Research Paper

Evaluating Virtual Water Balance in Agricultural Part of Jiroft plain

Farkhondeh Arefizadeh[1], Mahdieh Amirinejad*[21], Elham Rafiei Sardooi[3], Ommolbanin Bazrafshan[4]

[1]-M.Sc. Student of Agroecology, University of Jiroft. Kerman, Iran, alirezaarefi78@gmail.com
[2]- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran, mamiri@ujiroft.ac.ir
[3]- Associate Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Kerman, Iran,ellrafiei@ujiroft.ac.ir
4- 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:** Mahdieh Amirinejad
Address: Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Kerman, Iran,
Email: 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.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال چهاردهم. شماره پنجاه و پنج . بهار۱۴۰۳

برآورد بیلان آب مجازی در بخش کشاورزی در دشت جیرفت

فرخنده عارفی زاده[۱]، مهدیه امیری نژاد*[۲]، الهام رفیعی ساردوئی[۳]، ام البنین بذرافشان[۴]

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 به‌ترتیب ۱۱ و ۱۴۱۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. متوسط ردپای آب کشاورزی دشت جیرفت به‌طور متوسط سالانه ۳۵۴ میلیون مترمکعب است؛ که سهم اب 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 به‌ترتیب 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 موردمطالعه 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.

[۱] دانشجوی ارشد اگرواکولوژی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران. alirezaarefi78@gmail.com
[۲] استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، کرمان،ایران. (نویسنده مسئول)
mamiri@ujiroft.ac.ir
[۳] دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران. ellrafiei@ujiroft.ac.ir
[۴] دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان ، بندرعباس،ایران.O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

مقدمه

دسترسی به آب شیرین به‌طور 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 برگرفته 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 به‌طورکلی به آب نیازمند است. برای ناحیهٔ کم آب، پذیرفتن سیاست محصول‌های تولیدی و صادراتی با نسبت میزان کمِ 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[1] (۲۰۱۹) تراز تجاری محصولات زراعی عربستان در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ موردبررسی 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، موردبررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که در خصوص مهم‌ترین محصولات صادراتی ایران یعنی پسته و زعفران، ارتباط کاملا منفی و معنی‌داری بین مزیت صادارتی و ارزش هر مترمکعب آب مجازی صادراتی ملاحظه می‌شود. بذرافشان و همکاران (۲۰۲۲) اجزای ردپای آب و ارزش اقتصادی آن

[1] Alamri & Reed

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[1] 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 ۲۰۱۸-۲۰۱۷ 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، ازجمله 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، 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، توسعهٔ استفادهٔ 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-محاسبهٔ 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-محاسبهٔ شاخص‌های خودکفایی و وابستگی آب در سطح دشت طی دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۹۸.

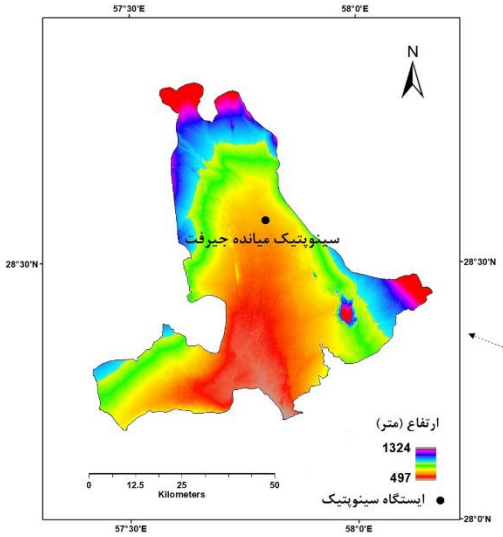
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

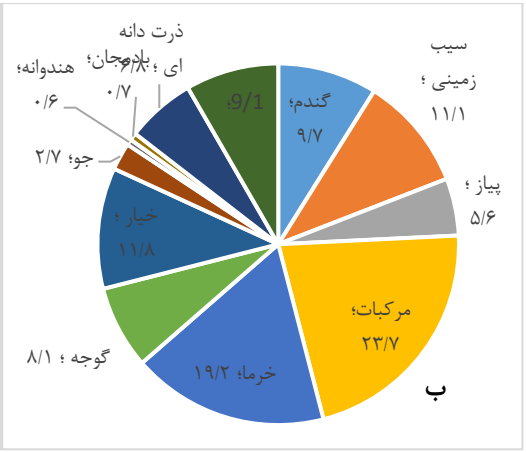
حوزه آبخیز دشت جیرفت بخشی از حوزه غربی جازموریان می‌باشد که بین طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۸ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی در جنوب شرقی ایران در استان کرمان واقع شده است. وسعت دشت جیرفت ۲۲۳۹/۲ کیلومتر مربع و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر 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 موردمطالعه 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 برگرفته 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 به‌ترتیب با سطح ۱۰۴۰۷۶/۵۰ (۲۳/۷۲ درصد) و

