Research Paper

Water Shortage Management in Hirmand Catchment under Overseas Cultivation Strategy Using WEAP Model

Mehran Hekmatnia[1], Mehdi Safdari[2*], Seyed mehdi Hoseyni[3] Ali Sardar Shahraki[4]

[1] Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
[2] Associate Professor,Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
[3] Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
[4] Associate Professor,Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

10.22125/IWE.2022.162658

Received:
June 19, 2021
Accepted:
September 25, 2021
Available online:
December 11, 2022

Keywords:
Water resources management, environment, agriculture sector, virtual water trade

Abstract

The uneven distribution of water in the world has caused many countries to face water shortages. The lack of water has made the production of agricultural products a challenge. Water-scarce countries invest in the farms of water-rich countries as a strategy to provide needed agricultural products. This strategy is known as extraterritorial cultivation. The Hirmand watershed is facing limited water resources due to its dependence on the Hirmand transboundary stream from Afghanistan. In this research, the aim is to simulate the strategy of extraterritorial cultivation of agricultural products in order to manage water shortage in the Hirmand catchment area. In this regard, the Hirmand watershed was modeled using the WEAP model, and the current and future status of water resources and uses were simulated. Then the extraterritorial cultivation strategy was simulated as a scenario. Wheat, barley, and corn products were selected as the target of extraterritorial cultivation. The results showed that in the current situation, the Hirmand catchment area faces a water shortage of 582.812 million cubic meters per year, and 41.16% of the water demand in the Hirmand catchment area is not met. 72.42 percent of the total water shortage in the Hirmand catchment area is related to the agricultural sector, and 27.58 percent is related to the environmental sector. After applying the extraterritorial cultivation strategy, the water shortage in the agricultural sector is reduced by 93.89% and reaches from 364.524 million cubic meters per year to 22.242 million cubic meters. In the environmental sector, the water shortage will decrease by 95.19% from 219.911 million cubic meters per year to 10.570 million cubic meters per year. Applying the extraterritorial farming strategy has redistributed water resources in the Hirmand catchment area.

1. Introduction

For countries and regions facing water shortages, direct water imports are costly due to long distances and are generally undisputed. One of the main ways to invest in farms in other countries is to provide

* **Corresponding Author:** Mehdi Safdari
Address: Associate Professor,Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
Email: drsafdari.usb@gmail.com
Tel: 09128518197

food and agricultural products. As part of a long-term food security strategy, many countries invest in other countries' agricultural fields. This strategy, known as "overseas cultivation," has been welcomed by many developed and developing countries. Therefore, overseas cultivation involves investing in the fertile lands of countries with sufficient water resources to produce essential crops to improve food security.

2. Materials and Methods

In this research, the WEAP model was used to simulate the water resources system in the Hirmand catchment. The WEAP model was developed by the Stockholm Environmental Institute (SEI). This model consists of two essential functions:

Technically, WEAP provides a comprehensive, flexible, and user-friendly framework for policy planning and analysis that can be used for complex water systems. The application steps of the WEAP model are as follows: first, the time, place, and components of the system are configured and specified. The required information is then entered into the model for the current situation and the years under review. Different scenarios for the future supply and demand situation for planning and managing water resources and consumption are designed based on policies, technology development, and other factors that affect demand, production, and hydrology. Finally, the scenarios are analyzed according to the costs, results, and effects.

3. Results

On average, the total water demand in this area is 1421.063 million cubic meters per year. This demand includes drinking water demand, agricultural water demand, and environmental water demand. Hirmand watershed is facing an annual water shortage of 582.812 million cubic meters. In other words, 41.16% of water demand in the Hirmand catchment area is not provided.

72.42 percent of the total water shortage in the Hirmand catchment area is related to the agricultural sector. After applying the extraterritorial cultivation scenario, the water demand in the Hirmand catchment area will decrease by 56.84%. After applying the extraterritorial cultivation scenario, water demand decreases by 43.15% and reaches from 1421.063 million cubic meters per year to 807.841 million cubic meters per year.

4. Discussion and Conclusion

This study aims to investigate the effect of overseas cultivation of cereals on water scarcity in catchment areas. In this regard, the implementation of overseas cultivation was simulated and performed using the WEAP model. The results showed that overseas cultivation of cereals causes a redistribution of water resources in the Sistan region. This is consistent with the findings of Yang, H., and Zehnder. (2002) Yang, H., and Zehnder showed that for countries and regions facing water scarcity, overseas cultivation plays a vital role in redistributing water resources in that region by transferring virtual water from floodplains to the interior. Overseas cultivation reduced water shortage in the Sistan region by 56.84% and caused redistribution of water resources in the Sistan region. This redistribution reduced water shortages in agriculture and the environment. So water shortage is reduced by 93.89% in the agricultural sector and 95.19% in the environmental sector. Therefore, overseas cultivation saved scarce water resources in the Sistan region and reduced water consumption. This issue is emphasized in the results of Rulli et al. (2013) and Go et al. (2016). Go et al. (2016) reviewed 475 overseas cultivation investment plans and concluded that the primary purpose of overseas cultivation is access to water resources and national savings in water consumption. Rulli et al. (2013) showed that overseas cultivation reduces consumption and saves water consumption in investing countries. Overseas cultivation reduces by 140 billion cubic meters per year. Saudi Arabia is investing heavily in overseas cultivation in Africa. Saudi Arabia also imports millions of cubic meters of virtual water by producing food in Africa for its national market. Therefore, overseas cultivation is connected to water and its scarcity. Many countries involved in overseas cultivation are currently suffering from water shortages. For water-scarce countries, overseas cultivation is an effective way to replace domestic water demand for food production. With the increase of water shortage in the Sistan region, the role of overseas cultivation for food security and redistribution of water resources becomes more colorful. Therefore, Iran can improve its food security by buying land in other countries and producing water products, importing virtual water by transferring

these products, and reducing the pressure on scarce water resources in arid and semi-arid regions such as Sistan. As emphasized in the research of Isfahani et al. (1399). Isfahani et al. (2016) showed that overseas cultivation is one of Iran's surest ways to improve food security. Successful implementation of overseas cultivation requires a comprehensive framework and a codified plan to replace the new cultivation pattern with crops that are targeted for overseas cultivation

