmws.2023.13145.1309

Received: 15 June 2023, Received in revised form: 01 July 2023, Accepted: 05 July 2023, Published online: 05 July 2023
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 3, pp. 1-18

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی (مطالعهٔ موردی: شهرستان دهلران استان ایلام)

فاطمه باسره[۱*]، هدیه احمدپری[۲]، محمدرضا شریفی[۳]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکدهٔ علوم آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۲] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۳] استاد، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور، بهره‌برداری بهینه از منابع آب جهت دست‌یابی به امنیت غذایی و توسعهٔ پایدار بخش کشاورزی ضروری است. یکی از تمهیدات لازم برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب، برآورد محتوای آب مجازی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات کشاورزی است. این پژوهش به‌منظور برآورد محتوای آب مجازی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی (گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کلزا، گوجه‌فرنگی، خیار، هویج، خربزه، هندوانه و کنجد) شهرستان دهلران انجام شد. محتوای آب مجازی محصولات زراعی از مجموع آب مجازی سبز، آبی، خاکستری و سفید برآورد شد. شاخص‌های عملکرد به‌ازای واحد حجم آب آبیاری (CPD)، ارزش ناخالص به‌ازای واحد حجم آبیاری (BPD)، ارزش خالص به‌ازای واحد حجم آبیاری (NBPD) و ارزش هر واحد آب مجازی (UWV) برای محاسبهٔ میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات مذکور در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که محتوای آب مجازی برای محصول کنجد با ۶/۹۹ مترمکعب بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار و برای محصول خربزه با ۰/۲۹ مترمکعب بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار دارد. میزان شاخص CPD برای محصولات خیار و خربزه با ۵/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب بیش‌ترین مقدار و برای محصول کنجد با ۰/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب کم‌ترین مقدار دارد. میزان شاخص BPD با ۰/۱۹ میلیون ریال بر مترمکعب برای محصولات خیار و جو بیش‌ترین مقدار و برای محصولات گوجه‌فرنگی و ذرت‌دانه‌ای با ۰/۰۹ میلیون ریال بر مترمکعب کم‌ترین مقدار دارد. میزان شاخص NBPD به‌ترتیب برای خیار و کنجد با مقادیر ۰/۱۱ و ۰/۱۰ میلیون ریال بر مترمکعب حداکثر مقدار و برای گوجه‌فرنگی و کلزا با ۰/۰۴ میلیون ریال بر مترمکعب حداقل مقدار دارد. هم‌چنین، میزان شاخص UWV برای محصول خیار با ۰/۱۲ میلیون ریال بر مترمکعب حداکثر مقدار و برای محصولات گندم، جو، کلزا و کنجد با ۰/۰۶ میلیون ریال بر مترمکعب حداقل مقدار دارد. بنابراین، خیار دارای بیش‌ترین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب است و کشت آن باعث بهره‌برداری بهینه از منابع آب می‌شود. کلزا کم‌ترین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب را دارد و بهتر است از الگوی کشت شهرستان دهلران حذف شود و کاشت محصولاتی با حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب جایگزین آن شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری اقتصادی، شهرستان دهلران، محتوای آب مجازی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fbasere1991@gmail.com

استناد: باسره، فاطمه، احمدپری، هدیه، و شریفی، محمدرضا (۱۴۰۳). بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی (مطالعهٔ موردی: شهرستان دهلران استان ایلام). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۱-۱۸.
DOI: 10.22098/mmws.2023.13145.1309

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۳، صفحه ۱ تا ۱۸
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

نیاز غذایی بشر با توجه به رشد روزافزون جمعیت و از طرفی سهم بخش کشاورزی در تولید غذا و مصرف آب، لزوم توجه به مدیریت و افزایش بهره‌وری آب را دوچندان می‌کند (Babaee et al., 2019). اقتصاددانان نیز برای حل مشکل تولید غذا از منابع آب محدود و جلوگیری از واردات بی‌رویهٔ محصولات کشاورزی، افزایش بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی آب را توصیه می‌کنند (Asadi et al., 2022). بنابراین، موضوع ارتقای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات کشاورزی از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به‌خصوص کشورهای کم‌آب نظیر ایران است. لذا، پرداختن به موضوع برآورد و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در ایران به علت محدودیت منابع آب، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. علاوه‌بر اهمیت بررسی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات کشاورزی، استفاده از مفهوم آب مجازی نیز یکی از موضوعات مهم در مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود که به نوعی به بهره‌وری آب محصول بستگی دارد (Mohamadi et al., 2020). آب مجازی مقدار آبی است که یک کالا و یا یک فرآوردهٔ کشاورزی طی فرآیند تولید مصرف می‌کند تا به مرحلهٔ تکامل برسد و مقدار آن معادل جمع کل آب مصرفی در مراحل مختلف زنجیرهٔ تولید از لحظهٔ شروع تا پایان است (Noori et al., 2020). مقدار آب مجازی مورد نیاز برای تولید یک محصول با توجه به شرایط اقلیمی، فرهنگی، مدیریت و برنامه‌ریزی در هر منطقه و کشور متفاوت است. این مسئله موجب می‌شود که مطالعات برآورد مقدار آب مجازی در هر منطقه امری ضروری باشد (Baghbanyan et al., 2020).

طی سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی با هدف برآورد محتوای آب مجازی[1] و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات زراعی انجام شده است. به‌عنوان مثال Mirzaei et al. (2020) به بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در شهرستان دهلران پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که حداکثر میزان بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کنجد، کلزا و هندوانه به‌ترتیب برابر ۰/۷۸، ۲/۴۰، ۰/۷۶، ۰/۲۶، ۰/۴۲ و ۵/۵ کیلوگرم در مترمکعب و حداقل میزان بهره‌وری فیزیکی آب این محصولات به‌ترتیب برابر ۰/۰۵، ۱/۶۳، ۰/۶۵، ۰/۲۳، ۰/۳۰ و ۲/۸۵ کیلوگرم در مترمکعب است. هم‌چنین، حداکثر میزان بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کنجد، کلزا و هندوانه به‌ترتیب برابر ۱۰۷۳۳/۶، ۴۰۹۴۱/۶، ۸۱۷۳/۰۷، ۴۵۷۱۴/۲، ۱۲۰۱۰/۸ و ۵۵۰۰۰ ریال بر مترمکعب و حداقل میزان بهره‌وری اقتصادی آب این محصولات به‌ترتیب برابر ۷۳۲/۷، ۲۷۷۹۷/۴، ۵۳۹۶/۶، ۴۰۹۸۳/۶، ۸۶۷۲/۸ و ۲۸۷۵۱/۴ ریال بر مترمکعب است. در پژوهشی، Baghbanyan et al. (2020) به بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری در کشت خیار در شهرستان سقز پرداختند. نتایج نشان داده که محتوای آب مجازی محصول خیار برابر ۰/۳۶ مترمکعب بر کیلوگرم و میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری (شاخص CPD) برای این محصول برابر ۲/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. هم‌چنین، میزان بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برآورد شده با شاخص‌های BPD و NBPD برای محصول خیار به‌ترتیب برابر ۲۰۸۲۳ و ۱۰۰۰۰ ریال بر مترمکعب است. در پژوهش دیگری، Molareza Qassab et al. (2020) میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری در کشت هویج را در شهرستان دزفول با شاخص‌های CPD و BPD بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری محصول هویج به‌ترتیب برابر ۱۵/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۴۱/۷ هزارریال بر مترمکعب است.

از سایر پژوهش‌ها، El-Marsafawy and Mohamed (2021) به بررسی بهره‌وری اقتصادی آب محصولات گندم، جو، گوجه‌فرنگی، خیار و هویج در کشت زمستانه و محصولات ذرت دانه‌ای، هندوانه، خربزه، گوجه‌فرنگی و خیار در کشت تابستانه کشور مصر پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بهره‌وری اقتصادی آب کشت زمستانهٔ محصولات گندم، جو، گوجه‌فرنگی، خیار و هویج به‌ترتیب برابر ۱/۳۲، ۱/۸۶، ۱۶/۹۹، ۶/۳۱ و ۱۰/۶۰ پوند مصر در مترمکعب است و میزان بهره‌وری اقتصادی آب کشت تابستانه محصولات ذرت دانه‌ای، هندوانه، خربزه، گوجه‌فرنگی و خیار به‌ترتیب برابر ۰/۷۲، ۸/۶۳، ۱۱/۸۸، ۱۰/۶۲ و ۴/۵۳ پوند مصر در مترمکعب است. در ادامه، Mehla et al. (2022) به بررسی محتوای آب مجازی محصولات گندم، جو، کلزا و کنجد در شرایط دیم و فاریاب در حوضهٔ رودخانهٔ باناس واقع در ایالت راجستان کشور هند پرداختند. نتایج نشان داده که محتوای آب مجازی محصولات گندم، جو، کلزا و کنجد در شرایط دیم به‌ترتیب برابر ۱۵۰۸/۳، ۱۲۴۱/۳، ۲۴۶۵/۴ و ۱۴۲۶۱/۴ مترمکعب بر تن و در شرایط فاریاب به‌ترتیب برابر ۱۸۲۴/۱، ۱۴۹۸/۶، ۳۲۰۰/۶ و ۱۶۲۰۳/۶ مترمکعب بر تن است. در کشور زیمبابوه Mwadzingeni et al. (2022) محتوای آب مجازی آبی محصولات گندم، خیار و ذرت دانه‌ای بررسی و به این نتیجه رسیدند که محتوای آب مجازی آبی محصولات گندم،

[1] Virtual water content

خیار و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب برابر ۱۶۸۳/۷۶، ۲۷۸/۸۵ و ۱۹۱۱/۰۷ مترمکعب بر تن است. در استان سمنان ایران نیز Tavakoli et al. (2022) میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری را در تولید هندوانه و خربزه با شاخص‌های CPD و BPD بررسی کردند. نتایج شاخص CPD نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصول هندوانه و خربزه به‌ترتیب برابر ۱/۵۴۵ و ۱/۴۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب است. بر اساس نتایج شاخص BPD نیز میزان بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری محصول هندوانه و خربزه به‌ترتیب برابر ۵۴۱ و ۱۶۳۲ تومان بر مترمکعب است. در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شهرستان کرج Gholamhoseini et al. (2022) بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری در تولید کنجد تحت شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) تحت تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری به‌ترتیب برابر ۰/۲۷ و ۰/۱۸ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب آبیاری است. میزان بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) تحت تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری به‌ترتیب برابر ۲۱۳۳۶ و ۱۴۲۲۴ ریال به ازای هر مترمکعب آب آبیاری است. همچنین، Akhavan et al. (2023) با بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری در محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی در دشت مغان به این نتیجه رسیدند که محتوای آب مجازی محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب برابر ۲/۰۶، ۲/۳۹، ۲/۵۹ و ۰/۳۴ است. همچنین، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بر اساس شاخص CPD میزان بهره‌وری فیزیکی محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب برابر ۰/۸۴، ۰/۷۸، ۰/۴۷ و ۳/۶۳ کیلوگرم در مترمکعب، بر اساس شاخص BPD میزان سود ناخالص به ازای واحد حجم آب محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب برابر ۴۲۱۱۴، ۴۲۸۲۰، ۲۱۲۱۶ و ۶۱۶۹۱ ریال در مترمکعب و بر اساس شاخص NBPD میزان سود خالص به ازای واحد حجم آب محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب برابر ۴۶۷۲، ۴۵۹۹، ۷۳۴۵ و ۲۳۳۷۰ ریال در مترمکعب است. در نهایت، Salamati et al. (2023) بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری در کشت کلزا در شهرستان بهبهان را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که میزان بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) و میزان بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) در ۲۶ مزرعه به‌ترتیب از ۰/۳۵۱ تا ۱/۵۴۵ و ۶۹۴۰ تا ۳۷۱۹۶۰ ریال بر مترمکعب متغیر است.

