Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 51-66

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Optimizing the cultivation area of agricultural products based on water footprint framework framework (case study: Minab county)

N. Rohalamini[1], O. Bazarfshan[2*] and A. R. Nafarzadegan[3]

1-Graduated MSc, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
2- Corresponding Author, Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, bandar Abbas, Iran (O.Bazrafshan@hormozgan.ac.ir)*
3- Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 19 October 2023
Revised: 28 June 2024
Accepted: 01 July 2024

Keywords:
Cultivation Pattern, Virtual water, Blue Water, Green Water, Net Benefit.

TO CITE THIS ARTICLE:

Roholamini, N., Bzrafshan, O., Nafarzadefan, A. (2025). 'Optimizing the cultivation area of agricultural products based on water footprint framework framework (case study: Minab county)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 49-64. doi: 10.22055/jise.2024.45065.2098

Abstract

Considering that agriculture is the largest consumer of water resources in the world, if humanity wants to face the challenges that are ahead of it in the future, it must reduce the amount of water consumption in the agricultural sector to sustainable consumption. Agriculture as the main water consumer in Minab city has attracted a lot of attention. This study was carried out with the aim of estimating the water footprint in the agricultural sector of Minab city to optimize the crop cultivation pattern. so; First, the water footprint was estimated in the introduced components (blue, green and gray) and based on the net benefit and yield, economic value and land value were estimated for each category of agricultural products, and then with the aim of reducing the water footprint and increasing the net benefit Cultivated area of each category of products (legumes, garden, oilseeds, fodder, cereals, jalizi, vegetables) during 1386 to 1400 in two scenarios of optimizing the cultivated area based on benefit maximization and optimizing the cultivated area based on the ratio of footprint to benefit , was optimized. The results showed that by applying the net profit maximization scenario (the first scenario), the cultivated area decreases by 12% and the agricultural production and water footprint increase by 61% and 13%, respectively. A very slight change (5% decrease) can be seen in the net profit, but in the second scenario, with the aim of maximizing the net profit compared to the footprint, the cultivated area decreases by 12%, agricultural production increases by 79%, and the volume of water footprint decreases by 11%. A very minor change (5% decrease) can be seen in the net profit, so the water footprint perspective in the composition of agricultural products in the region has been significantly effective in water security.

Introduction

Todey, many researchers believe that in the future war between countries will be over water (Sullivan, 2002). Iran is located in the arid middle belt of the earth and although it covers 14% of the total area of the earth, it has only 2% of precipitation. Iran ranks 14th in water stress in the world among the 16 countries that have the highest water stress (Reddy et al., 2022). One of the southern provinces of Iran is Hormozgan, where agricultural products are cultivated out off season (Bazrafshan et al., 2019). Minab county is one of the three main agricultural poles in this province. For this purpose, estimating the water footprint plays an important role in optimizing the cultivation of agricultural products. The optimal cropping pattern is a plan that is compiled with the aim of

optimally managing the spatial composition of the product, and considering the extent of the border area of the Iran and the climatic diversity of various regions, reaching a suitable cropping pattern that can create the maximum exploitation of production factors and inputs is an inevitable necessity. This study was carried out with the aim of estimating the water footprint in the agricultural sector of Minab county to optimize the crop cultivation pattern.

Materials and Methods

In this research, the data related to the date of cultivation, type of soil, cultivated area, yield per unit area, amount of production of various types of agricultural products in seven categories of products (leafy vegetables, cucumbers, grains, fodder, oilseeds, horticulture and legumes) prepared from Minab Agricultural Jihad yearbook and Hormozgan province.

Data sources: data used in this research include climatic data (humidity, precipitation, wind speed, temperature, sunshine hours and air pressure), crop data (yield, cultivation area and production, agricultural product prices, plant evapotranspiration, irrigation efficiency, water and irrigation requirement, length of growth period, etc.) and land and surface soil management data, which are collected from Ministry of Jihad Agriculture, Islamic Republic Iran Meteorological Organization (IRIMO) and Planning and Budget Organization of Hormozgan.

In this research, the water footprint framework of Hoekstra et al. (2011) has been used to estimate the water footprint components including blue, green and gray footprints. In order to optimize of cultivated area, the water footprint was estimated in the introduced components and based on net benefit and yield, economic water and land value were estimated for each category of agricultural products, and then with the aim of reducing the water footprint and increasing the net benefit, the crops were optimized in two scenarios: optimization of cultivated area based on benefit maximization and optimization of cultivated area based on the ratio of footprint to benefit, the cultivated area of each category of during the 2016 to 2021.

Results and Discussion

Based on the results, in the first scenario, with the optimization of the cultivated area, which is the only goal of benefit maximization, the changes of production variables, cultivated area, total volume of the footprint and net income were investigated in the current and optima state. Based on the results, the net income was 5% decrease and the total volume of the footprint has increased by 15% and also due to the 10% decrease in the cultivated area, the production has decreased by 35% (Table 1).

Based on the second scenario, in the optimization of the cultivated area with the aim of maximizing the benefit-to-footprint ratio, water and food security can be optimized, because the average footprint in the second scenario has decreased by 91%, the volume of the footprint in the second scenario in legumes 95%, horticulture products 91%, oil products 83%, fodder products 96%, cereals 98%, cucumber 92% has decreased compared to the current situation. According to the results, the amount of net income in the second scenario has decreased by a very small amount (1%) while the net income in fodder and beens products has increased by 97% and 71%, respectively, and leguminous, horticultural, oil products, and Grain has decreased by 75%, 17%, 15% and 97%. Considering that the average cultivated area of agricultural products has not changed in the second scenario, while fodder and cucumber products have increased by 97 and 83 percent, and legumes, horticultural products, oil products and grains have decreased by 77%, 22%, 35% and 97%.

Table 1- Optimization of cultivation area based on studied scenarios

	Group	Production	Area (ha)	VWF (MCM)	Net B(MUSD)
Current situation	Beans	0.94	112.7	0.4	0.5
	Horticulture	92.24	9073.8	133.7	119
	Oil	0.38	78	0.8	0.2
	Fodder	4.4	76	0.5	0.7
	Cereal	0.67	228.6	1.3	0.5
	Cucumber	77.19	2774.1	20.2	26.7
	Total	176.15	12377.3	156.9	147.7
Scenario1	Beans	2.76	300	2	1.4
	Horticulture	105.71	9810.5	171.6	136.4
	Oil	0.32	50	0.8	0.2
	Fodder	1.74	30	0.2	0.3
	Cereal	2.19	750	5.9	1.5
	Cucumber	0.78	30	0.2	0.3
	Total	113.4	10970.5	180	140
Scenario2	Beans	0.4	25	0.5	0.23
	Horticulture	133.7	7057.25	119	76.04
	Oil	0.8	50	0.2	0.32
	Fodder	0.5	150	0.7	8.7
	Cereal	1.3	6	0.5	0.02
	Cucumber	20.2	5079	56.7	132.01
	Total	156.9	12367.3	147.6	217.33

VWF (MCM): Volume of water footprint based on Million m^3 and Net B: Net benefit

Conclusion

The purpose of this research is to optimize the cultivated area of agricultural products based on the water footprint concept. In terms of the performance of agricultural products, the highest yield is related to the category of fodder crops and grains (corn and barley) have the lowest yield**.** The investigation of the total water footprint showed that the category of horticulture products has the highest and the lowest amount of water footprint is related to the category of fodder products. According to the cultivated area and crop production in the category of horticulture and cocumber products, the largest volume of virtual water belongs to these two categories of products. The economic value of water showed that this amount is high in the category of bean products and the least related to oil products. The highest average value of land is related to the category of cereal products and the lowest is related to the category of fodder products. The value of the land is directly affected by the yield and price of the products. As we expected, in the second scenario, in the optimization of the cultivated area with the aim of measuring the profit-to-footprint ratio, water and food security can be optimized, while on average, the average footprint in the second scenario has decreased by 91% and the net income has increased. Is. In the first scenario, the cultivated area has decreased by 10%, the total footprint has increased by 15%, net income has decreased by 5%, and production has decreased by 35%**.**

Acknowledgment

The authors of this research are extremely grateful to the Agricultural Jihad, the Regional Water Organization and the Meteorological Organization of Hormozgan Province for providing the research data.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution

First Author: Neda Ruholamini, Data curation, Formal analysis, Writing - original draft.
Second Author: Ommolbanin Bazrafshan, Investigation, Validation, Writing - review & editing.
Third Author: Ali Reza Nafarzadegan, Methodology, Writing - review & editing.