5. Six important references

1) Esfahani, A. K., Mirdamadi, S. M., Hosseini, S. J. F., and Lashgarara, F. 2019. Overseas cultivation: the complimentary approach for developing food security. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25(1), 26-35.
2) Hekmatnia, M., Safdari, M., Ahmadi, A. and Monibi, H. 2022. National savings in freshwater consumption in Iran by virtual water imports (a case study on cereals). Water and Environment Journal, 36 (4), 656– 666.
3) Karandish, F., Hoekstra, A. Y., and Hogeboom, R. J. 2020. Reducing food waste and changing cropping patterns to reduce water consumption and pollution in cereal production in Iran. Journal of Hydrology, 586, 124881.
4) Shahraki, A. S., Shahraki, J., and Monfared, S. A. H. 2017. Water Resources Management by Simulation under Virtual Water Scenario in Agricultural Sector, Case Study: Hirmand Catchment, Iran. International Journal of Agricultural Management and Developme.
5) Shahraki, A. S., Shahraki, J., and Monfared, S. A. H. 2019. An Integrated Water Resources Management Considering Agricultural Demands and the Assessment of Different Scenarios in Hirmand Catchment, Iran. Water Resources, 46(2), 308-317.
6) Sim, S., Barry, M., Clift, R., and Cowell, S. J. 2007. The relative importance of transport in determining an appropriate sustainability strategy for food sourcing. *The International* Journal of Life Cycle Assessment, 12(6), 422-431.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه. زمستان ۱۴۰۱

مدیریت کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند تحت استراتژی کشت فراسرزمینی با استفاده از مدل WEAP

مهران حکمت نیا[۱]، مهدی صفدری*[۲]، سید مهدی حسینی[۳]، علی سردار شهرکی[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۰۳/۲۹
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۷/۰۳

مقاله پژوهشی

چکیده

توزیع نابرابر آب در جهان باعث شده بسیاری از کشورها با کمبود آب روبرو شوند. کمبود آب تولید محصولات کشاورزی را با چالش روبرو کرده است. کشورهای کم آب برای تأمین محصولات کشاورزی مورد نیاز به سرمایه‌گذاری در مزارع کشورهای پرآب به عنوان یک استراتژی می‌پردازند. این استراتژی به کشت فراسرزمینی معروف است. حوزه آبریز هیرمند به دلیل وابستگی به روخانه فرامرزی هیرمند که از کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرد با محدودیت منابع آب مواجه است. در این پژوهش هدف شبیه‌سازی استراتژی کشت فراسرزمینی محصولات کشاورزی به‌منظور مدیریت کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند می‌باشد. در این راستا ابتدا حوزه آبریز هیرمند با استفاده از مدل WEAP مدل‌سازی و وضعیت فعلی و آینده منابع و مصارف آب شبیه‌سازی شد. سپس استراتژی کشت فراسرزمینی به عنوان یک سناریو شبیه‌سازی شد. محصولات گندم، جو و ذرت به عنوان هدف کشت فراسرزمینی انتخاب شدند. نتایج نشان داد در وضعیت فعلی حوزه آبریز هیرمند با کمبود آب ۵۸۲/۸۱۲ میلیون مترمکعب در سال مواجه است و ۴۱/۱۶ درصد از تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند تأمین نمی‌شود. ۷۲/۴۲ در صد از کل کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند مربوط به بخش کشاورزی و ۲۷/۵۸ درصد مربوط به بخش محیط‌زیست است. پس از اعمال استراتژی کشت فراسرزمینی کمبود آب در بخش کشاورزی ۹۳/۸۹ درصد کاهش می‌یابد و از ۳۶۴/۵۲۴ میلیون مترمکعب در سال به ۲۲/۲۴۲ میلیون مترمکعب می‌رسد. در بخش محیط‌زیست نیز کمبود آب ۹۵/۱۹ درصد کاهش می‌یابد و از ۲۱۹/۹۱۱ میلیون مترمکعب در سال به ۱۰/۵۷۰میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. اعمال استراتژی کشت فراسرزمینی باعث توزیع مجدد منابع آب در حوزه آبریز هیرمند شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب، بخش محیط‌زیست، بخش کشاورزی

[۱] گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد،دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
[۲] دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد،دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
[۳] استادیار،گروه اقتصاد کشاورزی،دانشکده اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان،زاهدان، ایران
[۴] دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد،دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

مقدمه

تنها یک درصد از منابع آب موجود در کره زمین آب شیرین است و کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده این آب شیرین در جهان است. بخش کشاورزی بیش از ۷۰٪ از آب شیرین را در جهان مصرف می‌کند. با رشد جمعیت، افزایش تقاضا برای مواد غذایی و محصولات کشاورزی فشار زیادی بر منابع آب شیرین وارد می‌کند (Wang et al., 2019). بسیاری از مناطق جهان که تحت تأثیر کمبود آب قرار دارند، برای تأمین نیازهای غذایی خود، خودکفا نیستند و به سیاست‌ها و استراتژی‌های مختلفی برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز خود در روی می‌آورند (Tian et al., 2018). منابع آب در جهان به‌طور نابرابر توزیع شده و بسیاری از کشورها از کمبود آب شیرین رنج می‌برند. واژه کمبود آب نشان‌دهنده کمبود آب نسبت به تقاضا است. کمبود فیزیکی آب هنگامی رخ می‌دهد که منابع آب موجود برای پاسخگویی به تمام خواسته‌ها کافی نباشد (Agarwal et al., 2019).

برای کشورها و مناطقی که با مشکل کمبود آب مواجه هستند، واردات مستقیم آب به دلیل مسافت زیاد بسیار پر هزینه و به‌طور کلی قابل بحث نیست (Antonelli et al., 2017). یکی از راه‌کارهای اساسی سرمایه‌گذاری در مزارع سایر کشورها جهت تأمین مواد غذایی و محصولات کشاورزی مورد نیاز است. به عنوان بخشی از استراتژی بلند مدت تأمین امنیت غذایی، بسیاری از کشورها در زمین‌های کشاورزی سایر کشورها سرمایه‌گذاری می‌کنند. این استراتژی که به "کشت فراسرزمینی" معروف است، مورد استقبال بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه قرار گرفته است. بنابراین سرمایه‌گذاری در اراضی حاصل‌خیز کشورهای برخوردار از منابع آب کافی برای تولید محصولات اساسی در راستای بهبود امنیت غذایی کشت فراسرزمینی نامیده می‌شود (Esfahani et al., 2019).

