

Investigating virtual water content and physical and economic water productivity indicators in crops

(Case study: Moghan irrigation network, Ardabil province)

Karamat Akhavan Giglou^{1*}, Milad Kheiry², Hedieh Ahmadpari³, Salim Abbasi⁴, Farhoud Kalateh⁵

¹ Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran

² Ph.D. Candidate, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Graduated M.Sc. Student, Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Graduated M.Sc. Student, Civil Engineering Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

⁵ Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

Introduction

Agriculture has played a vital role in the economy, life, and culture in the civil history of Iranians. In recent years, this sector is the largest consumer of freshwater resources in this country. One of the adaptive ways to deal with the water shortage is the optimal use of water. In the production process of a commodity, different sources of water may be used, and the type of water supply source can play a significant role in the analysis of virtual water trade. In the period of 2016-2018, previous research covered by the Moghan irrigation network has been conducted in the field of physical and economic water productivity indicators estimation of crops. Moreover, in previous studies, only benefit per drop (BPD) and net benefit per drop (NBPD) indices have been used to estimate the economic productivity of agricultural water. Therefore, in this research, the agricultural year 2020-2021 was studied in order to investigate the physical and economical water productivity indicators of crops covered by the Moghan irrigation network.

Materials and Methods

The Moghan Plain is located in the northwestern part of Iran, on the west side of the Caspian Sea, and north of Ardabil province, on the border between Iran and the Republic of Azerbaijan. The total area of the Moghan watershed is more than 5545 km². The altitude of the region is 50 to 600 m above sea level and its climate is semi-arid and moderate. Most of the agricultural farm covered by Moghan's irrigation and drainage network is devoted to cultivating crops such as wheat, barley, seed corn, fodder corn, soybean, rapeseed, rice, tomato, cotton, sugar beet, and peanut. In this research, these products' virtual water content and physical and economic water productivity are investigated. In this research, to complete the previous studies in the aforementioned field, the virtual water content of the studied products has also been investigated. In addition to the BPD and NBPD, the unit virtual water value (UWV) has been studied to further investigate the Moghan irrigation network economic efficiency of water crops.

Results and Discussion

The content of gray, blue, green, and white virtual water of the studied crops, sugar beet, tomato, and fodder corn, have the lowest content of gray virtual water among crops. Among the studied crops, fodder corn, tomato, and sugar beet products, respectively, have the highest physical water productivity, and rice, soybean, cotton, and peanut respectively have the lowest physical water productivity. Regarding gross value index per unit of irrigation volume among the studied crops tomatoes, peanuts, fodder corn, barley, and wheat, respectively have the; highest, moreover peanut, tomato, cotton, fodder corn, and sugar beet products, respectively, have the highest net value index per unit of irrigation volume among the studied crops, however, barley, wheat, rice, and grain corn, respectively, have the lowest net value index per unit of irrigation volume among the studied crops.

In addition, tomatoes, peanuts, fodder corn, wheat, and barley have the highest index of value per virtual water unit among the studied crops, respectively, while rice has the lowest value index per virtual water unit among the studied crops. According to the BPD index, tomatoes, peanuts, fodder corn, barley, and wheat are the first to fifth priorities for cultivation in the Moghan Plain. The first to fifth priorities for cultivation in the Moghan plain according to the NBPD index are peanuts, tomatoes, cotton, fodder corn, and sugar beet, and based on the UWV index, tomatoes, peanuts, fodder corn, wheat, and barley are the first to fifth priorities.

Conclusion

In the current research, the content of virtual water and the amount of physical and economic water productivity of crops covered by the Moghan irrigation network were calculated. The crop per drop (CPD) index of rice shows the last level in the crop year 2020-2021 due to the amount of water consumed and the significant cost. Also, in the analysis of the BPD and NBPD index, this product has the lowest and ninth priority, respectively, and in the current water shortage conditions in the Moghan Plain, there is a need to review the cultivation of this product. Tomatoes and fodder corn have good productivity in all three indices of CPD, BPD, and NBPD in the crop year 2020-2021. In fact, while tomato does not have a low water requirement, measuring the performance of this product shows the high net and gross profit obtained according to the cost of planting and harvesting. The amount of UWV index of wheat, rapeseed, soybean, rice, fodder corn, seed corn, tomato, barley, sugar beet, cotton, and peanut products is 24269, 15644, 18894, 9956, 36279, 17362, 50073, 23010, 21748, 19403, and 45718 rials per m³, respectively. The proposed approaches and models of this research are different depending on whether the index of physical productivity or economic productivity of water is considered in planning and policy-making.

Keywords: Economic productivity, Moghan plain, Physical productivity, Virtual water, Water productivity

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: akhavan120@gmail.com

Citation: Akhavan Giglou, 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 Modeling*, 3(3), 277-295.

DOI: 10.22098/MMWS.2023.11899.1186

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.18.0

Received: 6 December 2022, Received in revised form: 3 January 2023, Accepted: 3 January 2023, Published online: 3 January 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 277-295

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت مغان، استان اردبیل)

کرامت اخوان گیگلو^{۱*}، میلاد خیری^۲، هدیه احمدپری^۳، سلیم عباسی^۴، فرهود کلاته^۵

^۱ استادیار پژوهشی، تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
^۲ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۴ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۵ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

کمبود آب و تقاضای آن برای تولید محصولات کشاورزی سبب شده تا موضوع بهره‌وری آب مورد توجه قرار گیرد. این پژوهش به منظور برآورد محتوای آب مجازی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی دشت مغان در شمال استان اردبیل انجام شد. محتوای آب مجازی محصولات زراعی از مجموع آب مجازی سبز، آبی، خاکستری و سفید برآورد شد. در پژوهش حاضر میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب با شاخص‌های عملکرد به ازای واحد حجم آب آبیاری (CPD)، ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری (BPD)، ارزش خالص به ازای واحد حجم آبیاری (NBPD) و ارزش هر واحد آب مجازی (UWV) برای برآورد آب مجازی محصولات بادام‌زمینی، گوجه‌فرنگی، ذرت دانه‌ای، چغندر قند، برنج، کله‌ج، ذرت علوفه‌ای، سویا، پنبه و گندم برای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اندازه‌گیری و بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد که محتوای آب مجازی برای محصول برنج با ۲۶/۷۲ مترمکعب بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار و برای محصول ذرت علوفه‌ای با ۰/۳ مترمکعب بر کیلوگرم کم‌ترین مقدار را دارد. میزان شاخص CPD برای محصول ذرت علوفه‌ای و برنج با ۴/۲۸ و ۰/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مقادیر را داراست. میزان شاخص BPD با ۱۶۹۱ و ۱۰۳۷۱ ریال بر مترمکعب برای محصولات گوجه‌فرنگی و برنج به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مقادیر را دارند. میزان شاخص NBPD به ترتیب برای بادام‌زمینی و جو با مقادیر ۳۱۷۰۷ و ۴۵۹۹ ریال بر مترمکعب حداکثر و حداقل شاخص بهره‌وری اقتصادی را دارند. هم‌چنین، میزان شاخص UWV برای محصولات گوجه‌فرنگی و برنج، حداکثر و حداقل شاخص با مقادیر ۵۰۰۷۳ و ۹۹۵۶ ریال بر مترمکعب محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، بهره‌وری آب، بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری اقتصادی، دشت مغان

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: akhavang120@gmail.com

استناد: اخوان گیگلو، کرامت، خیری، میلاد، احمدپری، هدیه، عباسی، سلیم، و کلاته، فرهود (۱۴۰۲). بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت مغان، استان اردبیل). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۲۷۷-۲۹۵.

DOI: 10.22098/MMWS.2023.11899.1186
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.18.0



تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۲۷۷ تا ۲۹۵

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

۱- مقدمه

در طول تاریخ کشاورزی نقش محوری در اقتصاد، زندگی و فرهنگ مردم ایران داشته است. امروزه این بخش، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب شیرین در ایران است. یکی از راه‌های سازگاری برای مقابله با کمبود آب، استفاده بهینه از آب است (Emami et al., 2020; Kheiry Ghoujeh Biglou and Pilpayeh, 2020a, 2020b). با در نظر گرفتن افزایش تنش آبی در کشور، به‌کارگیری تمهیدات مناسب برای بهره‌برداری مناسب و بهینه از منابع آبی موجود از اهمیت بالایی برخوردار است (Choopan et al., 2020; Kalateh and Kheiry, 2022; Ghoujeh Biglou, 2022a, 2022b; Kalateh et al., 2022). برآورد میزان آب مجازی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات کشاورزی یکی از تمهیدات لازم برای بهره‌برداری مناسب از منابع آب است. آبی که در مراحل مختلف تولید یک محصول استفاده می‌شود، آب مجازی در محصول نامیده می‌شود (Noori et al., 2020). با تجارت (واردات و صادرات) محصولات کشاورزی در سطح ملی و بین‌المللی، تجارتی از آب مجازی به‌وجود می‌آید؛ به این صورت که کشور واردکننده علاوه بر محصولات کشاورزی، آب مجازی را نیز وارد می‌کند (Mohamadi et al., 2020).

در فرآیند تولید یک محصول ممکن است منابع مختلف آب استفاده شود که در این حالت نوع منبع تأمین آب می‌تواند در تحلیل تجارت آب مجازی نقش مهمی داشته باشد (Mircholi et al., 2016). اخیراً ارزیابی و تحلیل بهره‌وری آبی محصولات از جنبه اقتصادی تحت شرایط مختلف مورد توجه قرار گرفته است (Abdzad-Gohari and Babazadeh, 2022; Khazaei et al., 2022; Taftah et al., 2023). محتوای آب مجازی یعنی Virtual water content محصولات کشاورزی به چهار نوع سبز، آبی، خاکستری و سفید طبقه‌بندی شده است (Rahimi, 2021). محتوای آب مجازی سبز میزان آب باران مصرف شده در دوره رشد محصول را اندازه‌گیری می‌کند. محتوای آب مجازی آبی نشان‌دهنده مقدار برداشت از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است و به‌طور سنتی، استفاده از سامانه‌های 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 (Hoekstra and Hung, 2002). محتوای آب مجازی سفید به حجم تلفات آب آبیاری اطلاق می‌شود (Bazrafshan and Gerkani, 2019). محتوای آب مجازی بر اساس شرایط اقلیمی هر منطقه محاسبه می‌شود و در مناطق مختلف بسیار متفاوت است زیرا طبق شرایط جغرافیایی و داده‌های آب و

هوایی هر منطقه محاسبه می‌شود (Hekmatnia et al., 2020). بهره‌وری آب شاخصی است که میزان محصول به‌دست آمده از آب مصرف شده را نشان می‌دهد و یک مبنای کلیدی برای مطالعه میزان تولید محصولات کشاورزی و بازدهی منابع آب است (Jenab and Nazari, 2019).

