

## Research Paper

# Evaluating Virtual Water Balance in Agricultural Part of Jiroft plain

Farkhondeh Arefizadeh<sup>1</sup>, Mahdiah Amirinejad\*<sup>2,1</sup>, Elham Rafiei Sardooi<sup>3</sup>, Ommolbanin Bazrafshan<sup>4</sup><sup>1</sup>-M.Sc. Student of Agroecology, University of Jiroft, Kerman, Iran, alirezaarefi78@gmail.com<sup>2</sup>- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran, mamiri@ujiroft.ac.ir<sup>3</sup>- Associate Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Kerman, Iran, ellrafiei@ujiroft.ac.ir<sup>4</sup>- Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

10.22125/IWE.2023.396203.1717

Received:

May 7, 2023

Accepted:

July 3, 2023

Available online:

May 5, 2024

**Keywords:**

Water footprint, Water shortage, Self-sufficiency, Jiroft plain.

**Abstract**

The present study evaluates the water shortage indices in the agricultural sector of Jiroft Plain, taking into account the framework of water footprint during the 2008 to 2019. In this study, water stress, agricultural water stress, blue water scarcity, water self-sufficiency, water dependency and water poverty indices were evaluated. The results showed that the annual average of agricultural water resources is 1425 MCM, and the amounts of green and blue water resources are 11 and 1413 MCM, respectively. The annual average agricultural water footprint of Jiroft Plain is 354 MCM. The share of blue, green and gray water footprint is 40, 14 and 26%, respectively. The average water stress index is 37%, which shows that the moderate water stress in Jiroft plain. The average AWSI and BWS is 0.84 and 0.77, respectively, which are located in the class with high stress. The water self-sufficiency and dependency are 89% and 11%, respectively, which indicates high self-sufficiency and low dependency of the study area in terms of importing agricultural products. The high-water self-sufficiency index despite the lack of rainfall in Jiroft Plain has caused high water poverty in the region. The most important reason for the high WSS is the high diversity of agricultural products in the food basket of this region. As an example, citrus fruits, dates, wheat, barley, potatoes and onions are cultivated in Jiroft plain.

**\*Corresponding Author:** Mahdiah Amirinejad**Address:** Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran,**Email:** [mamiri@ujiroft.ac.ir](mailto:mamiri@ujiroft.ac.ir)**Tel:** +989131972059

## 1. Introduction

Water is an essential factor for agricultural production and human survival and plays an important role in food security. In recent years, water use and water scarcity has been increased due to population growth, socio-economic development and changing consumption patterns. Jiroft plain located in the south of Iran and high-water losses in the agricultural part have been led to the serious water scarcity in this plain. Therefore, it is essential to study the changes in the agricultural water footprint and water scarcity to reduce the water footprint and preserve water resources. To this end, the main goals of this study are: (1) Estimating water footprint components of the agricultural section, (2) Calculating water scarcity indicators including water stress, agricultural water stress, and Blue Water Scarcity (BWS), (3) Estimating water poverty and (4) Calculating water self-sufficiency and water dependence indicators during 2008 to 2019.

## 2. Materials and Methods

In this research, agricultural water footprint components, including green, blue, and gray water footprints were estimated based on the method described by Hoekstra et al (2007) in Jiroft plain. Also, water scarcity indicators in this research is estimated using the water stress index (WSI), agricultural water stress (AWSI), blue water shortage (BWS), water poverty (WP), water self-sufficiency (WSS), and water dependency (WD), that is the known approach for evaluating water scarcity.

## 3. Results

The results showed that the annual average of agricultural water resources is 1425 MCM, and the amounts of green and blue water resources are 11 and 1413 MCM, respectively. The average agricultural water footprint of Jiroft Plain is 354 MCM annually; The share of blue, green and gray water is 40, 14 and 26% respectively. The average water stress index (WSI) is 37%, which shows that Jiroft plain is under moderate water stress, during the study period. The average value of agricultural water stress index (AWSI) and blue water scarcity (BWS) is 0.84 and 0.77, during the statistical period, respectively, which are located in the class with high water stress. The water self-sufficiency and water dependency are 89% and 11%, respectively, which indicates high water self-sufficiency and low water dependency of the study area in terms of importing agricultural products. Also, the investigation of virtual water exchanges in the region indicates the low water dependency of the region on importing virtual water. Despite the high-water scarcity in Jiroft plain, it has a high level of water self-sufficiency in the production of agricultural products. It is essential to cultivate crops with less water footprint by changing the cultivation pattern.

## 4. Discussion and Conclusion

In the study area, the blue water makes up the vast majority of available water resources for Jiroft plain's agricultural production. AWSI is higher than WSI, that shows high water stress in the agricultural part. Also, BWS is more than WSI due to the higher share of the blue footprint compared to other components of the water footprint. Generally, The AWSI is more appropriate for reflecting the regional water scarcity than the existing water stress index (WSI) or the blue water scarcity (BWS) indicator, particularly for the arid agricultural production regions due to the revealed environmental impacts of agricultural production. With regards to the high-water self-sufficiency and low precipitation of the study area, water poverty of Jiroft plain is high. As a result, the water resources of this plain are not rich and this plain has high water poverty. The most important reason for the high self-sufficiency is the high diversity of agricultural products. As an example, citrus fruits, dates, wheat, barley, potatoes and onions are cultivated in Jiroft plain. It should be noted that the intensification of water resources in certain areas is caused by producing agricultural products for other regions due to the mismatch of agricultural production and population. This phenomenon has not been quantified or analyzed in this paper, but needs to be studied in the future.

## 5. Six important references

- 1) Bazarfshan, O., M. Yahyazadeh, S. Jamshidi and H. Zamani. 2022. Spatial prioritization of tomato cultivation based on water footprint, land productivity, and economic indices. *Irrigation and Drainage*, 71(5): 1363-1378.
- 2) Cao, M., W. Mengyang, G. Xiangping, Z. Yalian, G. Yan, W. Nan and W. Weiguang. 2017. Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework. *Science of the Total Environment*, 609: 587-597.
- 3) Chapagain, A.K., A.Y. Hoekstra. 2008. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water international*. 33(1): 19-32.
- 4) Hoekstra, A. Y., A.K. Chapagain and G. Zhang. 2015. Water footprints and sustainable water allocation. *Sustainability*, 8(1): 20.
- 5) Hoekstra, A.Y. 2019. Green-blue water accounting in a soil water balance. *Adv Water Resour* 129:112–117.
- 6) Zhuo, L., M.M. Mekonnen. and A.Y. Hoekstra. 2016. Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China-With a focus on crop production, consumption and trade. *Environ. Int. Journal envint*. 5(9): 36-49.

### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



## برآورد بیلان آب مجازی در بخش کشاورزی در دشت جیرفت

فرخنده عارفی زاده<sup>۱</sup>، مهدیه امیری نژاد<sup>۲\*</sup>، الهام رفیعی ساردوئی<sup>۳</sup>، ام البنین بذرافشان<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

مقاله پژوهشی

### چکیده

تحقیق حاضر به ارزیابی شاخص‌های کمبود آب در بخش کشاورزی دشت جیرفت با در نظر گرفتن چارچوب ردپای آب طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۵ می‌پردازد. در این تحقیق شاخص‌های تنش آبی کشاورزی، کمبود آب آبی، شاخص خودکفایی آب، وابستگی آب و فقر آب نیز برآورد گردید. نتایج نشان داد که میانگین سالانه منابع آب کشاورزی ۱۴۲۵ میلیون مترمکعب است که میزان منابع آب سبز و آبی به ترتیب ۱۱ و ۱۴۱۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. متوسط ردپای آب کشاورزی دشت جیرفت به‌طور متوسط سالانه ۳۵۴ میلیون مترمکعب است؛ که سهم آب آبی، سبز و خاکستری به ترتیب ۴۰ و ۱۴ و ۲۶ درصد است. متوسط شاخص تنش آبی ۳۷ درصد است که نشان می‌دهد در طول این دوره دشت جیرفت در تنش آبی متوسط قرار داشته است. مقدار متوسط شاخص تنش آب کشاورزی و کمبود آب آبی در طول دوره آماری به ترتیب برابر با ۰/۸۴ و ۰/۷۷ است که در کلاس با تنش بالا قرار می‌گیرند. شاخص خودکفایی آب مجازی و وابستگی به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۱۱ است که حاکی از خودکفایی بالا و وابستگی پایین منطقه مورد مطالعه از نظر واردات محصولات کشاورزی است. بالا بودن شاخص خودکفایی با وجود کمبود بارش در دشت جیرفت، باعث ایجاد فقر آبی بالا در منطقه شده است. مهم‌ترین دلیل بالا بودن خودکفایی نسبت به وابستگی در این منطقه، بالا بودن تنوع محصولات کشاورزی در سبد غذایی است. به‌عنوان نمونه در دشت جیرفت مرکبات، خرما، گندم، جو، سیب‌زمینی و پیاز کشت می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ردپای آب، کمبود آب، خودکفایی، دشت جیرفت.

<sup>۱</sup> دانشجوی ارشد آگرواکولوژی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران. alirezaarefi78@gmail.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران. (نویسنده مسئول)

mamiri@ujiroft.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران. ellrafiei@ujiroft.ac.ir

<sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

## مقدمه

دسترسی به آب شیرین به طور نگران کننده‌ای در سراسر جهان کاهش یافته است و کشاورزی نقشی حیاتی در این روند بازی می‌کند. همچنین منابع آب در کنار سایر عوامل تولید نقش تعیین‌کننده و روز افزونی در رشد اقتصادی کشورها دارد. وابستگی روزافزون به منابع آب، سرعت در روند رشد و توسعه را وابسته به سطح مصرف منابع آبی کرده است. کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان به شمار می‌رود (Mekonnen et al., 2020). طی دهه‌های اخیر رشد اقتصادی جهان و روند صنعتی شدن موجب افزایش تقاضا برای منابع آب شده است (Vallino et al., 2020). در کشور ایران نیز بیش از ۶۰ درصد سطح آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته که آبیاری در بخش کشاورزی در این مناطق نقش مهمی در تولید ایفا می‌کند و بخش کشاورزی بیش از ۹۰ درصد از مصرف آب کشور را به خود اختصاص می‌دهد (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳؛ دهقان‌پیر و همکاران، ۱۴۰۱). آب یک عامل مهم برای توسعه پایدار می‌باشد و یکی از استراتژی کشورهای کم آب، کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌باشد، که با واردات کالاهای آب‌بر سبب کاهش فشار بر منابع آب داخلی در منطقه می‌شوند (Lenzen et al., 2013). کشاورزی پرتقاضاترین بخش منابعی آبی است. بنابراین با افزایش تولیدات کشاورزی سبب کاهش کمبود آب جهانی می‌شود (Ren et al., 2018).