کشت فراسرزمینی نوعی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در بخش کشاورزی است که در آن یک طرف کشور میزبان و طرف دیگر کشور مهمان است. شایان ذکر است که در تعاملات ژئوپلیتیک جهانی مدرن، کشت فراسرزمینی محدود به محصولات زراعی و باغی نیست بلکه در پرورش طیور، گوشت و حتی صنایع لبنی گنجانده شده است (Sim et al., 2007). با توجه به محدودیت منابع آب در کشورهای خشک و نیمه‌خشک، این کشورها مزارع سایر کشورها را اجاره کرده یا خریداری می‌کنند و از آنها برای پرورش مواد غذایی استفاده می‌کنند. در کشت فراسرزمینی عموماً محصولات استراتژیک کشاورزی مانند غلات و دانه‌های روغنی به دلیل نیاز آبی بالا به عنوان محصولات هدف در نظر گرفته می‌شوند (Esfahani et al., 2019). برای کشورها و مناطق خشک، نیمه‌خشک و کم آب که برای تأمین محصولات کشاورزی و امنیت غذایی خود با مشکل روبرو هستند، کشت فراسرزمینی می‌تواند یک راه‌حل مکمل برای بهبود امنیت غذایی در این مناطق باشد. در سراسر دنیا، کشت فراسرزمینی با بهره‌گیری از مقدار زیادی آب شیرین صورت می‌گیرد. حکمت نیا و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند کشورهای خشک و نیمه خشک دنیا که در تولید محصولات کشاورزی با محدودیت منابع آب روبرو بودند، مواد غذایی مورد نیاز خود را از طریق واردات از دیگر کشورها تأمین می‌کردند (حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹). در کشت فراسرزمینی کشور سرمایه گذار می‌تواند با انتقال آب تعبیه شده در محصولات کشاورزی منابع آب کمیاب خود را مدیریت و صرفه‌جویی کند. این امر باعث کاهش فشار بر منابع آب داخلی و کاهش کمبود آب در این کشورها می‌شود (Sim et al., 2007).

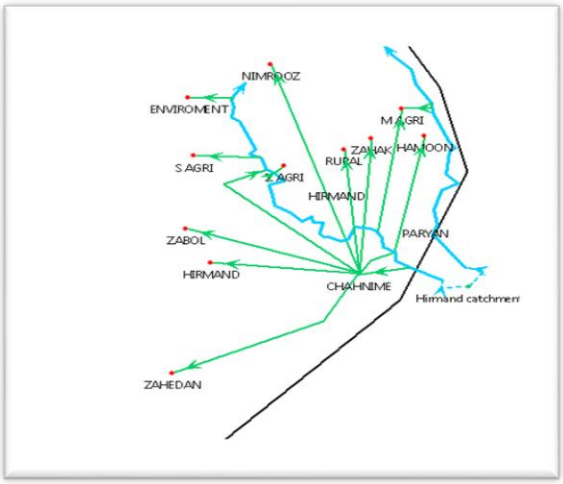
Coscieme et al., (2016) با بررسی ۴۷۵ طرح سرمایه‌گذاری کشت فراسرزمینی نتیجه گرفتند که هدف اصلی کشت فراسرزمینی دسترسی به منابع آب و صرفه‌جویی ملی در مصرف آب است. دولت عربستان سعودی، که یکی از بزرگترین گندم کاران خاورمیانه بود، اعلام کرد که قصد دارد تولید غلات داخلی خود را سالانه ۱۲ درصد برای صرفه‌جویی در مصرف آب کاهش دهد. این امر باعث کاهش فشار بر منابع آب داخلی و کاهش کمبود آب در آن کشورها شد. Rulli et al., (2013) نشان دادند کشت فراسرزمینی باعث می‌شود ۳۱۰ میلیارد مترمکعب

در سال آب سبز و ۱۴۰ میلیارد مترمکعب در سال آب آبی برای تولید محصولات زراعی و دامی در زمین‌هایی که مورد کشت فراسرزمینی قرار دارند آب مصرف شود. اصفهانی (۱۳۹۹) نشان داد کشت فراسرزمینی در ایران باعث بهبود امنیت غذایی در ایران خواهد شد. Karandish et al., (2020) نشان دادند کمبود آب در استان‌های خشک و نیمه‌خشک ایران ناشی از تولید غلات است. به‌منظور دستیابی به وضعیت پایدار منابع آب برای همه استان‌های ایران، اقدامات بنیادی مانند کاهش سطح زیر کشت غلات به دلیل استفاده نسبتاً ناکارآمد آب در مناطق کم آب مورد نیاز است. همچنین li et al., (2006) نشان دادند محدودیت منابع آب در مناطق شمالی چین باعث کاهش سطح زیر کشت غلات در این منطقه شده است. در این پژوهش با استفاده از مدل WEAP اثرات کشت فراسرزمینی بر میزان کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند بررسی می‌شود. در این راستا ابتدا وضعیت فعلی عرضه و تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند شبیه‌سازی می‌شود. سپس کشت فراسرزمینی غلات به جای تولید در حوزه آبریز هیرمند شبیه‌سازی و اثر اجرای این سناریو تجزیه و تحلیل خواهد شد. بنابراین کاهش سطح زیر کشت غلات و توسعه کشت فراسرزمینی هدف اصلی این پژوهش می‌باشد. موارد ذکر شده تا کنون کمتر مورد توجه قرار گرفته و بررسی بیشتر این موارد جنبه نوآوری پژوهش حاضر می باشد.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز هیرمند، در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. متوسط میزان بارش در این منطقه حدود ۵۰ mm در سال است. یکی از مشخصه‌های اصلی این منطقه میزان تبخیر بالای آب است. به‌نحوی که سالانه ۴ الی ۵ هزار mm از منابع آب حوزه آبریز هیرمند تبخیر می‌شود. از طرفی دیگر این منطقه وابسته به روخانه مرزی هیرمند می‌باشد. به دلیل اینکه سرمنشأ رودخانه هیرمند در کشور افغانستان است، فعالیت‌های یک‌جانبه کشور افغانستان در خصوص ممانعت از ورود آب به این رودخانه باعث وقوع بحران شدید آبی در حوزه آبریز هیرمند شده است. است (Bazzi et al. 2020). در شکل (۱)، یک شماتیک مفهومی از حوزه آبریز هیرمند برای سایت‌های تأمین و تقاضای آب با استفاده از نرم‌افزار WEAP نشان داده شده است (Shahraki et al. 2017). در حوزه آبریز هیرمند، سه بخش کشاورزی، هفت بخش آب آشامیدنی (شش بخش شهری و یک روستایی) و تقاضای بخش تالاب‌های هامون وجود دارد. اولویت تخصیص آب در این منطقه به‌ترتیب شرب، کشاورزی و تالاب است (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل (۱): تصویر شماتیک حوزه آبخیز هیرمند