References

1- Hoekstra, A. Y. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.

2- Bazrafshan, O., Zamani, H., Etedali, H. R., & Dehghanpir, S. 2019. 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.

3- Sullivan c., 2002. Calculating a water poverty index. World development, 30(7):1195-1210. doi: 10.1016/S0305-750X(02)00035-9 .

4- Reddy, K. S., Maruthi, V., Pankaj, P. K., Kumar, M., Prabhakar, M., Reddy, A. G. K., ... & Koradia, A. K. (2022). Water Footprint Assessment of Rainfed Crops with Critical Irrigation under Different Climate Change Scenarios in SAT Regions. Water, 14(8), 1206. doi:10.3390/w14081206.

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۶۶-۵۱

بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با استفاده از چارچوب ردپای آب (مطالعه‌ی موردی: شهرستان میناب)

ندا روح الامینی[۱]، ام البنین بذرافشان[۲*]و علیرضا نفرزادگان[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران (O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir).

۲- دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱

چکیده

با توجه به اینکه کشاورزی بزرگترین مصرف کننده منابع آب در جهان به‌شمار می‌آید، اگر بشر بخواهد با چالش‌هایی که در آینده پیش رویش قرار دارد مقابله کند، باید میزان مصرف آب در بخش کشاورزی را تا مصرف پایدار کاهش دهد. کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در شهرستان میناب حساسیت زیادی را برانگیخته است. این مطالعه باهدف برآورد ردپای آب در بخش کشاورزی شهرستان میناب به بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات صورت پذیرفت. لذا؛ ابتدا ردپای آب در اجزاء معرفی‌شده (آبی، سبز و خاکستری) براساس دیدگاه اوکسترا برآورد شد و بر اساس سود خالص و میزان عملکرد، ارزش اقتصادی و ارزش زمین برای هر دسته از محصولات کشاورزی برآورد شد و سپس باهدف کم کردن ردپای آب و افزایش سود خالص، سطح زیر کشت هر دسته از محصولات اساس حداکثر کردن سود و بهینه‌سازی سطح زیر کشت بر اساس نسبت ردپا به سود، بهینه گردید. نتایج نشان داد، با اعمال سناریوی حداکثرسازی سود خالص (سناریوی اول)، سطح زیرکشت ۱۲ درصد کاهش و تولیدات کشاورزی و حجم ردپای آب به‌ترتیب ۶۱ درصد و ۱۳ درصد افزایش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود اما در سناریوی دوم با هدف حداکثرسازی سودخالص نسبت به ردپا، سطح زیرکشت ۱۲ درصد کاهش و تولیدات کشاورزی ۷۹ درصد افزایش و حجم ردپای آب ۱۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود لذا دیدگاه ردپای آب در ترکیب محصولات کشاورزی در منطقه به طور چشمگیری در امنیت آب مؤثر عمل نموده است.

کلید واژه‌ها: الگوی کشت، آب مجازی، آب آبی، آب سبز، سود خالص.

مقدمه

آب لازمه زندگی انسان است و تأمین آب کافی به‌عنوان یک پیش‌نیاز بنیادی برای توسعه‌ی جوامع انسانی‌ست و با توجه به چالش‌هایی که جوامع امروزی به‌خاطر کمبود منابع آبی با آن رو به‌رو است، لذا باید مدیریت منابع آبی بسیار تخصصی انجام گیرد و حصول اهدافی نظیر ریشه‌کنی فقر، حفاظت از محیط‌زیست و نیز توسعه‌ی عادلانه را در پی داشته باشد. لازمه‌ی این امر پرداختن دقیق و چند بعدی به مسائل مدیریت منابع آب است. یکی از شرط-های مهم برای مدیریت منابع آب، دست‌یابی به ارزیابی‌های مناسب از وضعیت منابع آب است (Sullivan, 2002). از طرفی مسئله‌ی خشک‌سالی به‌عنوان یک تهدید با آثار افزایش تقاضای هرچه بیشتر برای آب همراه خواهد بود. در بخش تولیدی یعنی کشاورزی نیز در سال‌های اخیر، برداشت آب از منابع آب‌سطحی و زیرزمینی به‌صورت بی‌رویه افزایش‌یافته است (Shirshahi et al., 2021). از عوامل تشدیدکننده‌ی تنش آبی می‌توان رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های صنعتی، گسترش شهرنشینی و تغییر اقلیم را نام برد. بااین‌حال، کمبود فزاینده‌ی آب، سوءاستفاده و عدم مدیریت صحیح منابع آب در دسترس تهدید اصلی توسعه پایدار در بخش کشاورزی است (Moshizi et al., 2023).

مدیریت آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی منابع آب حوزه وسیعی را در برمی‌گیرد و شامل شیوه‌هایی نظیر حفظ رطوبت اراضی ، برداشت بهینه‌ی آب، آبیاری تکمیلی، و روش‌های مختلف توسعه منابع آب است. همه روش‌هایی که در مدیریت آب کشاورزی استفاده می‌شوند اغلب برای غلبه بر محدودیت‌های اصلی برداشت و یا نگهداری منابع آب در نظر گرفته می‌شوند (Nasseri Nejad et al., 2023).

در دهه‌های پیش رو، رشد جمعیت و توسعه اقتصادی در کنار تشدید کمبود آب باعث بالا رفتن هزینه‌های تأمین آب می‌گردد و این موضوع، ضمن تهدید اقتصاد مناطق به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک سبب بروز مناقشات جدی بین کشورها و یا ساکنان محلی خواهد گردید. از طرف دیگر تغییرات اقلیمی نیز سبب

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

تشدید مسائل مربوط به کمبود خواهد شد (Zeinadini et al., 2019).

ایران به‌عنوان کشوری با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک بیش از ۹۴ درصد منابع آب خود را در بخش کشاورزی به‌کار می‌گیرد. بخش کشاورزی نقش اساسی و حیاتی در اقتصاد ملی و تولید مواد غذایی در کشور دارد، به‌طوری‌که حدود ۲۷ درصد تولید ناخالص ملی و ۲۲ درصد نیروی کار کشور مرتبط با این بخش است. در این میان به‌واسطه پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی و عدم مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب در کشور به‌ویژه در مناطق به سیارکم آب و خشک، مدیریت منابع آب را به‌خصوص در بخش کشاورزی با مشکلات جدی روبرو ساخته است. علاوه برآن در مناطق خشک کشور مانند قسمت‌های جنوب تقریباً۱۰۰ درصد تولیدات کشاورزی از کشت آبی حاصل می‌شود (Babazadeh and Saraei Tabrizi, 2012). مدیریت آب کشاورزی و استفاده از گزینه‌های مناسب و پرظرفیت مدیریتی نیازمند ارزیابی دقیق، شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد (Bazrafshan et al., 2018). لذا ضرورت تخصیص بهینه منابع آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید محصولات کاملاً احساس می‌شود که لازمه آن ارائه الگوی کشت مدیریتی مناسب بر اساس رویکرد ارزش اقتصادی آب و شاخص ردپای آب محصولات مختلف کشاورزی در اقلیم‌های مختلف می‌باشد.

از سال ۲۰۰۲ میلادی که شاخص ردپای آب مطرح شد، تاکنون مطالعه‌های فراوانی برای ارزیابی این شاخص در حوزه‌های مختلف انجام‌شده است (Chapagain and Hoekstra, 2003, Hoekstra, 2003). در ابتدا اکثر مطالعه‌ها برای تخمین هر سه جزء رد پای آب (ردپای آب آبی ، سبز و خاکستری) در مقیاس کل جهان صورت می‌گرفت ولی سپس با توجه به اهمیت روزافزون مدیریت منابع آب در مقیاس کوچک‌تر، ارزیابی این شاخص به‌صورت محلی دارای اهمیت شد (Hoekstra 2011). با توجه به این‌که تعادل بین تقاضای آب و در دسترس بودن منابع آب در بسیاری از مناطق جهان به حد بحرانی رسیده است و تقاضا برای تولید آب و مواد غذایی افزایش یافته است، ارائه یک رویکرد پایدار برای مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی ضروری است. مفهوم مدیریت پایدار منابع آب به روش‌های اشاره دارد که باعث بهبود عملکرد محصول و به حداقل رساندن تلفات غیر مفید آب می‌شوند. مفهوم ردپای آب، مصرف منابع آب شیرین است که نه تنها مصرف مستقیم آب توسط یک تولید کننده یا مصرف کننده را شامل می‌شود بلکه مصرف غیر مستقیم آب را هم شامل می‌شود. بنابراین ردپای آب می‌تواند دیدگاه بهتر و جامع‌تری از چگونگی ارتباط بین یک مصرف کننده یا تولید کننده با مصرف منابع آب شیرین ارائه کند. با توجه به اینکه مفهوم ردپای آب در حال حاضر به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های سنجش بهره‌وری آب در مباحث مختلف موردتوجه پژوهشگران در صنعت آب قرارگرفته است، استفاده از این مفهوم با توجه به شرایط خاص سیاسی و اقلیمی کشور، به‌منظور انتخاب بهترین ترکیب کشت، ضمن خودکفایی نسبی در تولید محصولات کشاورزی، می‌تواند ابزاری بسیاری سودمند در ذخیره آب کشور و رسیدن به امنیت آبی باشد.