آبی که در تولید یک محصول کشاورزی یا صنعتی طی فرایند تولید مصرف می‌شود، آب مجازی موجود در آن محصول نامیده می‌شود. با افزایش کم‌یابی آب در ایران مفهوم آب مجازی به یک موضوع مهم در مطالعات مدیریت منابع آب تبدیل شده است (Hoekstra et al., 2015). تجارت آب مجازی می‌تواند ابزاری در حل مشکلات جغرافیایی سیاسی و حتی جلوگیری از جنگ بر سر آب باشد (Markus et al., 2021). آب مجازی معیار و ابزاری اساسی در نشان دادن مصرف واقعی بخش کشاورزی با تلفیق مفاهیم کشاورزی و اقتصادی در بحث تولید است (Hoekstra, 2019). یک منطقه می‌تواند با انتخاب خود

به‌عنوان واردکننده آب مجازی (در مقابل آب واقعی) خود را از فشار بر منابع آبی‌اش آزاد سازد (Xian, 2020). بنابراین، فرایند جریان آب مجازی عنصری مهم برای بهبود کارایی مصرف آب و رفع فشار وارده به منابع آب محلی است (Zhuo et al., 2016).

تجارت آب مجازی از طریق واردات کالاهای آب‌بر هم‌چون غلات از کشور یا منطقه‌ای با منابع آبی فراوان‌تر، قادر به حل مسئله کمبود آب محلی و بهبود کارایی مصرف آب جهانی است (Verma et al., 2014). تولید کالا و خدمات به‌طور کلی به آب نیازمند است. برای ناحیه کم آب، پذیرفتن سیاست محصول‌های تولیدی و صادراتی با نسبت میزان کم آب مجازی و محصولات وارداتی که حاوی آب مجازی بیش‌تر هستند، جالب است (Hoekstra et al., 2015). به همین دلیل تجارت آب مجازی بین دو کشور به حجم آب مجازی محصولات تجاری و حجم فیزیکی تجارت محصولات وابسته است (Nouri et al., 2019). یکی از این راهکارها استفاده از مفهوم آب مجازی و تجارت براساس آن است (Lenzen et al., 2013, Bazrafshan et al., 2022). مطالعات زیادی به بررسی ردپای آب و بیلان آب مجازی پرداخته‌اند.

العمری و رید<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) تراز تجاری محصولات زراعی عربستان در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار دادند که نتایج بیانگر این است عربستان در این سال‌ها واردکننده آب مجازی می‌باشد. این کشور با واردات آب مجازی ۵۴ درصد از تنش فشار آبی بر منابع خود را کاهش داده است. امیری و همکاران (۱۴۰۰) در دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۷۱ مقدار آب صادر شده و ارزش اقتصادی آن را برای محصولات پسته، خرما، زعفران، کیوی و سیب با استفاده از مصرف آب و نیاز آبی گیاه و هم‌چنین ارتباط بین صادرات آب مجازی و مزیت‌های صادرات را، مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که در خصوص مهم‌ترین محصولات صادراتی ایران یعنی پسته و زعفران، ارتباط کامل منفی و معنی‌داری بین مزیت صادراتی و ارزش هر مترمکعب آب مجازی صادراتی ملاحظه می‌شود. بذرافشان و همکاران (۲۰۲۲) اجزای ردپای آب و ارزش اقتصادی آن

<sup>1</sup> Alamri & Reed



در حال حاضر لطمات جبران‌ناپذیری به منابع آب زیرزمینی دشت وارد نموده است.

روش پیشنهادی این مطالعه برای بهبود بهره‌وری کشاورزی، کاهش تنش آب، مقابله با کمبود منابع آب ناشی از تولید محصولات کشاورزی، توسعه استفاده پایدار از منابع آبی در دشت جیرفت بسیار مناسب است. بر همین مبنا اهداف اصلی پژوهش حاضر شامل: ۱- برآورد اجزاء ردپای آب محصولات کشاورزی در دشت جیرفت، ۲- محاسبه شاخص‌های کمبود آب شامل تنش آبی، تنش آبی کشاورزی و کمبود آب آبی، ۳- برآورد فقر آب ناشی از تولید محصولات کشاورزی در دشت جیرفت، ۴- محاسبه شاخص‌های خودکفایی و وابستگی آب در سطح دشت طی دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۹۸.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دشت جیرفت بخشی از حوزه غربی جازموریان می‌باشد که بین طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۸ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی در جنوب شرقی ایران در استان کرمان واقع شده است. وسعت دشت جیرفت ۲۲۳۹/۲ کیلومتر مربع و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر متغیر است. متوسط بارش سالانه آن ۱۷۰ میلی‌متر می‌باشد. حداقل ارتفاع ۴۹۷ و حداکثر ارتفاع ۱۳۲۴ متر از سطح دریا است. در دشت جیرفت چندین رودخانه دائمی و فصلی جریان دارند که مهم‌ترین آن‌ها رودخانه هلیل‌رود است. میانگین تولید محصولات مورد مطالعه و سطح زیر کشت طی سیزده سال گذشته در دشت جیرفت در شکل (۱) ارائه گردید. در واقع ۵۰ درصد از سطح زیر کشت را محصولات باغی در بر گرفته و ۵۰ درصد محصولات زراعی که شامل گندم آبی، جو آبی، پیاز، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، بادمجان، فلفل، هندوانه، خربزه، خیار و دیگر محصولات زراعی می‌باشد. مرکبات و نخیلات به ترتیب با سطح ۱۰۴۰۷۶/۵۰ (۲۳/۷۲ درصد) و

بهره‌وری اقتصادی زمین براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره برای کشت گوجه‌فرنگی در ایران محاسبه کردند. نتایج حاکی از آن شد که متوسط سالانه حجم آب مجازی تولید گوجه‌فرنگی ۳۹۲۵/۹ میلیون مترمکعب می‌باشد که سهم استان‌های قم، گیلان و خراسان جنوبی در صادرات آب مجازی بالاترین است و استان‌های بوشهر، خوزستان، گلستان، مازندران و جنوب کرمان دارای کم‌ترین آب مجازی و هم‌چنین دارای بالاترین ارزش اقتصادی هستند. نووا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳) دو شاخص ردپای آب ( $WF^2$ ) و جریان آب مجازی ( $VWF^3$ ) در مرکز شیلی را محاسبه نمودند. در این پژوهش آب مجازی به سه گروه (آبی، سبز و خاکستری) تقسیم گردید و ۲۱ محصول گروه‌بندی شده در (میوه، حبوبات، غلات و سبزیجات) در دو سال متوالی ۲۰۱۷-۲۰۱۸ استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که ردپای آب سبز و خاکستری به طور قابل‌توجهی در حوضه‌های جنوب مرکزی افزایش یافته است، در حالی‌که مصرف آب آبی در حوضه‌های ناحیه مرکزی افزایش یافته است که نشان‌دهنده تحول آشکار ردپای آب در کشاورزی مطابق با عرض جغرافیایی و شرایط آب و هوایی است. به طور کلی اکثر مطالعات پیشین به ارزیابی تراز تجارت آب مجازی و ردپای آب در اکثر نقاط جهان پرداخته‌اند. اما هیچ‌کدام شاخص‌های کمبود آب بر مبنای ردپای آب را بررسی نکرده‌اند.

استان کرمان به علت حاکم بودن شرایط اقلیمی خشک در آن، از جمله مناطقی است که همواره از شرایط بی‌آبی و کم‌آبی در رنج و سختی بوده است. دشت جیرفت که در جنوب ایران و استان کرمان قرار گرفته دارای اقلیم خشک بوده و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۷۰ میلی‌متر است. با توجه به اینکه بیش‌تر محصولات زراعی وابستگی صددرصدی به آبیاری دارند (بابازاده و سرایی تبریزی، ۱۳۹۱) و تولید محصولات کشاورزی آب‌بر می‌تواند فضا را برای صادرات آب مجازی فراهم آورد، این در حالی است که کشت محصولات آب‌بر با بهره‌وری پایین در این دشت بخش اعظم محصولات کشاورزی را در برمی‌گیرد. عدم رعایت الگوی کشت بر مبنای مفهوم آب مجازی در دشت جیرفت،

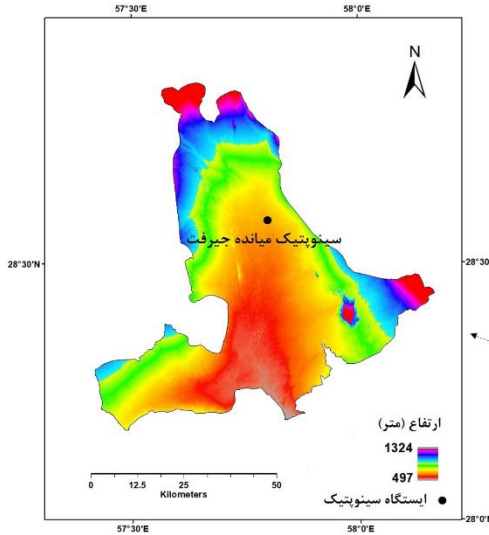
<sup>3</sup> virtual water flows

<sup>1</sup> Novoa

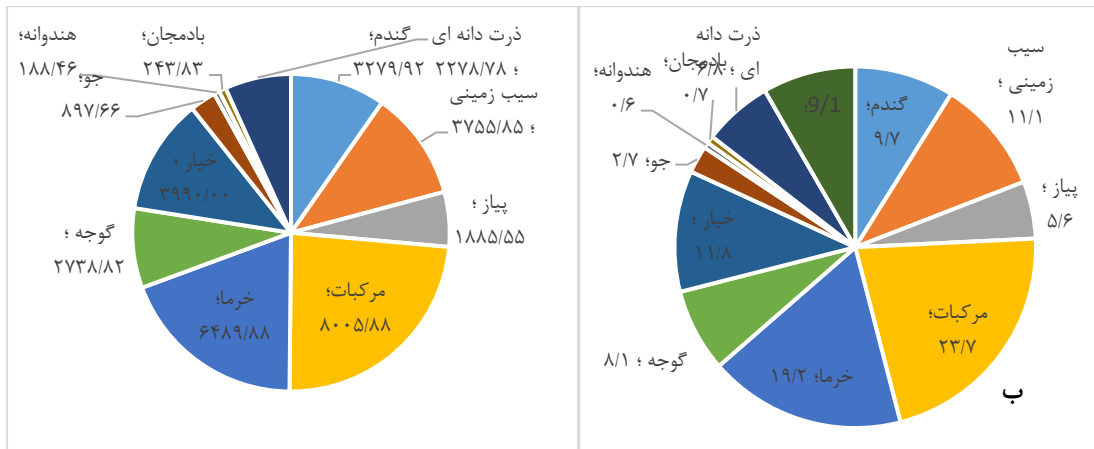
<sup>2</sup> Water footprint

بیشترین میزان سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است.

۸۴۳۶۸/۵۰ هزار هکتار (۱۹/۲۳ درصد) و در بین محصولات زراعی و صیفیجات، محصولات زراعی (۳۰/۲۵ درصد)



الف



شکل (۱): دشت جیرفت (الف) و (ب) سطح زیر کشت محصولات عمده زراعی و باغی در اراضی دشت جیرفت بر حسب هکتار و درصد. جدول ۱ متوسط تولید محصولات عمده زراعی و باغی در دشت جیرفت طی دوره آماری نشان می‌دهد. مجموع تولید محصولات در این دشت ۵۶۳۷۶۶/۴۴ تن می‌باشد.