مدل WEAP

در این پژوهش از مدل WEAP برای شبیه سازی سیستم منابع آب حوزه آبریز هیرمند استفاده شد. مدل WEAP توسط موسسه محیط زیست استکهلم (SEI) ساخته شده است. این مدل از دو عملکرد اساسی تشکیل شده است (Wang et al., 2019):

- شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی طبیعی برای ارزیابی در دسترس بودن آب در حوضه آبریز؛

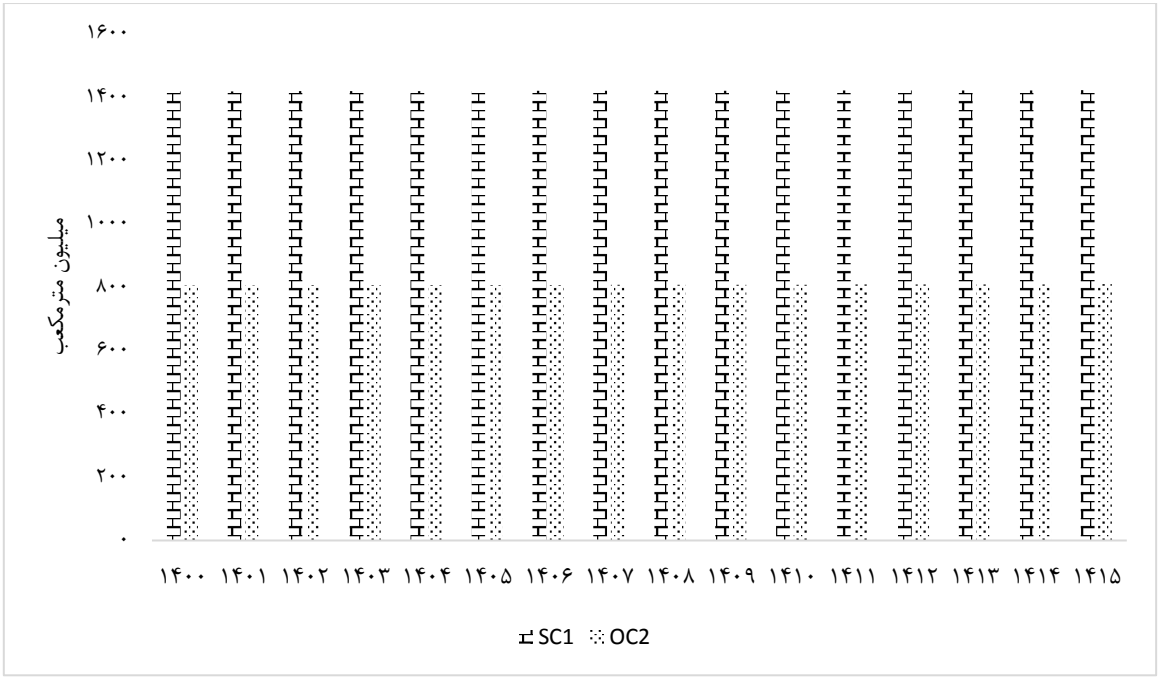
- شبیه‌سازی تاثیر فعالیت‌های انسانی بر سیستم‌های منابع آب در حال و آینده.

از نظر فنی، WEAP یک چارچوب جامع، انعطاف پذیر و کاربر پسند برای برنامه‌ریزی و تجزیه و تحلیل سیاست را فراهم میکند که برای سیستم پیچیده آب قابل استفاده است. مراحل کاربرد مدل WEAP به این صورت است که ابتدا چارچوب زمانی، مکانی و اجزای سیستم پیکربندی و مشخص می‌شود. سپس اطلاعات مورد نیاز را برای وضعیت فعلی و سال‌های مورد بررسی وارد مدل میشود. سناریوهای مختلف در مورد وضعیت آینده عرضه و تقاضای برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و مصارف آب بر اساس سیاست‌ها، توسعه فناوری و سایر عواملی که بر تقاضا، تولید و هیدرولوژی تأثیر می‌گذارند طراحی می‌شوند. در نهایت سناریوها با توجه به هزینه‌ها، نتایج و اثرات آن مورد تحلیل قرار می‌گیرد (Khalil et al., 2019). در این پژوهش وضعیت پایه سال ۱۳۹۹ می‌باشد و دوره زمانی شبیه‌سازی سال ۱۴۰۰ تا افق ۱۴۱۵ می‌باشد.