[1] Novoa
[2] Water footprint
[3] virtual water flows

۸۴۳۶۸/۵۰ هزار هکتار (۱۹/۲۳ درصد) و در بین محصولات زراعی و صیفی‌جات، محصولات زراعی (۳۰/۲۵ درصد) بیش‌ترین میزان سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است.



الف



ب

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 موردبررسی

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

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 دخیره 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 موردمطالعه برآورد می‌گردد.

$$WF_{Green} = \frac{(P_e) \times 10}{Y} \quad (۱)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e) \times 10}{Y} \quad (۲)$$

$$WF_{grey} = (a \times AR) / (C_{max} - C_{min}) \quad (۳)$$

WF_{Green}[1]ردپای آب سبز، WF_{Blue}[2]ردپای آب آبی، WF_{grey}[3] 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 مونتیث 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

[1] Water Footprint Green
[2] Water Footprint Blue
[3] Water Footprint Grey

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 حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه (مرجع) در ضریب گیاهی k_c به دست می‌آید:

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (۴)$$

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

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T+273} * u_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۵)$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع، K_c ضریب محصول، R_n ($mm\ day^{-1}$) 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 $m\ s^{-1}$، e_a فشار بخار اشباع kP_a، e_d فشار بخار واقعی kP_a، Δ شیب منحنی فشار بخار $KP_a\ ^0C^{-1}$ و γ ثابت پیزومتریک $KP_a\ ^0C^{-1}$.

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)[1] نسبت برداشت یا مصرف آب به مقدار منابع آب موجود است (Raskin et al., 1997).

$$WSI = \frac{WU}{AWR} \quad (۶)$$

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:

$$AWSI = \frac{AWF}{AWR} \quad (۷)$$

که در آن AWF ردپای آب محصولات کشاورزی و AWR منابع آبی در دسترس در یک منطقه است. AWR شامل منابع آب 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:

$$AWR = AWR_{blue} + AWR_{green} \quad (۸)$$

AWR_{blue} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$AWR_{blue} = AWR \times \frac{AWU}{WU} \quad (۹)$$

که در آن A مساحت اراضی قابل‌کشت 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:

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

[1] Water stress index
[2] Water use
[3] Available water resources
[4] Agricultural water stress index
[5] Agricultural water footprint

AWSI به شش گروه تقسیم‌بندی می‌شود: که در جدول این نوع طبقه‌بندی نشان داده شده است (Falkenmark et al, 2001).

کمبود آب آبی

کمبود آب آبی [1](BWS) با نسبت ردپای آب آبی WF_{Blue} به منابع آب آبی [2](WR_{Blue}) در یک منطقه مشخص می‌شود.

$$BWS = \frac{WF_{Blue}}{WRBlue} \quad (10)$$

فقر آب در بخش کشاورزی ([3]WP)

فقر آب در بخش کشاورزی عبارت است از حاصل ضرب کل ردپای آب در بخش کشاورزی [4](AWF) در شاخص تنش آب در بخش کشاورزی AWSI است.

$$\text{Water Deprivation} = AWF * AWSI \quad (11)$$

شاخص خودکفایی آب [5](WSS) و وابستگی [6](WD) در بخش کشاورزی

شاخص وابستگی آب در بخش کشاورزی، منعکس‌کننده اتکای یک منطقه به منابع آب خارجی از طریق واردات آب مجازی می‌باشد.WU کل آب تخصیص‌یافته برای تولید محصولات کشاورزی، [7]TNVWI کل واردات خالص آب مجازی منطقه، اگر این شاخص به ۱۰۰ درصد نزدیک باشد آن‌گاه آن منطقه تقریباً به‌طور کامل به واردات آب مجازی متکی است (Hoekstra and Hung, 2002).