بیشترین میزان تولیدات در محصولات (باغی) مرکبات با ۱۱۹۰۷۸/۷۴ تن و کمترین تولید مربوط به محصول جو با ۱۷۷۳/۳۰ تن می‌باشد.

جدول (۱): متوسط تولید محصولات عمده زراعی و باغی در دشت جیرفت در دوره آماری مورد بررسی

مصرف کود (کیلوگرم در هکتار)	تولید (تن)	محصول
۳۷۰	۹۳۴۳/۳۴	گندم
۴۰۰	۸۸۰۶۵/۹۲	سیبزمینی
۴۰۰	۱۰۰۱۲۶/۱۱	پیاز
۷۵/۶	۱۱۹۰۷۸/۷۴	مرکبات
۱۳۸	۳۹۵۷۱/۶۳	خرما
۴۰۰	۸۰۳۵۴/۱۵	گوجه‌فرنگی
۴۰۰	۹۷۴۴۹/۳۸	خیار
۳۵۰	۱۷۷۳/۳۰	جو
۳۴۰	۵۸۲۴/۲۲	هندوانه
۲۵۰	۵۶۷۸/۶۳	بادمجان
۴۰۰	۱۶۵۰۱/۰۲	ذرت دانه‌ای
۳۵۲۳/۶	۵۶۳۷۶۶/۴۴	مجموع
۳۲۰/۳	۵۱۲۵۱/۴۹	متوسط
۴۰۰	۱۱۹۰۷۸/۷۴	حداکثر
۷۵/۶	۱۷۷۳/۳۰	حداقل

$$WF_{grey} = (a \times AR) / (C_{max} - C_{min}) \quad (3)$$

$WF_{Green}$  ۱ ردپای آب سبز،  $WF_{Blue}$  ۲ ردپای آب آبی،  $WF_{grey}$  ۳ ردپای آب خاکستری بر حسب مترمکعب در هر تن است.  $P_e$  مجموع بارندگی مؤثر در طول دوره رشد هر گیاه بر حسب میلی‌متر،  $ET_c$  تبخیر و تعرق هر گیاه بر حسب میلی‌متر،  $Y$  عملکرد در محصول بر حسب تن بر هکتار،  $a$  درصد تلفات کودهای نیتروژن،  $NAR$  بر حسب کیلوگرم بر هکتار نرخ مصرف کود برای هر گیاه،  $C_{max}$  غلظت بحرانی نیتروژن بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. مقادیر  $P_e$  با استفاده از روش USDA و  $ET_c$  با استفاده از روش فائو- پنمن مونتیت و با به‌کارگیری مدل کراپ واپ محاسبه گردید. هم‌چنین مقادیر  $a$  در شرایط فاریاب ۱۰٪ در نظر گرفته می‌شود (Chapagain and Hoekstra, 2008). لازم به ذکر است که میزان بارش مؤثر، تبخیر و تعرق گیاهی و نیاز آبی در دشت جیرفت

### ارزیابی ردپای آب

ردپای آب محصول از حاصل جمع سه جزء آب آبی، آسبز و آب خاکستری به‌دست می‌آید. ردپای آب سبز شامل حجمی از آب باران موثر است که به صورت رطوبت در خاک ذخیره می‌شود. ردپای آب آبی شامل آب‌های مورد استفاده از منابع سطحی و زیرزمینی می‌باشد. ردپای آب خاکستری به حجم آبی اطلاق می‌گردد که برای از بین بردن آلودگی‌های ایجاد شده ناشی از کشت گیاه و تولید محصول در محیط، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hoekstra and Chapagain, 2007).

در این مطالعه، ردپای اکولوژیکی آب سبز، آبی و خاکستری در تولید گوجه‌فرنگی در سطح ایران با به‌کارگیری چارچوب اصلی چاپاگین و هوکسترا (Chapagain and Hoekstra, 2008) طی دوره آماری ۱۳۸۴ مورد مطالعه برآورد می‌گردد.

$$WF_{Green} = \frac{(P_e) \times 10}{Y} \quad (1)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e) \times 10}{Y} \quad (2)$$

<sup>3</sup> Water Footprint Grey

<sup>1</sup> Water Footprint Green

<sup>2</sup> Water Footprint Blue



که در آن  $WU^2$  و  $AWR^3$  به ترتیب نشان‌دهنده مصرف آب و منابع آبی در دسترس بر حسب مترمکعب هستند. تنش آب به شش گروه تقسیم‌بندی می‌شود: بدون تنش آبی، تنش آبی کم، تنش آبی متوسط، تنش آبی زیاد و تنش آبی بسیار زیاد و تنش آبی بحرانی؛ که فالکنمارک (۲۰۰۱) این نوع طبقه‌بندی را بیان کرد (Falkenmark, 2001).  $AWSI^4$  به‌عنوان نسبت کل ردپای آب کشاورزی  $(AWF)^5$  به منابع آب در دسترس ( $AWR$ ) در یک سال تعریف می‌شود.  $AWSI$  در یک منطقه به‌عنوان نسبت کل ردپای آب محصولات کشاورزی به منابع آب در دسترس در یک دوره معین تعریف می‌شود. بنابراین  $AWSI$  برای سیستم تولید محصولات کشاورزی که براساس چارچوب ردپای آب است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$AWSI = \frac{AWF}{AWR} \quad (7)$$

که در آن  $AWF$  ردپای آب محصولات کشاورزی و  $AWR$  منابع آبی در دسترس در یک منطقه است.  $AWR$  شامل منابع آبی یا به‌اصطلاح در دسترس بودن منابع آب سطحی و زیرزمینی ( $AWR_{blue}$ ) و منابع آب سبز یا به اصطلاح در دسترس بودن منابع آب باران ( $AWR_{green}$ ) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$AWR = AWR_{blue} + AWR_{green} \quad (8)$$

$AWR_{blue}$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$AWR_{blue} = AWR \times \frac{AWU}{WU} \quad (9)$$

که در آن  $A$  مساحت اراضی قابل کشت بر حسب مترمربع و  $P_e$  بارش مؤثر سالانه بر حسب میلی‌متر می‌باشد که با استفاده از روش ارائه شده توسط US Department محاسبه می‌شود:

$$P_e = \begin{cases} P * \left( \frac{4.17 - 0.02 * P}{4.17} \right), & P < 83 \\ (41.7 + 0.1 * P), & P \geq 83 \end{cases} \quad (14)$$

به‌صورت جداگانه برآورد و سپس متوسط وزنی هر یک از موارد ذکرشده در سطح دشت محاسبه گردید.

تبخیر و تعرق گیاه  $ET_c$  بر حسب  $(mm \ day^{-1})$  در طی دوره رشد محصول محاسبه شده است. تبخیر و تعرق گیاه  $ET_c$  از حاصل ضرب تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه (مرجع) در ضریب گیاهی  $K_c$  به دست می‌آید:

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (4)$$

تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش FAO- Penman Monteith ارائه شده توسط آلن در سال ۱۹۹۸ محاسبه می‌شود (Allan, 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (5)$$

که در آن  $ET_0$  تبخیر و تعرق گیاه مرجع،  $K_c$  ضریب محصول،  $R_n$  تابش خالص بر سطح گیاه  $(MJ \ M^{-2} \ d^{-1})$ ،  $G$  جریان گرمای خاک  $(MJ \ M^{-2} \ d^{-1})$ ،  $T$  میانگین دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد،  $U_2$  سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۲ متر  $s^{-1}$ ،  $e_a$  فشار بخار اشباع  $kPa$ ،  $e_d$  فشار بخار واقعی  $kPa$ ،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار  $KPa^0C^{-1}$  و  $\gamma$  ثابت پیزومتریک  $KPa^0C^{-1}$ .

#### ارزیابی شاخص‌های کمبود آب

پس از محاسبه ردپای آب، شاخص‌های کمبود آب شامل شاخص تنش آبی ( $WSI$ )، تنش آبی در بخش کشاورزی ( $AWSI$ )، شاخص کمبود آب آبی ( $BWS$ )، شاخص فقر آبی ( $WP$ )، شاخص خودکفایی ( $WSS$ ) و شاخص وابستگی آب ( $WD$ ) جهت بررسی تنش آبی منطقه مورد مطالعه محاسبه گردیدند.

#### شاخص تنش آبی و تنش آبی در بخش کشاورزی

روش شناخته‌شده برای محاسبه شاخص تنش آبی ( $WSI$ ) نسبت برداشت یا مصرف آب به مقدار منابع آب موجود است (Raskin et al., 1997).

$$WSI = \frac{WU}{AWR} \quad (6)$$

<sup>5</sup> Agricultural water footprint

<sup>1</sup> Water stress index

<sup>2</sup> Water use

<sup>3</sup> Available water resources

<sup>4</sup> Agricultural water stress index



۱۰۰ درصد نزدیک باشد آن گاه آن منطقه تقریباً به طور کامل به واردات آب مجازی متکی است (Hoekstra and Hung, 2002).

$$WD = \frac{TNVWI}{WU + TNVWI} * 100 \quad (۱۲)$$

## نتایج و بحث

### ردپای آب در بخش کشاورزی

در این پژوهش محصولات اصلی به سه دسته باغی، زراعی و صیفی و جالیزی تقسیم بندی می گردد. براساس نتایج به دست آمده در گروه صیفی و جالیزی، پیاز بالاترین عملکرد را به میزان ۵۴۰۶۹/۴۶ کیلوگرم در هکتار و بادمجان کمترین میزان عملکرد را به میزان ۲۲۴۷۰/۹۲ کیلوگرم در هکتار دارا می باشد و در گروه زراعی ذرت دانه ای، بالاترین عملکرد را نسبت به جو و گندم دارد؛ و در گروه باغی (نخیلات) با توجه به ردپای آب بالاتر، کمترین عملکرد را نسبت به مرکبات دارد (جدول ۲). به طور کلی محصولات با ردپای آب (ردپای مجموع) بالاتر، عملکرد پایین تر و محصولات با ردپای آب پایین تر دارای عملکرد بالاتری می باشند

AWSI به شش گروه تقسیم بندی می شود: که در جدول این نوع طبقه بندی نشان داده شده است (Falkenmark et al, 2001).