نتایج و بحث

تقاضای آب

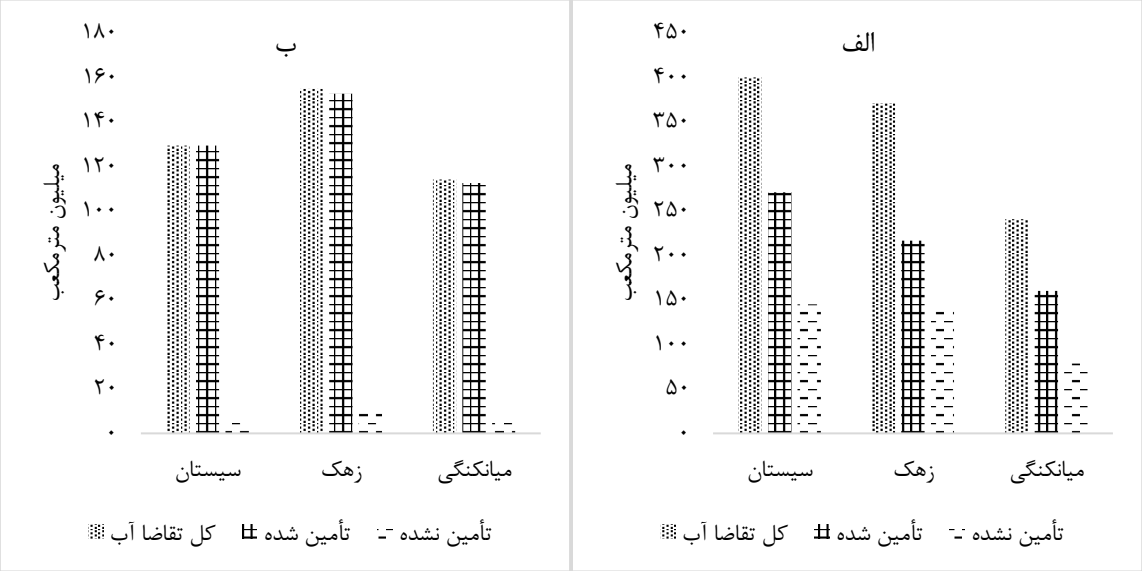
نتایج شبیه سازی تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند تا افق ۱۴۱۵ در شکل (۲) ارائه شده است. به‌طور متوسط کل تقاضای آب در این منطقه ۱۴۲۱/۰۶۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. این تقاضای شامل تقاضای آب بخش شرب، تقاضای آب بخش کشاورزی و تقاضای آب بخش محیط‌زیست است. حوزه آبریز هیرمند با کمبود آب سالانه ۵۸۲/۸۱۲ میلیون مترمکعب مواجه است. به عبارت دیگر ۴۱/۱۶ درصد از تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند تأمین نمی‌شود. ۷۲/۴۲ در صد از کل کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند مربوط به بخش کشاورزی است. بعد از اعمال سناریو کشت فراسرزمینی تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند ۵۶/۸۴ درصد کاهش می‌یابد. پس از اعمال سناریو کشت فراسرزمینی تقاضای آب ۴۳/۱۵ درصد کاهش می‌یابد و از ۱۴۲۱/۰۶۳ میلیون مترمکعب در سال به ۸۰۷/۸۴۱ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. لیانی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند کاهش سطح زیر کشت محصولات آب بر مانند غلات باعث افزایش تأمین آب در حوزه آبریز رودخانه خیر آباد می‌شود و بیشترین کارایی را در بین سیاست‌های مدیریت تأمین پایدار آب دارد. صابونی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند ۲۰٪ کاهش سهم آب کشاورزی منجر به افزایش تعادل حوزه آبریز نیشابور می‌شود. Bozorg Haddad et al., (2020) نشان دادند کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در حوزه دریاچه ارومیه باعث به تعادل رسیدن مقدار تراز آب این رودخانه خواهد شد. مقایسه نتایج این بخش با نتایج سایر محققین نشان داد کاهش سطح زیر کشت غلات و اختصاص به محصولاتی با مصرف آب کمتر، عملکرد و بازده اقتصادی بالاتر می تواند باعث کاهش کمبود آب در منطقه شود. نتایج حکمت‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) در حوزه آبریز هیرمند گویای همین موضوع است که بیشترین میزان مصرف آب مربوط به غلات است.



شکل (۲):کل تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند در سناریو کشت فراسرزمینی نسبت به وضعیت پایه

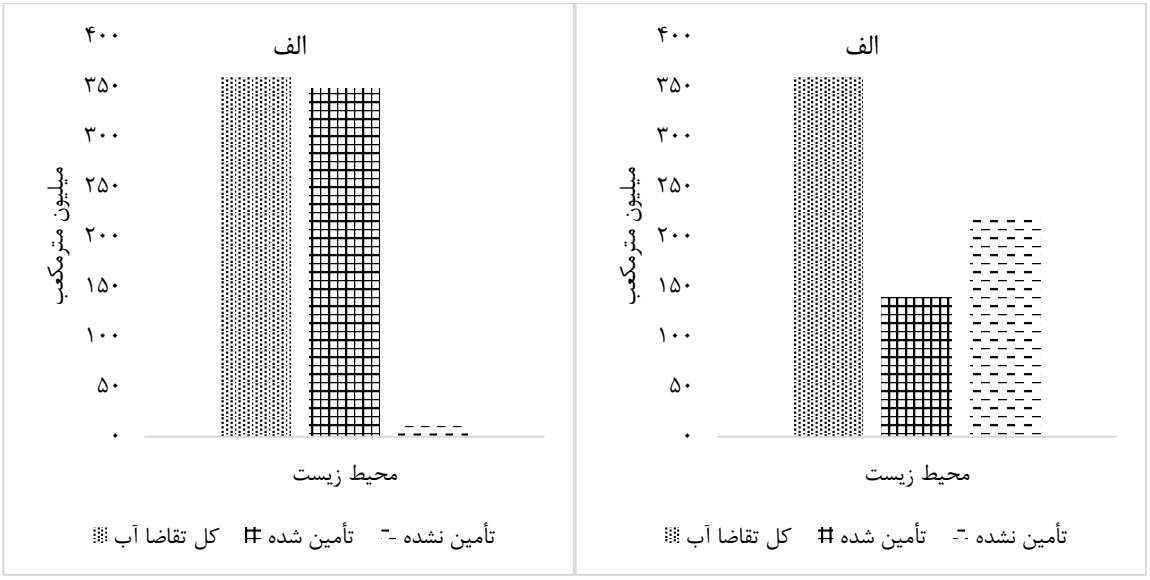
چالش اصلی بخش کشاورزی در حوزه آبریز هیرمند این است که رودخانه هیرمند به‌عنوان منبع تأمین‌کننده آب اغلب به‌دلایل طبیعی یا ناشی از انسان، نمی‌تواند این ضروری‌ترین منبع حیات را برای بخش کشاورزی حوزه آبریز هیرمند به‌دست آورد. در شکل (۳) تقاضای آب بخش کشاورزی در وضعیت پایه و سناریو کشت فراسرزمینی ارائه شده است. در وضعیت فعلی کل تقاضای آب بخش کشاورزی ۱۰۱۱/۲۹۲میلیون مترمکعب می‌باشد. تقاضای سالانه آب در بخش کشاورزی سیستان، زهک و میانکنگی به ترتیب برابر ۳۹۹/۸۰۴، ۳۷۰/۷۶۱ و ۲۴۰/۷۲۷ میلیون مترمکعب است. از کل تقاضای آب در بخش کشاورزی سیستان، زهک و میانکنگی به ترتیب ۶۳/۷۱ ٪، ۶۱/۹۶ ٪ و ۶۷/۳۵ درصد تأمین و ۳۶/۲۴ ٪، ۳۸/۰۴ ٪ و ۳۲/۶۵ ٪ تأمین نمی‌شود. به‌طور کلی بخش کشاورزی با کمبود سالانه ۳۶۴/۵۲۴ میلیون مترمکعب مواجه است. پس از اعمال سناریو کشت فراسرزمینی تقاضای آب محصولات کشاورزی با ۶۰/۶۳ ٪ کاهش به ۳۹۸/۰۷ میلیون مترمکعب می‌رسد. همچنین میزان کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند نسبت به وضعیت فعلی ۹۳/۸۹ ٪ کاهش می‌یابد و به ۲۲/۲۴۰ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. این موضوع در نتایج Rulli et al., (2013) و Coscieme et al., (2016) تأکید شده است. Coscieme et al., (2016) با بررسی ۴۷۵ طرح سرمایه‌گذاری کشت فراسرزمینی نتیجه گرفتند که هدف اصلی کشت فراسرزمینی دسترسی به منابع آب و صرفه‌جویی ملی در مصرف آب است. Rulli et al., (2013) نشان داد کشت فراسرزمینی باعث کاهش مصرف و صرفه‌جویی در مصرف آب کشورهای سرمایه‌گذار کشت فراسرزمینی به اندازه ۱۴۰ میلیارد مترمکعب در سال می‌شود. عربستان سعودی سرمایه‌گذاری زیادی برای کشت فراسرزمینی در کشورهای قاره آفریقا انجام می‌دهد. کشور عربستان با تولید مواد غذایی در آفریقا برای بازار ملی خود، هزاران میلیون مترمکعب آب مجازی نیز وارد کشور خود می‌کند. بنابراین کشت فراسرزمینی نه تنها به آب متصل است، بلکه به کمبود آن نیز ارتباط دارد. بسیاری از کشورهایی که در کشت فراسرزمینی مشارکت دارند در حال حاضر از کمبود آب در داخل کشور رنج می‌برند. برای