شهرستان دهلران قطب اصلی تولیدات کشاورزی در استان ایلام است. تاکنون مطالعه‌ای در زمینهٔ برآورد محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران انجام نشده است. هم‌چنین، در زمینهٔ برآورد بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی شهرستان دهلران فقط مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) انجام شده است. بازهٔ زمانی پژوهش بر میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی مؤثر است (Akhavan et al., 2023). سال زراعی مورد بررسی در مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) در بازهٔ زمانی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ قرار دارد. هم‌چنین، در مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) برای برآورد بهره‌وری اقتصادی آب محصولات زراعی فقط از شاخص BPD و NBPD استفاده شده است. در حالی‌که در این پژوهش سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ جهت بررسی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی شهرستان دهلران مورد مطالعه قرار گرفته است. هم‌چنین، در پژوهش حاضر در راستای تکمیل مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) در زمینهٔ برآورد میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی شهرستان دهلران به بررسی محتوای آب مجازی محصولات موردمطالعه نیز پرداخته شده است و علاوه‌بر شاخص BPD و NBPD از شاخص ارزش هر واحد آب مجازی (UWV) جهت بررسی بیش‌تر بهره‌وری اقتصادی آب محصولات زراعی شهرستان دهلران استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش، شهرستان دهلران واقع در جنوب استان ایلام است. این شهرستان در ′۴۱ °۳۲ عرض شمالی و ′۱۰ °۴۷ طول شرقی گرینویچ واقع شده و ارتفاع مرکز شهرستان ۲۳۰ متر بالاتر از سطح دریا است (Shakari et al., 2019). شهرستان دهلران با ۶۲۲۹ کیلومتر مربع، حدود یک سوم کل مساحت استان ایلام را تشکیل می‌دهد (Jaberi et al., 2019). این شهرستان از شمال با شهرستان آبدانان و از جنوب با کشور عراق به طول ۲۲۰ کیلومتر، از غرب با شهرستان مهران و از شرق با استان خوزستان همسایه است (Jozi et al., 2019). اقلیم شهرستان دهلران بر اساس روش دومارتن خشک و براساس روش آمبرژه حدفاصل بیابانی گرم میانه و شدید قرار دارد (Parvaz et al., 2018). میانگین میزان بارش در شهرستان دهلران ۲۸۲/۵ میلی‌متر در یک سال زراعی است. متوسط حداکثر و حداقل دمای ماهانهٔ شهرستان دهلران به‌ترتیب ۴۶/۶ درجه در مرداد و ۸/۳ درجهٔ در دی است (Parvaz et al., 2018). شهرستان دهلران دارای ۱۰۳ هزار هکتار اراضی زراعی مستعد است که از این میزان، ۶۷ هزار هکتار آبی و ۳۶ هزار هکتار اراضی دیم است و قطب کشاورزی استان ایلام به‌حساب می‌آید

(Ahmadi, 2020). بیش‌ترین سطح زیرکشت آبی در شهرستان دهلران به محصولاتی مانند گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کلزا، گوجه‌فرنگی، خیار، هندوانه، خربزه، کنجد و هویج اختصاص دارد.

۲-۲- محتوای آب مجازی

محتوای آب مجازی محصولات کشاورزی دارای اجزای مختلفی از جمله آب سبز، آبی، خاکستری و سفید است (Bazrafshan et al., 2019a). محتوای آب مجازی سبز میزان آب باران مصرف شده در دورهٔ رشد محصول را اندازه‌گیری می‌کند (Bazrafshan et al., 2019a). محتوای آب مجازی آبی نشان‌دهندهٔ مقدار برداشت از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است و به‌طور سنتی استفاده از سیستم‌های آبیاری به مفهوم آب آبی است (Hekmatnia et al., 2020). محتوای آب مجازی خاکستری به میزان آبی گفته می‌شود که برای پاک‌سازی اثرات منفی کود و سموم در کشاورزی مصرف می‌شود (Akhavan et al., 2023). محتوای آب مجازی سفید به حجم تلفات آب آبیاری اطلاق می‌شود (Bazrafshan et al., 2019b). در ادامه، محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران با استفاده رابطهٔ (۱) برآورد شد.

$$VWC_{Crop} = VWC_{Blue} + VWC_{Green} + VWC_{Gray} + VWC_{White} \quad (۱)$$

در رابطهٔ (۱)، VWC_{Crop} محتوای آب مجازی محصولات زراعی، VWC_{Blue} محتوای آب مجازی آبی، VWC_{Green} محتوای آب مجازی سبز، VWC_{Gray} محتوای آب مجازی خاکستری و VWC_{White} آب مجازی سفید است (Akhavan et al., 2023). واحد محتوای آب مجازی محصولات زراعی و محتوای آب مجازی آبی، سبز، خاکستری و سفید مترمکعب بر کیلوگرم است. محتوای آب مجازی خاکستری در شرایط فاریاب (کشت آبی) از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید.

$$VWC_{Gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Yield_{Crop}} \quad (۲)$$

در رابطهٔ بالا، α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR نرخ مصرف کود (کیلوگرم بر هکتار)، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن (کیلوگرم بر مترمکعب)، C_{Nat} غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده، $Yield_{Crop}$ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار) است (Bazrafshan et al., 2023). غلظت بحرانی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده بر اساس استاندارد سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحدهٔ آمریکا[1] (US-EPA)، ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب) منظور شد و به‌دلیل آن‌که مقدار واقعی غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده مشخص نیست، مقدار آن صفر در نظر گرفته شد. هم‌چنین، درصد تلفات کودهای نیتروژن پنج درصد منظور شد (Chapagain et al., 2006). در این پژوهش از داده‌های عملکرد و نرخ مصرف کود نیتروژن محصولات زراعی مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ برای برآورد محتوای آب مجازی خاکستری استفاده شد. این داده‌ها از جهاد کشاورزی شهرستان دهلران دریافت شد. برای محاسبهٔ محتوای آب مجازی سبز، در این پژوهش از رابطهٔ (۳) استفاده شد.

$$VWC_{Green} = \frac{10 \times P_{eff}}{Yield_{Crop}} \quad (۳)$$

در رابطهٔ فوق، $Yield_{Crop}$ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، P_{eff} میزان بارش مؤثر در طول دورهٔ رشد گیاه (میلی‌متر) و عدد ۱۰ به جهت تبدیل واحد میلی‌متر به مترمکعب در هکتار است (Ababaei and Etedali, 2014). در این پژوهش برای برآورد میزان بارش مؤثر از روش USDA[2] و نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد. CROPWAT نرم‌افزاری است که برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع، بارش مؤثر، نیاز آبی و آبیاری محصولات زراعی و باغی کاربرد دارد و برای برآورد پارامترهای مذکور از داده‌های اقلیمی، خاک و گیاهی استفاده می‌کند (Binesh et al., 2020). در این پژوهش برای برآورد بارندگی مؤثر از دادهٔ بارندگی روزانه و ماهانهٔ ایستگاه دهلران با دورهٔ آماری ۲۸ ساله استفاده شد. برای برآورد میزان آب سبز مصرفی (بارش مؤثر) هر محصول به داده‌های تاریخ کشت و برداشت و طول دورهٔ رشد آن محصول نیاز است، که این داده‌ها از جهاد کشاورزی شهرستان دهلران دریافت شد. در ادامه، محتوای آب مجازی آبی از طریق رابطهٔ (۴) برآورد شد.

$$VWC_{Blue} = \frac{Ir_{Net}}{Yield_{Crop}} = \frac{Ir_{Gross} \times IE}{Yield_{Crop}} \quad (۴)$$

در رابطهٔ (۴)، $Yield_{Crop}$ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Ir_{Net} نیاز آبیاری خالص (مترمکعب در هکتار)، Ir_{Gross} میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) برحسب مترمکعب در هکتار و IE راندمان آبیاری است (Hekmatnia et al., 2020). در این پژوهش نیاز خالص آبیاری از تفاضل نیاز آبی هر محصول و میزان بارش موثر در طول دورهٔ رشد آن محصول به‌دست آمد. نیاز آبی هر محصول نیز با ضرب نمودن ضرایب گیاهی آن محصول در میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع برآورد شد. در این پژوهش برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش فائو-پنمن-مانتیث و نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد. روش فائو-پنمن-مانتیث روشی معتبر است که توسط سازمان

[1] United states environmental protection agency

[2] United states department of agriculture (USDA)

خواربار و کشاورزی ملل متحد[1] (FAO) برای تخمین تبخیر–تعرق مرجع ارائه شده است و نتایج دقیقی را در مقایسه با اندازه‌گیری‌های مستقیم ارائه می‌دهد (Ahmadpari et al., 2019). ضرایب گیاهی محصولات زراعی مورد بررسی از نشریهٔ ۵۶ سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (Allen et al., 1998) و کتاب برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (گیاهان زراعی–جلد اول) استخراج شد (Farshi et al., 1997). در این پژوهش نیاز ناخالص آبیاری از تقسیم نیاز خالص آبیاری بر راندمان آبیاری برآورد شد. راندمان آبیاری در مزارع شهرستان دهلران طبق داده‌های به‌دست آمده از امور منابع آب این شهرستان برابر ۸۵ درصد است.در پژوهشی، Abbasi et al. (2017) با اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در خصوص راندمان آبیاری در استان‌های مختلف، حداقل، متوسط و حداکثر راندمان آبیاری را در استان ایلام به‌ترتیب ۳۹/۸، ۷۵/۴ و ۹۶/۵ درصد تخمین زده‌اند. در این پژوهش با توجه به تجهیز ۶۲ هزار هکتار از اراضی شهرستان دهلران به شبکهٔ آبیاری نوین در طی سال‌های اخیر، میزان راندمان آبیاری برابر ۸۵ درصد مورد توجه قرار گرفت و در محاسبات استفاده شد. برای محاسبهٔ محتوای آب مجازی سفید در این پژوهش از رابطهٔ (۵) استفاده شد.

$$VWC_{white} = \frac{Ir_{Gross} - Ir_{Net}}{Yield_{Crop}} \quad (۵)$$

در رابطهٔ بالا، $Yield_{Crop}$ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Ir_{Net} نیاز آبیاری خالص برحسب مترمکعب در هکتار و Ir_{Gross} میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) برحسب مترمکعب در هکتار است (Akhavan et al., 2023).