$$WD = \frac{TNVWI}{WU + TNVWI} * 100 \quad (12)$$

نتایج و بحث

ردپای آب در بخش کشاورزی

در این پژوهش محصولات اصلی به سه دسته باغی، زارعی و صیفی و جالیزی تقسیم‌بندی می‌گردد. براساس نتایج به‌دست 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 می‌باشد و در گروه زراعی ذرت دانه‌ای، بالاترین عملکرد را نسبت به جو و گندم دارد؛ و در گروه باغی (نخیلات) با توجه‌به ردپای آب بالاتر، کم‌ترین عملکرد را نسبت به مرکبات دارد (جدول ۲). به‌طور کلی محصولات با ردپای آب (ردپای مجموع) بالاتر، عملکرد پایین‌تر و محصولات با ردپای آب پایین‌تر دارای عملکرد بالاتری می‌باشند

[1] Blue water scarcity
[2] Blue water resources
[3] Water poverty
[4] Agricultural water footprint
[5] Water self-sufficiency
[6] Water dependency
[7] Total net virtual water import

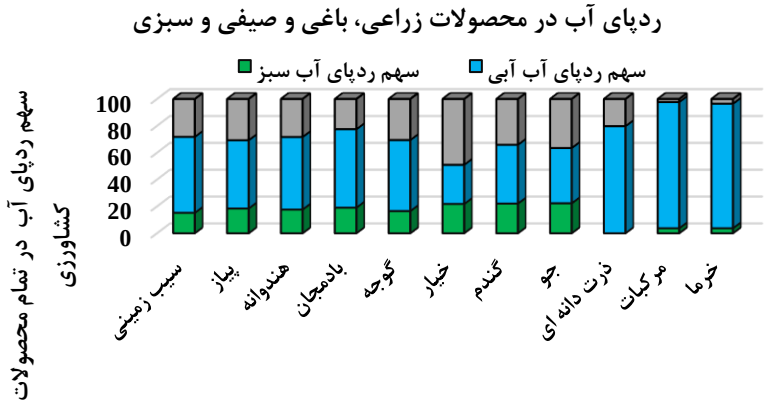
جدول (۲): اجزای ردپای آب در محصولات اصلی آبی دشت جیرفت

گروه محصولات	نام محصول	عملکرد (kg/ha)	عمق آب (mm) تبخیر و تعرق (mm)	باران مؤثر (mm)	نیاز خالص آبیاری (mm)	ردپای آب (m^3/ton) سبز	آبی	خاکستری	مجموع
صیفی و جالیزی	بادمجان	۲۲۴۷۰/۹۲	۳۶۶	۱۰۶	۳۲۵	۴۸/۵۶۴	۱۴۸/۸۹۸	۵۷/۲۶۸	۲۵۴/۷۲۹
	پیاز	۵۴۰۶۹/۴۶	۳۸۵	۱۲۰	۳۳۱/۲۵	۲۲/۴۳۷	۶۱/۹۳۴	۳۷/۳۹۴	۱۲۱/۷۶۵
	خیار	۲۵۴۱۱/۱۱	۱۸۴	۸۹	۱۱۸/۷۵	۳۶/۰۸۰	۴۸/۱۴۰	۸۱/۰۷۹	۱۶۵/۲۹۹
	گوجه‌فرنگی	۲۹۱۶۳/۰۶	۳۸۵	۱۰۸	۳۴۶/۲۵	۳۷/۷۸۰	۱۲۱/۱۲۳	۶۹/۹۶۳	۲۲۸/۸۶۶
	هندوانه	۲۹۷۹۳/۶۴	۳۶۶	۱۰۶	۳۲۵	۳۵/۹۵۶	۱۱۰/۲۴۱	۵۷/۶۶۵	۲۰۳/۸۶۱
	سیب‌زمینی	۲۵۹۲۵/۲۴	۴۲۹	۱۰۸	۴۰۱/۲۵	۴۲/۹۸۸	۱۵۹/۷۱۱	۷۹/۶۰۷	۲۸۲/۳۰۵
زراعی	جو آبی	۱۹۷۰/۲۵	۲۴۳	۱۰۷	۱۹۷/۲	۵۶۰/۵۴۵	۱۰۳۳/۰۷۹	۹۱۶/۷۷۹	۲۵۱۰/۴۰۳
	گندم آبی	۲۸۱۷/۷۱	۲۸۴	۱۲۰	۲۳۷/۸	۴۹۷/۱۷۳	۹۸۵/۲۳۲	۷۶۶/۴۷۵	۲۲۴۸/۸۸۱
	ذرت دانه‌ای	۷۴۸۶/۲۷	۶۳۰	۰	۷۸۷/۵	۰	۱۰۸۶/۴۹۷	۲۷۵/۹۳۶	۱۳۶۲/۴۳۲
باغی	مرکبات	۱۷۱۱۸/۸۶	۱۲۲۳	۶۲	۱۵۶۷/۳۵	۳۶/۵۷۲	۹۲۴/۵۳۸	۲۲/۲۹۷	۹۳۸/۴۰۸
	نخیلات	۶۶۱۰/۲۷	۱۴۱۳	۷۳	۱۸۰۹	۱۱۰/۴۷۹	۲۷۳۷/۷۵۷	۱۰۴/۴۲۵	۲۹۵۲/۶۶۱