هدف اصلی در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در جهان افزایش بیش‌تر تولید محصولات کشاورزی با مصرف آب کم‌تر است تا از این طریق امکان کاهش سهم آب بخش کشاورزی و تخصیص بیش‌تر آب به سایر مصارف و نیاز آبی محیط زیست فراهم آید (Seyedan and Mottaghi, 2019). در راستای مدیریت بهره‌وری آب، کشاورزان تمایل به افزایش بهره‌وری در مقیاس مزرعه برای کاهش و به حداقل رساندن هزینه‌های آب و تولید درآمد بیش‌تر را دارند (Saghi et al., 2021). از این‌رو بهره‌وری آب کشاورزی به‌ویژه بهره‌وری اقتصادی آب، یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه جدی مجامع علمی مرتبط با آبیاری، کشاورزی و پژوهش‌گران مربوطه قرار گرفته است (Saghi et al., 2021).

شبکه آبیاری و زهکشی مغان با زمین‌های ناخالص و خالص به‌ترتیب ۹۰۴۰۰ و ۷۲۰۰۰ هکتار یکی از قطب‌های کشاورزی کشور محسوب می‌شود (Akhavan et al., 2021). تاکنون مطالعات اندکی در زمینه برآورد بهره‌وری آب محصولات کشاورزی دشت مغان انجام شده است. در این راستا، Azizizohan et al. (2019) در دشت مغان به بررسی میزان بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای طی سال زراعی ۱۳۹۵ پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای به‌طور متوسط ۱۵/۴ کیلوگرم بر مترمکعب است که بین ۶/۳ تا ۳۸/۷ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است. در ادامه، Farahza et al. (2020) در دشت مغان به بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) محصولات گندم، کلزا، سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، جو و چغندر قند به‌ترتیب برابر ۱/۲۷، ۰/۵، ۰/۶۷، ۰/۰۶۹، ۴/۵، ۰/۴۵، ۳/۴۶، ۱/۱۹ و ۵/۵ کیلوگرم در مترمکعب است و میزان بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) به‌ترتیب برابر ۱۰۹۸، ۵۷۲، ۷۰۲، ۳۱۳، ۵۴۲، ۲۲۸۶، ۸۳۲، ۶۸۵ و ۱۱۱۱ تومان در مترمکعب است. هم‌چنین، Parchami-Araghi et al. (2021) در دشت مغان به ارزیابی مقدار آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی کلزا در فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین نیاز آبی خالص کلزا ۳۲۵ میلی‌متر، میانگین کل آب کاربردی ۴۷۹۸ مترمکعب در

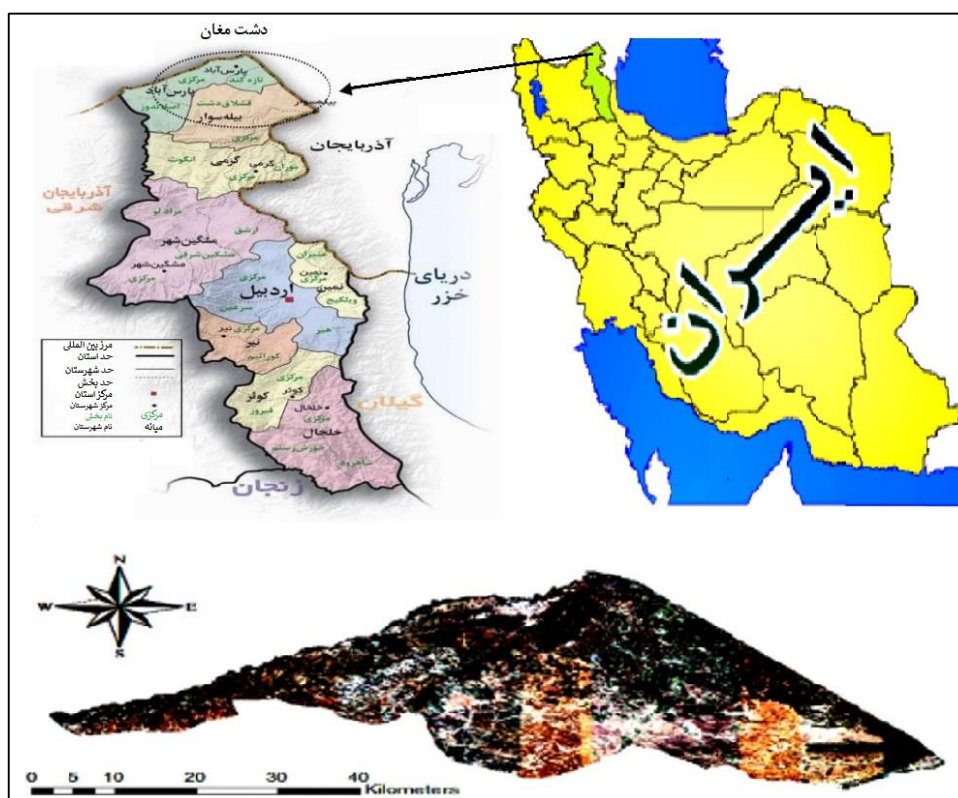
دشت مغان در شمال غربی ایران و در سمت غربی دریای خزر و در شمال استان اردبیل روی مدار ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است. این منطقه از شمال به رودخانه ارس و در مشرق از یک قسمت به خط مرزی ایران و جمهوری آذربایجان و در قسمت دیگر به رودخانه فصلی بالهارود و از جنوب به ارتفاعات خروسلو و از سمت مغرب به رودخانه قره‌سو یا دره‌رود که حفاصل بین قشلاق طوایف ایل سون و قشلاق ارسباران محدود بوده و فاصله آن تا دریای خزر ۷۵ کیلومتر است (Sobhani et al., 2020). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت مغان در کشور ایران و استان اردبیل نشان داده شده است. محدوده دشت مغان شامل بخش‌هایی از سه شهرستان اصلاندوز، بیله‌سوار و پارس‌آباد است (شکل ۱).

مساحت کل حوزه آبریز مغان بیش از ۵۵۴۵ کیلومترمربع است (Sookhtanlou, 2019). ارتفاع منطقه از سطح دریا ۵۰ تا ۶۰۰ متر و اقلیم آن نیمه‌خشک معتدل است (Azizizohan et al., 2021). متوسط بارندگی سالانه دشت مغان ۲۸۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵ درجه سانتی‌گراد است (DOEIR, 2022). دشت مغان به‌علت وجود شرایط مناسب کشاورزی، وجود رودخانه ارس و سد اصلاندوز، خاک حاصل‌خیز، دما و رطوبت مناسب یکی از قطب‌های مطرح کشاورزی در ایران محسوب می‌شود (Bondori et al., 2020). شبکه آبیاری و زهکشی مغان با وسعت بیش از ۷۰۰۰۰ هکتار و شبکه آبیاری و زهکشی در حال احداث خدا آفرین با وسعت بیش از ۳۶۰۰۰ هکتار در این دشت واقع شده است (Fazeli Khiavi et al., 2021). شبکه آبیاری و زهکشی مغان، آب مورد نیاز حدود ۶۴۰۰۰ هکتار از اراضی خالص شرکت‌های کشت و صنعت مغان، پارس و بخش خصوصی را تأمین می‌کند (Akhavan et al., 2021). محل آبیاری کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی مغان به ظرفیت ۸۰ مترمکعب بر ثانیه از سد انحرافی میل-مغان است (Nasseri, 2017). این کانال که به‌عنوان کانال مادر عمل می‌کند خاکی است و پس از مشروب کردن اراضی مسیر به طول ۳۵ کیلومتر، به دریاچه شبکه می‌ریزد (Akhavan et al., 2019; Akhavan et al., 2022). سالانه حدود ۲۶۰ میلیون مترمکعب زهاب از شبکه آبیاری و زهکشی مغان بدون استفاده به رودخانه مرزی ارس می‌ریزد (Akhavan et al., 2017). به‌غیر از برخی زهکش‌های شبکه که به‌صورت محدود به‌علت بحران کم‌آبی در سال‌های اخیر جهت تأمین آب اراضی پایین‌دست شبکه مورد استفاده قرار گرفته، هیچ‌گونه مدیریتی روی زهاب‌های شبکه اعمال نمی‌شود (Akhavan et al., 2017).

هکتار، میانگین عملکرد دانه کلزا ۲/۶۴ تن در هکتار و میانگین بهره‌وری فیزیکی آب کلزا ۰/۵۵ کیلوگرم در مترمکعب است. در پژوهشی، Parchami-Araghi et al. (2022) به ارزیابی مقدار آب کاربردی و بهره‌وری آب سویا طی فصل زراعی ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ در دشت مغان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که میانگین نیاز آبی خالص سویا ۵۴۲ میلی‌متر، میانگین کل آب کاربردی ۶۵۵۴ مترمکعب در هکتار و میانگین عملکرد دانه سویا ۲/۹۰ تن در هکتار است. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب سویا برابر ۰/۲۴ کیلوگرم در مترمکعب و میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) آن برابر ۳۳/۱۹ هزار ریال در مترمکعب است. در نهایت، Abdiaghdam et al. (2022) میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات مهم زراعی کشت و صنعت و دامپروری مغان را در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ با شاخص‌های BPD، CPD و NBPD بررسی کردند. نتایج شاخص CPD نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، کلزا و چغندر قند به‌ترتیب برابر ۱/۰۵، ۰/۹، ۰/۳۵، ۰/۲۳، ۰/۵ و ۲/۰۹ کیلوگرم در مترمکعب است. نتایج شاخص BPD نشان داد که میزان سود ناخالص به ازای واحد حجم آب محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، کلزا و چغندر قند به‌ترتیب برابر ۴/۱۵، ۱۳/۶۵، ۱۳/۹۰، ۵/۸۲، ۱۳/۲۱ و ۶/۶۷ و بر اساس شاخص NBPD میزان سود خالص به ازای واحد حجم آب محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، کلزا و چغندر قند به‌ترتیب برابر ۹/۳۶، ۸/۹۷، ۱/۳۹، ۲/۰۸، ۹/۹۵ و ۳/۲۷ هزار ریال در مترمکعب است. بازه زمانی پژوهش بر میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی مؤثر است. در پژوهش‌های پیشین، برآورد شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۷ انجام شده است (Farahza et al., 2020; Abdiaghdam et al., 2022). هم‌چنین، در مطالعات پیشین برای برآورد بهره‌وری اقتصادی آب محصولات کشاورزی فقط از شاخص BPD و NBPD استفاده شده است. در حالی‌که پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و در راستای تکمیل مطالعات پیشین به بررسی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان می‌پردازد. در ادامه، علاوه بر شاخص BPD و NBPD از شاخص ارزش هر واحد آب مجازی (UWV) برای بررسی بیش‌تر بهره‌وری اقتصادی آب محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان نیز استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت مغان در کشور ایران و استان اردبیل
Figure 1- Geographical location of Moghan Plain in Iran and Ardabil province