۲-۳- بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب

در این پژوهش برای سنجش بهره‌وری فیزیکی آب محصولات زراعی مورد مطالعه از شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب آبیاری[2] (CPD) استفاده شد. این شاخص در واقع نسبت میزان محصول تولید شده، به حجم آب آبیاری است که به‌صورت رابطهٔ (۶) استفاده می‌شود (Asadi et al., 2022). لذا، هرچه این شاخص بیش‌تر باشد معرف بهره‌وری بالا و مصرف مناسب‌تر آب است (Bayat and Babazadeh, 2014).

$$CPD = \frac{Yield_{Crop}}{Ir_{Gross}} \quad (۶)$$

در رابطهٔ (۶)، $Yield_{Crop}$ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Ir_{Gross} میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) برحسب مترمکعب در هکتار و CPD بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است. در این پژوهش برای سنجش بهره‌وری اقتصادی آب محصولات زراعی مورد مطالعه از شاخص‌های ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری[3] (BPD)، ارزش خالص به ازای واحد حجم آبیاری[4] (NBPD) و ارزش هر واحد آب مجازی[5] (UWV) استفاده شد. در شاخص BPD نسبت درآمد (سود ناخالص) به واحد حجم آبیاری در نظر گرفته می‌شود که از رابطهٔ (۷) قابل محاسبه است (Akhavan et al., 2023).

$$BPD = \frac{TR}{Ir_{Gross}} = \frac{Yield_{Crop} \times C_{Crop}}{Ir_{Gross}} \quad (۷)$$

در رابطهٔ (۷)، TR درآمد (سود ناخالص) (میلیون ریال بر هکتار)، $Yield_{Crop}$ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Ir_{Gross} میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) (مترمکعب در هکتار)، C_{crop} قیمت هر محصول (میلیون ریال بر کیلوگرم) و BPD (میلیون ریال بر مترمکعب) است. در شاخص NBPD نسبت سود خالص به ازای واحد حجم آبیاری در نظر گرفته می‌شود که از طریق رابطهٔ زیر قابل محاسبه است (Akhavan et al., 2023).

$$NBPD = \frac{IN}{Ir_{Gross}} = \frac{TR - PC}{Ir_{Gross}} \quad (۸)$$

در رابطهٔ (۸)، TR درآمد (سود ناخالص) (میلیون ریال بر هکتار)، PC هزینهٔ تولید (میلیون ریال بر هکتار)، IN سود خالص (میلیون ریال بر هکتار)، Ir_{Gross} میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) (مترمکعب در هکتار) و NBPD برحسب میلیون ریال بر مترمکعب است (Akhavan et al., 2023). در شاخص UWV نسبت قیمت محصول به محتوای آب مجازی در نظر گرفته می‌شود (رابطهٔ ۹) (Zhang et al., 2014).

$$UWV = \frac{C_{Crop}}{VWC_{Crop}} \quad (۹)$$

C_{crop} قیمت هر محصول برحسب میلیون ریال بر کیلوگرم، VWC_{Crop} محتوای آب مجازی هر محصول برحسب مترمکعب بر کیلوگرم و UWV برحسب میلیون ریال بر مترمکعب است. در این پژوهش داده‌های مربوط به قیمت هر محصول و هزینهٔ تولید هر محصول از جهاد کشاورزی شهرستان دهلران دریافت شد. جهت بررسی صحت داده‌های مذکور با کشاورزان مصاحبه انجام شد. نتایج مصاحبه بیان‌گر تأیید صحت داده‌ها بود.

[1] Food and agriculture organization of the united nations (FAO)
[2] Crop per drop
[3] Benefit per drop
[4] Net benefit per drop
[5] Unit virtual water value

۳-نتایج و بحث

۳-۱- مقادیر سطح زیرکشت و عملکرد محصول

در جدول ۱ میزان بارش مؤثر در طول دورهٔ رشد محصولات زراعی شهرستان دهلران ارائه شده است. جدول ۱ نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان بارش مؤثر در شهرستان دهلران در آذر رخ داده است. در شهرستان دهلران طی ماه‌های خرداد تا شهریور مجموع میزان بارش مؤثر حدود ۱/۱ میلی‌متر است. بنابراین، کشت هر محصول در این ماه‌ها کاملا وابسته به مصرف آب آبی است و بدون مصرف آب آبی در این ماه‌ها کشت هیچ محصولی امکان‌پذیر نیست. هم‌چنین، طول دورهٔ رشد محصولات هندوانه، خربزه، گوجه‌فرنگی و خیار مشابه هم است (جدول ۱). بنابراین، میزان آب سبز دریافتی (بارش مؤثر) این محصولات مشابه هم است. البته آب مجازی سبز این محصولات به علت متفاوت بودن عملکرد آن‌ها یکسان نیست. گندم با دریافت ۲۵۸۴ مترمکعب بر هکتار آب سبز در طول دورهٔ رشد خود، دارای بیش‌ترین میزان آب سبز مصرفی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه است. محصولات کلزا، جو و هویج به‌ترتیب بیش‌ترین میزان آب سبز مصرفی را پس از گندم به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین، جدول ۱ نشان می‌دهد که بارش مؤثر نقش مناسبی در تولید همهٔ محصولات زراعی مورد مطالعه به جز ذرت دانه‌ای و کنجد دارد.

جدول ۱- میزان بارش مؤثر در طول دورهٔ رشد محصولات زراعی شهرستان دهلران

Table 1- Amount of effective rainfall during the growing period of crops in Dehloran County

ماه Month	بارش ماهانه Monthly rainfall (میلی‌متر)	بارش مؤثر ماهانه Monthly effective rainfall (میلی‌متر)	نوع محصول Crop Type	طول دورهٔ رشد گیاه Length of crop growth period	کل بارش مؤثر در طول دورهٔ رشد گیاه Total effective rainfall during the crop growth period (میلی‌متر)	کل بارش مؤثر در طول دورهٔ رشد گیاه Total effective rainfall during the crop growth period (مترمکعب بر هکتار)
فروردین	47.18	43.6	گندم	آبان – اردیبهشت	258.4	2584
اردیبهشت	18.31	17.8	جو	آبان– فروردین	240.6	2406
خرداد	0.10	0.1	کلزا	مهر– فروردین	244.4	2444
تیر	0.0	0	ذرت دانه‌ای	تیر– آبان	37.1	371
مرداد	0.04	0	هندوانه	دی– اردیبهشت	173.8	1738
شهریور	1.04	1	خربزه	دی– اردیبهشت	173.8	1738
مهر	3.84	3.8	کنجد	تیر– آذر	89.4	894
آبان	34.16	32.3	گوجه‌فرنگی	دی– اردیبهشت	173.8	1738
آذر	57.58	52.3	خیار	دی– اردیبهشت	173.8	1738
دی	43.30	40.3	هویج	مهر–اسفند	200.8	2008
بهمن	43.31	40.3	–	–	-	-
اسفند	33.60	31.8	–	–	-	-

مقادیر سطح زیرکشت، عملکرد محصول، نرخ مصرف کود نیتروژن، تبخیر–تعرق، نیاز آبیاری خالص و ناخالص محصولات زراعی شهرستان دهلران در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس جدول ۲ گندم، کلزا، ذرت دانه‌ای، جو، هندوانه، خربزه، خیار، کنجد، هویج و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب بیش‌ترین سطح زیرکشت را در بین محصولات مورد مطالعه دارند. بررسی میزان عملکرد محصولات زراعی مورد بررسی نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد به‌ترتیب متعلق به هندوانه و کنجد است. بررسی نرخ مصرف کود نیتروژن برای محصولات زراعی مورد مطالعه نشان می‌دهد که نرخ مصرف کود نیتروژن وابسته به نوع گیاه است و مقدار آن بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است. بر اساس جدول ۲ گندم، جو، کلزا، ذرت دانه‌ای و کنجد با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار دارای بیش‌ترین نرخ مصرف کود نیتروژن در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. هندوانه و خربزه با مصرف ۲۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار کم‌ترین نرخ مصرف را به خود اختصاص داده‌اند. نرخ مصرف کود نیتروژن برای محصولات گوجه‌فرنگی، خیار و هویج مشابه هم است و میزان آن برابر ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار است. مشابه بودن نرخ مصرف کود نیتروژن برخی از محصولات به‌معنای برابر بودن آب مجازی خاکستری آن‌ها نیست؛ زیرا میزان آب مجازی خاکستری علاوه‌بر نرخ مصرف کود نیتروژن به عملکرد محصول نیز وابسته است. بررسی میزان تبخیر–تعرق (نیاز آبی) محصولات زراعی مورد بررسی نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تبخیر–تعرق به‌ترتیب متعلق به گوجه‌فرنگی و جو است. بررسی نیاز آبیاری خالص محصولات زراعی مورد مطالعه نشان می‌دهد که گوجه‌فرنگی با مصرف ۹۸۳۲ مترمکعب بر هکتار آب آبی و جو با مصرف ۱۴۱۴ مترمکعب بر هکتار آب آبی به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین نیاز آبیاری خالص می‌باشند. محصولات گوجه‌فرنگی، هندوانه، ذرت دانه‌ای، هویج و خربزه به‌ترتیب دارای بیش‌ترین نیاز آبیاری ناخالص هستند.