### کمبود آب آبی

کمبود آب آبی<sup>۱</sup> (BWS) با نسبت ردپای آب آبی  $WF_{Blue}$  به منابع آب آبی<sup>۲</sup> ( $WR_{Blue}$ ) در یک منطقه مشخص می شود.

$$BWS = \frac{WF_{Blue}}{WR_{Blue}} \quad (۱۰)$$

### فقر آب در بخش کشاورزی (WP<sup>۳</sup>)

فقر آب در بخش کشاورزی عبارت است از حاصل ضرب کل ردپای آب در بخش کشاورزی<sup>۴</sup> (AWF) در شاخص تنش آب در بخش کشاورزی AWSI است.

$$\text{Water Deprivation} = AWF * AWSI \quad (۱۱)$$

شاخص خودکفایی آب<sup>۵</sup> (WSS) و وابستگی

### ۶ (WD) در بخش کشاورزی

شاخص وابستگی آب در بخش کشاورزی، منعکس کننده اتکای یک منطقه به منابع آب خارجی از طریق واردات آب مجازی می باشد. WU کل آب تخصیص یافته برای تولید محصولات کشاورزی، TNVWI<sup>۷</sup> کل واردات خالص آب مجازی منطقه، اگر این شاخص به

<sup>5</sup> Water self-sufficiency

<sup>6</sup> Water dependency

<sup>7</sup> Total net virtual water import

<sup>1</sup> Blue water scarcity

<sup>2</sup> Blue water resources

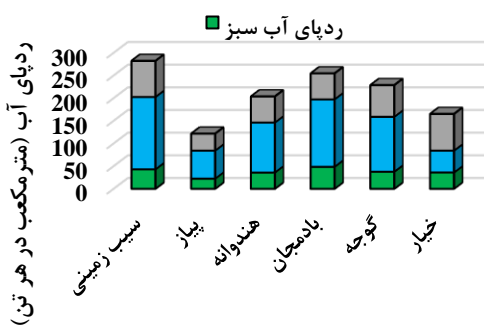
<sup>3</sup> Water poverty

<sup>4</sup> Agricultural water footprint

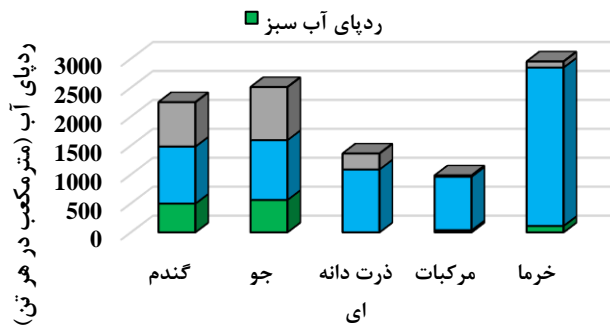
جدول (۲): اجزای ردپای آب در محصولات اصلی دشت جیرفت

گروه محصولات	نام محصول	عملکرد (kg/ha)	تبخیر و تعرق (mm)	باران مؤثر (mm)	نیاز خالص آبیاری (mm)	ردپای آب (m <sup>3</sup> /ton)		
						سبز	آبی	خاکستری
صیفی و جالیزی	بادمجان	۲۲۴۷۰/۹۲	۳۶۶	۱۰۶	۳۲۵	۴۸/۵۶۴	۱۴۸/۸۹۸	۵۷/۲۶۸
	پیاز	۵۴۰۶۹/۴۶	۳۸۵	۱۲۰	۳۳۱/۲۵	۲۲/۴۳۷	۶۱/۹۳۴	۳۷/۳۹۴
	خیار	۲۵۴۱۱/۱۱	۱۸۴	۸۹	۱۱۸/۷۵	۳۶/۰۸۰	۴۸/۱۴۰	۸۱/۰۷۹
	گوجه‌فرنگی	۲۹۱۶۳/۰۶	۳۸۵	۱۰۸	۳۴۶/۲۵	۳۷/۷۸۰	۱۲۱/۱۲۳	۶۹/۹۶۳
	هندوانه	۲۹۷۹۳/۶۴	۳۶۶	۱۰۶	۳۲۵	۳۵/۹۵۶	۱۱۰/۲۴۱	۵۷/۶۶۵
	سیب‌زمینی	۲۵۹۲۵/۲۴	۴۲۹	۱۰۸	۴۰۱/۲۵	۴۲/۹۸۸	۱۵۹/۷۱۱	۷۹/۶۰۷
زراعی	جو آبی	۱۹۷۰/۲۵	۲۴۳	۱۰۷	۱۹۷/۲	۵۶۰/۵۴۵	۱۰۳۳/۰۷۹	۹۱۶/۷۷۹
	گندم آبی	۲۸۱۷/۷۱	۲۸۴	۱۲۰	۲۳۷/۸	۴۹۷/۱۷۳	۹۸۵/۲۳۲	۷۶۶/۴۷۵
	ذرت دانه‌ای	۷۴۸۶/۲۷	۶۳۰	۰	۷۸۷/۵	۰	۱۰۸۶/۴۹۷	۲۷۵/۹۳۶
باغی	مرکبات	۱۷۱۱۸/۸۶	۱۲۲۳	۶۲	۱۵۶۷/۳۵	۳۶/۵۷۲	۹۲۴/۵۳۸	۲۲/۲۹۷
	نخیلات	۶۶۱۰/۲۷	۱۴۱۳	۷۳	۱۸۰۹	۱۱۰/۴۷۹	۲۷۳۷/۷۵۷	۱۰۴/۴۲۵

ردپای آب در محصولات جالیزی و صیفی



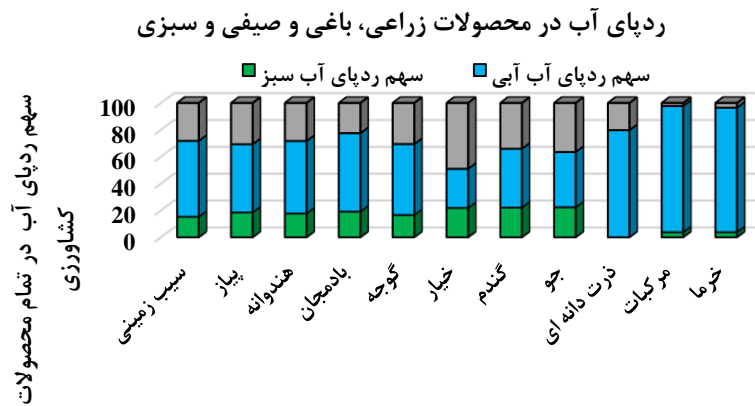
ردپای آب در محصولات زراعی و باغی



شکل (۲): الف) ردپای آب در محصولات جالیزی و صیفی ب) ردپای آب در محصولات زراعی و باغی

آب آبی در محصولات باغی (مرکبات) با ۹۴/۰۱ مترمکعب بر تن و کم‌ترین میزان ردپای آب آبی ۲۹/۱۲ مترمکعب بر تن مربوط به خیار است و همچنین کمترین میزان آب خاکستری مربوط به مرکبات با ۲/۲۷ مترمکعب بر تن می‌باشد و بیش‌ترین میزان ردپای آب خاکستری مربوط به خیار با ۴۹/۰۵ مترمکعب بر تن را نشان داد

شکل ۲ سهم کل اجزای ردپای آب رانشان می‌دهد. متوسط کل ردپای آب در تولید محصولات زراعی و باغی دشت جیرفت ۱۰۲۸/۶۰ مترمکعب بر تن می‌باشد که از این مقدار سهم آب سبز ۱۲/۶ درصد، آب آبی ۶۵/۶ درصد و آب خاکستری ۲۱/۸ درصد است. بیش‌ترین میزان آب سبز مربوط به محصول جو با ۲۲/۳۳ مترمکعب بر تن و کم‌ترین ذرت دانه‌ای بدون آب سبز (صفر) می‌باشد. بالاترین میزان



شکل (۳): سهم ردپای آب سبز و آبی و خاکستری در محصولات عمده زراعی و باغی دشت جیرفت

سهم آب سبز ۱۶/۵٪ برآورد گردید. لذا تاریخ و فصل کشت تاثیر به سزایی در تغییر ردپای آب خواهد داشت. ردپای سایر محصولات در جیرفت بالاتر از میانگین ردپای کشور است.

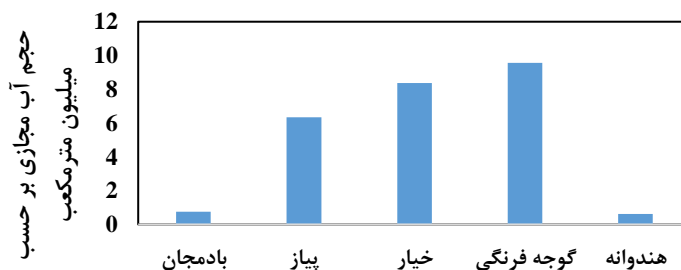
شکل بررسی حجم آب مجازی محصولات صیفی و جالیزی نشان می‌دهد. کل حجم آب مجازی محصولات صیفی و جالیزی تولیدشده در دشت جیرفت ۵۰ میلیون مترمکعب در سال است که بیشترین سهم آن مربوط به گوجه‌فرنگی و کمترین سهم مربوط به بادمجان است. جدول ۳ تغییرات حجم آب مجازی محصولات جالیزی و صیفی را در دوره آماری نشان می‌دهد. براساس نتایج، کمترین حجم آب مجازی (۱۵ میلیون مترمکعب) مربوط به سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ و بیشترین آن مربوط به سال ۹۲ تا ۹۴ (۶۳ میلیون مترمکعب) بوده است.

شکل ۳ مقایسه متوسط آب مجازی محصولات کشاورزی در جیرفت با کشور را نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در صیفی‌جات و محصولات جالیزی عموماً میزان آب مجازی در جیرفت کم‌تر از میانگین کشوری است. البته نکته قابل توجه این است که کشت این محصولات در این منطقه خارج از فصل است و عمدتاً دارای عملکرد بالاتری نسبت به میانگین کشوری است و همچنین با توجه به اینکه بارش مؤثر نیز منطبق بر دوره رشد این محصولات است، لذا همواره ردپای این محصولات در جنوب پایین‌تر از متوسط کشوری است. به‌عنوان مثال ردپای محصول گوجه‌فرنگی در ایران  $273 \text{ m}^3/\text{tom}$  است اما در جیرفت  $228 \text{ m}^3/\text{tom}$  برآورد گردید. که از این مقدار در ایران ۴/۶٪ سهم آب سبز است، در حالی که در جیرفت

جدول (۳): حجم آب مجازی محصولات صیفی و جالیزی در دشت جیرفت

نام محصول	صیفی و جالیزی					جمع
	بادمجان	پیاز	خیار	گوجه‌فرنگی	هندوانه	
۱۳۸۵-۸۶	۳/۲	۴/۲۷	۱۷/۱۷	۲۸/۷۲	۰/۰۹	۲۵/۰۹
۱۳۸۶-۸۷	۰/۰۶	۵/۸۱	۱۱/۵۶	۷/۰۵	۰/۶۱	۲۵/۱۳
۱۳۸۷-۸۸	۰/۱	۵/۸۱	۱۱/۵۶	۷/۰۵	۰/۶۱	۱۵/۸۳
۱۳۸۸-۸۹	۰/۰۴	۳/۴	۶/۶۴	۵/۱	۰/۶۵	۵۴/۱۷
۱۳۸۹-۹۰	۲/۳۹	۱۶/۸۴	۲۳/۹	۱۰/۴۷	۰/۵۷	۵۶/۸۸
۱۳۹۰-۹۱	۲/۲۶	۱۵/۲۸	۲۱/۹۱	۱۶/۶۹	۰/۷۴	۵۹/۰۵
۱۳۹۱-۹۲	۱/۵۸	۱۳/۷۲	۱۹/۹۳	۲۲/۹۱	۰/۹۱	۶۳/۵۷
۱۳۹۲-۹۳	۰/۲۱	۹/۳۸	۲۴/۳	۲۵/۹۱	۳/۷۷	۶۳/۸۲
۱۳۹۳-۹۴	۰/۱۱	۱۷/۹۸	۲۳/۲	۲۱/۹۸	۰/۵۵	۶۱/۴۲
۱۳۹۴-۹۵	۱/۵۹	۱۹/۵۵	۲۰/۹۲	۱۸/۰۴	۱/۳۲	۵۷/۰۰
۱۳۹۵-۹۶	۲/۰۷	۱۶/۶۴	۱۱/۱۶	۲۵/۲۳	۱/۹	۵۷/۳۶
۱۳۹۶-۹۷	۲/۴۱	۱۶/۷۱	۱۲/۳۹	۲۳/۸۳	۲/۰۲	۵۷/۱۸
۱۳۹۷-۹۸	۲/۲۴	۱۶/۶۷	۱۱/۷۸	۲۴/۵۳	۱/۹۶	۵۰/۰۰
متوسط	۰/۷۵	۶/۳۴	۸/۳۸	۹/۵۶	۰/۶۲	۶۳/۸۲
حداکثر	۳/۲۰	۱۹/۵۵	۲۴/۳۰	۲۸/۷۲	۳/۷۷	۱۵/۸۳
حداقل	۰/۰۴	۳/۴۰	۶/۶۴	۵/۱۰	۰/۰۹	۵۳/۴۵