۲-۲- محتوای آب مجازی

در این پژوهش محتوای آب مجازی محصولات زراعی شبکه آبیاری مغان از رابطه (۱) برآورد شد.

$$VWC_{Crop} = VWC_{Blue} + VWC_{Green} + VWC_{Gray} + VWC_{White} \quad (1)$$

در رابطه بالا، 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 (Hoekstra et al., 2011; Rahimi, 2021). واحد محتوای آب مجازی محصولات زراعی و محتوای آب مجازی آبی، سبز، خاکستری و سفید مترمکعب بر کیلوگرم است. برای محاسبه محتوای آب مجازی خاکستری در شرایط فاریاب از رابطه (۲) استفاده شد.

$$VWC_{Gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Yield_{Crop}} \quad (2)$$

در رابطه مذکور، 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 (Abaei and Etedali, 2014). غلظت بحرانی

نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA)، ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب) منظور شد و به دلیل آن که 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 برای برآورد محتوای آب مجازی خاکستری به داده‌های عملکرد محصولات زراعی و نرخ مصرف کود نیتروژن بر اساس سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نیاز است، که از جهاد کشاورزی شهرستان پارس‌آباد دریافت شد. برای محاسبه محتوای آب مجازی سبز از رابطه (۳) استفاده شد.

$$VWC_{Green} = \frac{10 \times P_{eff}}{Yield_{Crop}} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، $Yield_{Crop}$ ؛ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، P_{eff} ؛ میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد گیاه (میلی‌متر) و عدد ۱۰ به جهت تبدیل واحد میلی‌متر به مترمکعب در هکتار است (Abaei and Etedali, 2014). در این پژوهش، میزان بارش مؤثر به روش وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) و

¹ United states department of agriculture (USDA)

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

در آن، $Yield_{Crop}$ ؛ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Ir_{Gross} ؛ میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) (مترمکعب در هکتار).

در ادامه، برای سنجش بهره‌وری اقتصادی آب محصولات زراعی مورد مطالعه از شاخص‌های ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری (BPD)، ارزش خالص به ازای واحد حجم آبیاری (NBPD) و ارزش هر واحد آب مجازی (UWV) استفاده شد. در شاخص BPD نسبت درآمد (سود ناخالص) به واحد حجم آبیاری در نظر گرفته می‌شود (رابطه (۷)) (Ebrahimnezhad et al., 2021).

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

در رابطه (۷)، TR ؛ درآمد (سود ناخالص) (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 (ریال بر کیلوگرم) و BPD برحسب ریال بر مترمکعب است. در شاخص NBPD نسبت سود خالص به ازای واحد حجم آبیاری در نظر گرفته می‌شود که از رابطه (۸) قابل محاسبه است (Ebrahimnezhad et al., 2021).

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

در رابطه (۸)، TR ؛ درآمد (سود ناخالص) (ریال بر هکتار)، PC ؛ هزینه تولید (ریال بر هکتار)، IN ؛ سود خالص (ریال بر هکتار)، Ir_{Gross} ؛ میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) (مترمکعب در هکتار) و NBPD (ریال بر مترمکعب) است (Ebrahimnezhad et al., 2021). در شاخص UWV نسبت قیمت محصول به محتوای آب مجازی در نظر گرفته می‌شود که از رابطه (۹) قابل محاسبه است (Zhang et al., 2014).

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

در آن، C_{Crop} ؛ قیمت هر محصول (ریال بر کیلوگرم)، VWC_{Crop} ؛ محتوای آب مجازی هر محصول (مترمکعب بر کیلوگرم) و UWV برحسب ریال بر مترمکعب است. در این پژوهش داده‌های مربوط به قیمت هر محصول و هزینه تولید هر محصول از جهاد کشاورزی شهرستان پارس‌آباد دریافت شد.

با نرم‌افزار CROPWAT 8.0 برآورد شد. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از داده‌های اقلیمی، داده‌های خاک و داده‌های گیاهی میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع، بارش مؤثر، نیاز آبی و آبیاری محصولات زراعی و باغی را برآورد می‌کند و در برنامه‌ریزی آبیاری از آن استفاده می‌شود (Binesh et al., 2020). در پژوهش حاضر برای برآورد بارندگی مؤثر از داده بارندگی روزانه و ماهانه ایستگاه پارس‌آباد با دوره آماری ۲۲ ساله استفاده شد. برای برآورد میزان آب سبز مصرفی (بارش مؤثر) هر محصول به داده‌های تاریخ کشت و برداشت و طول دوره رشد آن محصول نیاز است، که این داده‌ها از جهاد کشاورزی شهرستان پارس‌آباد دریافت شد. برای محاسبه محتوای آب مجازی آبی از رابطه زیر استفاده شد.

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

در این رابطه، $Yield_{Crop}$ ؛ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Ir_{Net} ؛ نیاز آبیاری خالص برحسب 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 پژوهش حاضر داده‌های مربوط به میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) هر محصول از سازمان آب منطقه‌ای شهرستان پارس‌آباد دریافت شد. راندمان آبیاری در مزارع تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی مغان طبق داده‌های به‌دست‌آمده از سازمان آب منطقه‌ای شهرستان پارس‌آباد برابر ۴۲ درصد است که در محاسبات مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه محتوای آب مجازی سفید از رابطه (۵) استفاده شد.

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

در رابطه (۵)، $Yield_{Crop}$ ؛ عملکرد هر محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Ir_{Net} ؛ نیاز آبیاری خالص (مترمکعب در هکتار) و Ir_{Gross} ؛ میزان آب آبی مصرفی (نیاز آبیاری ناخالص) (مترمکعب در هکتار) است (Rahimi, 2021).

۲-۳- بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب

برای سنجش بهره‌وری فیزیکی آب محصولات زراعی مورد مطالعه از شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آبیاری (CPD) استفاده شد. این شاخص در واقع نسبت میزان محصول تولید شده به حجم آب آبیاری است که به‌صورت رابطه (۶) بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب استفاده می‌شود (Ebrahimnezhad et al., 2021). لذا هرچه این شاخص بیشتر باشد معرف بهره‌وری بالا و مصرف مناسب‌تر آب است (Bayat & Babazadeh, 2014).

² Benefit per drop

³ Net benefit per drop

⁴ Unit virtual water value

² Crop per drop

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مقادیر سطح زیرکشت، عملکرد محصول

در جدول ۱ میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان ارائه شده است. مقادیر سطح زیرکشت، عملکرد محصول، نرخ مصرف کود نیتروژن، بارش مؤثر، نیاز آبیاری خالص و ناخالص محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان در جدول ۲ یک ارائه شده است. بر اساس جدول ۲، گندم، پنبه، بادام‌زمینی، سویا، ذرت علوفه‌ای، جو، چغندرقد و کلزا

به‌ترتیب بیش‌ترین سطح زیرکشت آبی را در بین محصولات مورد مطالعه دارند. ذرت دانه‌ای، برنج و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب کم‌ترین سطح زیرکشت آبی را در بین محصولات مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. 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 ۲۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است.

جدول ۱- میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان

Table 1- The amount of effective rainfall during the growing period of crops covered by the Moghan irrigation network

ماه	بارش مؤثر در هر ماه (میلی‌متر)	نوع محصول	طول دوره رشد گیاه	کل بارش مؤثر در طول دوره رشد گیاه (میلی‌متر)
Month	Effective rainfall per month	Crop Type	Length of crop growth period	Total effective rainfall during the crop growth period
فروردین	28.7	بادام‌زمینی	اردیبهشت - شهریور	106
اردیبهشت	45.3	گوجه‌فرنگی	فروردین - شهریور	134.7
خرداد	28.7	ذرت دانه‌ای	اردیبهشت - شهریور	106
تیر	9.2	چغندرقد	فروردین - مهر	172
مرداد	3.8	برنج	اردیبهشت - شهریور	106
شهریور	19	کلزا	آبان - خرداد	245.2
مهر	37.3	جو	آبان - خرداد	245.2
آبان	41.2	ذرت علوفه‌ای	فروردین - تیر	111.9
آذر	25.4	سویا	اردیبهشت - شهریور	106
دی	22.5	پنبه	اردیبهشت - مهر	143.3
بهمن	25.9	گندم	آبان - خرداد	245.2
اسفند	27.5	-	-	-

جدول ۲- مقادیر سطح زیرکشت، عملکرد محصول، نرخ مصرف کود نیتروژن، بارش مؤثر، نیاز آبیاری خالص و ناخالص محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان

Table 2- Amounts of cultivated area, crop yield, nitrogen fertilizer consumption rate, effective rainfall, net, and gross irrigation requirement of crops covered by the Moghan irrigation network

نوع محصول	سطح زیرکشت (هکتار)	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)	نرخ مصرف کود نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	بارش مؤثر (مترمکعب بر هکتار)	نیاز آبیاری خالص (مترمکعب بر هکتار)	نیاز آبیاری ناخالص (مترمکعب بر هکتار)
Crop Type	Cultivated area	Crop yield	Nitrogen fertilizer consumption rate	Effective rainfall	Net irrigation requirement	Gross irrigation requirement
بادام‌زمینی	9955	3500	300	1060	6963.17	16579
گوجه‌فرنگی	729	50000	370	1347	5786.90	13778
ذرت دانه‌ای	59	6500	400	1060	5790.51	13787
چغندرقد	3028	60000	250	1720	8370	19929
برنج	342	2400	300	1060	25854.76	61559
کلزا	2950	2800	200	2452	2053.46	4889
جو	3121	3800	350	2452	2050	4881
ذرت علوفه‌ای	4853	45000	400	1119	4420.68	10525
سویا	8968	2700	200	1060	6637.36	15803
پنبه	10422	3500	350	1433	7008.26	16686
گندم	19315	5100	400	2452	2543.12	6055

در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. سویا و کلزا با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار دارای کم‌ترین نرخ

ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و گندم با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار دارای بیش‌ترین نرخ مصرف کود نیتروژن

مجازی سبز را در بین تمامی محصولات زراعی دارند. میزان عملکرد بر میزان محتوای آب مجازی سبز مؤثر است و با آن رابطه معکوس دارد. بنابراین، محصولات ذرت علوفه‌ای، چغندر قند و گوجه‌فرنگی به‌علت داشتن بالاترین میزان عملکرد در بین محصولات زراعی دارای کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی سبز هستند. کلزا، جو، گندم به‌ترتیب دارای بیش‌ترین میزان محتوای آب مجازی سبز در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. میزان آب سبز (بارش مؤثر) بر میزان محتوای آب مجازی سبز مؤثر است و با آن رابطه مستقیم دارد. محصولات کلزا، جو، گندم به‌علت دریافت ۲۴۵۲ مترمکعب بر هکتار آب سبز در طول دوره رشد خود، دارای بیش‌ترین میزان محتوای آب مجازی سبز در بین محصولات زراعی هستند.