الگوی بهینه‌ی کشت برنامه‌ای است که با هدف مدیریت بهینه‌ی ترکیب مکانی محصول تدوین شده و با توجه به گستردگی پهنه‌ی مرزی کشور و تنوع اقلیمی مناطق گوناگون ، رسیدن به الگوی کشت مناسبی که بتواند حداکثر بهره برداری را از عوامل و نهاده های تولید ایجاد نماید، ضرورتی اجتناب ناپذیراست (Ramezani Etedlai et al., 2019). با توج به تعریف فوق، تأمین اهداف مختلف با توجه به محدودیت‌ها و ظرفیت‌های تولید در الگوی کشت هر منطقه، مشخص می‌کند که هدف در نوع محصول زراعی معمولاً به یک موضوع خاص ختم نشده و تصمیم‌ها باید بین نتایج خروجی حاصل ازتصمیم که در تضاد و تقابل هستند، تعادل ایجاد کند (Li et al., 2020). لذا برنامه‌ریزی در شرایطی که چندهدف دنبال می‌شود کار ساده‌ای نیست و نیازمند استفاده از رهیافت‌های ریاضی از جمله برنامه‌ریزی‌های چندهدفه است. در زمینه کاربرد روش‌های ریاضی در تعیین الگوی بهینه کشت و دیدگاه ردپای آب مطالعه‌های متعددی در سطح ایران و دنیا صورت پذیرفته است.

Osman et al. (2017) با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی خطی اقدام به حداکثر سازی بازده خالص سالانه کشت محصولات زراعی در سه منطقه قدیمی مصر نمودند. براساس نتایج نشان، سطح زیر کشت محصولات غیراستراتژیک مانند پیاز، سیر، جو، کتان، شنبلیله، نخود و عدس کاهش و محصولات استراتژیک مانند گندم، ذرت، شبدر، فرآورده‌های قند و پنبه افزایش یافت.

Mojtabavi et al. (2018) در بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت قزوین با تاکید بر حسابداری ردپای آب اذعان نمودند، این دیدگاه قادر است به امنیت آبی در منطقه کمک شایانی کند و در برنامه‌ریزی الگوی کشت مفید واقع گردد.

Ramezani Etedali et al. (2019) در بهینه‌سازی سطح زیرکشت غلات دیم و آبی در سطح کشور از دیدگاه ردپای آب و برنامه‌ریزی خطی استفاده نمودند. براساس نتایج مشخص شد، با بهینه‌سازی می‌توان سالانه ۲۲۱۰ میلیون مترمکعب آب شیرین صرفه‌جویی نمود.

Aligholinia et al. (2021) به بهینه‌سازی الگوی کشت بر مبنای شاخص ردپای آب در اقلیم‌های مختلف ایران با استفاده از پرداختند و بر این اساس الگوی کشت فعلی در بسیاری از مناطق اقلیمی کشور براساس شاخص ردپای آب تغییر قابل ملاحظه‌ای داشت.

Zhang et al. (2022) به بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از شاخص کارایی مصرف آب و ردپای آب با برنامه‌ریزی خطی در غرب چین می‌پردازد. براساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد ردپای آب به میزان قابل توجهی در تعیین کشت بهینه مؤثر است.

Bazrafshan et al. (2022) به اولویت‌بندی کشت گوجه در ایران پرداختند. براساس نتایج، مناطقی که دارای کشت خارج از فصل بودند، دارای بالاترین ارزش آب و زمین و در اولویت اول کشت گوجه در ایران قرار می‌گیرند. یا در تحقیقی دیگر Bazrafshan et al. (2024) به بررسی ارزش اقتصادی و ردپای آب بادام دیم و آبی در ایران پرداختند. نتایج نشان داد، این محصول در دسته‌ی محصولات با ردپای آب و ارزش اقتصادی آب میانه قرار دارد.

Anand et al. (2024) در مطالعه‌ی خود تحت عنوان از قطره تا دلتا، بهینه‌سازی ردپای آب برای امنیت غذایی، این دیدگاه را روشی عملی برای سنجش میزان آب مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات و ارتقای پایداری در تولید صنعتی و غذایی معرفی نمودند و اذعان داشتند استفاده از این ایده می‌تواند منجر به تخصیص داده-های ارزشمندی شود که برای بررسی اثرات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی و پیشبرد گفتگوها در مورد استفاده عادلانه و پایدار آب مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی تحقیقات گذشته نشان می دهد که هرچند مطالعه‌های زیادی روی بهینه‌سازی الگوی کشت صورت گرفته است، لیکن هریک با تعریف تابع هدفی مشخص در پی تأمین و بهینه‌سازی آن برآمده اند. درحالی که بسیاری از توابع هدف بدون در نظر گرفتن ارزش آب و زمین و ردپای آب صورت پذیرفته است. دشت میناب یکی از سه قطب اصلی کشاورزی در استان هرمزگان است که به لحاظ محصولات زراعی و باغی دارای تنوع قابل‌توجهی است، مهم-تر از همه اینکه بخش اعظم تولیدات این منطقه مرکبات، نخیلات و کشت جالیزی است که در حال حاضر اراضی باغی به سرعت در حال تبدیل به اراضی جالیزی است و کشت جالیزی خارج از فصل از ویژگی‌های مهم کشاورزی در این منطقه است که تولید قابل توجهی دارد. لذا برآورد ردپای آب، ارزش آب و زمین در این اراضی نقش مهمی در بهینه‌سازی کشت محصولات کشاورزی در این شهرستان دارد و حائز اهمیت فراوان می‌باشد. لذا این تحقیق درصدد آن است که با استفاده از مفهوم ردپای آب، ارزش آب و زمین به بهینه‌سازی سطح زیر کشت منطقه بپردازد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه و مواد مورداستفاده

شهرستان میناب یکی از شهرستان‌های شرقی استان هرمزگان واقع در جنوب ایران است. شهرستان میناب در سال ۱۳۳۹ تأسیس‌شده و دارای چهار بخش ۱۱دهستان و هفت شهر است. شهرستان میناب در شمال خاوری تنگه هرمز قرار دارد. وسعت آن ۵/۶۸۷۸ کیلومترمربع و ارتفاع از سطح دریا ۱۶ متر است. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده، دارای اقلیم فراخشک- گرم است، متوسط بارش و دمای منطقه ۲۳۵ میلی‌متر و ۲۷ درجه سانتی‌گراد است (Bazrafshan et al., 2017). شهرستان میناب قطب کشاورزی استان هرمزگان است (شکل ۱). علاوه بر این‌که بیشترین تولید را دارا می‌باشد تنوع محصولات نیز در این شهرستان زیاد است. سطح زیر کشت محصولات زراعی میناب ۳۶۱۶۰ هکتار است که حدود ۴۷ درصد را اراضی باغی و مابقی محصولات زراعی است. مهم‌ترین محصولات کشاورزی آن مرکبات، خرما، صیفی‌جات، غلات، پرتغال ، لیموترش، گوجه‌فرنگی، خیار، هندوانه، پیاز، بادمجان و انبه می‌باشد. کلان‌شهر میناب دومین شهر بزرگ هرمزگان و سرزمینی جلگه‌ای است که به علت داشتن منابع آب شرب به‌ویژه رودخانه میناب، یکی از قطب‌های کشاورزی هرمزگان است. عمده آب شیرین تأمین کننده‌ی کشاورزی در منطقه در درجه‌ی اول آب‌های زیرزمینی و سپس سد میناب است.