کشورهای کم آب، کشت فراسرزمینی راهی موثر برای جایگزینی تقاضای داخلی آب برای تولید مواد غذایی است. با افزایش کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند، نقش کشت فراسرزمینی برای امنیت غذایی و بازتوزیع منابع آب پر رنگ‌تر می‌شود. همان طور که در پژوهش اصفهانی و همکاران (۱۳۹۹) بر این موضوع تأکید شده است. اصفهانی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند کشت فراسرزمینی یکی از مطمعن‌ترین راه‌ها برای بهبود امنیت غذایی در ایران است.



شکل(۳): تقاضای سالانه آب بخش کشاورزی الف- وضعیت پایه و ب- سناریو کشت فراسرزمینی

در شکل (۴) تقاضای آب بخش محیط‌زیست در وضعیت فعلی و سناریو کشت فراسرزمینی ارائه شده است. در وضعیت فعلی تقاضای آب در بخش محیط‌زیست ۳۵۸/۵۰۰ میلیون مترمکعب در سال است. ۲۵/۳۲ درصد از تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند مربوط به بخش محیط‌زیست است. از کل تقاضای آب بخش محیط‌زیست سالانه ۱۳۸/۵۸۸ میلیون مترمکعب (۳۸/۶۵ ٪) تأمین می‌شود. در وضعیت فعلی بخش محیط‌زیست با کمبود سالانه ۲۱۹/۹۱۱ میلیون مترمکعب آب مواجه است. ۶۱/۳۴ ٪ از نیاز آبی بخش محیط‌زیست تأمین نمی‌شود. در حال حاظر با تأمین نشدن بخش عمده‌ای از نیاز آبی بخش محیط‌زیست در حوزه آبریز هیرمند اکوسیستم طبیعی منطقه به خطر می‌افتد و باعث انتشار گرد و غبار در حوزه آبریز هیرمند شده است. یکی از دلایل عدم تأمین آب بخش محیط‌زیست در حوزه آبریز هیرمند به پروتکل میان ایران و کشور افغانستان بر می‌گردد. در این پروتکل سالانه حدود ۸۲۰ میلیون مترمکعب آب تحویل ایران می‌گردد. با توجه به نیاز بخش شرب و نیاز بخش کشاورزی، نیاز بخش محیط‌زیست تأمین نمی‌شود. دلیل این امر اولویت سوم تأمین آب بخش محیط‌زیست نسبت به بخش شرب و بخش کشاورزی می‌باشد. عدم تأمین کامل نیاز آبی بخش محیط‌زیست باعث خشکی تالاب هامون و وجود پدیده گرد و غبار و ریزگردها در منطقه شده است. پس از اعمال سناریو کشت فراسرزمینی کمبود آب در بخش محیط‌زیست ۹۵/۱۹ درصد کاهش می‌یابد. این موضوع با نتایج پژوهش Yang, H., and Zehnder همخوانی دارد. (2002) Yang, H., and Zehnder نشان دادند برای کشورها و مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند کشت فراسرزمینی با انتقال آب مجازی از مناطق پر آب به داخل کشور نقش مهمی در توزیع مجدد منابع آب در آن منطقه دارد.



شکل (۴): تقاضای سالانه آب بخش محیطزیست الف- وضعیت پایه و ب- سناریو کشت فراسرزمینی

در جدول (۱) میزان تأمین آب در ماه‌های مختلف در بخش کشاورزی و محیطزیست ارئه شده است. در فصل زمستان تمام نیاز آبی محصولات کشاورزی تأمین می‌شود. کمترین میزان تأمین آب در بخش کشاورزی در فصل تابستان است. پس از اعمال سناریو کشت فراسرزمینی میزان تأمین آب در ماه های تیر، مرداد و شهریور از ۳۰/۳۹ ٪، ۳۱/۲۴ ٪ و ۷۴/۹۲ ٪ به ۹۵/۹۱ ٪، ۹۵/۹۶ ٪ و ۹۶/۳۵ ٪ افزایش می‌یابد. با توجه به الگوی کشت محصولات کشاورزی در حوزه آبریز هیرمند بیشترین نیاز آبی نیز مربوط به فصل تابستان است و آبیاری محصولات کشاورزی در این فصل انجام می‌شود. بنابراین افزایش تأمین آب در فصل تابستان اهمیت بسزایی دارد. نتایج این بخش با نتایج Shahraki و همکاران (2019) که با استفاده از مدل WEAP حوزه آبریز هیرمند را شبیه‌سازی کردند مطابقت دارد.