جدول ۲- مقادیر سطح زیرکشت، عملکرد محصول، نرخ مصرف کود نیتروژن، تبخیر-تعرق، نیاز آبیاری خالص و ناخالص محصولات زراعی شهرستان دهلران

Table 2- Values of cultivated area, crop yield, nitrogen fertilizer consumption rate, evapotranspiration, net and gross irrigation requirements of crops in Dehloran County

نوع محصول (Crop type)	سطح زیر کشت Cultivated) (area	عملکرد محصول (Crop yield)	نرخ مصرف کود نیتروژن Nitrogen fertilizer) (consumption rate	تبخیر-تعرق (Evapotranspiration)	نیاز آبیاری خالص Net irrigation) (requirement	نیاز آبیاری ناخالص Gross irrigation) (requirement
	هکتار	کیلوگرم بر هکتار		مترمکعب بر هکتار		
گندم	39596	3500	300	4530	1946	2289.4
جو	765	3400	300	3820	1414	1663.5
کلزا	6188	1700	300	4730	2286	2689.4
ذرت دانه‌ای	4038	7500	300	8280	7909	9304.7
هندوانه	622	42000	250	10290	8552	10061.2
خربزه	359	29000	250	6260	4522	5320.0
کنجد	126	1000	300	4800	3906	4595.3
گوجه‌فرنگی	5	30000	270	11570	9832	11567.1
خیار	215	27000	270	5950	4212	4955.3
هویج	16	35000	270	9560	7552	8884.7

۳-۲- میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی

میزان محتوای آب مجازی خاکستری، آب مجازی آبی، آب مجازی سبز و آب مجازی سفید محصولات مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است میزان عملکرد بر میزان محتوای آب مجازی خاکستری مؤثر است و با آن رابطهٔ معکوس دارد. در بین محصولات مورد مطالعه، کنجد به علت داشتن کم‌ترین عملکرد (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بالاترین مقدار محتوای آب مجازی خاکستری (۱/۵مترمکعب بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داده است. هم‌چنین، هنداوانه به علت بالاترین عملکرد (۴۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) کم‌ترین مقدار محتوای آب مجازی خاکستری (۰/۰۳ مترمکعب بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داده است. محصولات کلزا، جو، گندم و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب بالاترین مقدار آب مجازی خاکستری را دارند. میزان محتوای آب مجازی سبز تحت تأثیر دو پارامتر بارش مؤثر و عملکرد محصولات زراعی قرار دارد. میزان بارش مؤثر و عملکرد محصولات زراعی با میزان محتوای آب مجازی سبز به‌ترتیب رابطهٔ مستقیم و معکوس دارند. کنجد علی‌رغم نداشتن میزان بارش مؤثر زیاد در طول دورهٔ رشد خود دارای میزان محتوای آب مجازی بالایی است که علت آن داشتن کم‌ترین میزان عملکرد نسبت به سایر محصولات مورد بررسی است. هندوانه به علت داشتن بیش‌ترین میزان عملکرد دارای کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی نسبت به سایر محصولات مورد بررسی است. میزان محتوای آب مجازی سبز مجصولات خربزه، گوجه‌فرنگی، خیار و هویج یکسان است که علت آن داشتن میزان بارش مؤثر و میزان عملکرد نزدیک به هم است. بیش‌ترین محتوای آب مجازی سبز متعلق به کلزا است. زیرا این محصول از لحاظ داشتن دو پارامتر بالاترین میزان بارش موثر در طول دورهٔ رشد خود و کم‌ترین میزان عملکرد در بین محصولات زراعی مورد مطالعه رتبهٔ دوم را به خود اختصاص داده است. ذرت دانه‌ای رتبهٔ دوم را از لحاظ داشتن کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی سبز به خود اختصاص داده است که علت آن دریافت کم‌ترین میزان بارش مؤثر در طول دورهٔ رشد خود نسبت به سایر محصولات مورد بررسی است.

کنجد، کلزا و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب دارای بیش‌ترین میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. بالا بودن میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید این محصولات به علت مصرف زیاد آب آبی و عملکرد پایین آن‌ها است. میزان محتوای آب مجازی آبی خربزه و خیار برابر ۰/۱۶ مترمکعب بر کیلوگرم است که این مقدار از میزان محتوای آب مجازی آبی همهٔ محصولات زراعی مورد بررسی کم‌تر است. علت این موضوع عملکرد مناسب این محصولات در برابر مصرف آب آبی است. خیار، خربزه، هندوانه و هویج به‌ترتیب دارای کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. پایین بودن میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید این محصولات به علت عملکرد بالای آن‌ها در برابر مصرف آب آبی است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که میزان محتوای آب مجازی خربزه، خیار، هندوانه، هویج و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب برابر ۰/۲۹، ۰/۳۰، ۰/۳۱، ۰/۳۵ و ۰/۴۹ مترمکعب بر کیلوگرم است و این محصولات به علت داشتن بالاترین میزان عملکرد در مقایسه با سایر محصولات موردمطالعه، دارای کم‌ترین میزان محتوای آب

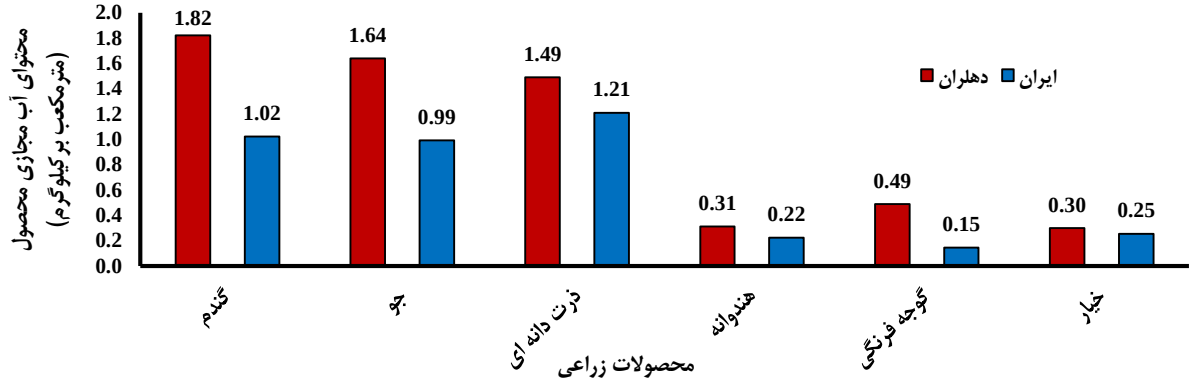
مجازی هستند. اگر محتوای آب مجازی محاسبه شده برای هر محصول بیش‌تر از یک مترمکعب بر کیلوگرم باشد، آن محصول در ردهٔ محصولات پرمصرف است و اگر کم‌تر از یک مترمکعب بر کیلوگرم باشد، جزء محصولات کم‌مصرف است (Mobaraki and Mobaraki, 2021). بنابراین، محصولات خربزه، خیار، هندوانه، هویج و گوجه‌فرنگی در ردهٔ محصولات کم‌مصرف قرار دارند. میزان محتوای آب مجازی کنجد، کلزا، گندم، جو و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب برابر ۶/۹۹، ۳/۹۰، ۱/۸۲، ۱/۶۴ و ۱/۴۹ مترمکعب بر کیلوگرم است. این محصولات به‌ترتیب دارای بیش‌ترین محتوای آب مجازی هستند و در ردهٔ محصولات پرمصرف قرار دارند.

جدول ۳- میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران (بر حسب مترمکعب بر کیلوگرم)

Table 3- Virtual water content of crops in Dehloran County (m^3 kg^{-1})

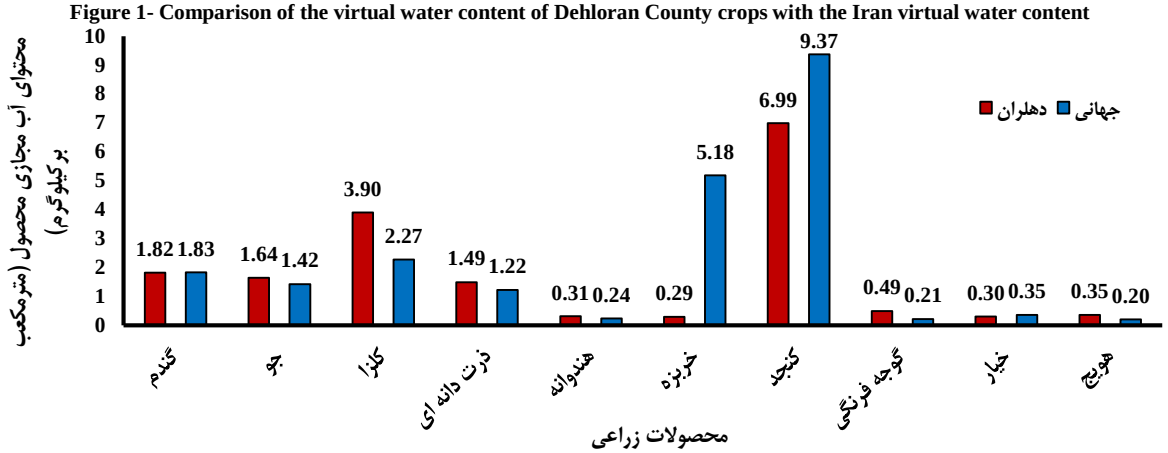
نوع محصول (Crop type)	محتوای آب مجازی خاکستری (VWC_{Gray})	محتوای آب مجازی سبز (VWC_{Green})	محتوای آب مجازی آبی (VWC_{Blue})	محتوای آب مجازی سفید (VWC_{White})	محتوای آب مجازی محصول (VWC_{Crop})
گندم	0.43	0.74	0.56	0.10	1.82
جو	0.44	0.71	0.42	0.07	1.64
کلزا	0.88	1.44	1.34	0.24	3.90
ذرت دانه‌ای	0.20	0.05	1.05	0.19	1.49
هندوانه	0.03	0.04	0.20	0.04	0.31
خربزه	0.04	0.06	0.16	0.03	0.29
کنجد	1.50	0.89	3.91	0.69	6.99
گوجه‌فرنگی	0.05	0.06	0.33	0.06	0.49
خیار	0.05	0.06	0.16	0.03	0.30
هویج	0.04	0.06	0.22	0.04	0.35