حجم کل آب مجازی محصولات جالیزی و صیفی

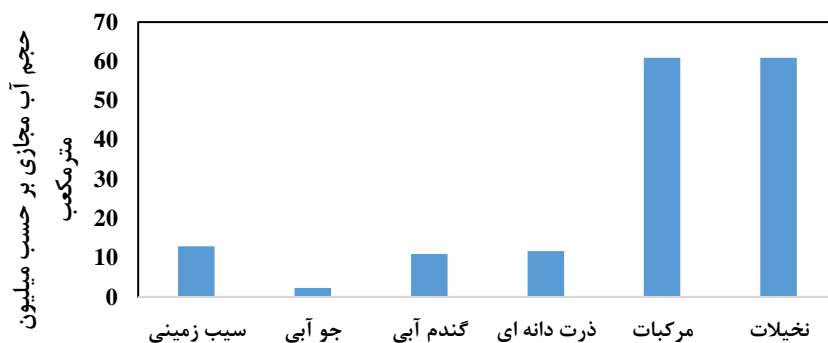


شکل (۴): متوسط کل حجم آب مجازی صیفی‌جات محصول در دوره آماری

بوده و آب بیش‌تری برای تولید محصول استفاده می‌شود. بنابراین بهتر است نسبت به کاهش سطح زیر کشت محصولات با حجم آب مجازی بالا اقدام گردد. جدول ۴ تغییرات حجم آب مجازی در محصولات زراعی و باغی را نشان می‌دهد. متوسط حجم آب مجازی در محصولات زراعی و باغی به ترتیب ۳۱۷ و ۱۲۷ میلیون مترمکعب است.

شکل ۵ بررسی حجم آب مجازی محصولات زراعی و باغی را نشان می‌دهد. کل حجم آب مجازی محصولات باغی و زراعی تولیدشده در دشت جیرفت ۷۰ میلیون مترمکعب در سال است. بیش‌ترین حجم آب مجازی در محصولات زراعی مربوط به سیب زمینی و کم‌ترین آن مربوط به جو آبی است. در محصولات باغی نیز نخیلات و مرکبات مقادیر تقریباً یکسانی دارند. هر چه حجم آب مجازی یک محصول بیش‌تر باشد، نیاز آبی محصول بالاتر

حجم کل آب مجازی محصولات باغی و زراعی



شکل (۵): متوسط کل حجم آب مجازی محصولات زراعی و باغی در دوره آماری

جدول (۴): حجم آب مجازی محصولات زراعی و باغی در دشت جیرفت (میلیون مترمکعب)

نام محصول	زراعی			باغی			جمع محصولات باغی	جمع محصولات زراعی
	سیب زمینی	جو آبی	گندم آبی	ذرت دانه ای	مرکبات	نخیلات		
۱۳۸۵-۸۶	۲۶/۳۸	۰/۴۶	۱۸/۴۹	۲۲/۱۴	۹۲/۷۳	۸۸/۶۷	۱۸۱/۴	۶۷/۴۷
۱۳۸۶-۸۷	۱۱/۲۸	۳/۹۵	۱۲/۱۸	۶/۳۵	۸۹/۷	۸۸/۳۳	۱۷۵/۸۸	۳۴/۳۸
۱۳۸۷-۸۸	۱۱/۲۸	۳/۹۵	۱۲/۱۸	۶/۳۵	۸۹/۷	۸۶/۱۸	۱۷۷/۴	۲۵/۸۶
۱۳۸۸-۸۹	۱۹/۶۷	۰/۰۶	۵/۴۲	۰/۷۱	۸۹/۷۵	۸۷/۶۵	۱۸۸/۰۹	۱۲۷/۳۷
۱۳۸۹-۹۰	۵۲/۵۶	۵/۹	۷/۷۳	۶۱/۱۸	۹۷/۷۱	۹۰/۳۸	۱۳۷/۳۹	۱۰۳/۲۲
۱۳۹۰-۹۱	۴/۹۹	۴۰/۵۱	۱۳/۵۶	۴۴/۱۶	۱۶۵/۶۵	۱۵۱/۷۴	۱۵۶/۶۶	۷۹/۰۹
۱۳۹۱-۹۲	۲۸/۴۶	۴/۰۸	۱۹/۳۹	۲۷/۱۴	۱۸/۷۷	۱۳۷/۸۹	۲۶۷/۳۸	۷۹/۸۵
۱۳۹۲-۹۳	۱۵/۶۸	۴/۵۳	۲۳/۳۷	۳۶/۲۷	۱۳۸/۸۲	۱۲۸/۵۶	۲۷۵/۸۴	۵۶/۴۸
۱۳۹۳-۹۴	۱۸/۳۳	۳/۱۴	۱۳/۲۲	۲۱/۷۹	۱۴۵/۷۹	۱۳۰/۰۵	۲۷۹/۷۸	۸۸/۵۱
۱۳۹۴-۹۵	۴۳/۳	۴/۵۹	۲۵/۴۹	۲۴/۱۳	۱۴۸/۳۶	۱۳۱/۴۲	۲۸۰/۲۴	۷۴/۴۷
۱۳۹۵-۹۶	۱۷/۵۳	۶/۱۹	۳۷/۷۶	۱۲/۹۹	۱۴۷/۹۷	۱۳۲/۲۷	۲۸۰/۲۴	۶۴/۴۲
۱۳۹۶-۹۷	۱۹/۲۲	۹/۹۴	۲۰/۳۸	۱۴/۸۸	۱۴۷/۹۷	۱۳۲/۲۷	۲۸۰/۴۶	۷۴/۴۳
۱۳۹۷-۹۸	۱۸/۳۷	۸/۰۶	۳۴/۰۷	۱۳/۹۳	۱۴۷/۷۷	۱۳۲/۶۹	۲۳۳/۷۵	۶۹/۹۹
متوسط	۱۲/۹۳	۲/۳۲	۱۰/۹۵	۱۱/۷۱	۶۰/۹۵	۶۰/۹۲	۳۱۷/۳۹	۱۲۷/۳۷
حداکثر	۵۲/۵۶	۴۰/۵۱	۳۷/۷۶	۶۱/۱۸	۱۶۵/۶۵	۱۵۱/۷۴	۱۵۶/۶۶	۲۵/۸۶
حداقل	۴/۹۹	۰/۰۶	۵/۴۲	۰/۷۱	۱۸/۷۷	۸۶/۱۸	۱۸۱/۴	۶۷/۴۷

نمی‌کند. تغییر چندانی در حجم آب مجازی در محصولات جالیزی دیده نمی‌شود در حالیکه در محصولات باغی از سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ افزایش چشمگیری دیده شده و به مقدار ثابتی می‌رسد. در خصوص محصولات زراعی نیز طی سال های ۹۰ تا ۹۹ افزایش و سپس کاهش می‌یابد. شکل تغییرات هر گروه محصول را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد

جدول ۵ حجم آب مجازی در کل دوره آماری در دسته محصولات مورد بررسی در دشت جیرفت نشان می‌دهد. کل حجم آب مجازی در دشت جیرفت مربوط ۳۵۴ میلیون مترمکعب است که سهم محصولات باغی ۶۶ درصد محصولات زراعی ۲۰ و سهم محصولات صیفی و جالیزی ۱۴ درصد است. میزان تغییرات هر گروه در سال‌های مختلف متفاوت است و تغییرات آن‌ها از یکدیگر تبعیت

جدول (۵): حجم آب مجازی در کل دوره آماری در دسته محصولات مورد بررسی

نام محصول	محصولات صیفی و جالیزی	محصولات زراعی	محصولات باغی	کل حجم آب مجازی
۱۳۸۵-۸۶	۵۳/۴۵	۶۷/۴۷	۱۸۱/۴	۳۰۲/۳۲
۱۳۸۶-۸۷	۲۵/۰۹	۳۴/۳۸	۱۷۸/۰۳	۲۳۷/۵
۱۳۸۷-۸۸	۲۵/۱۳	۳۴/۳۸	۱۷۵/۸۸	۲۳۵/۳۹
۱۳۸۸-۸۹	۱۵/۸۳	۲۵/۸۶	۱۷۷/۴	۲۱۹/۰۹
۱۳۸۹-۹۰	۵۴/۱۷	۱۲۷/۳۷	۱۸۸/۰۹	۳۶۹/۶۳
۱۳۹۰-۹۱	۵۶/۸۸	۱۰۳/۲۲	۳۱۷/۳۹	۴۷۷/۴۹
۱۳۹۱-۹۲	۵۹/۰۵	۹۷/۰۷	۱۵۶/۶۶	۲۹۴/۷۸
۱۳۹۲-۹۳	۶۳/۵۷	۷۹/۸۵	۲۶۷/۳۸	۴۱۰/۸
۱۳۹۳-۹۴	۶۳/۸۲	۵۶/۴۸	۲۷۵/۸۴	۳۹۶/۱۴
۱۳۹۴-۹۵	۶۱/۴۲	۸۸/۵۱	۲۷۹/۷۸	۴۲۹/۷۱
۱۳۹۵-۹۶	۵۷	۷۴/۴۷	۲۸۰/۲۴	۴۱۱/۷۱
۱۳۹۶-۹۷	۵۷/۳۶	۶۴/۴۲	۲۸۰/۲۴	۴۰۲/۰۲
۱۳۹۷-۹۸	۵۷/۱۸	۷۴/۴۳	۲۸۰/۴۶	۴۱۲/۰۷
متوسط دوره آماری	۵۰	۶۹/۹۹	۲۳۳/۷۵	۳۵۳/۷۴
حداکثر	۶۳/۸۲	۱۲۷/۳۷	۳۱۷/۳۹	۴۷۷/۴۹
حداقل	۱۵/۸۳	۲۵/۸۶	۱۵۶/۶۶	۲۱۹/۰۹