اگرچه میزان آب سبز دریافتی (بارش مؤثر) کلزا، جو، گندم یکسان است ولی اختلاف در عملکرد این محصولات موجب شده که میزان محتوای آب مجازی سبز آن‌ها متفاوت باشد. برنج با میزان آب مجازی آبی ۱۰/۷۷ مترمکعب بر کیلوگرم و میزان آب مجازی سفید ۱۴/۸۸ مترمکعب بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید در بین محصولات زراعی مورد مطالعه است. بالا بودن میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید برنج به‌علت مصرف زیاد آب آبی و عملکرد پایین آن است. ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و چغندر قند به‌علت داشتن بالاترین میزان عملکرد در بین محصولات زراعی، دارای کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید هستند. در ستون آخر جدول ۳ میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است (جدول ۳) که میزان محتوای آب مجازی ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و چغندر قند به‌ترتیب برابر ۰/۳، ۰/۳۴ و ۰/۳۸ مترمکعب بر کیلوگرم است و این سه محصول در مقایسه با سایر محصولات مورد مطالعه، دارای کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی هستند. محصولات ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و چغندر قند به‌علت داشتن بالاترین میزان عملکرد در بین محصولات زراعی مورد مطالعه دارای کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی هستند. برنج بیش‌ترین میزان محتوای آب مجازی را در بین محصولات زراعی دارد و میزان محتوای آب مجازی آن ۲۶/۷۲ مترمکعب بر کیلوگرم است. بالا بودن میزان محتوای آب مجازی برنج معلول بالا بودن میزان محتوای آب مجازی آبی و سفید آن است. اگر محتوای آب مجازی محاسبه شده برای هر محصول بیش‌تر از یک مترمکعب بر کیلوگرم باشد، آن محصول در رده محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کم‌تر از یک مترمکعب بر کیلوگرم باشد، جزء محصولات کم‌مصرف است (Mobaraki and Mobaraki, 2021). بنابراین، ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و

مصرف کود نیتروژن در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. طول دوره رشد گندم، جو و کلزا در منطقه مورد مطالعه مشابه هم است. بنابراین، میزان آب سبز دریافتی (بارش مؤثر) این محصولات مشابه هم است. گندم، جو و کلزا با دریافت ۲۴۵۲ مترمکعب بر هکتار آب سبز در طول دوره رشد خود، دارای بیش‌ترین میزان آب سبز مصرفی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. بادام‌زمینی، ذرت دانه‌ای، برنج و سویا به‌علت مشابه بودن طول دوره رشد، دارای میزان آب سبز مصرفی یکسانی هستند. این محصولات با دریافت ۱۰۶۰ مترمکعب بر هکتار آب سبز در طول دوره رشد خود، دارای کم‌ترین میزان آب سبز مصرفی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. بررسی نیاز آبیاری خالص و ناخالص محصولات زراعی مورد مطالعه نشان می‌دهد که برنج با مصرف ۲۵۸۵۴/۷۶ مترمکعب بر هکتار آب آبی دارای بیش‌ترین نیاز آبیاری خالص است. میزان راندمان آبیاری همه محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان ۴۲ درصد است، بنابراین، برنج دارای بیش‌ترین نیاز آبیاری ناخالص نیز است. جو و کلزا به‌ترتیب با مصرف ۲۰۵۰ و ۲۰۵۳/۴۶ مترمکعب بر هکتار آب آبی دارای کم‌ترین نیاز آبیاری خالص در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. با توجه به یکسان بودن راندمان آبیاری همه محصولات می‌توان گفت در بین محصولات زراعی جو و کلزا کم‌ترین نیاز آبیاری ناخالص را دارند.

۳-۲- میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی

میزان محتوای آب مجازی خاکستری، آبی، سبز و سفید محصولات مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. چغندر قند، گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای کم‌ترین میزان محتوای آب مجازی خاکستری را در بین محصولات زراعی مورد مطالعه دارند. میزان عملکرد بر میزان محتوای آب مجازی خاکستری مؤثر بوده و با آن رابطه معکوس دارد. بنابراین، محصولات چغندر قند، گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای به‌علت داشتن بالاترین میزان عملکرد در بین محصولات زراعی مورد مطالعه کم‌ترین میزان آب مجازی خاکستری را دارند. برنج، پنبه و جو دارای بیش‌ترین میزان محتوای آب مجازی خاکستری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. نرخ مصرف کود نیتروژن بر میزان محتوای آب مجازی خاکستری مؤثر است و با آن رابطه مستقیم دارد. ترکیب نرخ بالای مصرف کود نیتروژن و عملکرد پایین محصولات برنج، پنبه و جو موجب شده که این محصولات، میزان محتوای آب مجازی خاکستری بالایی نسبت به سایر محصولات زراعی مورد مطالعه داشته باشند. ذرت علوفه‌ای، چغندر قند و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب کم‌ترین میزان محتوای آب

چغندر قند در رده محصولات کم‌مصرف قرار دارند و سایر محصولات زراعی مورد مطالعه جزء محصولات پرمصرف طبقه‌بندی می‌شوند.

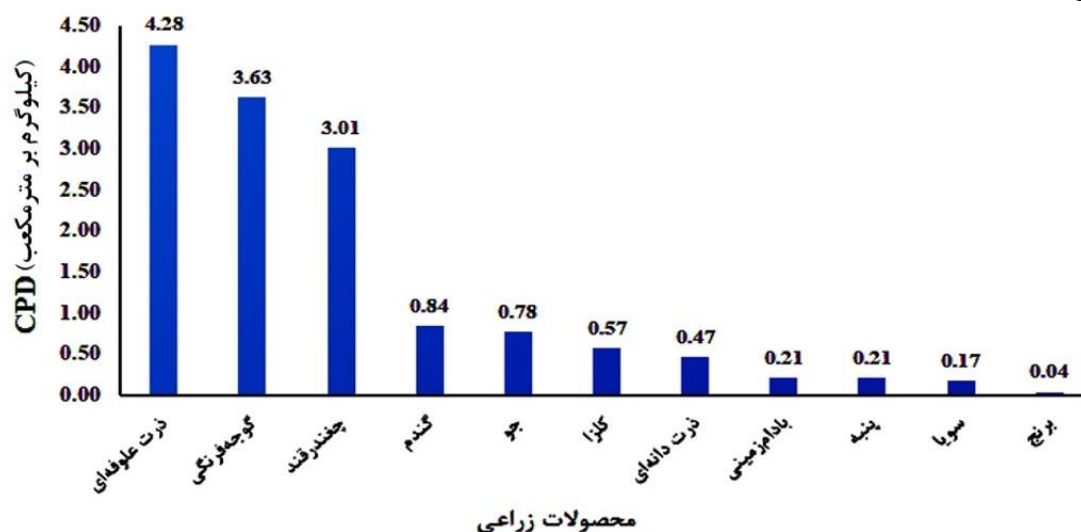
جدول ۳- میزان محتوای آب مجازی محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان
Table 3- The amount of virtual water content of crops covered by the Moghan irrigation network

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}
بادام‌زمینی	0.43	0.30	1.99	2.75	5.47
گوجه‌فرنگی	0.04	0.03	0.12	0.16	0.34
ذرت دانه‌ای	0.31	0.16	0.89	1.23	2.59
چغندر قند	0.02	0.03	0.14	0.19	0.38
برنج	0.63	0.44	10.77	14.88	26.72
کلزا	0.36	0.88	0.73	1.01	2.98
جو	0.46	0.65	0.54	0.74	2.39
ذرت علوفه‌ای	0.04	0.02	0.10	0.14	0.30
سویا	0.37	0.39	2.46	3.39	6.62
پنبه	0.50	0.41	2.00	2.77	5.68
گندم	0.39	0.48	0.50	0.69	2.06

بنابراین، بالا بودن بهره‌وری فیزیکی آب محصولات ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و چغندر قند معلول پایین بودن میزان محتوای آب مجازی آن‌ها است. این قضیه برای سایر محصولات زراعی نیز صدق می‌کند. پنبه و بادام‌زمینی دارای بهره‌وری فیزیکی آب (۰/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب) یکسانی هستند. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه بهره‌وری آبی پنبه و بادام‌زمینی در دشت مغان انجام نشده است، لذا نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های الگوی کشت کمک کند.

۳-۳- شاخص بهره‌وری فیزیکی (CPD)

شکل ۲ میزان شاخص CPD محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۲، محصولات ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و چغندر قند به ترتیب دارای بیش‌ترین بهره‌وری فیزیکی آب در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. برنج، سویا، پنبه و بادام‌زمینی به ترتیب دارای کم‌ترین بهره‌وری فیزیکی آب در بین محصولات زراعی دارند. بهره‌وری فیزیکی آب با محتوای آب مجازی محصول، رابطه معکوس دارد (Abdollahzadeh kahrizi et al., 2022).



شکل ۲- میزان شاخص CPD محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان
Figure 2- The amount of CPD index of crops covered by the Moghan irrigation network

(2020) نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه شده برای همه محصولات مشترک به جز گوجه‌فرنگی، کلزا و ذرت

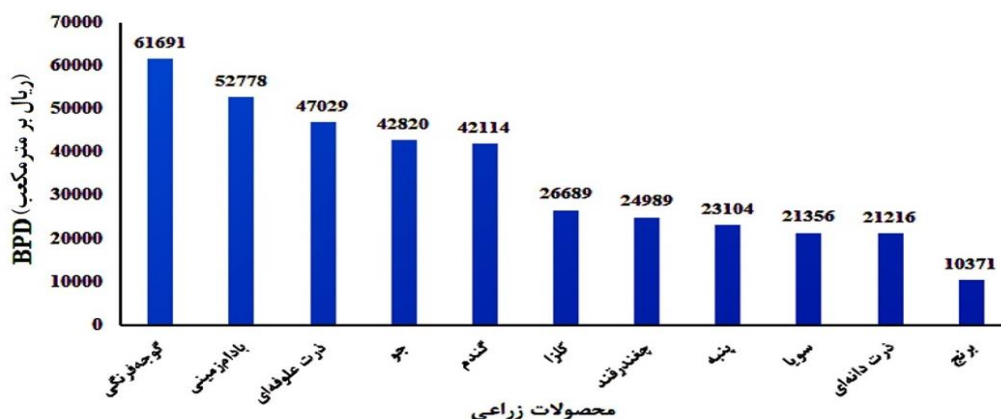
۳-۴- مقایسه نتایج بهره‌وری فیزیکی آب سایر محصولات زراعی مورد مطالعه در این پژوهش با استفاده از مطالعه (Farahza et al.)