در شکل ۱ میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران با میانگین محتوای آب مجازی ایران (Mohammadi-Kanigolzar et al., 2014) مورد مقایسه قرار گرفته است. شکل ۱ نشان می‌دهد که میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران از میانگین محتوای آب مجازی این محصولات در مقیاس ملی بیش‌تر است. میانگین محتوای آب مجازی محصول گوجه‌فرنگی در ایران حدود ۳۲۷/۲ مترمکعب بر تن تخمین زده شده است (Bazrafshan et al., 2022) که این مقدار به‌طور تقریبی برابر ۰/۳۳ مترمکعب بر کیلوگرم بوده و از میزان تخمینی محتوای آب مجازی گوجه‌فرنگی در این پژوهش کم‌تر است. در شکل ۲ میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران با میزان محتوای آب مجازی جهانی (Mekonnen and Hoekstra, 2011) مورد مقایسه قرار گرفته است. میزان محتوای آب مجازی محصولات خربزه، کنجد، خیار و گندم در شهرستان دهلران از میزان محتوای آب مجازی جهانی آن‌ها کم‌تر بوده و در دو محصول خربزه و کنجد این اختلاف قابل‌توجه و در دو محصول گندم و خیار این اختلاف ناچیز است. میزان محتوای آب مجازی محصولات جو، کلزا، ذرت دانه‌ای، هندوانه، گوجه‌فرنگی و هویج در شهرستان دهلران از میزان محتوای آب مجازی جهانی آن‌ها بیش‌تر بوده و در محصول کلزا این اختلاف قابل‌توجه و در سایر محصولات این اختلاف ناچیز است. علت اختلاف در میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران با میزان محتوای آب مجازی این محصولات در مقیاس ملی و جهانی متفاوت بودن شرایط آب و هوایی، بافت خاک، مدیریت آبیاری، رقم مورد استفاده، تاریخ کاشت و برداشت، میزان کوددهی و عملیات زراعی است.



شکل ۱- مقایسهٔ میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران با میزان محتوای آب مجازی ایران

Figure 1- Comparison of the virtual water content of Dehloran County crops with the Iran virtual water content

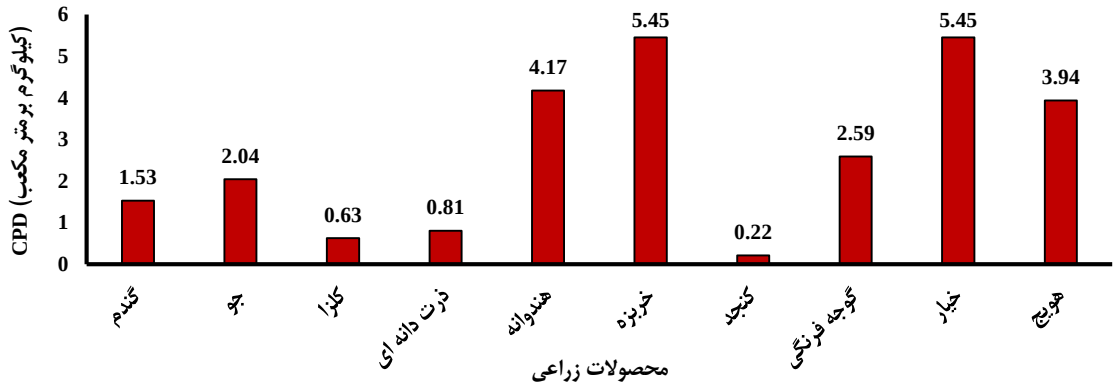


شکل ۲- مقایسهٔ میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران با میزان محتوای آب مجازی جهانی

Figure 2- Comparison of the virtual water content of Dehloran County crops with the global virtual water content

۳-۳- شاخص بهره‌وری فیزیکی (CPD)

شکل ۳ میزان شاخص CPD محصولات زراعی شهرستان دهلران را نشان می‌دهد. خیار، خربزه، هندوانه، هویج و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب دارای بیش‌ترین مقدار بهره‌وری فیزیکی هستند. کنجد، کلزا، ذرت دانه‌ای، گندم و جو به‌ترتیب دارای کم‌ترین بهره‌وری فیزیکی هستند. بهره‌وری فیزیکی آب با عملکرد محصول رابطهٔ مستقیم دارد. بنابراین، بالا بودن بهره‌وری فیزیکی آب محصولات خیار، خربزه، هندوانه، هویج و گوجه‌فرنگی معلول بالا بودن عملکرد آن‌ها است. این قضیه برای سایر محصولات زراعی مورد مطالعه نیز صدق می‌کند. مقایسهٔ نتایج بهره‌وری فیزیکی آب محصولات زراعی مورد مطالعه در این پژوهش با مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) که در شهرستان دهلران انجام شده نشان می‌دهد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه شده در این پژوهش برای همهٔ محصولات مورد مطالعه مشترک (گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کنجد، کلزا و هندوانه) به‌جز کنجد، از میزان متوسط بهره‌وری فیزیکی آب تخمینی Mirzaei et al. (2020) بیش‌تر است. البته در میزان بهره‌وری فیزیکی آب کنجد محاسبه شده در این پژوهش و مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) تفاوت عددی کمی وجود دارد. علت اختلاف نتایج این پژوهش با مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) متفاوت بودن میزان عملکرد محصولات زراعی در دو سال زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۶) و (۱۴۰۱-۱۴۰۰) است. علت بیش‌تر بودن میزان بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه شده در این پژوهش برای محصولات مورد بررسی بیش‌تر بودن عملکرد محصولات مورد مطالعه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ نسبت به سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ است.

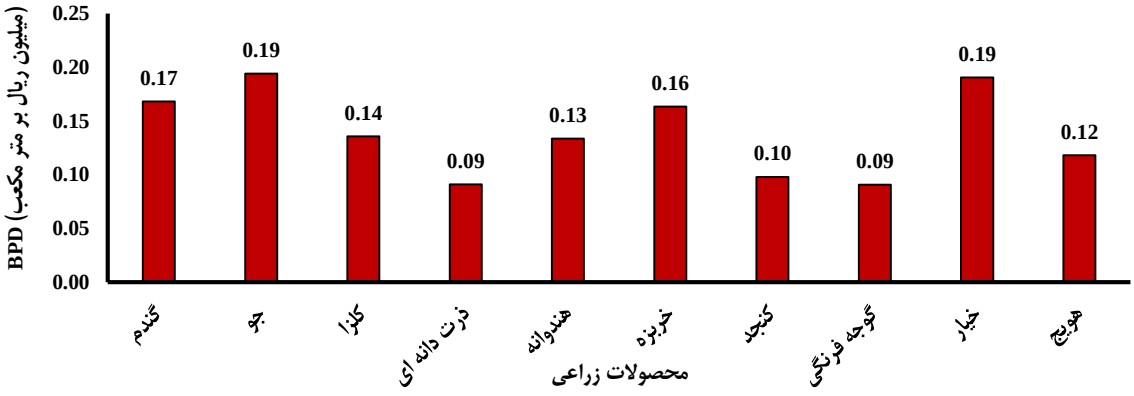


شکل ۳- میزان شاخص CPD محصولات زراعی شهرستان دهلران

Figure 3- The level of CPD index of crops of Dehloran County

۳-٤- شاخص سود ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری (BPD)

شکل ۴ میزان شاخص BPD محصولات زراعی شهرستان دهلران را در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۴، میزان شاخص BPD برای محصولات زراعی مورد مطالعه در محدودهٔ ۰/۰۹ تا ۰/۱۹ میلیون ریال بر مترمکعب قرار دارد. محصولات خیار، جو، گندم، خربزه و کلزا به‌ترتیب دارای بیش‌ترین شاخص ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، کنجد، هویج و هندوانه به‌ترتیب دارای کم‌ترین شاخص ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. مقایسهٔ نتایج شاخص ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری محصولات زراعی مورد مطالعه در این پژوهش با مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) که در شهرستان دهلران انجام شده نشان می‌دهد که میزان شاخص BPD محاسبه شده در این پژوهش برای همهٔ محصولات مورد مطالعه مشترک (گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کنجد، کلزا و هندوانه)، از میزان شاخص BPD تخمینی Mirzaei et al. (2020) بیش‌تر است. علت اختلاف در میزان شاخص BPD تخمینی در این دو پژوهش، تفاوت در سال زراعی مورد بررسی است. سال زراعی مورد بررسی در پژوهش Mirzaei et al. (2020)، ۱۳۹۷-۱۳۹۶ است در حالی‌که سال زراعی مورد بررسی در پژوهش حاضر سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ است. شاخص BPD تحت تأثیر سه عامل (عملکرد محصول، سطح زیرکشت و قیمت فروش هر کیلوگرم محصول) قرار دارد. در سال زراعی ۱۰-۱۴۰۰ هر سه عامل مذکور نسبت به سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ افزایش یافته است. مقایسهٔ شاخص BPD با شاخص CPD نشان می‌دهد که شاخص BPD یکی از معایب شاخص CPD یعنی بی‌توجهی به ارزش محصول تولیدی را برطرف می‌کند ولی در نظر نگرفتن هزینهٔ تولید محصول از معایب این شاخص است (Zarei Ghorkhodi et al., 2022).



شکل ٤- میزان شاخص BPD محصولات زراعی شهرستان دهلران

Figure 4- The amount of BPD index of crops of Dehloran County

مقادیر قیمت فروش هر کیلوگرم محصول، درآمد حاصل از فروش، هزینهٔ عملیات زراعی هر هکتار و سود خالص در هر هکتار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ تعیین و در جدول ۴ ارائه شده است. بیش‌ترین قیمت فروش هر کیلوگرم محصولات زراعی به‌ترتیب متعلق به کنجد، کلزا و ذرت دانه‌ای است. کم‌ترین قیمت فروش هر کیلوگرم محصولات زراعی به‌ترتیب متعلق به محصولات خربزه، هویج، هندوانه، خیار و گوجه‌فرنگی است. محصولات هندوانه، گوجه‌فرنگی، هویج و خیار به‌ترتیب با میزان سود ناخالص ۱۳۴۴، ۱۰۵۰، ۱۰۵۰ و ۹۴۵ میلیون ریال در هکتار دارای بیش‌ترین درآمد (سود ناخالص) در بین محصولات زراعی موردمطالعه هستند. جو، کلزا و گندم به‌ترتیب با میزان سود ناخالص برابر ۳۲۳، ۳۶۵/۵ و ۳۸۵ میلیون ریال در هکتار دارای کم‌ترین درآمد (سود ناخالص) در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات هندوانه، خربزه، گوجه‌فرنگی و خیار به‌ترتیب با میزان هزینهٔ تولید (هزینهٔ عملیات زراعی) برابر ۶۰۰، ۶۰۰، ۵۹۰ و ۴۰۰ میلیون ریال در هکتار دارای بیش‌ترین هزینهٔ عملیات زراعی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات کنجد، جو، گندم و کلزا با میزان هزینه تولید ۱۰، ۱۷۰، ۲۵۰ و ۲۵۰ میلیون ریال در هکتار دارای کم‌ترین هزینهٔ عملیات زراعی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات هندوانه، هویج ذرت دانه‌ای و خیار به‌ترتیب با میزان سود خالص برابر ۷۴۴، ۶۶۰، ۵۴۷/۵ و ۵۴۵ میلیون ریال در هکتار دارای بیش‌ترین سود خالص در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات کلزا، گندم و جو با میزان سود خالص برابر ۱۱۵/۵،

۱۳۵و ۱۵۳ میلیون ریال در هکتار دارای کم‌ترین سود خالص در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند.