متوسط میزان تولید و سطح زیر کشت محصولات اصلی شهرستان میناب و سهم هر محصول طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۰ در جدول (۱) ارائه شده است. محصولات جالیزی ۴۹ درصد از سطح زیرکشت و ۷۶ درصد تولیدات گیاهی را به خود اختصاص داده است و پس از آن حصولت باغی نخیلات و مرکبات ۴۸ درصد از سطح زیرکشت و ۲۳ درصد تولیدات را تشکیل می‌دهد. سایر محصولات در دسته غلات، روغنی و حبوبات درصد کمی از تولیدات و سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده است.

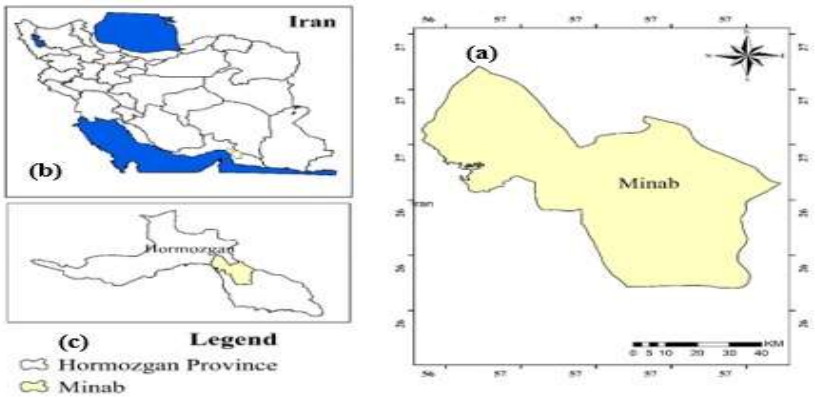


Fig. 1- Location of case study(a) in Iran (b) and Hormozgan province (c)
شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه (الف) در ایران (ب) و استان هرمزگان (پ)

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

جدول ۱- متوسط سطح زیرکشت و تولید محصولات کشاورزی و سهم هر یک از آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه
Table 1- Average of cultivated area, production and their shares in the case study area

Products group	Name	Cultivated area (ha)	Share of cultivated area	Production (tons)	Share of production
Beans	Bean	50.64	0.14%	417.14	0.07%
	Green beans	170.00	0.47%	1553.33	0.25%
Horticulture	Citrus	8232.50	22.77%	99916.38	15.80%
	Date palms	9309.81	25.75%	45072.72	7.13%
Oils	Maize	78.00	0.22%	383	0.06%
Fodder	Surghom	67.27	0.19%	4700.07	0.74%
Cereal	Barley	28.46	0.08%	74.7	0.01%
	wheat	348.50	0.96%	908.14	0.14%
Cocumber	Pumpkins	30.00	0.08%	458	0.07%
	Eggplant	3531.79	9.77%	105662.43	16.71%
	Anion	3738.30	10.34%	106224.43	16.79%
	Cucumber	2540.00	7.02%	53020	8.38%
	Pepper	304.29	0.84%	4725.71	0.75%
	Tomato	3667.41	10.14%	124252.13	19.64%
	Watermelon	4063.17	11.24%	85139.71	13.46%
Total	-	36160.14	100%	632507.89	100%

روش کار

در این تحقیق از چهارچوب ردپای آب Hoekstra et al. (2011) استفاده شده است. ردپای آب مربوط به یک محصول، حجم آب شیرینی است که برای تولید آن محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد و در کل زنجیره‌ی تولید آن محصول محاسبه می‌شود. ردپای آب شامل سه جزء (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) می‌باشد. ردپای آب آبی به مصرف منابع آب آبی (آب سطحی و زیرزمینی) در طول فرایند تأمین یک محصول اشاره دارد. ردپای آب سبز به مصرف منابع آب سبز (آب باران) اشاره دارد (Hoekstra and Hung, 2005). ردپای آب خاکستری به حجم آب شیرین مورد نیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها اشاره دارد. روابط (۱) تا (۳) به‌ترتیب ردپای سبز، ردپای آبی و ردپای خاکستری را نشان می‌دهد.

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e) * 10}{Y} \quad (۱)$$

$$WF_{Green} = \frac{(P_e) * 10}{Y} \quad (۲)$$

$$WFGrey = \frac{a * NAR}{C_{Max-}C_{Nat}} * \frac{1}{Y} \quad (۳)$$

که در این روابط WF_{Green}، WF_{Blue} و WF_{Gray} به‌ترتیب ردپای سبز، آبی و خاکستری است. P_e: مجموعه بارندگی مؤثر در طول دوره رشد گیاه به میلی‌متر که با استفاده از روش USDA ، ETc: تبخیر و تعرق هرگیاه به میلی‌متر که با استفاده از روش فائو – پنمن – مونتیث محاسبه شد.Y: عملکرد هر محصول بر حسب تن در هکتار، a : درصد تلفات کودهای نیتروژن NAR: نرخ مصرف کود برای هر گیاه به کیلوگرم در هکتار، C_{Max}: غلظت بحرانی نیتروژن به کیلوگرم در مترمکعب، C_{Nat}: غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده به کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد. همچنین به‌دلیل در دسترس نبودن غلظت واقعی نیتروژن در منطقه‌ی مورد مطالعه، طبق توصیه‌ی Chapagain و Hoekstra (2003) مقادیر a در شرایط فاریاب ۱۰ درصد و حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده، صفر در نظر گرفته شد.

ارزش اقتصادی آب از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$WFE_{total} = \frac{NB}{WF_{total}} \quad (۴)$$

در روابط فوق ، WFE_{total} ارزش اقتصادی کل آب برحسب دلار در هر مترمکعب و WFtotal حاصل جمع ردپای اقتصادی اجزای ردپای آب برحسب مترمکعب، NB سود خالص برحسب دلار است. بدلیل عدم دسترسی به اعداد قابل اعتماد به ریال در ایران،

این مقادیر از وب‌سایت فائواستت و نتایج بر حسب دلار محاسبه گردید.

ارزش اقتصادی زمین

از حاصل‌ضرب سود خالص هر هکتار محصول به‌دست‌آمده در عملکرد آن به دست می‌آید.

$$ELP=NB*Y \quad (۵)$$

که NB سود خالص برحسب دلار در هر تن و Y عملکرد محصول برحسب تن در هکتار است. واحد ارزش اقتصادی زمین دلار است.

بهینه‌سازی سطوح کشت

بهینه‌سازی هنر پیدا نمودن بهترین جواب داخل فضای قابل‌قبول (وضعیت‌های ممکن) موجود است و این کار را از طریق حداقل یا حداکثر سازی عملکرد سیستم انجام می‌دهد. در حقیقت یک مسئله بهینه‌سازی را می‌توان به‌عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری مدنظر قرارداد که در آن به‌منظور رسیدن به اهداف موردنظر، بایستی مسئله را به‌صورت یک مدل ریاضی که متغیرهای واردشده در آن، همان متغیرهای تصمیم می‌باشند، فرمول‌بندی نمود. بهترین گزینه‌های ممکن در تصمیم‌گیری، از حل این مدل ریاضی قابل‌دسترسی می‌باشند. در مطالعه حاضر، مدل بهینه‌سازی یک‌بار باهدف کاهش ردپای آب رابطه‌ی (۶) و بار دیگر باهدف افزایش ردپای آب اقتصادی رابطه‌ی (۷) فرمول‌بندی و اجرا خواهد شد. همچنین محدودیت‌های موجود با لحاظ نمودن حداقل و حداکثر آب در دسترس منطقه و حداقل و حداکثر سطح کشت به تفکیک محصولات عمده زراعی در نظر گرفته خواهند شد.

$$MinZ_1 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(WF_{ij} \times X_{ij}\right) \quad (۶)$$
$$i = 1,\dots,n, \quad j = 1,\dots,m$$

$$MaxZ_2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\left(NB_{ij}/WF_{ij}\right) \times X_{ij}\right) \quad (۷)$$
$$i = 1,\dots,n, \quad j = 1,\dots,m$$

که در آن‌ها، WF_{ij}: مجموع ردپای آب محصول i در سال j، NB_{ij}: سود خالص حاصل از کشت محصول i در سال j و X_{ij}: سطح کشت محصول i در سال j برحسب هکتار است. درنهایت نتایج حاصل از این دو مدل بهینه‌سازی از منظر بهره‌وری آب مورد مقایسه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

نتایج و بحث

متغیرهای گیاهی شامل بارش مؤثر، تبخیر–تعرق گیاهی و نیاز آبی محصولات کشاورزی میناب در جدول (۲) ارائه شده است. مقادیر بارش موثر در محصولاتی مانند جو و گوجه فرنگی قابل توجه و در سورگوم و هنداونه صفر است. بیشترین تبخیر–تعرق گیاهی متعلق به درختان باغی است که بالتبع مقادیر بالای نیاز آبی را نیز دارا هستند.