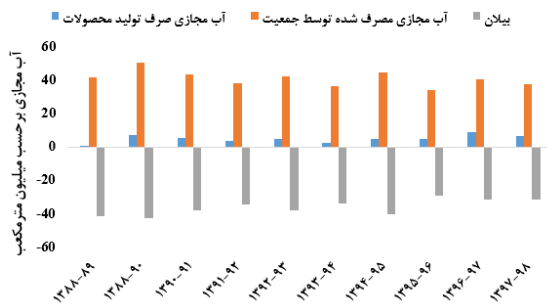
### بیان آب مجازی در دشت جیرفت

جهت بررسی بیان آب مجازی، میزان کل آب مجازی صرف شده در تولید محصولات در جیرفت به ازای هر سال برآورد شد و برای محاسبه تجارت آب مجازی در هر سال و همچنین میزان سرانه مصرف جمعیت در هر سال به صورت جداگانه محاسبه و برای تمامی محصولات برآورد گردید (جدول ۶). براساس نتایج در تمام سال‌های مورد بررسی بیان آب مجازی مثبت است یعنی میزان محصولات تولیدی بیش از نیاز منطقه است و بخش زیادی از آن را صادر می‌کند. متوسط بیان آب مجازی سالانه ۱۴۲+ میلیون مترمکعب است نشان می‌دهد، سالانه ۱۴۲ میلیون مترمکعب آب بصورت مجازی از طریق اضافه تولید محصولات کشاورزی از شهرستان خارج می‌شود. تغییرات سالانه بیان آب مجازی شکل ۶ نشان می‌دهد، بالاترین میزان تجارت آب مجازی مربوط به سال ۱۳۹۴-

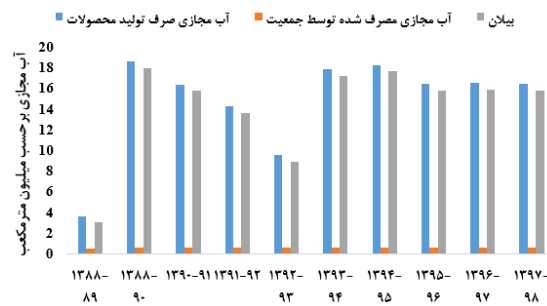
۹۵ است که حجمی بالغ بر ۲۳۴ میلیون مترمکعب بوده است. براساس نتایج بیان آب مجازی محصولات تولیدی در منطقه (شکل ۶)، جز در جو و گندم، در سایر محصولات خودکفاست و صادرکننده محسوب می‌شود. میزان آب مجازی صادر شده سالانه ناشی از صادرات مرکبات و نخیلات بطور متوسط ۸۸ میلیون مترمکعب است. بر طبق شکل ۶، برای بیش تر محصولات در سال‌های پایانی روند آب مجازی به صورت نزولی است. براساس گزارش جهاد کشاورزی، یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش آب مجازی و به تبع آن شاخص تنش آبی، افزایش راندمان بهره‌وری آب آبیاری و استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری است که به نوبه‌ی خود در جنوب کرمان، بوشهر و هرمزگان از سال ۱۳۹۴ آغاز گردیده است. همچنین افزایش عملکرد یکی دیگر از دلایل کاهش آب مجازی محصولات کشاورزی است که در محصولات جالیزی مشهود بوده‌است



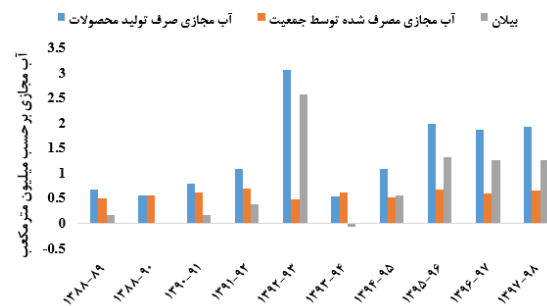
**جو**



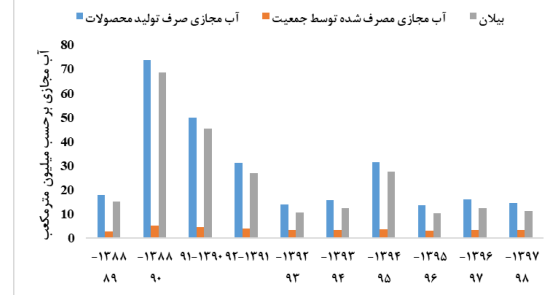
**پياز**



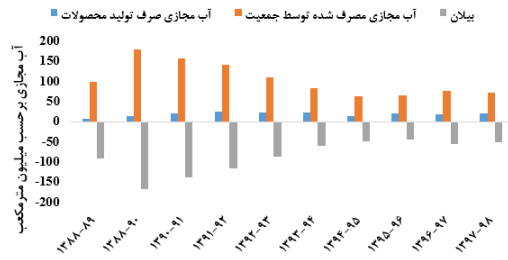
**هندوانه**



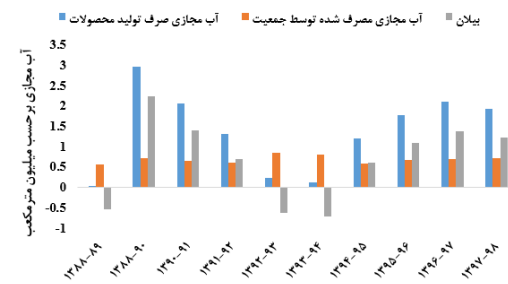
**سیب زمینی**



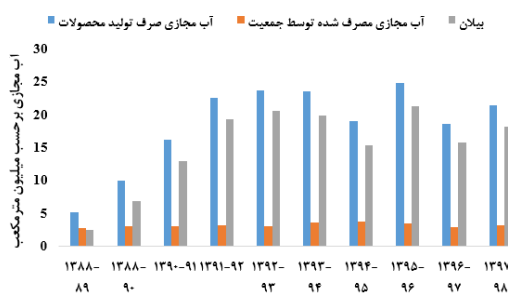
**گندم**



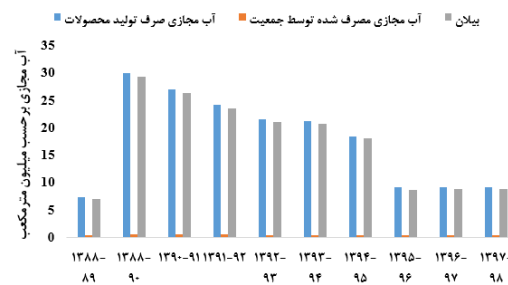
**بادمجان**



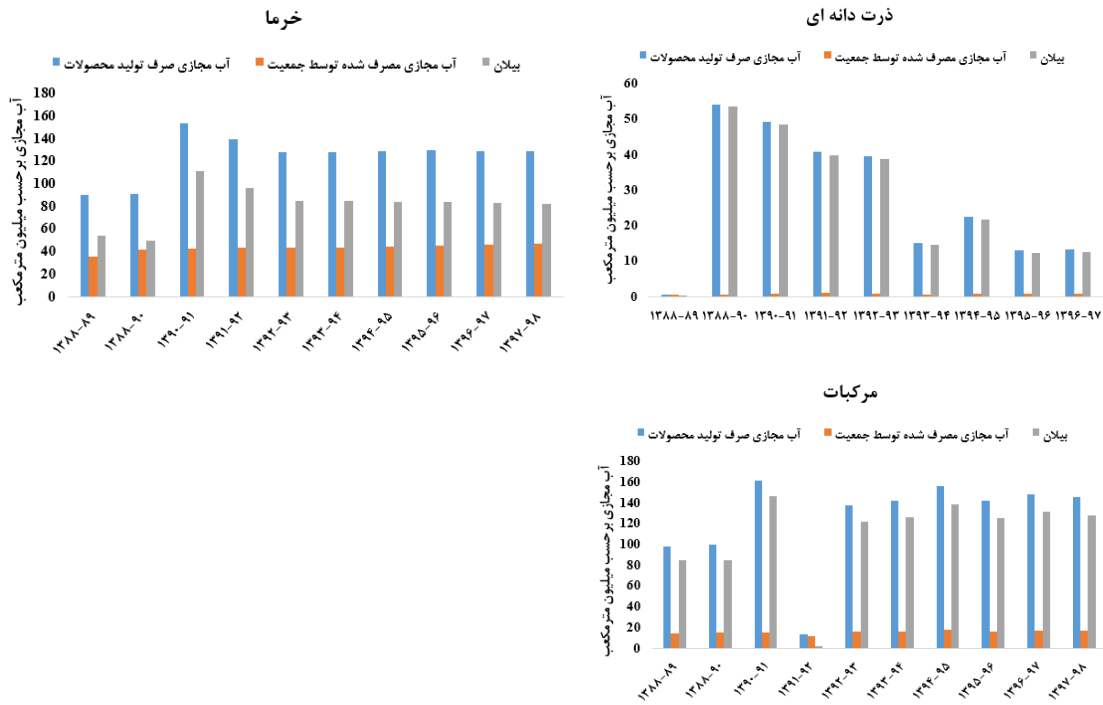
**گوجه**



**خیار**







شکل (۶): بیان آب مجازی در محصولات اصلی دشت جیرفت

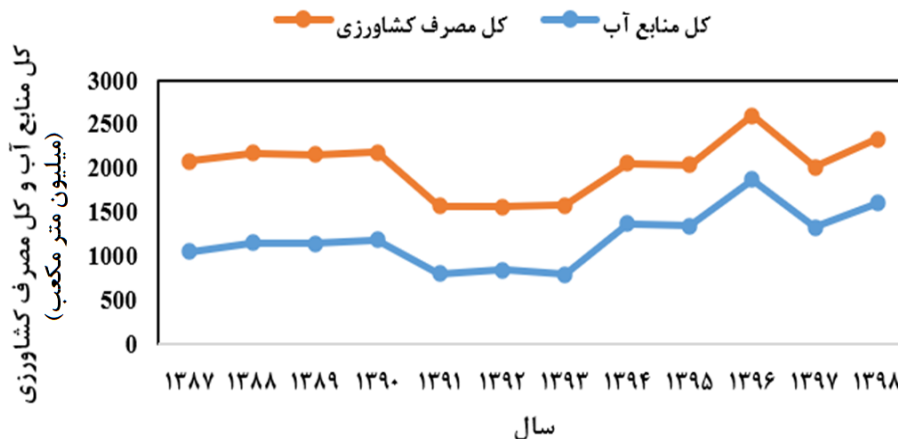
جدول (۶): بیلان آب مجازی دشت جیرفت طی دوره مورد مطالعه