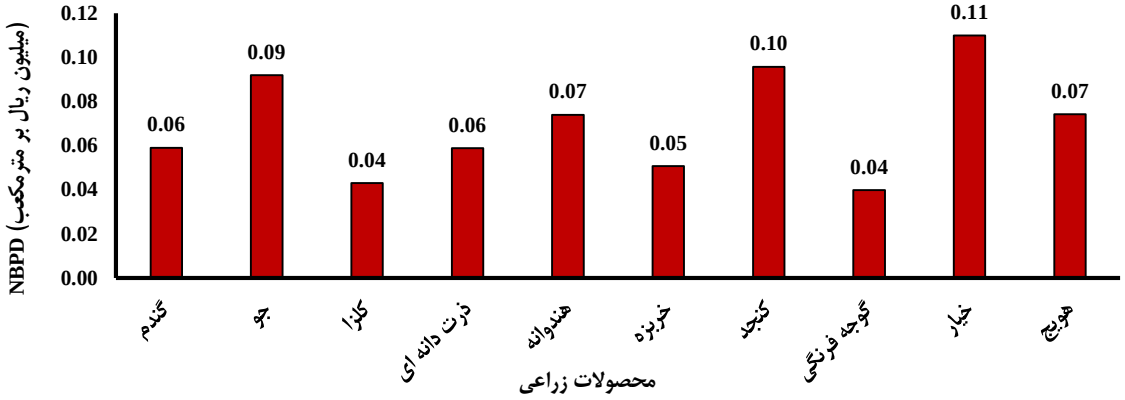
جدول ٤- میزان درآمد خالص و ناخالص محصولات زراعی شهرستان دهلران (بر حسب میلیون ریال بر کیلوگرم)

Table 4- Amount of net and gross income of crops of Dehloran County (million rials kg^{-1})

محصول (Crop)	قیمت فروش (Sale price)	درآمد حاصل از فروش (Gross Income)	هزینهٔ تولید (Production Cost)	سود خالص (Net Income)
گندم	0.11	385	250	135
جو	0.095	323	170	153
کلزا	0.215	365.5	250	115.5
ذرت دانه‌ای	0.113	847.5	300	547.5
هندوانه	0.032	1344	600	744
خربزه	0.03	870	600	270
کنجد	0.45	450	10	440
گوجه‌فرنگی	0.035	1050	590	460
خیار	0.035	945	400	545
هویج	0.03	1050	390	660

۳-۵- شاخص سود خالص به ازای واحد حجم آبیاری (NBPD)

شکل ۵ میزان شاخص NBPD محصولات زراعی شهرستان دهلران را نشان می‌دهد. براساس شکل ۵، میزان شاخص NBPD برای محصولات زراعی مورد مطالعه در محدودهٔ ۰/۰۴ تا ۰/۱۱ میلیون ریال بر مترمکعب قرار دارد. محصولات خیار، کنجد، جو، هویج و هندوانه به‌ترتیب دارای بیش‌ترین شاخص ارزش خالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. کلزا، گوجه‌فرنگی، خربزه، گندم و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب دارای کم‌ترین شاخص ارزش خالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. مقایسه شاخص NBPD محصولات زراعی مورد مطالعه در این پژوهش با مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) که در شهرستان دهلران انجام شده نشان می‌دهد که میزان شاخص NBPD محاسبه شده در این پژوهش برای همهٔ محصولات مورد مطالعه مشترک (گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کنجد، کلزا و هندوانه)، از میزان شاخص NBPD تخمینی Mirzaei et al. (2020) بیش‌تر است. علت اختلاف نتایج این پژوهش با مطالعهٔ Mirzaei et al. (2020) متفاوت بودن عملکرد محصول، سطح زیرکشت، میزان درآمد و هزینهٔ تولید محصول در دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ است. مقایسهٔ شاخص NBPD با شاخص BPD نشان می‌دهد که شاخص NBPD به‌دلیل استفاده از ارزش خالص به‌جای ارزش ناخالص، مناسب‌تر از شاخص BPD است (Akhavan et al., 2023). شاخص NBPD نه‌تنها میزان سود خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌نماید، بلکه این شاخص اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگوی کشت دارد و از این طریق می‌توان منابع آب را به کشت‌هایی اختصاص داد که با کم‌ترین واحد مصرف آب بالاترین سود را نصیب بهره‌برداران نماید (Zarei Ghorkhodi et al., 2022).

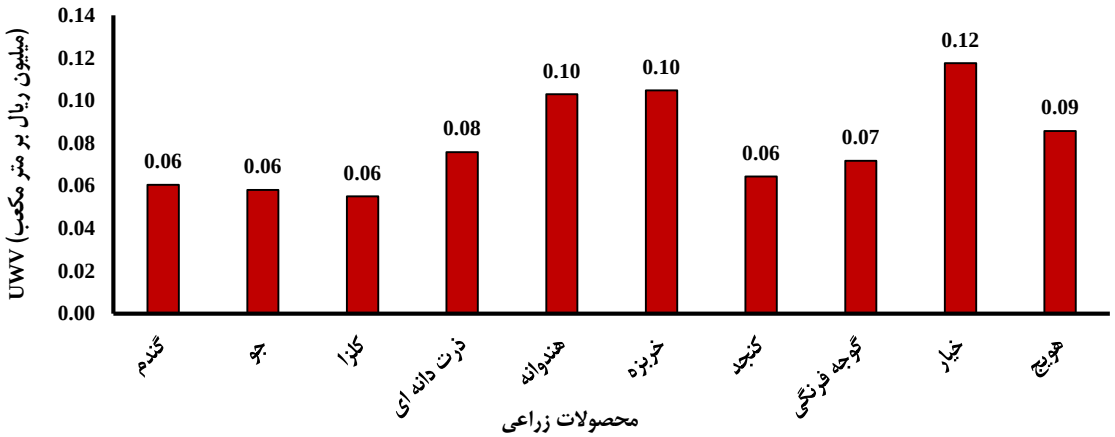


شکل ۵- میزان شاخص NBPD محصولات زراعی شهرستان دهلران

Figure 5- The amount of NBPD index of crops of Dehloran County

۳-٦- شاخص ارزش هر واحد آب مجازی (UWV)

شکل ۶ میزان شاخص UWV محصولات زراعی شهرستان دهلران را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۶، میزان شاخص UWV برای محصولات زراعی مورد مطالعه در محدودهٔ ۰/۰۶ تا ۰/۱۲ میلیون ریال بر مترمکعب قرار دارد. محصولات خیار، خربزه، هندوانه، هویج و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب دارای بیش‌ترین شاخص ارزش هر واحد آب مجازی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات گندم، جو، کلزا، کنجد و گوجه‌فرنگی دارای کم‌ترین شاخص ارزش هر واحد آب مجازی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند.



شکل ٦- میزان شاخص UWV محصولات زراعی شهرستان دهلران

Figure 6- The level of UWV index of crops in Dehloran County

اولویت کشت هر یک از محصولات مورد بررسی بر پایهٔ شاخص‌های CPD، BPD، NBPD و UWV در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس شاخص CPD محصولات خیار، خربزه، هندوانه، هویج و گوجه‌فرنگی در اولویت‌های اول تا چهارم برای کشت در شهرستان دهلران قرار دارند.

بر اساس شاخص BPD محصولات خیار، جو، گندم، خربزه و کلزا در اولویت‌های اول تا چهارم برای کشت در شهرستان دهلران قرار دارند. بر اساس شاخص NBPD محصولات خیار، کنجد، جو، هندوانه و هویج برای کشت در شهرستان دهلران اولویت‌های اول تا چهارم را شامل می‌شوند. براساس شاخص UWV محصولات خیار، خربزه، هندوانه، هویج و ذرت دانه‌ای اولویت‌های اول تا چهارم را برای کشت در شهرستان دهلران به خود اختصاص دادند. خیار در همهٔ شاخص‌های مورد بررسی در اولویت اول کشت قرار دارد. بنابراین، کشت این محصول در شهرستان دهلران به مصرف بهینه و اقتصادی آب کمک می‌کند. محصول کلزا در شاخص‌های CPD، NBPD و UWV در اولویت‌های آخر کشت قرار دارد. بنابراین، بهتر است که از الگوی کشت شهرستان دهلران حذف شود. این کار هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی است.

جدول ۵- اولویت کشت هر یک از محصولات مورد بررسی بر پایهٔ شاخص‌های معرفی شده

Table 5- Cultivation priority of each of the investigated crops based on the introduced indicators

نوع محصول	CPD	BPD	NBPD	UWV
گندم	6	2	5	6
جو	5	1	3	6
کلزا	8	4	7	6
ذرت دانه‌ای	7	8	5	4
هندوانه	2	5	4	2
خربزه	1	3	6	2
کنجد	9	7	2	6
گوجه‌فرنگی	4	8	7	5
خیار	1	1	1	1
هویج	3	6	4	3

٤- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر محتوای آب مجازی و میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی شهرستان دهلران محاسبه شد. مهم‌ترین نتایج این پژوهش به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

۱) بررسی میزان شاخص‌های CPD، BPD، NBPD و UWV محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که خیار دارای بیش‌ترین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه است و کشت آن در شهرستان دهلران باعث کاهش مصرف و استحصال آب می‌شود و متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی نیز است.