جدول ۲- متغیرهای گیاهی محصولات مورد بررسی

Table 2 – Crop variables of the case study

Product group	Name	P_e(mm)	ET_c(mm)	CWR (mm)	CF(Nitrate) (kg/ha)
	Bean	52	401	349	100
Beans	Green beans	76	232	156	100
	Citrus	84	1129	1045	330
Horticulture	Dates	51	1554	1503	220
Fodder	Surghom	0	459	459	150
	Barley	122	323	201	150
Cereal	Wheat	89	306	217	150
	Pumpkins	69	296	227	100
	Eggplant	84	515	431	200
	Onion	92	496	404	250
Cucumber	Cucumber	31	406	375	250
	Pepper	69	239	170	300
	Tomato	91	493	402	360
	Watermelon	0	417	417	300

CWR: Crop water requirement; CF: Chemical fertilizer

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

اجزاء ردپای آب محصولات کشاورزی در شهرستان میناب در جدول (۳) ارائه شده است. کل حجم ردپای آب در میناب ۱۹۹۵ میلیون مترمکعب است که ۱۱۷۹/۵۳ میلیون مترمکعب آن مربوط به آب آبی ، ۲۴۳/۵۱میلیون مترمکعب مربوط به آب سبز و ۵۵۹/۸۶ میلیون مترمکعب مربوط به آب خاکستری است. که به‌ترتیب ۵۹ درصد مربوط به آب آبی و ۱۲ و ۲۹ به‌ترتیب مربوط به ردپاهای سبز و خاکستری می‌باشند. در طول دوره آماری مورد بررسی، ردپای آب آبی بیشترین سهم ردپای آب را به خود اختصاص داده است و بعد از آن به‌ترتیب ردپای آب خاکستری و آب سبز می‌باشند. نتایج Bazrafshan et al. (2024) در مقایسه ردپای آب در بین ۳۶ محصول کشاورزی در ایران نشان داد، نخیلات در جنوب ایران با بالاترین نیاز آبی، بیشترین سهم ردپای آب آبی را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که در بین محصولات کشاورزی مورد مطالعه بیشترین مقدار ردپای آب آبی مربوط به محصولات باغی شامل نخیلات با مقدار ۱۷۵۳و مرکبات با مقدار ۱۰۹/۴۱ میلیون مترمکعب و کمترین ردپای آب آبی مربوط به بادمجان با مقدار ۰/۱ و همچنین جو با مقدار ۰/۱۳ میلیون مترمکعب است. براساس شکل (۲) و جدول (۳) سهم ردپای هر محصول نشان می‌دهد، بیشترین سهم ردپای آب مربوط به آب آبی و سپس آب خاکستری است. بیشترین ردپای آب مربوط به گیاهان باغی با سهم آب آبی و خاکستری ۷۸ درصد و ۲۱ درصد است. سهم ردپای سبز در هندوانه و سورگوم صفر است که بدلیل عدم بارش باران در طول دوره‌ی رشد گیاهان مذکور است. Dehghanpir et al. (2023) در بررسی تنش آبی در هرمزگان بیان داشتند، بیش از ۷۰ درصد تنش موجود در بخش کشاورزی مربوط به ردپای آب آبی در این استان است. ایشان سهم ردپای آب در استان هرمزگان را بیش از ۷۹ درصد گزارش دادند.

بالا بودن ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز نشان می‌دهد که منابع آب آبی شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی منابع آب قطعی برای تولید محصولات کشاورزی در میناب محسوب می‌شوند (Bazrafshan and Gerkaninezhad Moshizi, 2018) و پائین بودن بارش سبب بالارفتن ردپای آب آبی شده است.

بیشترین سهم آب سبز باتوجه به بالابودن بارش مؤثر در محصول جو نیز قابل توجه است. اگرچه سهم آب سبز در گوجه‌فرنگی نیز بالاست، اما بالابودن عملکرد در واحد سطح محصول گوجه‌فرنگی، سبب کاهش قابل ملاحظه‌ی ردپای سبز در تولید محصول شده است. لذا بالابودن راندمان به‌طورقابل توجهی در کاهش ردپا موثر است. مطالعه‌ی Yahyazade et al. (2021) در برآورد ردپای آب گوجه‌فرنگی در ایران نشان داد، استان هرمزگان و سایر استان‌های جنوبی کشور دارای بالاترین سهم آب سبز در تولید گوجه در ایران هستند، که مهم‌ترین دلیل آن کشت خارج از فصل در مناطق جنوبی ایران است که به قطب تولید گوجه زمستانه در ایران نیز معروف است. لذا با تغییر ژنوتیپ به سوی گونه‌های مقاوم به خشکی و کم آبی و کاهش دوره‌ی رشد می‌توان به توسعه کشت دیم در این مناطق رسید.

به‌طور کلی مقایسه اجزای ردپای آب در همه‌ی گروه محصولات کشاورزی بجز صیفی‌جات نشان می‌دهد، ردپای آب در میناب نسبت به متوسط کشوری بسیار بالاتر است. یکی از مهم‌ترین دلایل بالا بودن ردپای آب نسبت به میانگین کشوری، کم‌بودن عرض جغرافیایی، در نتیجه بالا بودن دمای حداقل، پائین بودن میانگین بارش و بالا بودن میزان تبخیر و تعرق گیاهی و در نتیجه نیاز آبی است که ردپای آب را بالا می‌برد. بالا بودن دمای حداقل سبب افزایش تبخیر و تعرق گیاهی و در نتیجه افزایش نیاز آبی می‌شود (Allen et al., 2011). نیاز آبی در تمام محصولات کشاورزی در استان هرمزگان براساس نتایج Babazadeh و Saraeitabrizi (2012) نیز تائید کننده این مطلب است.

جدول ۲- متوسط اجزای ردپای آب محصولات کشاورزی طی دوره‌ی ۱۳۸۶-۱۴۰۰

Tabel 2- Average of WF component of agricultural products during 2007-2021

Name	Yield (ton/ha)	WF_{Green}(m^3/ton)	WF_{Blue}(m^3/ton)	WF_{Grey}(m^3/ton)	WFT (m^3/ton)	VWF (MCM)
Bean	8.21	65.62	440.39	126.19	623.26	0.25
Green beans	11.33	84.33	173.1	110.96	368.4	0.55
Citrus	12.23	69.03	858.79	164.36	1092.18	109.41
Dates	5	106.38	3134.97	22.32	3929.67	1753.97
Surghom	71.35	0	69.36	22.23	91.59	0.43
Barley	2.85	491.91	810.44	604.81	1907.15	0.13
fhdnWheat	2.78	561.15	1368.19	945.75	3820.84	2.11
Pumpkins	15.27	50.66	124.82	73.42	228.31	0.1
Eggplant	29.68	31.23	160.26	74.37	263.48	24.7
Onion	29.25	34.1	149.73	92.79	272.81	27/23
Cucumber	20.32	17.73	214.49	142.99	375.21	16.66
Pepper	16.15	84.35	207.81	36.67	328.26	0.81
Tomato	33.84	31.17	137.69	123.3	287.01	30.33
Watermelon	22.2	0	223.84	3367.2	13968.65	28.38