سال آماری	جمعیت جیرفت	حجم آب مجازی مصرف شده توسط محصولات (میلیون مترمکعب)	حجم آب مجازی جمعیت (میلیون مترمکعب)	حجم آب مجازی صادر شده
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۱۹۹۷۷۳	۳۱۰/۱۱	۱۴۳/۲۷	۱۶۶/۸۴
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۲۱۱۹۵	۲۶۲/۸۲	۲۱۸/۵۲	۴۴/۳۰
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۲۲۴۱۲۹	۲۴۴/۲۶	۱۸۶/۱۴	۵۸/۱۲
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۲۳۶۳۰۷	۲۲۹/۹۳	۱۹۸/۱۲	۳۱/۸۱
۱۳۹۰-۱۳۸۹	۲۷۷۷۴۸	۴۰۱/۶۱	۲۹۸/۴۵	۱۰۳/۱۵
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۲۸۳۳۴۳	۵۰۱/۲۲	۲۶۹/۳۷	۲۳۱/۸۴
۱۳۹۱-۱۳۹۲	۲۸۸۹۳۸	۳۱۶/۸۲	۲۴۴/۸۷	۷۱/۹۵
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۲۹۴۵۳۴	۴۰۴/۴۸	۲۲۱/۲۰	۱۸۳/۲۸
۱۳۹۳-۱۳۹۴	۳۰۰۱۲۹	۳۸۹/۱۴	۱۸۸/۱۸	۲۰۰/۹۶
۱۳۹۴-۱۳۹۵	۳۰۸۸۵۸	۴۱۴/۳۶	۱۸۰/۲۵	۲۳۴/۱۰
۱۳۹۵-۱۳۹۶	۳۱۴۴۵۳	۳۷۷/۱۹	۱۷۰/۱۵	۲۰۷/۰۳
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۳۲۵۶۴۴	۳۸۲/۶۲	۱۸۸/۸۶	۱۹۳/۷۷
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۳۲۵۶۴۴	۳۷۹/۳۵	۱۸۳/۵۶	۱۹۵/۷۹
متوسط	۲۷۶۲۶۵	۳۵۴/۹۲	۲۰۶/۹۱	۱۴۷/۹۲
حداکثر	۳۲۵۶۴۴	۵۰۱/۲۲	۲۹۸/۴۵	۲۳۴/۱۰
حداقل	۱۹۹۷۷۳	۲۹۹/۹۳	۱۴۳/۲۷	۳۱/۸۱

#### منابع آب آبی و سبز در جیرفت

با توجه به شکل ۷ تغییرات زمانی کل مصرف آبی کشاورزی (AWU) و کل منابع آب موجود در دسترس (AWR<sup>۲</sup>) سالانه در دشت جیرفت طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. براساس نتایج، مقدار متوسط آن به ترتیب در طول دوره آماری برابر با ۸۲۲/۴ و ۱۲۱۴/۴

میلیون مترمکعب است. با توجه به شکل روند آب در بخش کشاورزی بیشتر از کل منابع آبی منطقه است و از سال ۱۳۹۳ به بعد روند افزایشی در دو شاخص دیده می‌شود که مهم‌ترین دلیل آن روند افزایشی رد پای آب آبی در این سال‌هاست.



شکل (۷): تغییرات زمانی کل مصرف آبی کشاورزی (AWU) و کل منابع آب (AWR) در دشت جیرفت از سال ۱۳۸۷-۱۳۹۸

آماري ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، مقدار متوسط آن به ترتیب در طول دوره آماری برابر با ۱۴/۴۲ و

با توجه به شکل ۸ تغییرات زمانی شاخص منابع آب آبی و شاخص منابع آب سبز سالانه در دشت جیرفت طی دوره

<sup>2</sup> Agricultural water use

<sup>1</sup> Available water resources

منابع آبی ممکن است میزان کمبود آب را به خوبی نشان ندهد. پس با توجه به در نظر گرفتن منابع آب آبی، سبز و هم‌چنین ردپای آب در شاخص AWSI، استفاده از این شاخص برای ارزیابی کمبود آب در منطقه خشک بسیار مهم است. شاخص AWSI در دشت جیرفت بالاتر از WSI می‌باشد. این مسئله نشان می‌دهد که دشت جیرفت دارای تنش آبی بالاست و با توجه به بالا بودن مصرف آب آبی نسبت به آب سبز، فعالیت‌های کشاورزی بیش‌ترین تأثیر را بر روی منابع آب و امنیت آبی دارند. لذا بین شاخص‌ها تفاوت‌های زیادی وجود دارد و تقریباً منطقه مورد مطالعه دچار کمبود آب و تنش آبی در بخش کشاورزی می‌باشد. و از آنجایی که درصد قابل توجهی از کل ردپای آب مربوط به ردپای آبی می‌باشد. پس در نتیجه در این دشت مقدار شاخص BWS هم بالاتر از WSI می‌باشد. بنابراین مقایسه این سه شاخص با هم توانایی بالایی در بیان امنیت آبی و غذایی در منطقه جازموریان دارد. به‌طور کلی براساس نتایج تحقیق، از آنجایی که در شاخص AWSI هم ردپای آب و هم وضعیت منابع آبی در نظر گرفته می‌شود برای ارزیابی کمبود آب به‌ویژه در بخش کشاورزی در مناطق خشک بسیار مناسب‌تر از دو شاخص BWS و WSI است که با نتایج Cao et al. (2017) و Cao et al. (2018) هم‌خوانی دارد.

### فقر آب در بخش کشاورزی

در شکل تغییرات فقر آب را به‌صورت سالانه در دشت جیرفت طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. براساس نتایج، مقدار متوسط آن در طول دوره آماری برابر با  $130/2$  گیگا مترمکعب است. با توجه به شکل از سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ فقر آب یک روند کاملاً افزایشی داشته است. کمترین میزان فقر آب مربوط به سال ۱۳۸۹ و برابر با  $0/21$  گیگا مترمکعب و بیش‌ترین میزان آن مربوط به سال ۱۳۹۱ و برابر با  $0/63$  گیگا مترمکعب می‌باشد. روند فقر آب به‌طور مستقیم با افزایش ردپای آب در بخش کشاورزی و AWSI مرتبط است. به گونه‌ای که بیش‌ترین فقر آبی، تنش آبی کشاورزی (AWSI) و کمبود آب آبی (BWS) در سال ۱۳۹۱ رخ داده است. به‌طور کلی با توجه به بالاتر بودن دو

$1070/71$  میلیون مترمکعب است. با توجه به شکل منابع آبی در سال ۱۳۹۴ بیش‌ترین مقدار را نشان می‌دهد.

### ارزیابی شاخص‌های کمبود آب

شکل ۸ تغییرات زمانی شاخص‌های کمبود آب شامل شاخص تنش آبی (WSI)، تنش آبی در بخش کشاورزی (AWSI)، شاخص کمبود آب آبی (BWS)، شاخص فقر آبی (WP)، شاخص خودکفایی (WSS) و شاخص وابستگی آب (WD) را نشان می‌دهد.

### تغییرات شاخص تنش آبی، تنش آبی در بخش کشاورزی و کمبود آب آبی

تغییرات زمانی WSI، AWSI و BWS سالانه در دشت جیرفت طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ در شکل ۸ نشان داده شده است. مقدار متوسط WSI در طول دوره آماری برابر با  $0/37$  و همواره طی این دوره میزان آن بالاتر از  $0/21$  بوده است. در طول دوره مورد مطالعه از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳، WSI روند تغییرات قابل توجهی از خود نشان نداده است اما از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ روند تغییرات به‌صورت نزولی داشته است. مقدار متوسط AWSI و BWS در طول دوره آماری به‌ترتیب برابر با  $0/84$  و  $0/77$  است. از آنجایی که بیش از  $65/6$  درصد ردپای آب، مربوط به ردپای آب آبی است لذا منطقی است که تفاوت چندانی بین دو شاخص مشاهده نشود.

بالا بودن مصرف آب آبی نسبت به آب سبز یا در واقع وابستگی و مصرف زیاد آب آبی باعث شده است که تنش آبی بالا رود. از طرفی دیگر بالا بودن ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز و خاکستری باعث شده است که مقدار شاخص BWS پایین‌تر از AWSI باشد و تغییرات این دو شاخص کاملاً از هم پیروی کنند.

هم‌چنین در سال ۱۳۹۱ یک افزایش در دو شاخص دیده می‌شود که مهم‌ترین دلیل آن روند افزایشی ردپای آبی در این سال است. BWS و AWSI طی دوره آماری مورد بررسی در کلاس تنش آبی بالا قرار می‌گیرند. براساس نتایج میزان AWSI در هر سال بیش‌تر از  $0/7$  بوده که نشان می‌دهد که بخش کشاورزی با تنش آبی بالا مواجه است. با توجه به خشک و نیمه خشک بودن کشور ایران، استفاده از دو شاخص WSI و BWS به تنهایی برای ارزیابی وضعیت

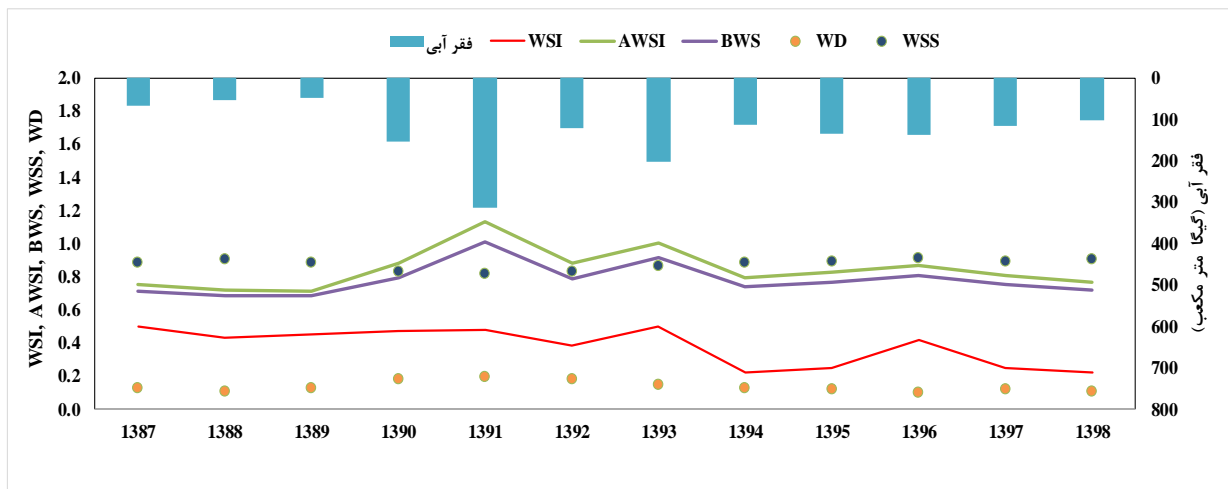


۱۲/۹۴ میلیون مترمکعب است. تغییرات زمانی شاخص خودکفایی و شاخص وابستگی آب در شکل (۸) نشان داده شده است. هر چه تنوع و میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر و جمعیت کم تر باشد، میزان خودکفایی نیز بیشتر خواهد بود. بالاترین شاخص خودکفایی (کمترین شاخص وابستگی) مربوط به سال ۱۳۹۶ و بیشترین میزان وابستگی آب مربوط به سال ۱۳۹۱ (بیشترین شاخص وابستگی) است. این امر نشان می‌دهد که سال ۱۳۹۱ در تولید محصولات کشاورزی کاملاً به منابع آبی وابسته است و سال ۱۳۹۶ به صورت کامل در تأمین منابع آب برای سیستم تولید محصولات کشاورزی خودکفایی می‌باشد. به طور کلی در دشت جیرفت، شاخص خود کفایی (WSS) بالاتر از شاخص وابستگی (WD) قرار دارد و حاکی از خودکفایی بالا و وابستگی پایین منطقه مورد مطالعه از نظر تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. هم‌چنین بررسی مبادلات آب مجازی منطقه حاکی از وابستگی کم منطقه به واردات آب مجازی می‌باشد. شاید همین مسئله باعث ایجاد فقر آبی در دشت جیرفت شده است. جیرفت با وجود دارا بودن متوسط بارش کم تر از ۳۰۰ میلی‌متر و منابع آب محدود، خودکفا بوده و وابستگی به واردات آب مجازی پایینی دارند. به طور کلی در مناطق کم باران ایران، شاخص خودکفایی بیش از وابستگی است و فقر آبی بالا است. مهم‌ترین دلیل بالا بودن خودکفایی نسبت به وابستگی در این مناطق بالا بودن تنوع محصولات کشاورزی در سبد غذایی است. به عنوان نمونه در منطقه جازموریان مرکبات، خرما، گندم، جو، سیب‌زمینی و پیاز کشت می‌گردد

شاخص AWSI و BWS نسبت به WSI در دشت جیرفت، نشان دهنده این است که منابع آبی دشت غنی نیست و این دشت دارای فقر آبی است. تخمین فقر آب یکی از شاخص‌های مفید برای نشان دادن رابطه بین شاخص تنش آبی و منابع آب آبی است. پس بالا بودن تنش آبی و کمبود آب آبی در منطقه مورد مطالعه، موجب فقر آبی بالا شده است. براساس نتایج شکل ۸، وابستگی و مصرف زیاد آب آبی نسبت به آب سبز باعث افزایش تنش آبی شده و دشت جیرفت در سطح تنش آبی بالا قرار دارد که با نتایج دهقان‌پیر و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد.