۲) بررسی محتوای آب مجازی و میزان شاخص‌های CPD و NBPD محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که خربزه دارای کم‌ترین محتوای آب مجازی نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه است. پایین بودن مصرف آب و عملکرد مناسب خربزه در شهرستان دهلران موجب شده که این محصول از لحاظ بهره‌وری فیزیکی در جایگاه اول اولویت کشت قرار بگیرد، ولی شاخص NBPD نشان می‌دهد که بالا بودن هزینهٔ تولید خربزه موجب شده که این محصول از لحاظ بهره‌وری اقتصادی آب در جایگاه نامناسبی از اولویت کشت قرار داشته باشد. بنابراین، اتخاذ سیاست‌های حمایتی از سوی دولت جهت کاهش هزینه‌های تولید و افزایش مزیت نسبی این محصول ضروری است.

۳) بررسی میزان عملکرد و محتوای آب مجازی محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که کنجد دارای کم‌ترین عملکرد و بیش‌ترین محتوای آب مجازی نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه است. پایین بودن میزان عملکرد کنجد موجب شده که بهره‌وری فیزیکی این محصول نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه کم‌تر باشد و این محصول براساس شاخص CPD در اولویت آخر کشت قرار بگیرد. ولی هزینهٔ پایین تولید و قیمت بالای فروش یک کیلوگرم کنجد نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه موجب شده که این محصول براساس شاخص NBPD در دومین اولویت کشت را اشته باشد. بالا بودن شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD) کنجد، ضرورت تمرکز بر شاخص‌های مؤثر بر افزایش عملکرد کنجد را در شهرستان دهلران ایجاب می‌کند.

۴) کلزا رتبهٔ دوم را از لحاظ پایین بودن عملکرد و بالابودن محتوای آب مجازی در بین محصولات مورد مطالعه دارد. پایین بودن عملکرد و بالابودن مصرف آب این محصول موجب شده که براساس شاخص CPD هشتمین اولویت کشت را اشته باشد. علاوه‌بر این کلزا طبق شاخص NBPD نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه در آخرین اولویت کشت قرار گرفته‌است. بنابراین، توصیه می‌شود که این محصول از الگوی کشت شهرستان دهلران حذف شود و کاشت محصولاتی با بازده اقتصادی بالا و نیاز آبی پایین در صورت سازگاری با شرایط منطقه، جایگزین آن شود.

نیاز آبی و عملکرد محصولات زراعی دو عامل اصلی و تاثیرگذار در تخمین محتوای آب مجازی محصولات زراعی هستند. نیاز آبی تا حد زیادی غیرقابل کنترل است ولی عملکرد محصولات زراعی قابل کنترل است. بنابراین، توصیه می‌شود که در تصمیم‌گیری‌های تعیین الگوی کشت، نقش این دو عامل در بالا یا پایین بودن محتوای آب مجازی بررسی شود. از این‌رو، ذکر این نکته ضروری است که بالا بودن محتوای آب مجازی برخی از محصولات ناشی از عملکرد پایین آن‌ها است. بنابراین با رفع چالش‌های مربوط به عملکرد می‌توان محتوای آب مجازی آن محصولات را کاهش داد و در صورت داشتن بهره‌وری اقتصادی بالا، آن‌ها را در الگوی کشت پیشنهادی معرفی نمود. هم‌چنین، می‌توان بر اساس مطالعات محتوای آب مجازی و ارزش‌گذاری اقتصادی آب، محصولات دارای محتوای آب مجازی بالا را به شهرستان دهلران وارد و محصولات با محتوای آب مجازی پایین را صادر کرد و سطح زیرکشت محصولات پرمصرف را کاهش داد تا به مدیریت بهتر منابع آب کمک شود. بنابراین، برای تصمیم‌گیری بهتر در این زمینه پیشنهاد می‌شود که تجارت آب مجازی محصولات زراعی شهرستان دهلران مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. هم‌چنین، در راستای تکمیل پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی محصولات قابل کشت و انتخاب الگوی کشت بهینه در شهرستان دهلران استفاده شود و از نتایج آن در سیاست‌گذاری‌های کلی ترویج الگوی کشت بهینه استفاده شود.

سپاسگزاری

از ادارهٔ جهاد کشاورزی شهرستان دهلران و امور آب منطقه‌ای تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده و فایل داده‌های خام نیز از طریق مکاتبه با نویسندهٔ مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

فاطمه باسره: مفهوم‌سازی، تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله؛ **هدیه احمدپری:** مفهوم‌سازی، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، تحلیل‌های آماری، کنترل نتایج؛ **محمدرضا شریفی:** مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری.

منابع

احمدی، عباس (۱۳۹۹). لزوم توجه به ظرفیت‌های کشاورزی شهرستان دهلران / تخصیص اعتبار گره‌گشای مشکلات بخش

کشاورزی. *خبرگزاری شبستان*. http://shabestan.ir/detail/News/984558

اخوان، کرامت، خیری، میلاد، احمدپری، هدیه، عباسی، سلیم، و کلاته، فرهود (۱۴۰۱). بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت مغان، استان اردبیل). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۲۷۷-۲۹۵. doi:10.22098/mmws.2023.11899.1186

اسدی، هرمز، محمودی، مریم، و زارع، شجاعت (۱۴۰۰). تعیین سودآوری و بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی در تولید محصولات زراعی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵(۶)، ۱۴۰۴-۱۴۱۱. dor:20.1001.1.20087942.1400.15.6.14.4

باغبانیان، مصطفی، امام وردی، قدرت‌الله، قادرزاده، حامد، دامن‌کشیده، مرجان، و امین رشتی، نارسیس (۱۳۹۹). بررسی آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات عمده زراعی (مطالعه موردی: شهرستان سقز استان کردستان). *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۳)، ۱۰۴۶-۱۰۵۴. dor:20.1001.1.20087942.1399.14.3.26.3

پرواز، گلستان، رستمی‌نیا، محمود، و علیزاده، حمزه (۱۳۹۷). بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop-GIS (مطالعه موردی: دشت دهلران، استان ایلام). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۹(۴)، ۸۶۵-۸۷۷ doi:10.22059/ijswr.2017.242981.667770

توکلی، علیرضا، حکم‌آبادی، حسین، نادری عارفی، علی، و حجی، علی (۱۴۰۰). بررسی مزیت نسبی محصولات کشاورزی استان سمنان با محوریت بهره‌وری آب. *علوم آب و خاک*، ۲۵(۴)، ۶۳-۸۱ doi:10.47176/jwss.25.4.13162

جابری، سمیرا، مهراب قوچانی، امید، و غنیان، منصور (۱۳۹۸). واکاوی نگرش و تمایل به مشارکت کشاورزان نسبت به استقرار تشکل آب‌بران در شهرستان دهلران. *تعاون و کشاورزی*، ۸(۲۹)، ۱۰۹-۱۳۳ dor:20.1001.1.27835464.1398.8.29.5.2.

جوزی، سیدعلی، مرادی مجد، نسرین، و ملک میرزایی، فائزه (۱۳۹۷). ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان دهلران به‌منظور استقرار کاربری توسعه اکوتوریسم. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۹(۱۸)، ۲۷-۴۰ dor:20.1001.1.20089597.1397.9.18.29.8.

حکمت‌نیا، مهران، حسینی، سیدمهدی، و صفدری، مهدی (۱۳۹۹). تعیین و ارزیابی ردّپای آب‌های سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی ایران. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۲)، ۴۴۶-۴۶۳. dor;20.1001.1.20087942.1399.14.2.9.4

زارعی قورخودی، علیرضا، شاهنظری، علی، و داداشی، پرشان (۱۴۰۱). ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی و باغی در غرب و مرکز استان مازندران و رتبه‌بندی دشت‌های مطالعاتی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۶(۳)، ۶۵۷-۶۶۹ dor:20.1001.1.20087942.1401.16.3.14.5

سلامتی، نادر، معیری، منصور، و عباسی، فریبرز (۱۴۰۲). ارزیابی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری در کشت کلزا (مطالعه موردی بهبهان). *دانش آب و خاک*، ۳۳(۳)، ۵۳-۷۴. doi:10.22034/ws.2021.49545.2454

شکری، حمیدرضا، نجارچی، محسن، جعفری‌نیا، رضا، مختاری، شهرو، علیزاده، حمزه، و رحمانی، اصغر (۱۳۹۸). ارزیابی آبیاری نواری و مقایسه با مدل WinSRFR (مطالعه موردی در اراضی پایاب سد مخزنی دویرج دهلران). *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۲۰(۷۴)، ۱۳۹-۱۵۲. doi:10.22092/idser.2018.120805.1305

عباسی، فریبرز، سهراب، فرحناز، و عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۱۷(۶۷)، ۱۱۳-۱۲۰. doi:10.22092/aridse.2017.109617

غلامحسینی، مجید، اسدی، هرمز، و داوودی، محمدحسین (۱۴۰۱). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و نیتروژن در تولید کنجد. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۶(۴)، ۸۴۱-۸۵۱. dor:20.1001.1.20087942.1401.16.4.12.5

فرشی، علی‌اصغر، شریعتی، محمدرضا، جارالهی، رقیه، قائمی، محمدرضا، شهابی‌فر، مهدی، و تولائی، مسعود (۱۳۷۶). برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (گیاهان زراعی). آموزش کشاورزی وابسته به دفتر خدمات تکنولوژی آموزشی وزارت جهاد کشاورزی، ۹۱۶ صفحه. https://lib.kmu.ac.ir/site/catalogue/73287?_afPfm=-ieay14nk

مبارکی، مجتبی، و مبارکی، مرتضی (۱۴۰۰). بررسی ردپای آب، آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب سه گروه از محصولات پاییزه و بهاره، سبزیجات (گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی)، صنعتی (چغندرقند) و علوفه‌ای (ذرت علوفه‌ای) در شهرستان اصفهان. *مهندسی آب*، ۹(۱)، ۸۹-۱۰۲. https://jwe.shoushtar.iau.ir/article_686789.html?lang=en

محمدی، عفت، احمدپری، هدیه، محمدرضاپور، ام‌البنی، حقایقی مقدم، سیدابوالقاسم، و حقیقت‌جو، پرویز (۱۳۹۹). بررسی وضعیت آب مجازی محصولات دامی در کشورهای مختلف. *ایده‌های نو در علوم، مهندسی و فناوری*، ۴(۲)، ۴۱-۶۱. https://civilica.com/doc/1621694