VWF=Volume of WF

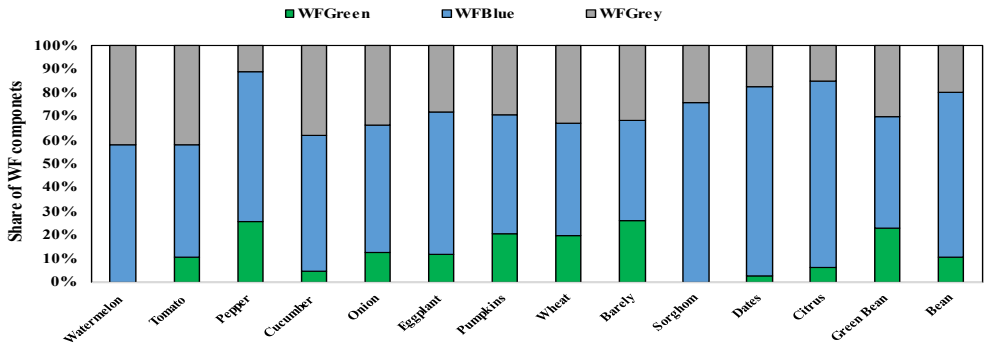


Fig. 2- The share of WF component in agricultural products of Minab

شکل ۲- سهم اجزای ردپای آب در محصولات کشاورزی میناب

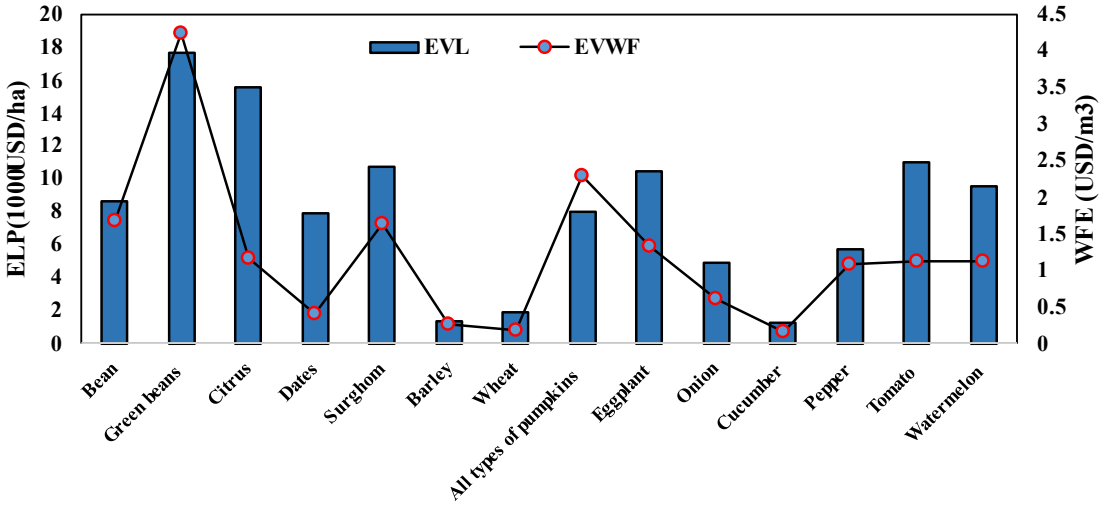


Fig. 3 – Economic value of WF (WFE) (USD/m3), economic value of land (ELP) (USD/ha) in the case study

شکل ۳- ارزش ردپای آب (دلار در هر مترمکعب) و ارزش زمین(دلار در هر هکتار) در منطقه مورد مطالعه

متوسط ارزش اقتصادی آب و ارزش زمین و سود خالص برای محصولات مورد بررسی در شکل (۳) ارائه شده است. براساس نتایج، بیشترین ارزش اقتصادی آب مربوط به گروه حبوبات (باقلاسبز چهار دلار در هر مترمکعب) و گروه جالیزی (کدوها و بادمجان ۲/۵ دلار در هرمترمکعب) و سورگوم (۲دلار در هر مترمعب) و کمترین آن مربوط به گروه گیاهان زراعی (گندم و جو (۰/۲۵ دلار در هر مترمکعب))، خیار (۰/۱۲ دلار در هر مترمکعب) و نخیلات (۰/۴۹ دلار در هر مترمکعب) است. بالابودن ردپای آب و پائین بودن عملکرد و سود خالص سبب کاهش ارزش اقتصادی آب می‌گردد. مطالعه‌ی Bazrafshan et al. (2024) در بررسی ارزش اقتصادی محصولات کشاورزی در ایران نشان داد، در دسته محصولات باغی (شامل بادام، درختان آلویی، گردو، پسته، مرکبات و نخیلات) نخیلات در دسته‌ی خرمای نرم دارای ارزش اقتصادی پائین است. این در حالی‌است که بیشترین تولید و سطح زیرکشت و ردپای آب و کمترین عملکرد و ارزش اقتصادی آب در ایران مربوط به خرمای نرم است (Bazrafshan et al., 2020). خرمای نرم دارای کمترین بازارپسندی، قابلیت نگهداری و در نتیجه ارزش صادراتی هستند (Rastegar et al., 2012). بیش از ۷۰ درصد سطح زیرکشت در میناب مربوط به خرمای نرم است، که در بازار داخلی و یا برای خوراک دام استفاده می‌شود و ارزش صادراتی چندانی ندارد (Mahdavi et al., 2014).

بررسی ارزش زمین نشان می‌دهد، باقلا سبز، مرکبات و بادمجان و گوجه دارای بیشترین ارزش زمین و خیار، گندم و جو دارای کمترین ارزش اقتصادی هستند. بالابودن عملکرد در واحد سطح و سود خالص از مهم‌ترین عوامل بالابردن ارزش زمین در محصولات کشاورزی است (Chouchane et al., 2015). پائین بودن قیمت گندم و جو و عملکرد در واحد سطح نسبت به سایر محصولات ارزش زمین را بسیار کاهش داده است. گزارش FAO (2014) نشان می‌دهد، پائین‌ترین میزان عملکرد گندم و جو در دنیا متعلق به ایران است که مهم‌ترین دلیل آن ناکافی بودن دانش فنی کشاورزان در تولید و سیستم نامناسب در توسعه‌ی کشت استراتژیک است. در جنوب ایران عملکرد گندم و جو بسیار پائین است و نیزا

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

آبی بالایی نسبت به میانگین کشور دارد و عملاً هیچ سودی برای کشاورز ندارد. مجموعه‌ای از عوامل نظیر شوری خاک، عمق سطح ایستابی، شوری آب زیرزمینی، تعداد آبیاری، مدیریت توزیع آب در مزارع وسیع و سایر مدیریت‌های زراعی در این امر دخالت دارند (Heydari and Absalan, 2015). از مهم‌ترین خطراتی که این اراضی را تهدید می‌کند، خطر بیابان‌زایی در دشت میناب است که با شور شدن اراضی و استخراج

بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در شهرستان میناب

در مرحله بهینه‌سازی سطح زیر کشت در تمام دسته محصولات کشاورزی در دشت میناب میزان متوسط همه متغیرها شامل ردپا، سود، میزان تولید، میزان عملکرد و سطح زیر کشت را به‌طور متوسط حداقل و حداکثر براورد و با دو هدف حداکثر سازی سود و حداکثر سازی نسبت سود به ردپا بهینه‌سازی سطح زیرکشت را با استفاده از بهینه‌سازی خطی صورت می‌گیرد.

بهینه‌سازی سطح زیر کشت بر اساس حداکثر کردن سود

نتایج حاصل از بهینه‌سازی سطح زیرکشت برمبنای دو سناریوی مورد نظر در جدول (۴) ارائه شده است. براساس نتایج در سناریوی یک براساس حداکثرسازی سود، میزات تولید محصولات جالیزی ۹۸، سطح زیرکشت ۹۱، حجم آب مجازی ۱۰۰ درصد و میزان سود خالص ۸۸ درصد کاهش می‌یابد در خصوص محصولات علوفه‌ای نیز بطور متوسط تمام متغیرها ۱/۴۷ درصد کاهش می‌یابد. براساس سناریوی حداکثر سازی سود، محصولات روغنی نیز به‌طور متوسط کاهش ۲۵ درصدی در تولید، سطح زیرکشت دیده می‌شود اما تمام متغیرها در حبوبات و محصولات باغی به‌طور متوسط ۴۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. در کل، با اعمال سناریوی حداکثرسازی سود، سطح زیرکشت ۱۲ درصد کاهش و تولیدات کشاورزی ۶۱ درصد افزایش و حجم ردپای آب ۱۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود (شکل ۴ الف). در این سناریو، با توجه به اینکه هدف افزایش سود بدون در نظر گرفتن امنیت غذایی است، افزایش محصولات باغی نظیر خرما و مرکبات، پیشنهاد شده است. نکته قابل توجه در شرایط حال حاضر در باغات میناب، روند کاهشی آن است که کشاورزان تمایل چندانی به توسعه‌ی آن ندارند. در واقع علاوه بر مشکل دسترسی به آب قابل اطمینان در طول سال برای آبیاری، مشکل مهم بعدی عدم برنامه-ریز صحیح دولت در خرید تضمینی مرکبات بویژه لیموست. سالانه هزاران تن از مرکبات این شهرستان با قیمت بسیار پائین توسط دولت خریداری و بدلیل عدم وجود صنایع تبدیلی در استان، به سایر استان‌ها صادر می‌گردد.