دانه‌ای از میزان بهره‌وری فیزیکی آب تخمینی (Farahza et al., 2020) کم‌تر است. البته اختلاف نتایج مرتبط با میزان بهره‌وری فیزیکی آب محصولات زراعی این پژوهش با مطالعه (Farahza et al., 2020) اندک است. در پژوهش حاضر میزان بهره‌وری فیزیکی آب کلزا حدود ۰/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب تخمین زده شد که با نتایج مطالعه (Parchami-Araghi et al., 2021) هم‌خوانی دارد. میزان بهره‌وری فیزیکی آب سویا حدود ۰/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد که با نتایج Parchami-Araghi et al. (2022) به‌طور تقریبی سازگاری دارد. میزان بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای در این پژوهش حدود ۴/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب تخمین زده شد که میزان تخمینی این پژوهش با مقدار تخمینی مطالعه (Azizizohan et al., 2019) خیلی کم‌تر و مغایرت دارد. در این پژوهش میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای ۴۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و سطح زیرکشت مورد بررسی ۴۸۵۳ هکتار است که تحت پوشش سیستم آبیاری سطحی باران‌مان ۴۲ درصد قرار گرفته است، درحالی‌که در مطالعه (Azizizohan et al., 2019) مساحت تحت کشت ذرت علوفه‌ای ۲۸/۲ هکتار است که حدود ۱۷ هکتار آن دارای عملکرد ۶۶۵۸۲ کیلوگرم در هکتار است و مجهز به سیستم آبیاری بارانی-سنتریوت است که راندمان آبیاری آن از سیستم آبیاری سطحی بیش‌تر است. بنابراین اختلاف در عملکرد محصول و تفاوت در سیستم آبیاری مورد بررسی موجب شده که نتایج این دو پژوهش باهم مغایرت داشته باشد. مقایسه نتایج بهره‌وری فیزیکی آب محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، کلزا و چغندرقد در پژوهش حاضر با مطالعه (Abdiaghdam et al., 2022) نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه شده برای همه محصولات مورد مطالعه به‌جز گندم و جو از میزان بهره‌وری فیزیکی آب تخمینی (Abdiaghdam et al., 2022) با اختلاف کم، بیش‌تر است.

۳-۵- شاخص سود ناخالص (BPD)

محصولات گوجه‌فرنگی، بادام‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، جو و گندم به‌ترتیب دارای بیش‌ترین شاخص ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. برنج، ذرت دانه‌ای، سویا و پنبه به ترتیب دارای کم‌ترین شاخص ارزش ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان سود ناخالص به ازای واحد حجم آبیاری (میزان شاخص BPD) محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، کلزا و چغندرقد به‌ترتیب برابر ۴۲۱۱۴، ۴۲۸۲۰، ۲۱۲۱۶، ۴۷۰۲۹،

مقادیر قیمت فروش هر کیلوگرم محصول، درآمد حاصل از فروش، هزینه عملیات زراعی هر هکتار و سود خالص در هر هکتار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ تعیین و در جدول ۴ ارائه شده است. بیش‌ترین قیمت فروش هر کیلوگرم محصولات زراعی به‌ترتیب متعلق به محصولات برنج، بادام‌زمینی، سویا و پنبه است. کم‌ترین قیمت فروش هر کیلوگرم محصولات زراعی به‌ترتیب متعلق به محصولات چغندرقد، ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و ذرت دانه‌ای است. محصولات بادام‌زمینی، گوجه‌فرنگی، برنج و چغندرقد به‌ترتیب با میزان سود ناخالص برابر ۸۷۵، ۸۵۰، ۶۳۸/۴۰ و ۴۹۸ میلیون ریال در هکتار دارای بیش‌ترین درآمد (سود ناخالص) در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. کلزا، جو، گندم و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب با میزان سود ناخالص برابر ۱۳۰/۴۹، ۲۰۹، ۲۵۵ و ۲۹۲/۵ میلیون ریال در هکتار دارای کم‌ترین درآمد (سود ناخالص) در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات گوجه‌فرنگی، پنبه، بادام‌زمینی و برنج به‌ترتیب با میزان هزینه تولید (هزینه عملیات زراعی) برابر ۶۱۵، ۳۸۵/۵۳، ۳۴۹/۳۳ و ۲۸۵/۸ میلیون ریال در هکتار دارای بیش‌ترین هزینه عملیات زراعی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند.



شکل ۳- میزان شاخص BPD محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان

Figure 3- The amount of BPD index of crops covered by the Moghan irrigation network

جدول ۴- میزان درآمد خالص و ناخالص محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان

Table 4- The amount of net and gross income of crops covered by the Moghan irrigation network

سود خالص (ریال بر هکتار)	هزینه تولید (ریال بر هکتار)	درآمد حاصل از فروش (ریال بر هکتار)	قیمت فروش (ریال بر کیلوگرم)	نوع محصول
Net Income	Production Cost	Gross Income	Sale price	Crop Type
525.665.000	349.332.480	875.000.000	250.000	بادام‌زمینی
322.000.000	615.000.000	935.000.000	17.000	گوجه‌فرنگی
101.266.083	191.233.917	292.500.000	45.000	ذرت دانه‌ای
287.000.000	213.600.000	500.000.000	8.300	چغندر قند
352.600.000	285.800.000	638.400.000	266.000	برنج
60.412.800	70.070.000	130.485.600	46.602	کلزا
224.487.596	112.243.798	209.000.000	55.000	جو
188.543.300	157.119.417	495.000.000	11.000	ذرت علوفه‌ای
223.703.100	113.796.900	337.500.000	125.000	سویا
36.6971.500	385.529.760	665.528.500	110.151	پنبه
282.887.072	141.443.536	255.000.000	50.000	گندم

زراعی مورد مطالعه هستند. شکل ۴ میزان شاخص NBPD محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان را نشان می‌دهد. براساس شکل ۴، میزان شاخص NBPD برای محصولات زراعی مورد مطالعه در محدوده ۴۵۹۹ تا ۳۱۷۰۷ ریال بر مترمکعب قرار دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان سود خالص به ازای واحد حجم آبیاری (میزان شاخص NBPD) محصولات گندم، کلزا، سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، جو و چغندر قند به ترتیب برابر ۴۶۷۲، ۱۲۳۵۶، ۱۴۱۵۶، ۵۷۲۸، ۱۷۹۱۳، ۷۳۴۵، ۲۳۳۷۰، ۴۵۹۹ و ۱۴۴۰۱ ریال در مترمکعب است در حالی که نتایج پژوهش (Farahza et al. 2020) نشان داد که میزان شاخص NBPD محصولات گندم، کلزا، سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، جو و چغندر قند به ترتیب برابر ۱۰۹۸۰، ۵۷۲۰، ۷۰۲۰، ۳۱۳۰، ۵۴۲۰، ۲۲۸۶۰، ۸۳۲۰، ۶۸۵۰ و ۱۱۱۱۰ ریال در مترمکعب است. مقایسه این دو پژوهش نشان می‌دهد که میزان شاخص NBPD تخمینی در این پژوهش برای همه محصولات از میزان شاخص NBPD برآورد شده در پژوهش Farahza et al. (2020) خیلی

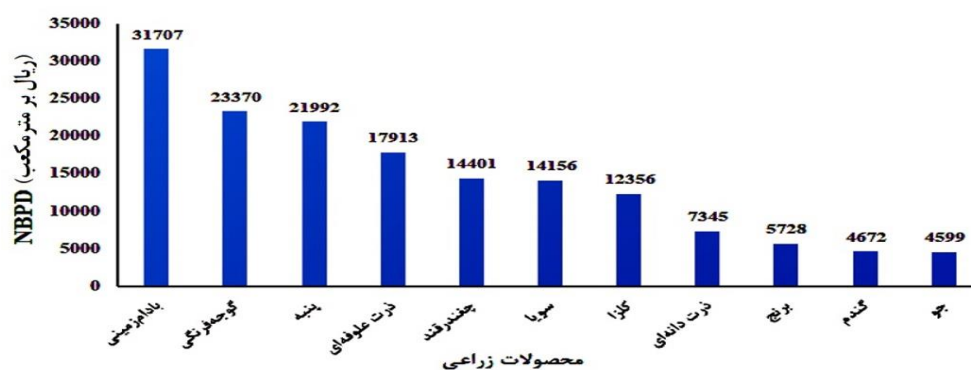
محصولات کلزا، جو، سویا و گندم به ترتیب با میزان هزینه تولید برابر ۷۰/۰۷، ۱۱۲/۲۴، ۱۱۳/۸۰ و ۱۴۱/۴۴ میلیون ریال در هکتار دارای کمترین هزینه عملیات زراعی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات بادام‌زمینی، پنبه، برنج و گوجه‌فرنگی به ترتیب با میزان سود خالص برابر ۵۲۵/۶۷، ۳۶۶/۹۷، ۳۵۲/۶۰ و ۳۲۲ میلیون ریال در هکتار دارای بیشترین سود خالص در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. محصولات جو، گندم، کلزا و ذرت دانه‌ای با میزان سود خالص برابر ۲۲/۴۵، ۲۸/۲۹، ۶۰/۴۱ و ۱۰۱/۲۷ میلیون ریال در هکتار دارای کمترین سود خالص در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند.

۳-۶- شاخص میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD)

محصولات بادام‌زمینی، گوجه‌فرنگی، پنبه، ذرت علوفه‌ای و چغندر قند به ترتیب دارای بیشترین شاخص ارزش خالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات زراعی مورد مطالعه هستند. جو، گندم، برنج و ذرت دانه‌ای به ترتیب دارای کمترین شاخص ارزش خالص به ازای واحد حجم آبیاری در بین محصولات

گندم و جو در این پژوهش نسبت به پژوهش (Abdiaghdam et al., 2022)، افزایش بسیار زیاد هزینه تولید این محصولات در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ است. میزان شاخص NBPD تخمینی در این پژوهش برای محصول سویا ۱۴۱۵۶ ریال در مترمکعب است، درحالی‌که میزان شاخص NBPD تخمینی در پژوهش (Parchami-Araghi et al., 2022)، ۳۳۱۹۰ ریال در مترمکعب است. سال زراعی مورد بررسی در هر دو پژوهش سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ است، ولی میزان شاخص NBPD تخمینی در این پژوهش با اختلاف ۵۷/۳۵ درصد از میزان شاخص NBPD تخمینی در پژوهش (Parchami-Araghi et al., 2022) کم‌تر است. علت اختلاف نتایج این دو پژوهش، تفاوت در تخمین میزان درآمد (سود ناخالص) و هزینه تولید محصول سویا در هر هکتار است. مقایسه شاخص NBPD با شاخص BPD نشان می‌دهد که شاخص NBPD به دلیل استفاده از ارزش خالص به جای ارزش ناخالص، مناسب‌تر از شاخص BPD است (Zarei Ghorkhodi et al., 2022). شاخص NBPD نه تنها 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).