ملارضاقصاب، فاطمه، عبدشاهی، عباس، و مرزبان، افشین (۱۳۹۹). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی: مطالعه‌ی موردی شهرستان دزفول. *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱۲(۴۷)، ۴۹-۷۲. dor:20.1001.1.20086407.1399.12.47.3.7

میرزایی، عباس، علی‌کرمی، نادیا، و آزرم، حسن (۱۳۹۹). اولویت‌بندی کشت محصولات زراعی بر اساس بهره‌وری اقتصادی آب در شهرستان دهلران. دهمین همایش سراسری محیط‌زیست انرژی و منابع طبیعی پایدار، دانشگاه تهران. https://civilica.com/doc/1040198/

References

Ababaei, B., & Etedali, H.R. (2014). Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. *Environmental Processes*, *1*(3), 193-205. doi:10.1007/s40710-014-0017-7

Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *17*(67), 113-120. doi:10.22092/aridse.2017.109617. [In Persian]

Ahmadi, A. (2020). The need to pay attention to the agricultural capacities of Dehloran County/Allocation of credit to untangle the problems of the agricultural sector. *Shabestan News Agency* http://shabestan.ir/detail/News /984558. [In Persian]

Ahmadpari, H., Shokoohi, E., Mohammadi-Lalabadi, N., Safavi-Gerdini, M., & Ebrahimi, M. (2019). Assessment of potential evapotranspiration estimation methods in the Fasa region. *Specialty Journal of Agricultural Sciences*, *5*(2), 56-66. https://sciarena.com/article/assessment-of-potential-evapotranspiration-estimation-methods-in-the-fasa-region

Akhavan, K., Kheiry, M., Ahmadpari, H., Abbasi, S., & Kalateh, F. (2023). Investigating virtual water content and physical and economic water productivity indicators in crops (Case study: Moghan irrigation network, Ardabil Province). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(3), 277. 295. doi:10.22098/mmws.2023.11899.1186. [In Persian]

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, Rome, *300*(9), D05109. https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm

Asadi, H., Mahmoodi, M., & Zare, S. (2022). Determining profitability and the economic productivity of agricultural water in crop production. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(6), 1404-1411. dor:20.1001. 1.20087942.1400.15.6.14.4. [In Persian]

Babaee, M., Shokat-Naghadeh, A., Ahmadpari, H., & Nabi-Jalali, M. (2019). Comparison of different methods with lysimeter measurements in estimation of rice evapotranspiration in Sari Region. *Revista Ingenieria UC*, *26*(2), 175-184. https://www.redalyc.org/journal/707/70760276006/html/

Baghbanyan, M., Emamverdi, G., Ghaderzadeh, H., Damankeshideh, M., & Aminrashti, N. (2020). A survey on virtual water and sustainable productivity indices of agricultural water in major agricultural crops (A case of Saqqez city, Kurdistan Province). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(3), 1046-1054. dor:20.1001.1.20087942.1399.14.3.26.3.[In Persian]

Bayat, M.A., & Babazadeh, H. (2014). Evaluation of water use productivity indicators in the main agricultural products of Iran. *Journal of Water Sciences Research*, *6*(1), 17-29. https://jwsr.stb.iau.ir/article_532825.html

Bazrafshan, O., Yahyazadeh, M., Jamshidi, S., & Zamani, H. (2022). Spatial prioritization of tomato cultivation based on water footprint, land productivity, and economic indices. *Irrigation and Drainage*, *71*(5), 1363-1378. doi:10.1002/ird.2725

Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Moshizi, Z.G. N., & Shamili, M. (2019a). Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural Water Management*, *213*, 368-374. doi:10.1016/j.agwat.2018.10.034

Bazrafshan, O., Vafaei, K., Ramezani Etedali, H., Zamani, H., & Hashemi, M. (2023). Economic analysis of water footprint for water management of rain-fed and irrigated almonds in Iran. *Irrigation Science*, 42, 115-133. doi:10.1007/s00271-023-00861-y

Bazrafshan, O., Zamani, H., Ramezani Etedali, H., & Dehghanpir, S. (2019b). Assessment of citrus water footprint components and impact of climatic and non-climatic factors on them. *Scientia Horticulturae*, *250*, 344-351. doi:10.1016/j.scienta.2019.02.069

Binesh, S., Ahmadpari, H., Shayegh, E., Masoumi, M., & Vakili Tajareh, F. (2020). Preparation of spatial distribution maps of saffron water requirement in Kermanshah Province. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, *12*(2), 321-336. doi:10.21817/ijet/2020/v12i2/201202118

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., & Savenije, H.H. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, *10*(3), 455-468. doi:10.5194/hess-10-455-2006

El-Marsafawy, S.M., & Mohamed, A.I. (2021). Water footprint of Egyptian crops and its economics. *Alexandria Engineering Journal*, *60*(5), 4711-4721. doi:10.1016/j.aej.2021.03.019

Farshi, A.A., Shariati, M.R., Jarollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar, M., & Tavallaei, M.M. (1997). An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran, Agricultural plants. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Human Resource Education and Equipment, Agricultural Education Publication: Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. https://lib.kmu.ac.ir/site/catalogue/73287?_afPfm=-ieay14nk. [In Persian]

Gholamhoseini, M., Asadi, H., & Davoodi, M.H. (2022). Determining the physical and economic efficiency of water and nitrogen in sesame production. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *16*(4), 841-851 dor:20.1001.1.20087942.1401.16.4.12.5. [In Persian]

Hekmatnia, H., Hosseini, S. M., & Safdari, M. (2020). Determination and assessment of green, blue and gray water footprints in the international trade of agricultural products of Iran. *Iranian Journal of*

Irrigation & Drainage, 14(2), 446-463. dor:20.1001.1.20087942.1399.14.2.9.4. [In Persian]

Jaberi, S., M. Ghoochani, O., & Ghanian, M. (2019). Examining the attitude and tendency of farmers toward participation in the establishment of WUAs in Dehloran township. *Co-Operation and Agriculture*, *8*(29), 109-133. dor:20.1001.1.27835464.1398.8.29.5.2. [In Persian]

Jozi, S.A., Moradi Majd, N., & Malek Mirzaee, F. (2019). Ecological capability evaluation in Dehloran for ecotourism development. *Environmental Researches*, *9*(18), 27-40 dor:20.1001.1.20089597.1397.9.18.29.8. [In Persian]

Mehla, M.K., Kothari, M., Singh, P.K., Bhakar, S.R., & Yadav, K.K. (2022). Assessment of water footprint for a few major crops in Banas River Basin of Rajasthan. *Journal of Applied and Natural Science*, *14*(4), 1264-1271. org:10.31018/jans.v14i4.3896

Mekonnen, M.M., & Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(5), 1577-1600. doi:10.5194/hess-15-1577-2011

Mirzaei, A., Ali Karami, N., & Azarm, H. (2020). Prioritizing the cultivation of crops based on the economic productivity of water in Dehloran County. *The 10th National Conference on Environment, Energy and Sustainable Natural Resources*, Tehran, Iran. https://civilica. com/doc/1040198. [In Persian]

Mobaraki, M., & Mobaraki, M. (2021). Investigation of water footprint, virtual water and water use of three groups of autumn and spring products, vegetables (tomatoes and potatoes), industrial (sugar beet) and fodder (fodder corn) in Isfahan. *Water Engineering*, *9*(1), 89-102 https://jwe.shoushtar.iau.ir/article _686789.html?lang=en. [In Persian]

Mohamadi, E., Ahmadpari, H., Mohammadrezapour, O., Haghayeghi Moghadam, S.A., & Haghighatju. P. (2020). Investigation of virtual water status of livestock products in different countries. *Journal of New Ideas in Science, Engineering and Technology*, *4*(2), 41-61. https://civilica.com/doc/1621694. [In Persian]

Mohammadi-Kanigolzar, F., Daneshvar Ameri, J., & Motee, N. (2014). Virtual water trade as a strategy to water resource management in Iran. Journal of Water Resource and Protection, *6*(2), 141-148. doi:10.4236/jwarp.2014.62019

Molareza Qassab, F., Abdeshahi, A., & Marzban, A. (2020). Determining the physical and economic productivity of agricultural water: The case of Dezful region. *Agricultural Economics Research*, *12*(47), 49-72. dor:20.1001.1.20086407.1399.12.47.3.7. [In Persian]

Mwadzingeni, L., Mugandani, R., & Mafongoya, P. L. (2022). Socio-Economic factors and water footprint in smallholder irrigation schemes in Zimbabwe. *Water*, *14*(13), 1-11. org:10.3390/w14132101

Noori, H., Ahmadpari, H., Mohamadi, E., Mokhizadeh, V., & Hosseinbor, K. (2020). A foucauldian analysis of "virtual water" concept in terms of sustainable agriculture and food security. 4th International Conference on Innovative Technologies in Science, Engineering and Technology, Istanbul, Turkey. https://civilica.com/doc/1126532

Parvaz, G., Rostaminya, M., & Alizadeh, H. (2018). Optimization of the cropping pattern using AquaCrop-GIS (case study: Dehloran plain, Ilam Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *49*(4), 865-877 doi:10.22059 /ijswr.2017.242981.667770. [In Persian]

Salamati, N., Moayeri, M., & Abbasi, F. (2023). Evaluation of physical and economic productivity of irrigation water in canola cultivation (Case study of Behbahan). *Water and Soil Science*, 33(3), 53 -74. doi:10.22034/ws.2021.49545.2454. [In Persian]

Shakari, H., Najarchi, M., Jaafarinia, R., Mokhtari, S., Alizadeh, H.A., & Rahmani, A. (2019). Evaluation of border irrigation and comparison with the WinSRFR model (case study on the downstream lands of the reservoir dam of Doyraj). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *20*(74), 139-152 doi:10.22092/idser.2018.120805.1305. [In Persian]

Tavakoli, A., Hokmabadi, H., Naderi Arefi, A., Hajji, A. (2022). Assessment of comparative advantage of agricultural crops in Semnan Province based on water productivity. *Journal of Water and Soil Science*, *25*(4), 63-81 doi:10.47176/jwss.25.4.13162. [In Persian]

Zarei Ghorkhodi, A., Shahnazari, A., & Dadashi, P. (2022). Evaluation of water productivity indicators in the production of crops and garden in the west and center of Mazandaran Province and ranking of studies plains. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *16*(3), 657-669. dor:20.1001.1.20087942.1401.16.3.14.5. [In Persian]

Zhang, C., McBean, E.A., & Huang, J. (2014). A virtual water assessment methodology for cropping pattern investigation. *Water Resources Management*, *28*(8), 2331-2349. doi:10.1007/s11269-014-0618-y