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

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 آب آبی در محصولات باغی (مرکبات) با ۹۴/۰۱ مترمکعب بر تن و کم‌ترین میزان ردپای آب آبی ۲۹/۱۲ مترمکعب بر تن مربوطبه خیاراست و همچنین کمترین میزان آب خاکستری مربوطبه 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 (۳): سهم ردپای آب سبز و آبی و خاکستری در محصولات عمده زراعی و باغی دشت جیرفت

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 قابل‌توجه 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 توجه‌به اینکه بارش مؤثر نیز منطبق بر دوره‌ی رشد این محصولات است، لذا همواره ردپای این محصولات در جنوب پایین‌تر از متوسط کشوری است. به‌عنوان مثال ردپای محصول گوجه‌فرنگی در ایران ۲۷۳ m^3/tom است اما در جیرفت ۲۲۸ m^3/tom برآورد گردید. که از این مقدار در ایران ۴/۶ ٪ سهم آب سبز است، در حالی‌که در جیرفت سهم آب سبز ۱۶/۵٪ برآورد گردید. لذا تاریخ و فصل کشت تاثیر به‌سزایی در تغییر ردپای آب خواهد داشت.

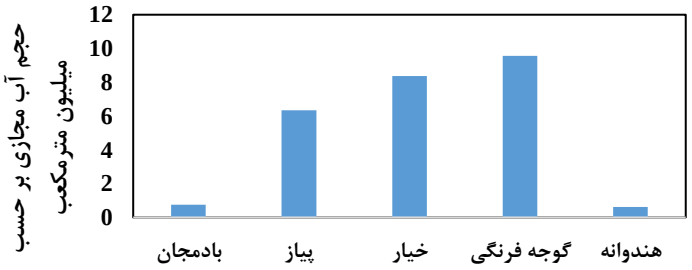
ردپای سایر محصولات در جیرفت بالاتر از میانگین ردپای کشور است.

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 دوره‌ی آماری نشان می‌دهد. براساس نتایج، کمترین حجم آب مجازی (۱۵ میلیون مترمکعب) مربوطبه سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ و بیش‌ترین آن مربوطبه سال ۹۲ تا ۹۴ (۶۳ میلیون مترمکعب) بوده است.

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

گروه محصولات	صیفی و جالیزی					جمع
نام محصول	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

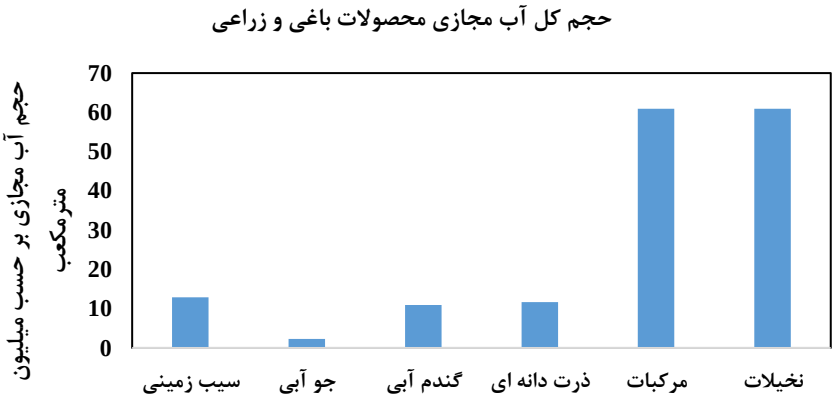
حجم کل آب مجازی محصولات جالیزی و صیفی



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

شکل ۵ بررسی حجم آب مجازی محصولات زراعی و باغی را نشان می‌دهد. کل حجم آب مجازی محصولات باغی ۳۱۷ 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 تقریبا یکسانی دارند. هر چه حجم آب مجازی یک محصول بیش‌تر باشد، نیاز آبی محصول بالاتر 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 اب مجازی در محصولات زراعی و باغی به ترتیب ۳۱۷ و ۱۲۷ میلیون مترمکعب است.