بیش‌تر است. علت اختلاف زیاد در میزان شاخص NBPD تخمینی در این دو پژوهش، تفاوت در سال زراعی مورد بررسی است. سال زراعی مورد بررسی در پژوهش Farahza et al. (2020) سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ است، درحالی‌که سال زراعی مورد بررسی در این پژوهش سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ است. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان سود خالص به ازای واحد حجم آبیاری (میزان شاخص NBPD) محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، کلزا و چغندر قند به ترتیب برابر ۴۶۷۲، ۴۵۹۹، ۷۳۴۵، ۱۷۹۱۳، ۱۲۳۵۶ و ۱۴۴۰۱ ریال در مترمکعب است درحالی‌که نتایج مطالعه (Abdiaghdam et al., 2022) نشان داد که میزان سود خالص به ازای واحد حجم آبیاری محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، کلزا و چغندر قند به ترتیب برابر ۹۳۶۰، ۸۹۷۰، ۱۳۹۰، ۲۰۸۰، ۹۹۵۰ و ۳۲۷۰ ریال در مترمکعب است. مقایسه این دو پژوهش نشان می‌دهد که میزان شاخص NBPD تخمینی در این پژوهش برای همه محصولات به جز گندم و جو از میزان شاخص NBPD برآورد شده در پژوهش (Abdiaghdam et al., 2022) خیلی بیش‌تر است. علت اختلاف زیاد در میزان شاخص NBPD تخمینی در این دو پژوهش، تفاوت در سال زراعی مورد بررسی است. سال زراعی مورد بررسی در پژوهش حاضر (Abdiaghdam et al., 2022) سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ است، در حالی‌که سال زراعی مورد بررسی در این پژوهش سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ است. علت کاهش میزان شاخص NBPD محصولات

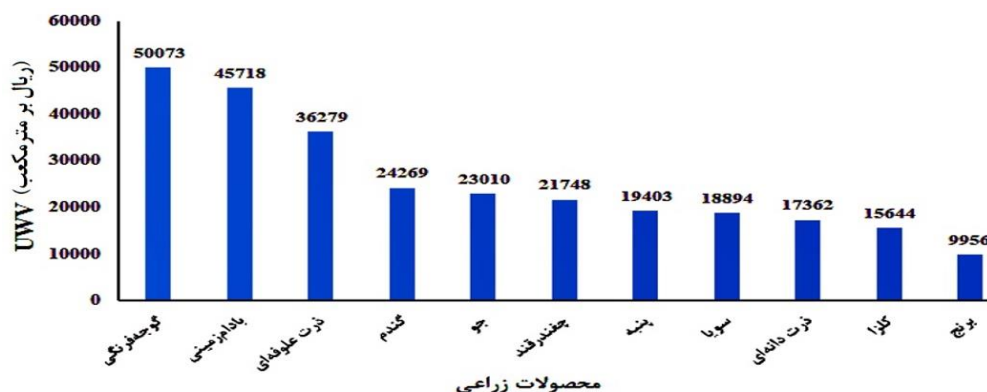


شکل ۴- میزان شاخص NBPD محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان
Figure 4- The amount of NBPD index of crops covered by the Moghan irrigation network

میزان شاخص UWV برای محصولات زراعی مورد مطالعه در محدوده ۹۹۵۶ تا ۵۰۰۷۳ ریال بر مترمکعب قرار دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان شاخص ارزش هر واحد آب مجازی محصولات گندم، کلزا، سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، گوجه فرنگی، جو، چغندر قند، پنبه و بادام زمینی به ترتیب برابر ۲۴۲۶۹، ۱۵۶۴۴، ۱۸۸۹۴، ۹۹۵۶، ۳۶۲۷۹، ۱۷۳۶۲، ۵۰۰۷۳، ۲۳۰۱۰، ۲۱۷۴۸، ۱۹۴۰۳ و ۴۵۷۱۸ ریال در مترمکعب است.

۳-۷- شاخص ارزش هر واحد آب مجازی (UWV)

محصولات گوجه فرنگی، بادام زمینی، ذرت علوفه‌ای، گندم و جو به ترتیب دارای بیش‌ترین شاخص ارزش هر واحد آب مجازی در بین محصولات زراعی هستند. محصول برنج دارای کم‌ترین شاخص ارزش هر واحد آب مجازی در بین محصولات زراعی است. شکل ۵ میزان شاخص UWV محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۵،



شکل ۵- میزان شاخص UWV محصولات زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری مغان

Figure 5- The amount of UWV index of crops covered by the Moghan irrigation network

است که برخی بهره‌برداران منطقه اقدام به تخریب جنگل‌های ساحلی به بهانه کشت برنج نمایند. درواقع با توجه به اولویت کاشت این محصول انتظار می‌رود که سیاست‌گذاری جهاد کشاورزی در جهت کنترل کشت برنج باشد.

۴- نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر بررسی محتوای آب مجازی و میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی در سطوح زیرکشت شبکه آبیاری مغان بود. بعد از تحلیل داده آماری به‌طور خلاصه نکات زیر منتج شده است:

- برنج به دلیل حجم آب مصرفی و هزینه تمام شده قابل توجه، رده آخر میزان بهره‌وری CPD (۰/۰۴) کیلوگرم بر مترمکعب) در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. در بررسی شاخص BPD و NBPD این محصول به ترتیب پایین‌ترین و نهمین اولویت را دارد و در شرایط کم‌آبی فعلی در دشت مغان، نیاز به بازنگری در کشت این محصول دیده می‌شود.
- گوجه‌فرنگی و ذرت علوفه‌ای در هر سه شاخص CPD، BPD و NBPD دارای بهره‌وری مناسبی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ هستند. درواقع گوجه‌فرنگی درعین حال که دارای نیاز آبی پایینی نیست ولی سنجش عملکرد این محصول نشان‌دهنده سود بالای خالص و ناخالص حاصل با توجه به هزینه کاشت، داشت و برداشت است.
- محصول بادام‌زمینی اخیراً مورد توجه بسیاری از کشاورزان منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و سطح زیرکشت آن گسترش پیدا کرده است. در بررسی شاخص‌های بهره‌وری BPD و NBPD این محصول به ترتیب رتبه دوم و اول را حائز است و در نقطه مقابل رتبه اولویت هشتم را در شاخص CPD دارد. دلیل تفاوت این مقادیر در ماهیت این شاخص‌ها نهفته است؛ به طوری که در دو شاخص BPD و

اولویت کشت هر یک از محصولات مورد بررسی بر پایه شاخص‌های CPD، BPD، NBPD و UWV در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس شاخص CPD ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر قند، گندم و جو در اولویت‌های اول تا پنجم برای کشت در دشت مغان قرار می‌گیرند. بر اساس شاخص BPD گوجه‌فرنگی، بادام‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، جو و گندم در اولویت‌های اول تا پنجم برای کشت در دشت مغان قرار می‌گیرند. بر اساس شاخص NBPD بادام‌زمینی، گوجه‌فرنگی، پنبه، ذرت علوفه‌ای و چغندر قند در اولویت‌های اول تا پنجم برای کشت در دشت مغان قرار می‌گیرند. بر اساس شاخص UWV گوجه‌فرنگی، بادام‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، گندم و جو در اولویت‌های اول تا پنجم برای کشت در دشت مغان قرار می‌گیرند. ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی دو محصول مشترک در همه شاخص‌های مورد بررسی در اولویت‌های اول تا چهارم برای کشت در دشت مغان است. بنابراین، کشت این دو محصول در دشت مغان به مصرف بهینه و اقتصادی آب کمک می‌کند. با توجه به این که محصول برنج در همه شاخص‌های مورد بررسی در اولویت نهم تا یازدهم قرار دارد، بهتر است که از الگوی کشت دشت مغان حذف شود. این کار باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی است.

متأسفانه در سال‌های اخیر کشت برنج در منطقه دشت مغان رشد بی‌رویه‌ای داشته است و به دلیل این که در سه سال اخیر قیمت فروش این محصول فراتر از رقوم دیگر است، استقبال بالایی از کشت آن در حاشیه رودخانه ارس شده است. ایجاد اختلاف بین بهره‌برداران و سازمان آب منطقه‌ای از نتایج قابل‌رؤیت در زمینه کشت فزاینده این محصول است و آنچه با توجه به این فروش سودآور منتج خواهد شد، مصرف حجم بالای آب و اختصاص آن برای محصول برنج است که عملاً آب در دسترس برای استفاده در محصولات راهبردی را کاهش می‌دهد. در سال‌های اخیر عدم نظارت در کاشت این محصول موجب شده

هوایی منطقه و نیاز آبی، می‌تواند یکی از گزینه‌های اصلی کاشت در سال‌های آتی باشد.

NBPD علاوه بر عملکرد محصول، سود دریافتی نیز دخیل است که در شاخص CPD از آن صرف‌نظر شده است. در نتیجه، این محصول با محاسبه سود دارای عملکرد قابل قبولی است و با توجه به پتانسیل کشت آن در شرایط آب و

جدول ۵- اولویت کشت هر یک از محصولات مورد بررسی بر پایه شاخص‌های معرفی‌شده

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

UWV	NBPD	BPD	CPD	نوع محصول
2	1	2	8	بادام‌زمینی
1	2	1	2	گوجه‌فرنگی
9	8	10	7	ذرت دانه‌ای
6	5	7	3	چغندر قند
11	9	11	11	برنج
10	7	6	6	کلزا
5	11	4	5	جو
3	4	3	1	ذرت علوفه‌ای
8	6	9	10	سویا
7	3	8	9	پنبه
4	10	5	4	گندم

محصولاتی با بازده اقتصادی بالا و نیاز آبی پایین در صورت سازگاری با شرایط منطقه، جایگزین آن‌ها شود. این کار باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی است.