### تغییرات شاخص خودکفایی و وابستگی خالص صادرات

در حالی که تعاملات بین استان‌ها بسیار حیاتی است و در عین حال به راحتی نادیده گرفته می‌شود. شاخص خودکفایی و وابستگی آب مجازی پیچیده‌تر از حد انتظار است که پیش‌بینی می‌کردیم. لذا زمانی که با این شاخص‌ها سروکار داریم سیستم بسیار پیچیده می‌شود. WSS، درصد صادرات آب مجازی و توانایی یک استان را برای تأمین آب موردنیاز خود از منابع آبی داخلی نشان می‌دهد و WD، واردات آب مجازی است که نشان می‌دهد که یک استان برای تأمین آب موردنیاز خود به چه میزان به منابع آب سایر استان‌ها از طریق واردات آب مجازی وابسته هستند. متوسط خودکفایی ۸۷/۰۶ میلیون مترمکعب و شاخص وابستگی آب



شکل (۸): تغییرات زمانی شاخص تنش آبی، تنش آبی کشاورزی، کمبود آب آبی، خودکفایی و شاخص وابستگی آب در دشت جیرفت از سال ۱۳۸۷-۱۳۹۸

## نتیجه گیری

در مطالعه حاضر، با استفاده از مفهوم ردپای آب به ارزیابی شاخص‌های کمبود آب مانند شاخص تنش آبی (WSI)، تنش آبی در بخش کشاورزی (AWSI)، شاخص کمبود آب آبی (BWS)، شاخص فقر آبی (WP)، شاخص خودکفایی (WSS) و شاخص وابستگی آب (WD) جهت بررسی تنش آبی در دشت جیرفت طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۸ پرداخته شد. نتایج نشان داد که سهم ردپای آب آبی در تولید محصولات کشاورزی دشت جیرفت بالاتر از ردپای آب سبز و خاکستری است. بالا بودن ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز و خاکستری نشان می‌دهد که تولید محصولات کشاورزی دشت جیرفت نیاز صددرصدی به منابع آب آبی مانند آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد؛ بنابراین تولید، عملکرد و ردپای آب محصولات کشاورزی تأثیر زیادی بر منابع آب موجود در منطقه خواهد داشت. بالا بودن ردپای آب محصولات زراعی و باغی سبب افزایش شاخص تنش آبی در بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه شده و بیشتر محصولات با تنش آبی بالا مواجه هستند. از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد از منابع آبی توسط بخش کشاورزی مصرف می‌شود، افزایش تنش آبی در بخش کشاورزی بر امنیت غذایی دشت جیرفت تأثیرگذار خواهد بود به طوری که بالا بودن تنش آبی در بخش کشاورزی می‌تواند تولید محصولات کشاورزی را محدود کند و

تهدیدی برای امنیت آبی و غذایی در منطقه باشد. از بین شاخص‌های محاسبه شده در این تحقیق، شاخص AWSI با توجه به در نظر گرفتن منابع آب آبی، سبز و همچنین ردپای آب و وضعیت منابع آبی شاخص مناسب‌تری برای ارزیابی کمبود آب و تنش آبی در بخش کشاورزی در مناطق خشک می‌باشد. همچنین در این مطالعه، میزان مبادله آب مجازی محصولات بررسی شد که می‌تواند عاملی در تغییر الگوی کشت در منطقه باشد. با روند رو به افزایش کم‌آبی، اهمیت آب مجازی در امنیت غذایی دشت جیرفت که در وضعیت ممنوعه قرار دارد، پیوسته افزایش می‌یابد.

از این رو، نیاز اساسی به تغییر راهبردهای مدیریتی برای منابع آب و تغییر در الگوی تخصیص منابع آب وجود دارد. به طوری که در دشت جیرفت با در نظر گرفتن وضعیت منابع آبی و شاخص‌های کمبود آب گرایش به سمت تولید محصولاتی برود که به حفظ و مدیریت منابع آب موجود در دشت کمک کنند. همچنین نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان اطلاعاتی پایه برای مدیران و سیاست‌گذاران، جهت شناسایی محصولاتی که باید کشت آنها مدیریت شود، مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌گردد، در مطالعات آتی، اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و ردپای آب در محصولات عمده دشت جیرفت بررسی گردد تا در آینده بتوان در خصوص امنیت غذایی برنامه‌ریزی کرد. همچنین، پیشنهاد می‌گردد،



تحقیق فوق با تأکید بر امنیت آب و غذا و تغییر الگوی کشت  
در دشت جیرفت صورت گیرد.

## منابع

- امیری، ف.، ح. رفیعی و الف. محمودی. الف. ۱۴۰۰. بررسی تطابق الگوی صادرات آب مجازی با مزیت‌های رقابتی ایران. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۴۵، ص ۳۸۲-۳۹۷.
- بابازاده، ح. و م. سرایی تبریزی. ۱۳۹۱. ارزیابی وضعیت کشاورزی استان هرمزگان از دیدگاه آب مجازی. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب). سال ۲۶، شماره ۴، ص ۴۸۵-۴۹۹.
- دهقان‌پیر، ش.، الف. م. بذرافشان، ه. رضانی اعتدالی، ا. حلی ساز، ب. آبابایی. ۱۴۰۱. کاربرد مفهوم ردپای آب در ارزیابی کمبود و تنش آبی در بخش کشاورزی در استان هرمزگان. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. <https://doi.org/10.22098/MMWS.2022.11731.1163>
- محمدجانی، الف. و ن. یزدانیان. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. روند (روند پژوهش‌های اقتصادی). سال ۲۱، شماره ۶۶-۶۵، ص ۱۱۷-۱۴۴.
- Alamri, Y. and M.R. Reed. 2019. Estimating Virtual Water Trade in Crops for Saudi Arabia, American Journal of Water Resources, (7)1: 16-22.
- Allan, J.A. 1998. Virtual water: a strategic resource. Global solutions to regional deficits. Ground Water 36(4): 545-546.
- Bazarfshan, O., M. Yahyazadeh, S. Jamshidi and H. Zamani. 2022. Spatial prioritization of tomato cultivation based on water footprint, land productivity, and economic indices. Irrigation and Drainage, 71(5): 1363-1378.
- Cao, M., W. Mengyang, G. Xiangping, Z. Yalian, G. Yan, W. Nan and W. Weiguang. 2017. Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework. Science of the Total Environment, 609: 587-597.
- Cao, X., X. Huang, H. Huang, J. Liu, X. Guo, W. Wang. and D. She. 2018. Changes and driving mechanism of water footprint scarcity in crop production: A study of Jiangsu Province, China. Ecological Indicators, 95: 444-454
- Chapagain, A.K., A.Y. Hoekstra. 2008. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. Water international. 33(1):19-32.
- Falkenmark, M. 2001. The greatest water problem: the inability to link environmental security, water security and food security. International Journal of Water resources development, 17(4): 539-554.
- Hoekstra, A. Y., A.K. Chapagain and G. Zhang. 2015. Water footprints and sustainable water allocation. Sustainability, 8(1): 20.
- Hoekstra, A.Y. 2019. Green-blue water accounting in a soil water balance. Adv Water Resour 129:112-117.
- Hoekstra, A.Y. and A.K. Chapagain. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water resources management, 21: 35-48.
- Hoekstra, A.Y., P.Q. Hung. 2002. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade. Value of Water Research Report Series No. 11. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. 653: 241-252.
- Lenzen, M., D. Moran, A. Bhaduri, K. Kanemoto, M. Bekchanov, A. Geschke A. and B. Foran. 2013. International trade of scarce water. Ecological Economics. 94:78-85.
- Markus B., C. Jazmin, C. Mauro, D. Ianna, F. Silvia, K. Ervin, K. Annika, M. Natalia, N. Hamideh. 2021. Advancing the Water Footprint into an Instrument to Support Achieving the SDGs –



Recommendations from the “Water as a Global Resources” Research Initiative (GRoW). *Water Resources Management*, 35:1291–1298.

Mekonnen, M. M., and W. Gerbens-Leenes. 2020. The water footprint of global food production. *Water* 12(10): 2696.

Nouri, H., B. Stokvis, A. Galindo. 2019. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the Total Environment*. 653: 241–252.

Novoa, V., O. Rojas, R. Ahumada-Rudolph, J.L. Arumí, J. Munizaga, F. de la Barrera and C. Rojas. 2023. Water footprint and virtual water flows from the Global South: Foundations for sustainable agriculture in periods of drought. *Science of the Total Environment*, 18:161526.

Raskin, P., P. Gleick, P. Kirshen, G. Pontius and K. Strzepek. 1997. Water futures: assessment of long-range patterns and problems. *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. SEI.

Ren, D., Y. Yang, Y. Yang, K. Richards. And X. Zhou. 2018. Land-Water-Food Nexus and indications of crop adjustment for water shortage solution. *Science of the Total Environment*, 626:11-21.

Vallino, E., L. Ridolfi. and F. Laio. 2020. Measuring economic water scarcity in agriculture: a cross country empirical investigation. *Environmental Science and Policy*. 114: 73-85.

Verma, S., D. Kampman, P. Zaag and A. Hoekstra. 2014. Going against the flow: a critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's National River Linking Program. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 34: 261-269.

Xian L., S. Lijie, A. Bernie, S. Engel, Z. Xining, W. Pute, W. Yubao. 2020. New challenges of food security in Northwest China: Water footprint and virtual water perspective. *Journal of Cleaner Production*, 245: 1-14.

Zhuo, L., M.M. Mekonnen. and A.Y. Hoekstra. 2016. Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China-With a focus on crop production, consumption and trade. *Environ. Int. Journal envint*. 5(9): 36-49.