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)

گروه محصولات	زراعی				باغی		جمع محصولات باغی	جمع محصولات زراعی
نام محصول	سیب‌زمینی	جو آبی	گندم آبی	ذرت دانه‌ای	مرکبات	نخیلات		
۱۳۸۵-۸۶	۲۶/۳۸	۰/۴۶	۱۸/۴۹	۲۲/۱۴	۹۲/۷۳	۸۸/۶۷	۱۷۸/۰۳	۴۳/۳۸
۱۳۸۶-۸۷	۱۱/۲۸	۳/۹۵	۱۲/۸	۶/۳۵	۸۹/۷	۸۸/۳۳	۱۷۵/۸۸	۳۴/۳۸
۱۳۸۷-۸۸	۱۱/۲۸	۳/۹۵	۱۲/۸	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

جدول ۵ حجم آب مجازی در کل دوره آماری در دسته محصولات موردبررسی در دشت جیرفت نشان می‌دهد. کل حجم آب مجازی در دشت جیرفت مربوط ۳۵۴ میلیون مترمکعب است که سهم محصولات باغی ۶۶ درصدف 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 نمی‌کند. تغییر چندانی در حجم اب 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 دوره‌ی آماری در دسته محصولات موردبررسی

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 دوره‌ی 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

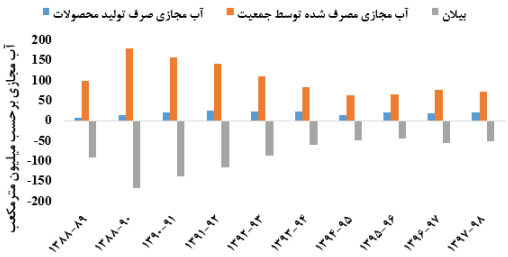
بیلان آب مجازی در دشت جیرفت

جهت بررسی بیلان 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 به‌صورت جداگانه محاسبه و برای تمامی محصولات برآورد گردید (جدول ۶). براساس نتایج در تمام سال‌های موردبررسی بیلان آب مجازی مثبت است یعنی میزان محصولات تولیدی بیش از نیاز منطقه است و بخش زیادی از آن را صادر می‌کند. متوسط بیلان 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 .

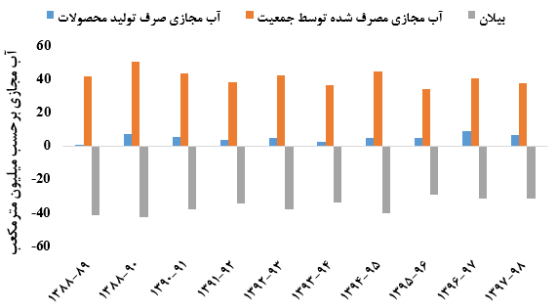
تغییرات سالانه بیلان آب مجازی شکل ۶ نشان می‌دهد، بالاترین میزان تجارت آب مجازی مربوط به سال ۱۳۹۴-۹۵ است که حجمی بالغ بر۲۳۴ میلیون مترمکعب بوده است. براساس نتایج بیلان آب مجازی محصولات تولیدی در منطقه (شکل۶)، جز در جو و گندم، در سایر محصولات خودکفاست و صادرکننده محسوب می‌شود. میزان آب مجازی صادر شده سالانه ناشی از صادرات مرکبات و نخیلات بطور متوسط ۸۸ میلیون مترمکعب است.

بر طبق شکل ۶، برای بیش‌تر محصولات در سال‌های پایانی روند آب مجازی به‌صورت 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