- بررسی شاخص UWV نیز تقریباً مشابه نتایج سه شاخص مذکور است و گوجه‌فرنگی و بادام‌زمینی دارای اولویت کشت بالایی هستند و برنج نیز با در نظر گرفتن مقدار آب مجازی مصرفی هر محصول در رده آخر اولویت کشت قرار دارد.
- به‌طور کلی توصیه می‌شود کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین از الگوی کشت حذف شود و کاشت

شهرسازی، محیط‌زیست و افق‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

امامی، سمیه، چوپان، یحیی، خیری قوجه بیگلو، میلاد، و حسام، موسی (۱۳۹۹). تخصیص بهینه و اقتصادی آب در شبکه آبیاری و زهکشی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ICA (مطالعه موردی: شبکه صوفی‌چای). مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۳): ۲۲۰-۲۳۴. doi:10.22125/iwe.2020.107104

بذرافشان، ام البنین، و گرکانی‌نژاد مشیزی، زهرا (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی مصرف آب و رد پای آب در محصول زعفران در ایران. زراعت و فناوری زعفران، ۷(۴): ۵۰۵-۵۱۹. doi:10.22048/jsat.2019.141824.1311

بندری، ابوالمحمد، باقری، اصغر، سوختانلو، مجتبی، جمشیدی، امید، و نوروزی، عباس (۱۳۹۸). ارزیابی دانش کشاورزان دشت مغان از پیامدهای مصرف سموم شیمیایی برای سلامت جامعه، محیط‌زیست و امنیت غذایی. سلامت و محیط زیست، ۱۲(۴): ۶۳۸-۶۴۱.

پرچی عراقی، فرزین، عباسی، فریبرز، و اخوان، کرامت (۱۴۰۱). ارزیابی مقدار آب کاربردی و بهره‌وری آب سویا در دشت مغان. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۶(۳): ۱۸۱-۲۰۱. doi:10.22092/jwra.2022.357180.906

منابع

ابراهیم‌نژاد، حسین، کرامت‌زاده، علی، اشراقی، فرشید، و رضایی، اعظم (۱۴۰۰). بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵(۳): ۲۷۵-۲۸۹. doi:10.22092/jwra.2021.354273.862

اخوان، کرامت، شاهنظری، علی، و یارقلی، بهمن (۱۳۹۶). ارزیابی قابلیت فیلترهای زیستی برای تصفیه زه آب کشاورزی، مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی مغان (یادداشت تحقیقاتی). تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۸(۶۹): ۱۳۵-۱۴۴. doi:10.22092/aridse.2017.108044.1156

اخوان، کرامت، عباسی، نادر، خیری قوجه بیگلو، میلاد، و احمدپری، هدیه (۱۴۰۰). بررسی راندمان انتقال و مشکلات بهره‌برداری کانال‌های پیش‌ساخته بتنی در شبکه آبیاری مغان. تحقیقات سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۲(۸۳): ۲۱-۴۲. doi:10.22092/idser.2021.354260.1470

اخوان، کرامت، عباسی، نادر، خیری قوجه بیگلو، میلاد، احمدپری، هدیه، و محمدی سرقینی، م. (۱۴۰۱). بررسی عملکرد کانال در شبکه آبیاری مغان و ارائه راهکارهایی جهت کاهش مشکلات بهره‌برداری، دومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران،

- پنیه با روش ANP. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳۷(۳۷)، ۱۱۱-۱۲۲.
- سوختانلو، مجتبی (۱۳۹۷). مؤلفه‌های اثرگذار مدیریت ریسک تولید بر پذیرش بیمه محصولات کشاورزی (مطالعه موردی: کشاورزان ذرت‌کار دشت مغان). اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۲(۴)، ۲۹۹-۳۱۱. doi:10.22067/jead2.v32i4.68267
- سیدان، سیدمحسن، و متقی، مهدی (۱۳۹۸). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری مدرن و سنتی در استان همدان. آب و توسعه پایدار، ۶(۱)، ۱-۸. doi:10.22067/jwsd.v6i1.69891
- عبداله‌زاده کهرزی، رحیم، کوی‌نژاد مقدم، امیرحسین، و معروفی نیا، ادریس. (۱۴۰۲). بررسی آب مجازی و شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی دشت پلدشت. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۱)، ۵۴-۶۸. doi:10.22098/mmws.2022.11090.1100
- عبدزادگوهری، علی، و بابازاده، حسین (۱۴۰۲). شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب ارقام لوبیا چشم بلبلی تحت شرایط کم آبیاری با استفاده از مدل DSSAT. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۱)، ۲۱۵-۲۳۲. doi:10.22098/mmws.2022.11665.1153
- عبدی‌اقدم، فرشاد، رسول‌زاده، علی، صمدیان‌فرد، سعید، و نویدی، فرامرز (۱۴۰۱). تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در اراضی کشاورزی شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان. دانش آب و خاک، ۳۲(۳)، ۷۷-۹۰. doi:10.22034/ws.2021.44026.2403
- عزیزی زهان، علی اکبر، لیاقت، عبدالمجید، و شهابی‌فر، مهدی (۱۳۹۸). تعریف و تعیین شاخص مدیریت بهره‌وری آب و کاربرد آن برای ذرت علوفه‌ای در دشت مغان. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۴)، ۵۳۴-۵۱۹. doi:10.22092/jwra.2020.121236
- عزیزی، علی اکبر، لیاقت، عبدالمجید، شهابی‌فر، مهدی، و سیدجلالی، سیدعلیرضا (۱۴۰۰). بررسی اثر تقویم زراعی بر پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) ذرت در دشت مغان. زراعی کشاورزی، ۳۳(۴)، ۷۲۶-۷۱۳. doi:10.22059/jci.2020.293896.2313
- فاضلی خیاوی، عبدالرحیم، صلاحی، برومند، و گودرزی، مسعود (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت مغان با سناریوهای RCPs. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۴)، ۹۹۳-۹۷۷. doi:10.22092/ijwms.2019.126245.1649
- فرح‌زاد، محمدنوید، نظری، بیژن، اکبری، محمدرضا، نائینی، مهکامه سادات، و لیاقت، عبدالمجید (۱۳۹۹). ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. آبیاری و آب ایران، ۱۱(۲)، ۱۶۶-۱۷۹. doi:10.22125/iwe.2020.120729
- کلاته، فرهود، و خیری قوجه‌بیگلو، میلاد (۱۴۰۱). تحلیل احتمالاتی تراوش در سد خاکی با بهره‌گیری از روش مونت کارلو و با پرچمی عراقی، فرزین، معیری، منصور، و زینل‌زاده تبریزی، حسین (۱۴۰۰). ارزیابی آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی آب کلزا در دشت مغان. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۵)، ۱۱۷۲-۱۱۸۶. doi:10.1001.1.20087942.1400.15.5.15.3
- تافته، آرش، صفریور، شهریار، رشیدی، ام لیل، و عبدزادگوهری، علی (۱۴۰۱). بررسی توابع تولید آب مصرفی در تعیین عملکرد دو رقم هندوانه در تنش آبی. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. doi:10.22098/mmws.2023.11989.1194
- جناب، مهنوش، و نظری، بیژن (۱۳۹۷). مطالعه شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو و ذرت در استان قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹(۶)، ۱۴۰۵-۱۴۱۷. doi:10.22059/ijswr.2018.253566.667865
- چوپان، یحیی، امامی، سمیه، و خیری قوجه بیگلو، میلاد (۱۳۹۹). ارزیابی الگوریتم‌های انتخابات، رقابت استعماری و روش شبکه عصبی مصنوعی در بررسی روند افت تراز سطح ایستابی دشت رشت‌خوار. مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲(۶)، ۱۳۳۳-۱۳۴۶. doi:10.22060/ceej.2019.15344.5888
- حکمت نیا، مهران، حسینی، سیدمهدی، صفدری، مهدی (۱۳۹۹). تعیین و ارزیابی ردپای آب‌های سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین المللی محصولات کشاورزی ایران. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۲)، ۴۴۶-۴۶۳. doi:10.1001.1.20087942.1399.14.2.9.4
- خیری قوجه بیگلو، میلاد، و پیل‌پایه، علیرضا (۱۳۹۸). بهینه‌سازی طول و ارتفاع سرریز اوجی با تلفیق الگوریتم ژنتیک و مدل رگرسیون (مطالعه موردی سرریز سد بالارود). تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۰(۷۷)، ۳۹-۵۶. doi:10.22092/idser.2019.124750.1368
- خرایی، مجید، صالح، ایمان، چاکرالحسینی، محمدرضا، و فرزین، محسن (۱۴۰۱). تأثیر قیمت آب تحت سناریوهای مختلف تخصیص بر بهره‌وری اقتصادی الگوی کشت. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. doi:10.22098/mmws.2022.11764.1166
- رحیمی، فرشته (۱۴۰۰). بررسی اجزای ردپای آب محصول خیار در استان ایلام (مطالعه موردی: شهرستان دره‌شهر). آب و توسعه پایدار، ۳۰(۳)، ۲۳-۳۰. doi:10.22067/jwsd.v8i3.2105.1051
- زراعی 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. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۳)، ۶۵۷-۶۶۹. doi:10.1001.1.20087942.1401.16.3.14.5
- ساقی، حسن، جاوید صباغیان، رضا، رضانی مقدم، مصطفی (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد مدیریت بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دوستی-خراسان رضوی). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۲(۲۳)، ۲۵۹-۲۵۱. doi:10.52547/jwmsr.12.23.251
- سبحانی، بهروز، صفریان زنگیر، وحید، قاسم آبادی، زهرا (۱۳۹۸). بررسی شرایط آب و هوایی دشت مغان برای کشت محصول

محمدی، عفت، احمدپری، هدیه، محمدرضاپور، ام‌البنی، حقایقی مقدم، سیدابوالقاسم، حقیقت‌جو، پرویز (۱۳۹۹). بررسی وضعیت آب مجازی محصولات دامی در کشورهای مختلف. *فصلنامه علمی تخصصی ایده‌های نو در علوم، مهندسی و فناوری*، ۴ (۲)، ۴۱-۶۱

میرچولی، فهیمه، سلطانی کویایی، سعید، و فرامرزی، منیره (۱۳۹۵). ارزیابی مبادلات آب مجازی و ردپای آب برخی محصولات کشاورزی در ایران. *پژوهش آب ایران*، ۱۱۰ (۱)، ۴۹-۵۸.
ناصری، ابوالفضل (۱۳۹۵). تحلیل آماری ضریب زبری مانینگ در کانال‌های خاکی بدون پوشش گیاهی در شبکه آبیاری و زهکشی مغان. *آب و خاک*، ۳۰ (۶)، ۱۸۰۸-۱۸۱۹.
doi:10.22067/jsw.v30i6.41146