در سناریوی دوم با هدف افزایش نسبت سود به ردپا، سطح زیرکشت همه‌ی محصولات بجز صیفی‌جات (۶۴ درصد افزایش) و محصولات علوفه‌ای (۴۹ درصد افزایش) کاهش می‌یابد و با این الگوی کشت، میزان تولیدات کشاورزی ۸۰ درصد افزایش، میزان حجم ردپای آب ۱۰ درصد کاهش و سود خالص ۱ درصد کاهش می‌یابد. عمده سود خالص به‌دست آمده ناشی از کشت صیف‌جات بوده که سبب افزایش ۸۰ درصدی سود کاشت صیفی‌جات نسبت به وضع موجود می‌گردد. کاهش حجم ردپای آب در سناریوی دوم در کشت غلات تا ۳۷۱ درصد وحبوبات تا ۳۵۱ درصد است. در واقع سناریوی دوم بیشترین تاکید آن بر توسعه‌ی کشت صیفی‌جات و محصولات باغی است. در کل، با اعمال سناریوی دوم، سطح زیرکشت بدون تغییر، تولیدات کشاورزی ۷۹ درصد افزایش و حجم ردپای آب ۱۰ درصد کاهش نشان می‌دهد. در سود خالص تغییربسیار جزئی (۵ درصد کاهش) دیده می‌شود. شاید بتوان گفت، یکی از منطقی‌ترین برنامه بهینه‌سازی سطح زیرکشت با محصولات موجود توسعه‌ی کشت صیفی‌جات در شهرستان میناب است. چرا که باتوجه به خارج از فصل بودن آن نه تنها بخش زیادی از امنیت غذایی کشور را بهمراه سایر استان‌های جنوبی تامین می‌کند، بلکه بدلیل غالب بودن بارش‌ها در این فصل (پاییز و زمستان) سهم بارش مؤثر نیز بالا خواهد بود و به امنیت آبی نیز کمک شایانی خواهد کرد.

شکل (۴) نتایج حاصل از مقایسه‌ی دو سناریوی مورد استفاده نسبت به وضعیت موجود را مقایسه می‌نماید. براساس نتایج، شکل ۳ الف، سطح زیرکشت اولیه در سناریوی اول (حداکثرسازی سود) به نصف کاهش یافته در حالیکه در سناریوی دوم (حداکثرسازی سود نسبت به ردپای آب) سطح زیرکشت تغییر چندانی نیافته است. براساس شکل (۴ب)، ردپای آب در سناریوی اول تقریبا با حالت موجود تغییر چندانی نداشته، در حالیکه در سناریوی دوم به میزان ۱۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در خصوص تغییرات درامد خالص در سناریوی اول نسبت به وضع موجود، ۵ درصد کاهش و در سناریوی دوم به میزان ۲ درصد کاهش یافته است و در مورد تولیدات کشاورزی شکل (۴ د) سناریوی اول و دوم به‌ترتیب سبب افزایش ۲/۵ و ۴/۹ برابر شده است.

جدول ٤- بهینه‌سازی سطح زیرکشت براساس سناریوهای مورد بررسی

Table 4- Optimization of cultivation area based on studied scenarios

	Group	Production	Area (ha)	VWF (MCM)	Net B(MUSD)
Current situation	Beans	0.94	112.7	0.4	0.5
	Horticulture	92.24	9073.8	133.7	119
	Oil	0.38	78	0.8	0.2
	Fodder	4.4	76	0.5	0.7
	Cereal	0.67	228.6	1.3	0.5
	Cucumber	77.19	2774.1	20.2	26.7
	Total	176.15	12377.3	156.9	147.7
Scenario1	Beans	2.76	300	2	1.4
	Horticulture	105.71	9810.5	171.6	136.4
	Oil	0.32	50	0.8	0.2
	Fodder	1.74	30	0.2	0.3
	Cereal	2.19	750	5.9	1.5
	Cucumber	0.78	30	0.2	0.3
	Total	113.4	10970.5	180	140
Scenario2	Beans	0.4	25	0.5	0.23
	Horticulture	133.7	7057.25	119	76.04
	Oil	0.8	50	0.2	0.32
	Fodder	0.5	150	0.7	8.7
	Cereal	1.3	6	0.5	0.02
	Cucumber	20.2	5079	56.7	132.01
	Total	156.9	12367.3	147.6	217.33

VWF (MCM): Volume of water footprint based on Million m^3 and Net B: Net benefit

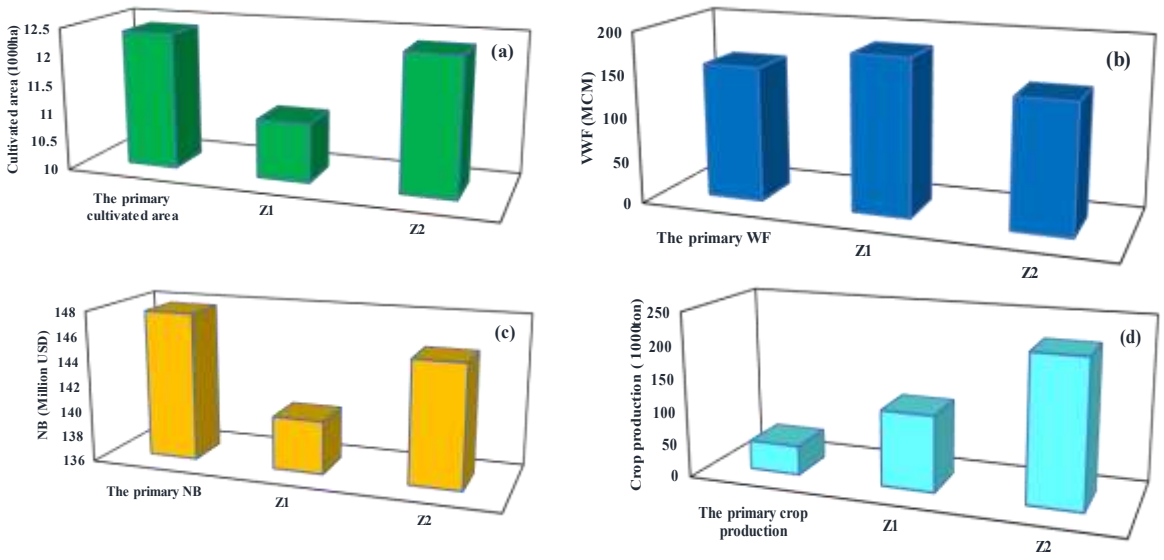


Fig. 4 Results of changes in studied variables optimization scenarios

شکل ٤- نتایج تغییرات متغیرهای مورد بررسی در سناریوهای بهینه‌سازی

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با رویکرد ردپای آب است. بیشترین عملکرد مربوط به دسته محصولات علوفه‌ای و صیفی‌جات و کمترین عملکرد مربوطه به محصولات زراعی (گندو و جو) است. بالابودن عملکرد محصولات زراعی فارغ از نیاز آبی، تأثیر قابل توجهی در کاهش ردپای آب و افزایش ارزش اقتصادی آب دارد. از طرفی با توجه به دوره‌ی کشت، بیشترین میزان بارش مؤثر مربوط به دسته محصولات محصولات زراعی و کمترین مربوط به دسته محصولات روغنی و علوفه‌ای می باشد، لذا در این گروه‌ها تمام نیاز آبی گیاه توسط آب آبی تأمین می شود و در دوره رشد محصول، تقریباً بارش سبز وجود ندارد. این وضعیت به این دلیل است که دوره رشد این

DOI: 10.22055/JISE.2024.45065.2098

محصولات از تیرماه تا مهر است و عموماً در جنوب ایران در این دوره بارش چندانی وجود ندارد. لذا همین عامل سبب افزایش ردپای آب آبی در این محصولات می‌شود.

نتایج بررسی ردپای کل آب نشان می‌دهد که محصولات باغی بیشترین و محصولات علوفه‌ای کمترین میزان ردپای آب را دارند. با توجه به سطح زیرکشت و تولید بالای محصولات باغی و جالیزی (که سهم عمده‌ای از کشت منطقه میناب را تشکیل می‌دهند)، حجم آب مجازی مصرفی در این گروه‌ها نیز بسیار بالا است. به همین دلیل، به‌کارگیری روش‌های بهینه مدیریت در مراحل کاشت، داشت و برداشت و استفاده از گونه‌های اصلاح‌شده به‌ویژه در نخیلات و مرکبات، می‌تواند به کاهش ردپای آب و بهبود ارزش اقتصادی آن کمک معنی‌داری می‌کند.

مقایسه دو سناریوی بهینه‌سازی نشان داد، در سناریوی اول (حداکثرسازی سود): سطح زیرکشت تا نصف کاهش یافت، ولی ردپای آب تقریباً بدون تغییر ماند و درآمد خالص ۵٪ کاهش یافت. در سناریوی دوم (حداکثرسازی نسبت سود به ردپای آب): سطح زیرکشت تقریباً ثابت ماند، اما ردپای آب ۱۱٪ کاهش و تولید کشاورزی حدود ۴.۹ برابر افزایش یافت. درآمد خالص در این سناریو تنها ۲٪ کاهش نشان داد. این سناریو با افزایش چشمگیر تولید و کاهش قابل توجه ردپای آب به بهبود همزمان امنیت آبی و غذایی منجر می‌شود.

در نهایت پیشنهاد می‌شود، با توجه به محدودیت آب و زمین موجود در منطقه، در کنار سناریوهای مورد استفاده با وارد کردن قیود آب و زمین، تأثیر آن را بر بهینه‌سازی سطح زیرکشت، ردپای آب و سود و تولید سنجید.

سپاسگزاری

نویسندگان این تحقیق از جهاد کشاورزی، سازمان آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان هرمزگان برای فراهم نمودن داده‌های تحقیق، نهایت تشکر و قدردانی را اعلام می‌دارد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند

منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: ندا روح‌الامینی: جمع‌آوری داده، نگارش مقاله، تجزیه و تحلیل داده

نویسنده دوم: ام‌البنین بذرافشان: بررسی نتایج، تجزیه و تحلیل نتایج، بازبینی و ویرایش انتقادی مقاله.

نویسنده سوم: علیرضا نفرزادگان: روش تحقیق.

References

1- Aligholinia, T., Ghorbani, K., Rezaie, H., & Ghorbani Nasrabad, G., 2021. Optimization of Crop Pattern Based on Water Footprint Index in Different Climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(1), pp66-53. DOI: 10.22059/IJSWR.2020.300709.668574.

2- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A. and Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, *98*(6), pp.899-920. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.12.015.

3- Anand, S., Kaur, K., Kaur, S. and Kataria, P., 2024. From Drop to Delta: Optimizing Water Footprint for Food Security. *Journal of Scientific Research and Reports*, *30*(4), pp.205-217. DOI: 10.9734/JSRR/2024/v30i41906.

4- Babazadeh, H. and Saraei Tabrizi, M., 2012. Assessing the agricultural situation of Hormozgan province from the perspective of virtual water. *Water research in agriculture*, *26*(4), pp.499-485. (In Parsian).

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

6- Bazrafshan, O., & Gerkaninezhad Moshizi, Z., 2018. The Impacts of Climate Variability on Spatiotemporal Water Footprint of Tomato Production in The Hormozgan. *Water and Soil*, *32*(1), pp29-43. (In Persian). DOI:10.22067/jsw.v32i1.68792.

7- Bazrafshan, O., Chashmberahm, A., & Holisaz, A., 2017. Evaluation of time series models in forecasting pan evaporation in different climates of Hormozgan province. *Watershed Engineering and Management*, *9*(3), pp250-261. DOI:10.22092/ijwmse.2017.112321.

8- Bazrafshan, O., Vafaei, K., Ramezani Etedali, H. Zamani, H., 2024. Economic analysis of water footprint for water management of rain-fed and irrigated almonds in Iran. Irrigation Science, 11(4): pp1-25. DOI: 10.1007/s00271-023-00861-y.

9- Bazrafshan, O., Zamani, H., Etedali, H. R., Moshizi, Z. G., Shamili, M., Ismaelpour, Y., & Gholami, H., 2020. Improving water management in date palms using economic value of water footprint and virtual water trade concepts in Iran. Agricultural Water Management, 229, pp105-141. DOI: 10.1016/J.AGWAT.2019.105941.

10- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y., 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products (Vol. 13). Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE.

11- Chouchane, H., Hoekstra, A. Y., Krol, M. S., & Mekonnen, M. M., 2015. The water footprint of Tunisia from an economic perspective. Ecological indicators, 52, 311-319. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.12.015.

12- Dehghanpir, S., Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Holisaz, A., & Ababaei, B., 2023. Application of the water footprint concept in the assessment of water scarcity and water stress in the agricultural sector in Hormozgan Province. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(1), pp233-248. DOI: 10.22098/MMWS.2023.12116.1206.

13- FAO., 2014. The State of Food and Agriculture, Innovation in family farming. FAO Press, Rome.

14- Heydari, N., & Absalan, S., 2015. Limitations and Agronomic Approaches for Enhancing Wheat's Water Use Efficiency in the Azadegan Plain of Khuzestan Province. *Water Management in Agriculture*, *1*(2), pp39-54.

15- Hoekstra, A. Y., 2003. Virtual water: An introduction. Virtual water trade, Delpht, Netherland.

16- Hoekstra, A. Y., 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge, London, Washingtion.

17- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. 2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. Global environmental change, 15(1), pp45-56. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004.

18- Li, M., Fu, Q., Singh, V.P., Liu, D., Li, T., and Zhou, Y., 2020. Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: A multi-objective non-linear optimization model under uncertainty. Agricultural Systems 178: 102685. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102685.

19- Mahdavi, M., Zarifian, S., Mohammad Rezaei, R., and ShamAbadi, M. A., 2014. Factors affecting the consumption of dates to enter the world market (Study: Hormozgan and Fars provinces). *Commercial Surveys*, *11*(63), 74-84 (In Persian).

20- Mojtabavi, S. A., Shokoohi, A., Ramezani Etedali, H., & Singh, V., 2018. Using regional virtual water trade and water footprint accounting for optimizing crop patterns to mitigate water crises in dry regions. Irrigation and drainage, 67(2), pp295-305. DOI:10.1002/ird.2170.

21- Moshizi, Z. G. N., Bazrafshan, O., Etedali, H. R., Esmaeilpour, Y., & Collins, B., 2023. Application of inclusive multiple model for the prediction of saffron water footprint. *Agricultural Water Management*, *277*, pp108-125. DOI: 10.1016/j.agwat.2022.108125.

22- Nasseri Nejad, H., Akhond Ali, A. M., Sharifi, M. R., & Haghizadeh, A., 2023. Approach evaluation of the role of Dry lands development in water management optimization and planning. *Irrigation Sciences and Engineering*, *45*(4), pp117-130. DOI: 10.22055/JISE.2019.17207.1787.

23- Osman, H., Ammar, M., & El-Said, M., 2017. Optimal scheduling of water network repair crews considering multiple objectives. Journal of Civil Engineering and Management, 23(1), pp28-36. DOI: 10.3846/13923730.2014.948911.

24- Ramezani Etedali, H., Ahmadaali, K., Gorgin, F., & Ababaei, B., 2019. Optimization of the cropping pattern of main cereals and improving water productivity: application of the water footprint concept. Irrigation and Drainage, 68(4), pp765-777. DOI:10.1002/ird.2362.

25- Rastegar, S., Rahemi, M., Baghizadeh, A., & Gholami, M., 2012. Enzyme activity and biochemical changes of three date palm cultivars with different softening pattern during ripening. Food chemistry, 134(3), pp1279-1286. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.208.

26- Shirshahi, F., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N., & Khaledian, M. R., 2021. Optimization of Water Allocation and Optimal Cropping Pattern in Irrigation and Drainage Network of Ghazvin Plain. *Irrigation Sciences and Engineering*, *44*(3), pp103-116. doi: 10.22055/JISE.2019.26934.1788.

27- Sullivan c., 2002. Calculating a water poverty index. *World development*, 30(7): pp1195-1210. DOI: 10.1016/S0305-750X(02)00035-9.

28- Yahyazadeh, M., bazrafshan, O., & Esmaeilpour, Y., 2021. Assessing Spatio-temporal Changes of Ecological Water Footprint and Economic Value of Water in Tomato production at Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(6), pp2047-2059. DOI: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.6.7.

29- Zeinadini, S., Anvari, S., & Zahmatkesh, Z., 2019. Investigation of Water Allocation Conditions in Aharchay Basin under Climate Change Impacts. *Irrigation Sciences and Engineering*, *42*(4), pp195-210. DOI:10.22055/jise.2018.23237.1648.

30- Zhang, D., Li, D., Li, H., Wang, H., Liu, J., Ju, H., ... & Li, Y., 2022. Strategies to reduce crop water footprint in intensive wheat-maize rotations in North China Plain. Agronomy, 12(2), pp357-380. DOI:10.3390/agronomy12020357