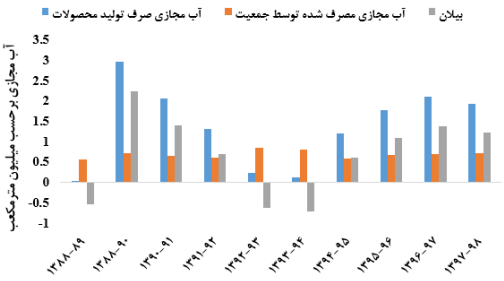
گندم



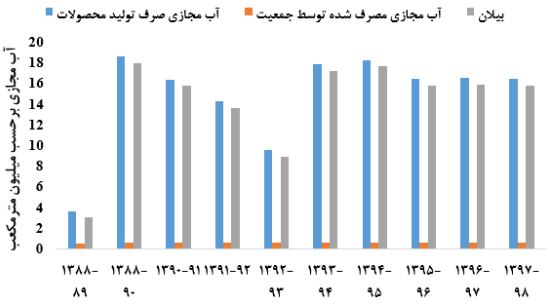
جو



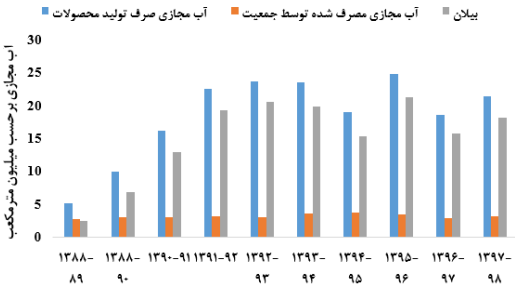
بادمجان



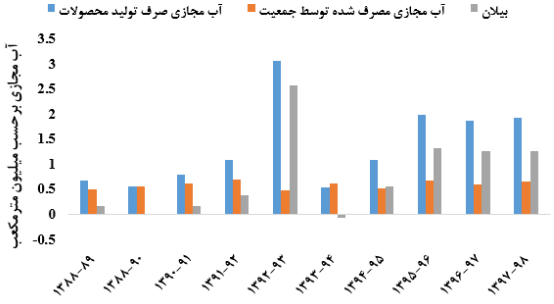
پیاز



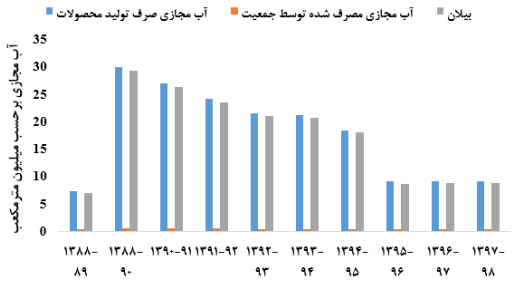
گوجه



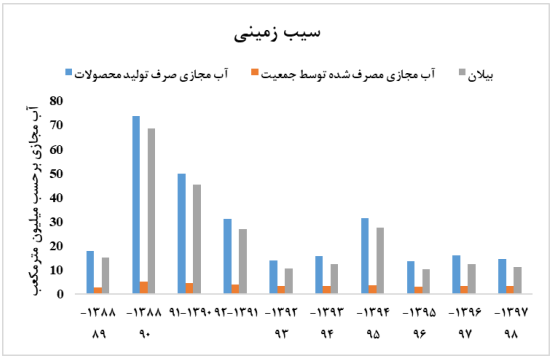
هندوانه

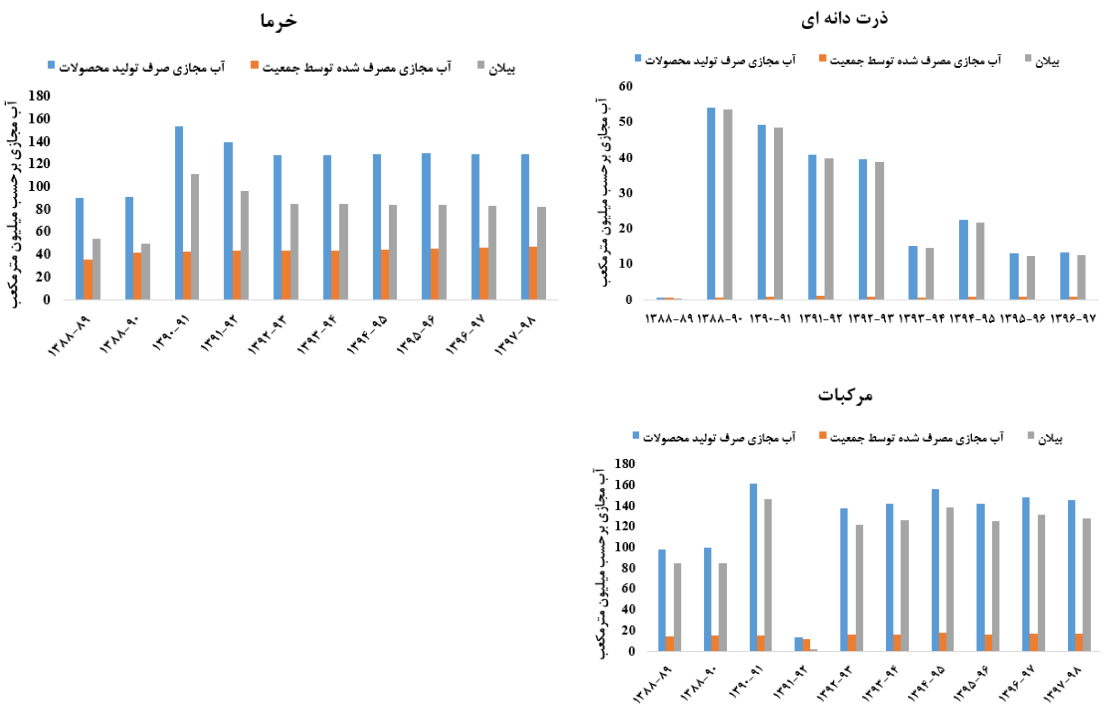


خیار



سیب زمینی





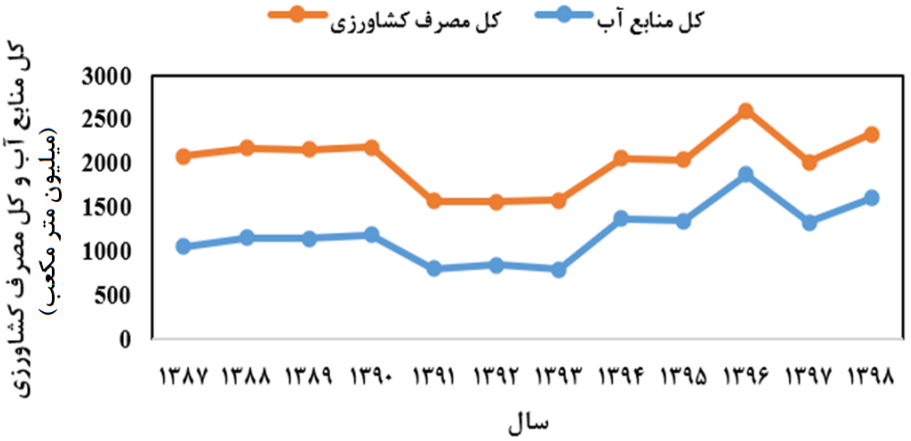
شکل (۶): بیلان آب مجازی در محصولات اصلی دشت جیرفت

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

سال آماری	جمعیت جیرفت	حجم آب مجازی مصرف‌شده توسط محصولات (میلیون مترمکعب)	حجم آب مجازی جمعیت (میلیون مترمکعب)	حجم آب مجازی صادرشده
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
۱۳۸۹-۱۳۹۰	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[1]) و کل منابع آب موجود در دسترس (AWR[2]) 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 ردپای 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

با توجه به شکل ۸ تغییرات زمانی شاخص منابع آب آبی و شاخص منابع آب سبز سالانه در دشت جیرفت طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، مقدار متوسط آن به ترتیب در طول دوره آماری برابر با ۱۴/۴۲ و

[1] Available water resources

[2] Agricultural water use