References

- Abaei, 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
- Abdiaghdam, F., Rasoulzadeh, A., Samadianfard, S., & Navedi, F. (2022). Analysis of water productivity indicators in agricultural lands of Moghan agro-industry and livestock company. *Water and Soil Science*, 32(3), 77-90. doi:10.22034/ws.2021.44026.2403 [In Persian]
- Abdollahzadeh kahrizi, R., Kokabinezhad Moghaddam, A.H., & Merufinia, E. (2023). Investigating virtual water and agricultural water productivity index in crops of Poldasht plain. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1), 54-68. doi:10.22098/mmws.2022.11090.1100 [In Persian].
- Abdzad-Gohari, A., & Babazadeh, H. (2022). Simulation of yield and water productivity of cowpea cultivars under deficit irrigation conditions using DSSAT model. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1), 215-232. doi:10.22098/mmws.2022.11665.1153 [In Persian]
- Akhavan Giglou, K., Kheiry Ghoujehh Biglou, M., Mehrparvar, B., & Shokat Naghadeh, A. (2019). Investigating amount of leakage, sediment and durability in geosynthetic cover of pumping channel 3 at irrigation network of Moghan. *Revista Geoaraguaia*, 9(2), 37-48.
- Akhavan, K., Abbassi, N., Kheiry Ghoujehh Biglou, M., & Ahmadpari, H. (2021). Investigation on conveyance efficiency and operation issues of precast concrete channels (canalette) in Moghan irrigation network. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 22(83), 21-42. doi:10.22092/idser.2021.354260.1470 [In Persian]
- Akhavan, K., Abbassi, N., Kheiry Ghoujehh Biglou, M., Ahmadpari, H., & Mohammadi Serghini, M. (2022). Investigating the performance of precast concrete channels (Canalette) in Moghan irrigation network and providing solutions to reduce operation problems. 2nd International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran. [In Persian]
- Akhavan, K., Shahnazari, A., & Yargholi, B. (2017). Evaluation capability biological filters for treatment of agricultural drain water: case study of Moghan irrigation and drainage network. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(69), 135-144. doi:10.22092/aridse.2017.108044.1156 [In Persian]
- Azizi Zohan, A., Liaghat, A., & Shahabifar, M. (2019). Definition and determination of water productivity management index (wpmi) and its application for forage maize in Moghan Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(4), 519-534. doi:10.22092/jwra.2020.121236 [In Persian]
- Azizizohan, A.A., Liaghat, A., Shahabifar, M., & Seyed Jalali, S.A. (2021). Investigation of the effect of crop calendar on the potential climatic water productivity (PCWP) of maize in Moghan Plain. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 713-726. doi:10.22059/jci.2020.293896.2313 [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. doi:10.22092/idser.2022.358681.1509
- کلاته، فرهود، و خیری قوجه بیگلو، میلاد (۱۴۰۱). مدل‌سازی اجزای محدود نشت در سد خاکی در حالات همسانگرد و ناهمسانگردی با در نظر گرفتن تأثیر سطح آب پایین‌دست و مخزن. *دومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط‌زیست و افق‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب*، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- 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 (چغندرقد) و علوفه‌ای (ذرت علوفه‌ای) در شهرستان اصفهان. *مهندسی آب*، ۹ (۱)، ۸۹-۱۰۲.

- Bazrafshan, O., & Gerkani Nezhad Moshizi, Z. (2019). Assessment of water use efficiency and water footprint of saffron production in Iran. *Saffron agronomy and technology*, 7(4), 505-519. doi:10.22048/jsat.2019.141824.1311 [In Persian]
- 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*, 12(2), 321-336. doi:10.21817/ijet/2020/v12i2/201202118
- Bondori, A., Bagheri, A., Sookhtanlou, M., Jamshidi, O., & Norozi, A. (2020). Assessing farmers' knowledge of Moghan plain about the consequences of chemical pesticides for community health, the environment, and food security. *Iranian Journal of Health and Environment*, 12 (4), 621-638. [In Persian]
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., & Savenije, H.H.G. (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
- Choopan, Y., Emami, S., & Kheiry Ghoujeh Biglo, M. (2020). Evaluating election, imperialist competitive algorithms and artificial neural network method in investigating the groundwater level of Reshtkhar Plain. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(6), 1333-1246. doi:10.22060/ceej.2019.15344.5888 [In Persian]
- Ebrahimnezhad, H., Keramatzadeh, A., Eshraghi, F., & Rezaee, A. (2021). Investigating the factors affecting the physical and economic productivity of water in production of orange in Ghaemshahr County, Iran. *Journal of Water Research in Agriculture*, 35(3), 259-275. doi:10.22092/jwra.2021.354273.862 [In Persian]
- Emami, S., Choopan, Y., Kheiry Ghoujehh Biglo, M., & Hesam, M. (2020). Optimal and economic water allocation in irrigation and drainage network using ica algorithm (case study: Sofi-Chay network). *Irrigation and Water Engineering*, 10(3), 220-234. doi:10.22125/iwe.2020.107104 [In Persian]
- Farahza, M.N., Nazari, B., Akbari, M.R., Naeini, M.S., & Liaghat, A. (2020). Assessing the physical and economic water productivity of annual crops in Moghan Plain and analyzing the relationship between physical and economic water productivity. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 11(2), 166-179. doi:10.22125/iwe.2020.120729 [In Persian]
- Fazeli Khiavi, A., Salahi, B., & Goodarzi, M. (2021). Assessment effects of climate change on changes in potential evapotranspiration in the Moghan Plain by RCPs. *Watershed Engineering and Management*, 12(4), 977-993. doi:10.22092/ijwmse.2019.126245.1649 [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. doi:10.1001.1.20087942.1399.14.2.9.4 [In Persian]
- Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q. (2002). Virtual water trade a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Research Report Series, IHE Delft Institute for Water Education, Delft, Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., & Mekonnen, M.M. (2011). The water footprint assessment manual. Setting the global standard, Earthscan, London, UK.
- Jenab, M., & Nazari, B. (2019). The study of water productivity and yield gap of wheat, barley and maize in Qazvin Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(6), 1405-1417. doi:10.22059/ijswr.2018.253566.667865 [In Persian]
- Kheiry Ghoujeh Biglou, M., & Pilpayeh, A. (2020a). Effect of geometric specifications of ogee spillway on the volume variation of concrete consumption using genetic algorithm. *Revista INGENIERÍA UC*, 26(2), 145-153.
- Kheiry Ghoujeh Biglou, M., & Pilpayeh, A. (2020b). Optimization of height and length of ogee-crested spillway by composing genetic algorithm and regression models (case study: spillway of Balarood Dam). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 20(77), 39-56. doi:10.22092/idser.2019.124750.1368 [In Persian]
- Kalateh, F., Hosseinejad, F., & Kheiry M. (2022). Uncertainty quantification in the analysis of liquefied soil response through fuzzy finite element method. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 19(3), 177-199. doi: 10.13168/AGG.2022.0007.
- Kalateh, F., & Kheiry Ghoujehh-Biglou, M. (2022a). Probabilistic analysis of seepage in earthen dam using Monte Carlo method and with considering permeability of materials and dam geometry. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 23(86), 133-162. doi:10.22092/idser.2022.358681.1509 [In Persian]
- Kalateh, F., & Kheiry Ghoujeh Biglou, M. (2022b). Finite Elements Modeling of the Seepage through Earth Dam in Isotropic and Non-Isotropic Conditions and Considering the of

- Downstream and Reservoir Water Level. 2nd. International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution At, Tabriz Islamic Art University, Iran. [In Persian]
- Khazaei, M., Saleh, I., Chakeralhoseini, M., & Farzin, M. (2022). Evaluating the water economic value in crop pattern scenarios of Basht Plain. *Water and Soil Management and Modelling*. doi:10.22098/mmws.2022.11764.1166 [In Persian]
- Mircholi, F., Soltani kopae, S., & Faramarzi, M. (2016). Assessing of virtual water trade and water footprint of some agricultural crops in Iran. *Iranian Water Researches Journal*, 10(1), 49-58. [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. *Journal on Water Engineering*, 9(1), 89-102. [In Persian]
- Mohamadi, E., Ahmadpari, H., Mohammadrezapour, O., Haghayeghi Moghadam, S.A., & Haghightaju, 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. [In Persian]
- Nasseri, A. (2017). Statistical analysis of manning's roughness coefficients in non-vegetated canals for irrigation and drainage network of Moghan. *Water and Soil*, 30(6), 1808-1819. doi:10.22067/jsw.v30i6.41146 [In Persian]
- 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.
- Parchami-Araghi, F., Abbasi, F., & Akhavan, K. (2022). Assessment of soybean applied water and water productivity across Moghan Plain, Ardabil Province, Iran. *Journal of Water Research in Agriculture*, 36(2), 181-201. doi:10.22092/jwra.2022.357180.906 [In Persian]
- Parchami-Araghi, F., Moayeri, M., & Zeinalzadeh-Tabrizi, H. (2021). Assessment of rapeseed water use and water productivity across Moghan Plain, Ardabil Province, Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(5), 1172-1186. doi:10.1001.1.20087942.1400.15.5.15.3 [In Persian]
- Rahimi, F. (2021). Check the traces of cucumber. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8(3), 23-30. doi:10.22067/jwsd.v8i3.2105.1051 [In Persian]
- Saghi, H., Javid Sabbaghian, R., & Ramezani Moghaddam, M. (2021). Evaluating the water productivity management performance in irrigation networks (case study: Doosti irrigation network- Khorasan Razavi). *Journal of Watershed Management Research*, 12 (23), 251-259. doi:10.52547/jwmr.12.23.251 [In Persian]
- Seyedan, S., & Mottaghi, M. (2019). Determination of the physical and economic water productivity for grain and forage corn under modern and traditional irrigation systems in Hamadan Province. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1), 1-8. doi:10.22067/jwsd.v6i1.69891 [In Persian]
- Sobhani, B., Safarian Zengir, V., & Ghasem Abadi, Z. (2020). Survy weather condition Moughan plain for the cultivation of cotton by ANP. *Journal of Climate Research*, 37(37), 111-122. [In Persian]
- Sookhtanlou, M. (2019). Components affecting production risk management on agricultural crops insurance adoption (case study: maize farmers of Moghan Plain). *Journal of Agricultural Economics and Development*, 32(4), 299-311. doi:10.22067/jead2.v32i4.68267 [In Persian]
- Tafteh, A., Safarpour, S., Rashidi, O.L., & Abdzad Gohari, A. (2023). Investigating the production functions of water consumption in determining the performance of two watermelon cultivars under water stress. *Water and Soil Management and Modelling*. doi:10.22098/mmws.2023.11989.1194 [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. doi:10.1001.1.20087942.1401.16.3.14.5 [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-