جدول (۱): درصد ماهانه تأمین آب در حوزه آبریز هیرمند

ماه	کشاورزی سیستان		کشاورزی زهک		کشاورزی میانکنگی		محیط زیست	
	SC1	OC	SC1	OC	SC1	OC	SC1	OC
مهر	٪ ۴۴/۶۶	٪۹۶/۷۵	٪ ۴۴/۶۶	٪۹۶/۷۵	٪۴۷/۵۲	٪۹۶/۹۱	٪۰/۰۱	٪۹۴/۱۲
آبان	٪۴۷/۰۱	٪۹۸/۴۸	٪۴۷/۰۱	٪۹۸/۴۸	٪۷۴/۰۷	٪۹۸/۴۸	٪۰/۰۱	٪۹۴/۱۲
آذر	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰
دی	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰
بهمن	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۶/۵۹	٪۹۹/۸۰	٪۹۶/۵۹	٪۹۹/۸۰	٪۵۷/۵۱	٪۱۰۰
اسفند	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰
فروردین	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۲/۹۱	٪۹۹/۵۸	٪۹۲/۹۱	٪۹۹/۵۸	٪۱۰۰	٪۱۰۰
اردیبهشت	٪۸۱/۹۰	٪۱۰۰	٪۷۶/۸۰	٪۹۸/۶۴	٪۷۶/۸۰	٪۹۸/۶۴	٪۶/۱۰	٪۱۰۰
خرداد	٪۲۵/۵۹	٪۹۷/۷۲	٪۲۴/۳۳	٪۸۷/۸۳	٪۳۷/۵۲	٪۸۷/۸۳	٪۰/۰۳	٪۹۴/۱۲
تیر	٪۳۰/۳۹	٪۹۵/۹۱	٪۳۰/۳۹	٪۹۵/۹۱	٪۴۳/۵۰	٪۹۶/۶۸	٪۰/۰۱	٪۹۴/۱۲
مرداد	٪۳۱/۲۴	٪۹۵/۹۶	٪۳۱/۲۳	٪۹۵/۹۶	٪۴۵/۲۳	٪۹۶/۷۸	٪۰/۰۱	٪۹۴/۱۲
شهریور	٪۳۷/۹۲	۹۶/۳۵	٪۳۷/۹۲	٪۹۶/۳۵	٪۴۶/۵۶	٪۹۶/۸۶	٪۰/۰۱	٪۹۴/۱۲

در جدول (۲) مقدار کمبود ماهانه آب در حوزه آبریز هیرمند در وضعیت فعلی و سناریو کشت فراسرزمینی ارائه شده است. در وضعیت فعلی بیشترین میزان کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند مربوط به فصل تابستان است. این مضوع مربوط به الگوی کشت و تولید محصولات کشاورزی در حوزه آبریز هیرمند است. سناریو کشت فراسرزمینی باعث کاهش کمبود آب در فصل تابستان شده است. برای بخش محیط زیست نیز کمبود آب در فصل تابستان کاهش یافته است. بیشترین میزان کمبود آب در بخش کشاورزی سیستان، زهک و میانکنگی مربوط به خرداد ماه است.

جدول (۲): مقدار کمبود ماهانه آب در حوزه آبریز هیرمند (مترمکعب)

ماه	کشاورزی سیستان		کشاورزی زهک		کشاورزی میانکنگی		محیط زیست	
	SC1	OC	SC1	OC	SC1	OC	SC1	OC
مهر	۱۳۷۱۷۷۳۱	۸۰۶۱۸۰	۱۲۷۲۱۳۸۳	۷۴۷۶۲۵	۷۸۳۲۱۹۷	۴۶۰۴۹۶	۳۰۴۴۴۹۰۰	۱۷۹۰۸۷۶
آبان	۳۵۳۲۷۷۱	۲۰۷۲۵۷	۳۲۷۶۱۹۴	۱۹۲۲۰۳	۲۱۲۱۹۸۹	۱۲۴۴۵۰	۲۹۴۶۲۸۰۷	۱۷۳۳۱۰۶
آذر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
دی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بهمن	۰	۰	۷۴۵۰۶۰	۴۳۸۷۸	۴۸۳۹۴۴	۲۸۴۶۷	۱۱۶۰۳۶۳۷	۰
اسفند	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
فروردین	۰	۰	۳۴۱۷۳۰۶	۲۰۱۰۱۸	۲۲۱۷۶۲۳	۱۳۰۴۴۸	۰	۰
اردیبهشت	۱۱۶۴۹۰۲۱	۰	۱۳۸۴۸۶۷۲	۸۱۴۶۲۸	۸۹۹۱۵۲۲	۵۲۸۷۷۶	۲۸۵۹۰۶۲۱	۰
خرداد	۴۳۷۳۳۹۰۴	۱۳۴۲۰۲۸	۴۱۲۳۹۳۴۰	۳۸۹۱۷۷۰	۲۲۱۰۸۱۷۵	۲۶۹۹۵۵۵	۲۹۴۵۸۱۲۷	۱۷۳۱۵۴۶
تیر	۲۳۹۳۳۵۵۶	۱۴۰۶۸۵۷	۲۲۱۹۵۲۸۳	۱۳۰۴۶۷۸	۱۱۶۹۷۷۸۵	۶۸۷۸۲۳	۳۰۴۴۴۹۰۰	۱۷۹۰۸۷۶
مرداد	۲۶۳۹۲۵۰۰	۱۵۵۱۴۵۱	۲۴۴۷۵۸۹۲	۱۴۳۸۷۹۸	۱۲۶۵۷۰۶۳	۷۴۴۵۸۱	۳۰۴۴۳۴۶۸	۱۷۹۰۸۷۶
شهریور	۲۰۱۰۴۶۵۱	۱۱۸۱۶۱۶	۱۸۶۴۴۵۳۶	۱۰۹۵۸۰۲	۱۰۴۲۱۰۲۲	۶۱۳۱۱۵	۲۹۴۶۲۸۰۷	۱۷۳۳۱۰۶

نتیجه‌گیری

دراین پژوهش هدف بررسی تأثیر کشت فراسرزمینی غلات بر کمبود آب در حوزه آبریز هیرمند می‌باشد. در این راستا اجرای کشت فراسرزمینی با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی و اجرا شد. نتایج نشان داد کشت فراسرزمینی غلات باعث بازتوزیع مجدد منابع آب در حوزه آبریز هیرمند می‌شود. بنابراین کشت فراسرزمینی باعث صرفه‌جویی در مصرف منابع آب کمیاب در حوزه آبریز هیرمند و کاهش مصرف آب شد. کشور ایران با خرید زمین در کشورهای دیگر و تولید محصولات آب بر می‌تواند امنیت غذایی خود را بهبود ببخشد، با انتقال این محصولات آب مجازی وارد کند و از فشار بر منابع آب کمیاب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند حوزه آبریز هیرمند بکاهد. اجرای موفقیت آمیز کشت فراسرزمینی نیاز به یک چهارچوب جامع و برنامه مدونی برای جایگزینی الگوی کشت جدید با محصولاتی که هدف کشت فراسرزمینی قرار می‌گیرند دارد.

منابع

حکمت نیا، م.، ح، سید مهدی. و ص، مهدی. ۱۳۹۹. تعیین و ارزیابی ردّپای آب‌های سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین المللی محصولات کشاورزی ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران, ۱۴(۲)، ۴۶۳-۴۴۶.