۱۰۷۰/۷۱ میلیون مترمکعب است. با توجه‌به 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 ۰/۳۷ و همواره طی این دوره میزان آن بالاتر از ۰/۲۱ 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 ۰/۸۴ و ۰/۷۷ است. ازآنجایی‌که بیش از ۶۵/۶ 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 کاملا از هم پیروی کنند.

هم‌چنین درسال 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 موردبررسی در کلاس تنش آبی بالا قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج میزان AWSI در هر سال بیش‌تر از ۰/۷ بوده که نشان می‌دهد که بخش کشاورزی با تنش آبی بالا مواجه است. با توجه‌به خشک و نیمه خشک بودن کشور ایران، استفاده از دو شاخص WSI و BWS به تنهایی برای ارزیابی وضعیت منابع آبی ممکن است میزان کمبود آب را به خوبی نشان ندهد. پس با توجه‌به در نظر گرفتن منابع آب آبی، سبز و هم‌چنین ردپای آب در شاخص AWSI، استفاده از این شاخص برای ارزیابی کمبود آب در مناطقه 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 تقریبا منطقه مورد مطالعه دچار کمبود آب و تنش آبی در بخش کشاورزی می‌باشد. و از آنجایی‌که درصد قابل توجهی از کل ردپای آب مربوط‌به 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 آنجایی‌که 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

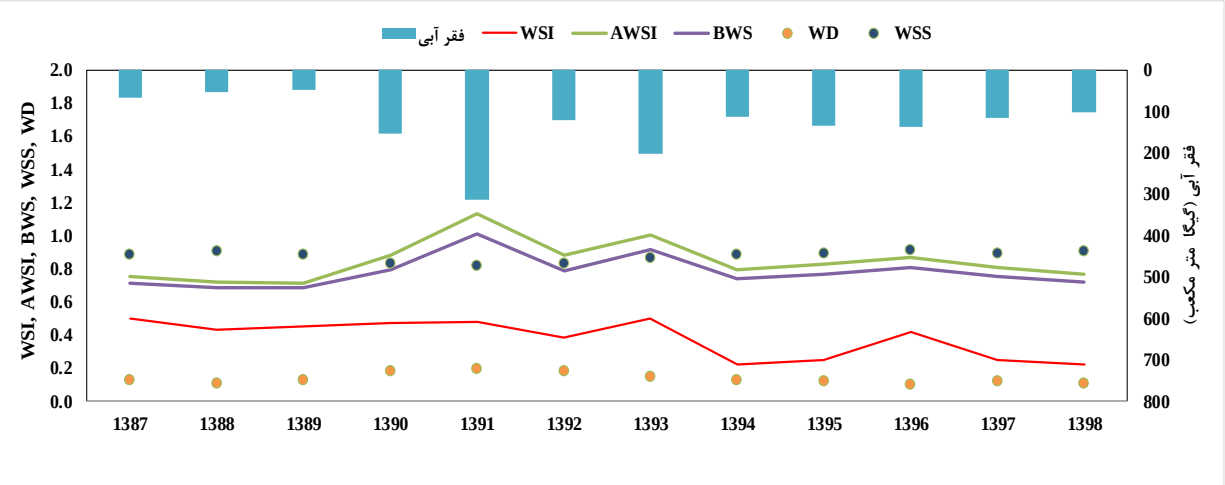
در شکل تغییرات فقر آب را به‌صورت سالانه در دشت جیرفت طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. براساس نتایج، مقدار متوسط آن در طول دوره آماری برابر با ۱۳۰/۲ گیگا مترمکعب است. با توجه‌به شکل از سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ فقر آب یک روند کاملاً افزایشی داشته است. کمترین میزان فقر آب مربوط به سال ۱۳۸۹ و برابر با ۰/۲۱ گیگا مترمکعب و بیش‌ترین میزان آن مربوط به سال ۱۳۹۱ و برابر با ۰/۶۳ گیگا مترمکعب می‌باشد. روند فقر آب به‌طور مستقیم با افزایش ردپای آب در بخش کشاورزی و AWSI مرتبط است. به گونه‌ای‌که 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

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 رابطهٔ 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 بالاقرار دارد که با نتایج دهقان‌پیر و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد.

تغییرات شاخص خودکفایی و وابستگی خالص صادرات

درحالی‌که تعاملات بین استان‌ها بسیار حیاتی است و درعین‌حال به‌راحتی 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 داخلش 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 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 کم‌تر 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 به‌صورت کامل در تأمین منابع آب برای سیستم تولید محصولات کشاورزی خودکفایی می‌باشد. به‌طور 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 دردشت جیرفت شده است. جیرفت با وجود دارا بودن متوسط بارش کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر و منابع آب محدود، خودکفا بوده و وابستگی به واردات آب مجازی پایینی دارند. به‌طورکلی 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. به‌عنوان نمونه در منطقه جازموریان مرکبات، خرما، گندم، جو، سیب‌زمینی و پیاز کشت می‌گردد

.



شکل (۸): تغییرات زمانی شاخص تنش آبی، تنش آبی کشاورزی، کمبود آب آبی، فقر 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 ۱۳۸۵-۱۳۹۸پرداخته 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. ازآنجایی‌که 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 به‌طوری‌که 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 توجه‌به 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 این‌رو، نیاز اساسی به تغییر راهبردهای مدیریتی برای منابع آب و تغییر در الگوی تخصیص منابع آب وجود دارد. به‌طوری 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 به‌عنوان 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 صادارت آب مجازی با مزیت‌های رقابتی ایران. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۴۵، ص ۳۹۷-۳۸۲.

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 ۴۹۹-۴۸۵.

دهقان‌پیر، ش.، الف. م. بذرافشان، ه. رمضانی 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 ۱۴۴-۱۱۷.

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 Quantifcation 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.