حکمت نیا، م.، ص، مهدی.، ح، سید مهدی. و س ش، علی. ۱۴۰۰. مدیریت مصرف آب کشاورزی منطقه سیستان تحت رویکرد آب مجازی با استفاده از مدل WEAP. محیط زیست و مهندسی آب, ۷(۳), ۴۷۶-۴۶۵.

صبوحی، م.، ج. م، امیر.، ش. سمیه.، ض. مهدی. و ف. فرشید. ۱۳۹۸. بررسی اثر مدیریت تقاضای آبیاری بر تعادل منابع آب و رفاه اقتصادی کشاورزان (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). نشریه آبیاری و زهکشی ایران, ۱۳(۴), ۱۰۰۹-۹۹۸.

کلباسی اصفهانی، علی.، م، سیدمهدی.، ح. سید جمال. و ل، فرهاد. ۱۳۹۹. واکاوی الزامات تحقق کشت فراسرزمینی برای بهبود امنیت غذایی در ایران. اقتصاد کشاورزی و توسعه .28(110), 169-204 ,

لیانی، ق.، ب، محمد.، ز، منصور. ۱۳۹۹. کاربرد روش سیستم دینامیک در ارزیابی اثرات سیاست‌های مدیریت تقاضای آب در حوضه آبریز رودخانه خیرآباد. پژوهشات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران, ۵۱(۲)، ۲۱۶-۱۹۵.

Agarwal, S., Patil, J. P., Goyal, V. C., and Singh, A. 2019. Assessment of water supply–demand using water evaluation and planning (WEAP) model for Ur river watershed, Madhya Pradesh, India. Journal of the Institution of Engineers (India): Series A, *100*(1), 21-32.

Antonelli, M., Tamea, S., and Yang, H. 2017. Intra-EU agricultural trade, virtual water flows and policy implications. Science of the Total Environment, 587, 439-448.

Bazzi, H., Ebrahimi, H., and Aminnejad, B. 2020. A comprehensive statistical analysis of evaporation rates under climate change in Southern Iran using WEAP (Case study: Chahnimeh Reservoirs of Sistan Plain). Ain Shams Engineering Journal.

Bozorg- Haddad, O., Dehghan, P., Zareie, S and Loáiciga, H. A. 2020. System dynamics applied to water management in lakes. Irrigation and Drainage, 69(4), 956-966.

Coscieme, L., Pulselli, F. M., Niccolucci, V., Patrizi, N., and Sutton, P. C. 2016. Accounting for "land-grabbing" from a biocapacity viewpoint. Science of the Total Environment, 539, 551-559.

Esfahani, A. K., Mirdamadi, S. M., Hosseini, S. J. F., and Lashgarara, F. 2019. Overseas cultivation: the complimentary approach for developing food security. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25(1), 26-35.

Hekmatnia, M., Safdari, M., Ahmadi, A. & Monibi, H. 2022. National savings in freshwater consumption in Iran by virtual water imports (a case study on cereals). Water and Environment Journal, 36 (4), 656– 666.

Karandish, F., Hoekstra, A. Y., and Hogeboom, R. J. 2020. Reducing food waste and changing cropping patterns to reduce water consumption and pollution in cereal production in Iran. Journal of Hydrology, 586, 124881.

Khalil, A., Rittima, A., and Phankamolsil, Y. 2018. The projected changes in water status of the Mae Klong Basin, Thailand, using WEAP model. Paddy and Water Environment, 16(3), 439-455.

Shahraki, A. S., Shahraki, J., and Monfared, S. A. H. 2017. Water Resources Management by Simulation under Virtual Water Scenario in Agricultural Sector, Case Study: Hirmand Catchment, Iran. International Journal of Agricultural Management and Developme.

Shahraki, A. S., Shahraki, J., and Monfared, S. A. H. 2019. An Integrated Water Resources Management Considering Agricultural Demands and the Assessment of Different Scenarios in Hirmand Catchment, Iran. Water Resources, 46(2), 308-317.

Sim, S., Barry, M., Clift, R., and Cowell, S. J. 2007. The relative importance of transport in determining an appropriate sustainability strategy for food sourcing. *The International* Journal of Life Cycle Assessment, 12(6), 422-431.

Tian, X., Sarkis, J., Geng, Y., Qian, Y., GAO, C., Bleischwitz, R., and Xu, Y. 2018. Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment. Environment international, 121, 178-188.

Wang, K., Davies, E. G., and Liu, J. 2019. Integrated water resources management and modeling: A case study of Bow river basin, Canada. Journal of Cleaner Production, *240*, 118242.

Water Shortage Management in Hirmand Catchment under Overseas Cultivation Strategy Using WEAP Model

Mehran Hekmatnia[۱], Mehdi Safdari[۲], Seyed mehdi Hoseyni[۳] Ali Sardar Shahraki[۴]

Abstract

The uneven distribution of water in the world has caused many countries to face water shortages. The lack of water has made the production of agricultural products a challenge. Water-scarce countries invest in the farms of water-rich countries as a strategy to provide needed agricultural products. This strategy is known as extraterritorial cultivation. The Hirmand watershed is facing limited water resources due to its dependence on the Hirmand transboundary stream from Afghanistan. In this research, the aim is to simulate the strategy of extraterritorial cultivation of agricultural products in order to manage water shortage in the Hirmand catchment area. In this regard, the Hirmand watershed was modeled using the WEAP model, and the current and future status of water resources and uses were simulated. Then the extraterritorial cultivation strategy was simulated as a scenario. Wheat, barley, and corn products were selected as the target of extraterritorial cultivation. The results showed that in the current situation, the Hirmand catchment area faces a water shortage of 582.812 million cubic meters per year, and 41.16% of the water demand in the Hirmand catchment area is not met. 72.42 percent of the total water shortage in the Hirmand catchment area is related to the agricultural sector, and 27.58 percent is related to the environmental sector. After applying the extraterritorial cultivation strategy, the water shortage in the agricultural sector is reduced by 93.89% and reaches from 364.524 million cubic meters per year to 22.242 million cubic meters. In the environmental sector, the water shortage will decrease by 95.19% from 219.911 million cubic meters per year to 10.570 million cubic meters per year. Applying the extraterritorial farming strategy has redistributed water resources in the Hirmand catchment area.

Keywords: Water resources management, environment, agriculture sector, virtual water trade

[1]Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
[2]Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
[3]Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
[4] Associate Professor,Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran