Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Application of the water footprint concept in the assessment of water scarcity and water stress in the agricultural sector in Hormozgan Province

Shahla Dehghanpir[1], Ommolbanin Bazrafshan[2*], Hadi Ramezani Etedali[3], Arashk Holisaz[4], Behnam Ababaei[5]

[1]Ph.D. Student, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural Science and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2]Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural Science and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[3]Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
[4]Assistant Professor, Department of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[5]Assistant Professor, College of Science and Engineering, James Cook University, Townsville, QLD 4811, Australia

Abstract

Introduction

Water is a basic element for human stability and social economic activities. However, water scarcity is one of the biggest problems facing many societies around the world. Today, many regions of the world are affected by water shortages. Population growth in the future has caused a greater demand for food, which has a direct impact on water consumption in the agricultural sector. Hormozgan province is in the south of Iran and has an arid and extra-arid climate, and the problem of lack of water resources is an important and undeniable fact. Therefore, it is necessary to investigate the changes in the agricultural water footprint and the lack of water resources for providing an optimized cultivation model to reduce the water footprint and preserve water resources. Based on this, the main goals of this research are: (1) Estimation of water footprint components of the agricultural section, (2) Calculation of water scarcity indicators including water stress, agricultural water stress, and Blue Water Scarcity (BWS), (3) Estimation of water poverty and (4) Calculation of self-sufficiency and water dependence indicators during from 2008 to 2019.

Materials and Methods

In this study, agricultural water footprint components, including green, blue, and gray water footprints were estimated based on the method described by Hoekstra et al (2007) in Hormozgan Province. Also, regional agricultural water shortage in this research is measured using the water stress index, agricultural water stress, water shortage, water poverty, self-sufficiency index, and water dependency, which is the known method for assessing water scarcity. The ratio of the use of water resources (water consumption) to the number of available water resources.

Hormozgan province has an area of about 68000 km^2, which is the eighth province of the country. In terms of climate condition, this province is located in the hot and dry region of Iran and its climate is influenced by desert and semi-desert climate. The average annual temperature of this area is about 27˚c. The average rainfall in Hormozgan province is 188 mm. Information related to cultivated area, production per unit area, yield, planting and harvesting dates, growth cycle length, fertilizer consumption for the studied agricultural products was prepared from the Agricultural Jihad Organization and the information related to water resources such as available water resources, total water consumption, water consumption in the agricultural sector in two sectors, surface and underground water of the province for the statistical period of 2017 to 2018 was prepared from the Regional Water Company of Hormozgan province. Also, information related to the population and per capita consumption of each product has been collected from the Program and Budget Organization.

Results and Discussion

The total volume of the water footprint of Hormozgan province is 1698.02 MCM, of which 1484.64 MCM (79.19 %) is blue water, 75.51 MCM (6.65 %) is green water, and 137.86 MCM (14.16 %) is related to gray water. The

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

average water resources available during the studied period is 2583.70 MCM, of which 1584.55 MCM is related to blue water resources and 999.15 MCM to green water resources. The comparison of water stress, agricultural water stress, and blue water scarcity indices in crop productions showed that the average WSI is 0.91 and its value is always higher than 0.85 during the study period, which shows that Hormozgan province facing severe and extreme water stress. The average AWSI and BWS during the studied period are 1.38 and 1.19. These indicators highlight the fact that Hormozgan Province is facing a critical level in terms of water shortage the agricultural production systems. The average water poverty in agricultural section is 4919.59 MCM. In the following, regarding the indicators of water dependency (39.21 %) and water self-sufficiency (60.79 %), despite the severe water shortage in Hormozgan Province, it has a high level of water self-sufficiency in the production of agricultural products. It is necessary to develop crops that have less water footprint by modifying the cultivation pattern.

Conclusion

Bluewater resources are the main water resources available in the agricultural sector in Hormozgan Province. This issue can be a reason for the high-water self-sufficiency index compared to the water dependency index. On the other hand, AWSI is higher than WSI, which indicates high water stress in the agricultural sector. Since the share of the blue footprint is more than other components of the water footprint, BWS is more than WSI. As a result, the water resources of this province are not rich and this province has high water poverty. However, the AWSI can reveal the situation of agricultural water shortages in arid agricultural areas more clearly. Strategies for agricultural development and water use formulation in the Iranian South-producing areas should be made based on the areas' AWSI performance. Moreover, 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.

Keywords: Water footprint, Water scarcity, Water stress, Water resources management

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

Citation: Dehghanpir, SH., Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Holisaz A., & Ababaei, B. (2023). Application of the water footprint concept in the assessment of water scarcity and water stress in the agricultural sector in Hormozgan Province. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 233-248.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11731.1163
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.15.3

Received: 02 November 2022, Received in revised form: 14 November 2022, Accepted: 14 November 2022, Published online: 14 November 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 1, pp. 233-248

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

کاربرد مفهوم ردپای آب در ارزیابی کمبود آب و تنش آبی بخش کشاورزی استان هرمزگان

شهلا دهقانپیر[۱]، ام‌البنین بذرافشان[۲*]، هادی رمضانی اعتدالی[۳]، ارشک حلی‌ساز[۴]، بهنام آبابایی[۵]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
[۲] دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
[۳] دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران
[۴] استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۵] استادیار، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه جیمز کوک، تاونزویل، استرالیا

چکیده

کشاورزی بخش کلیدی و مصرف کنندهٔ اصلی منابع آب شیرین دنیا است. درک روشنی از تقاضای آب در بخش کشاورزی برای تولید و مصرف محصولات و هم‌چنین کاهش تنش آبی برای رفع مشکلات کمبود آب، امری ضروری است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کمبود آب و تنش آبی در بخش کشاورزی استان هرمزگان با تأکید بر چارچوب ردپای آب صورت گرفته است. نتایج نشان داد در بین سه جز ردپای آب آبی، سبز و خاکستری، منابع آب آبی اصلی ترین منبع در تأمین آب در بخش کشاورزی است و از کل مقدار متوسط منابع آب ۲۵۸۳/۷۰ میلیون مترمکعب، ۱۵۸۴/۵۵ و ۹۹۹/۱۵ میلیون مترمکعب مربوط به منابع آب آبی و سبز است. از کل ردپای آب، سهم ردپای آب آبی، سبز و خاکستری به‌ترتیب ۸۶/۳۵، ۵/۰۷ و ۸/۵۸ درصد است. شاخص تنش آب آبی و کمبود آب آبی در بخش کشاورزی با مقدار متوسط ۱/۳۸ و ۱/۱۹ نشان داد که استان هرمزگان در سطح تنش آبی بسیار بالا و بحرانی قرار دارد. بالا بودن شاخص خودکفایی (مقدار متوسط ۶۱ درصد) نسبت به شاخص وابستگی آب (مقدار متوسط ۳۹ درصد) سبب افزایش فشار بر منابع آب زیرزمینی و سطحی در استان شده که علیرغم بالابودن شاخص خودکفایی در تولید محصولات کشاورزی، این استان دارای فقر آبی بالایی (متوسط ۴۹۱۹/۵۹ میلیون مترمکعب) است. در شاخص تنش آبی تنها ردپای آب آبی در نظر گرفته می‌شود، ولی در شاخص تنش آبی کشاورزی، ردپای آب سبز و خاکستری هم در نظر گرفته می‌شود، بنابراینمی‌توان گفت، برای بررسی کمبود آب در مقیاس منطقه‌ای، شاخص‌های تنش آبی کشاورزی و کمبود آب آبی مناسب‌تر و واقع‌بینانه‌تر هستند، به‌ویژه برای مناطق خشک و نیمه‌خشکی که عمدتاً آب آبی مهم‌ترین منبع آبی و ردپای آن نسبت به سایر اجزای ردپای آب زیاد است.

واژه‌های کلیدی: ردپای آب، تنش آبی، کمبود آب، مدیریت منابع آب

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

استناد: دهقانپیر، ش.، بذرافشان، ا.، رمضانی اعتدالی، ه.، حلی‌ساز، ا.، و آبابایی، ب. (۱۴۰۲). کاربرد مفهوم ردپای آب در ارزیابی کمبود آب و تنش آبی بخش کشاورزی استان هرمزگان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۲۳۳–۲۴۸.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11731.1163
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.15.3

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۱، صفحه ۲۳۳ تا ۲۴۸
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

آب یک عنصر اساسی برای پایداری انسان و فعالیت‌های اقتصادی اجتماعی است. با این وجود، کمبود آب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات پیش‌روی بسیاری از جوامع در سراسر جهان است. امروزه بسیاری از مناطق جهان تحت تأثیر کمبود آب قرار دارند. پیش‌بینی افزایش جمعیت جهان در آینده، موجب تقاضای بیش‌تر مواد غذایی که تأثیر مستقیمی بر مصرف آب در بخش کشاورزی دارد، شده است (Hoekstra and Mekonnen, 2012). علاوه‌بر این رشد جمعیت، تغییرات زیست محیطی، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و گسترش شهرنشینی موجب بهره‌برداری بیش‌تر منابع آب و در نتیجه کمبود آب شده است. تقاضای آب برای تولید محصولات کشاورزی روند روبه رشدی در سراسر جهان داشته است و ۹۰ درصد از آب مصرفی جهان را به خود اختصاص داده است (Hoekstra and Mekonnen, 2012). کمبود آب به وضعیتی گفته می‌شود که منابع آب برای تأمین نیازهای آبی کافی نباشد. این شرایط در نتیجهٔ نرخ بالای تقاضا از تمام بخش‌های مصرف کنندهٔ آب در مقایسه با عرضهٔ موجود اتفاق می‌افتد (Van Loon and Van Lanen, 2013).

کمبود و عدم توزیع یکنواخت آب شیرین برای حفظ سلامت و رفاه مردم و اکوسیستم‌هایی که در آن زندگی می‌کنند، یکی از مهم‌ترین چالش‌های باقی‌مانده در جهان است (Damkjaer and Taylor, 2017) . تقاضای برآورده نشده می‌تواند خود را به شکل تنش بین کاربران و یا ایجاد رقابت برای آب نشان دهد (FAO, 2010). کاهش کمبود منابع آب ناشی از تولید محصولات کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. برای درک فعالیت‌های انسان بر روی منابع آب، استفاده از شاخص‌هایی که رابطهٔ بین در دسترس بودن منابع آب و پایداری بهره‌برداری را مشخص می‌کند، به‌عنوان یک راه عملی پیشنهاد می‌شود. ردپای آب[1] و شاخص تنش آبی[2] از مهم‌ترین شاخص‌هایی هستند که به‌طور گسترده برای ارزیابی کمبود آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. تئوری ردپای آب و کاربردهای آن در کشاورزی، یک مبنای مهم راهبردی برای بهره‌برداری منطقی و توسعهٔ پایدار منابع آبی فراهم می‌کند. ردپای آب معیاری برای سنجش مصرف منابع آب شیرین است که علاوه‌بر مصرف مستقیم آب توسط یک تولید کننده یا مصرف کننده ، بلکه مصرف غیرمستقیم آب را نیز شامل می‌شود (Hung, 2002).

ردپای آب شامل سه جزء آب آبی، آب سبز و آب خاکستری است. Hung (2002) اجزاء ردپای آب را به این صورت تعریف کرد؛ ردپای آب آبی[3] مصرف منابع آب آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) در طی فرآیند تهیهٔ محصول اشاره دارد و ردپای سبز[4] به مصرف منابع آب سبز (آب باران) اشاره دارد. ردپای آب خاکستری[5] یک محصول به‌عنوان حجم آب شیرین مورد نیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود. شاخص تنش آبی اولین روش توسعه یافته توسط Falkenmark (2001) است که برآورد آن براساس نسبت میزان آب مصرف شده به منابع آب دردسترس است (Falkenmark, 2001; Raskin et al., 1997).

شاخص تنش آبی از نظر سطح به پنج طبقه تقسیم می‌شود، عدم تنش آبی، تنش آبی کم، تنش آبی متوسط ، تنش آبی بالا و تنش آبی بسیار بالا. بنابراین، ردپای آب و شاخص تنش آبی می‌توانند دید بهتر و جامعی از نحوهٔ ارتباط مصرف کننده یا تولیدکننده با مصرف منابع آب شیرین ارائه دهد (Hoekstra and Hung, 2005). پژوهش‌های زیادی در زمینهٔ ارزیابی کمبود آب براساس چارچوب ردپای آب و هم‌چنین شاخص‌های تنش آبی در بخش کشاورزی مانند Ababaei and Ramezani Etedali (2016)؛ Liu et al. (2017)؛ Xinchun et al. (2017)؛ Cao et al. (2018) و Fu et al. (2019) انجام شده است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در استان هرمزگان، تاکنون پژوهشی مشابه با روش پیشنهاد شده در رابطه با ارزیابی شاخصهٔ‌های کمبود آب براساس ردپای آب، فقر آب و تنش آبی انجام نشده است و اکثر مطالعات با رویکرد براورد ردپای آب در مقیاس منطقه‌ای و یا گروهی از محصولات کشاورزی مانند پژوهش Bazrafshan et al. (2018)؛ Bazrafshan et al. (2019) و Bazrafshan and Dehghanpir (2020) صورت گرفته است. Ababaei and Ramezani Etedali (2016) در زمینهٔ کمبود آب براساس چارچوب ردپای آب با شاخص تنش آبی در بخش کشاورزی پژوهشی انجام داده و به بررسی و برآورد مؤلفه‌های ردپای آب در تولید محصول گندم در ایران پرداختند. در این پژوهش مؤلفه‌های ردپای آب سبز (بارندگی مؤثر)، آب آبی (نیاز خالص آبیاری)، خاکستری (برای رقیق‌سازی کودهای شیمیایی) و سفید (تلفات آبیاری) در تولید گندم ۱۵ استان در سطح کشور برآورد شده است. نتایج نشان داده که ردپای آب سبز در تولید گندم تقریبا دو تا سه برابر مقدار آب آبی مصرف شده در این فرآیند است. مجموع حجم ردپای آب در تولید گندم کشور طی دورهٔ زمانی ۱۳۸۵ تا۱۳۹۰ به‌طور متوسط حدود ۴۲۱۴۳ میلیون مترمکعب در سال است که از این مقدار ۴۱ درصد مربوط به آب سبز، ۱۸ درصد آب آبی، ۱۶ درصد آب خاکستری و ۲۵ درصد آب سفید است.

[1] Water Footprint (WF)
[2] Water stress index (WSI)
[3] Water Footprint Blue (WF_{blue})
[4] Water Footprint Green (WF_{green})
[5] Water Footprint Grey (WF_{grey})

Liu et al. (2017) رویکردی را برای محاسبهٔ کمبود آب آبی و دیدگاه‌های تولید، مصرف و انتقال آب را در یک چارچوب واحد ارائه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین شاخص کمبود آب آبی در منطقهٔ آبیاری هتائو طی دورهٔ آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۱ برابر با ۰/۴۹۱ بوده که از آستانهٔ ۰/۳ بسیار بزرگ‌تر بوده و نشان‌دهندهٔ سطح تنش آبی بالا است. بنابراین، از نظر تولید، بخش کشاورزی بیش‌ترین سهم را در کمبود آب منطقه‌ای داشته و میانگین کمبود آب آبی به ۰/۴۷۹ رسیده است. از نظر مصرف، شاخص کمبود آب آبی مربوط به صادرات آب مجازی بسیار بزرگ‌تر از مصرف آب برای تولید محصولات مصرفی داخلی بوده و مقادیر آن به‌ترتیب ۰/۴۲۲ و ۰/۰۶۹ است. این شاخص تحت تأثیر انتقال فیزیکی و مجازی آب از ۰/۲۴۲ (سطح تنش آبی متوسط به بالا) به ۰/۴۹۱ (سطح تنش آبی بالا) تغییر کرده است. بنابراین، صادرات آب مجازی در مقایسه با واردات آب فیزیکی و مجازی، نقش مهمی در تأثیرگذاری بر کمبود آب منطقه‌ای و افزایش بهره‌وری آب محصول، کاهش حجم صادرات محصول و یا تعدیل الگوی تجارت از محصولات پرآب به کم آب داشته است. این موارد می‌توانند اقدامات عملی برای کاهش صادرات آب مجازی و تنش آبی باشند، در حالی‌که باید مبادلات در مناطق مصرف کننده محصول در نظر گرفته شود. Xinchun et al. (2017) کمبود آب در سیستم تولید محصولات کشاورزی را بر اساس ردپای آب و منابع آب، مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بیان کردند که برای نشان دادن کمبود آب در تولید محصولات کشاورزی، لازم است یک شاخص بر اساس چارچوب ردپای آب آبی و سبز تعیین شود. در این پژوهش شاخص تنش آب کشاورزی[1]بر اساس منابع آب آبی و سبز در چین طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۴ مورد تحلیل قرار گرفته است. شاخص AWSI به‌عنوان نسبت ردپای آب کشاورزی[2]به منابع آب موجود[3] تعریف می‌شود. این شاخص نشان‌دهندهٔ توانایی منابع آب منطقه‌ای در برآورد منابع آب مورد نیاز برای تولید محصولات کشاورزی است. نتایج این پژوهش نشان داده که کمبود آب در جنوب چین از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۴ افزایش یافته است و هم‌چنین AWSI برای بیان کمبود آب منطقه‌ای به‌ویژه در مناطق خشک نسبت به شاخص تنش آبی و یا شاخص کمبود آب آبی مناسب است. آن‌ها پیشنهاد کردند کشور چین باید با استفاده از کاهش ردپای آب محصول، استفاده پایدار از منابع آب کشاورزی را تضمین کند.

Cao et al. (2018) شاخص کمبود ردپای آب را بر مبنای منابع آب آبی و سبز در استان جیانگ سو کشور چین طی دورهٔ آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵ مورد مطالعه قرار دادند. این شاخص را به‌عنوان نسبت استفاده از آب به کل منابع آب در دسترس تعریف کردند. در این تحقیق سه منطقه در جنوب، مرکز و شمال این استان برای مطالعهٔ الگوی مکانی و زمانی WFS انتخاب شد. ردپای آب خاکستری ۲۲/۲ درصد از ردپای کل استان را تشکیل می‌دهد که بیش‌تر از ردپای آبی (۶/۱ درصد) است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که شاخص کمبود آب دارای روند افزایشی بوده و متوسط آن از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵ برابر با ۲/۲۶ درصد است. در پایان بیان کردند که در بخش کشاورزی مدیریت منابع آب می‌تواند با کمک WFS در سراسر جهان اجرا شود. نتایج پژوهش Bazrafshan et al. (2018) نشان داد که در بین محصولات مورد بررسی در استان هرمزگان، با در نظر گرفتن راندمان آبیاری، نخیلات، جو آبی و سیب‌زمینی به‌ترتیب با ۹۸/۸، ۴۳/۷ و ۵/۱ میلیون مترمکعب، دارای بیش‌ترین مقدار حجم آب مجازی مبادلاتی هستند. حجم آب مجازی گروه سبزیجات و نخیلات ۰/۰۷ و ۳/۸ مترمکعب آب به ازای هر کیلوگرم محصول تولیدی است که به‌ترتیب در دستهٔ محصولات کم و پرمصرف قرار می‌گیرند. هم‌چنین مقدار صادرات و واردات آب مجازی محصولات مورد بررسی در استان هرمزگان به‌ترتیب ۲۰۴۳۴/۲و ۱۱۲۰/۹میلیون مترمکعب بوده که به‌ترتیب دارای ارزش ۲۱۲۲/۸ و ۱۳۳/۱ میلیون ریال هستند. این در حالی است که استان هرمزگان دارای پتانسیل کمی در استفاده از آب سبز بوده است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود الگوی کشت استان با در نظر گرفتن ذخیرهٔ آب سبز و معرفی محصولات مقاوم به کم‌آبی پیش رود و با تأکید بر تولید محصولات با نیاز آبی کم‌تر و سود بیش‌تر، فشار بر منابع آبی استان را کاهش داده تا بتوان به امنیت بلندمدت غذایی و کشاورزی پایدار در استان رسید.

Bazrafshan and Gerkani Nezhad Moshizi (2018) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی ردپای آب محصول گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان تحت تغییرات اقلیمی طی دورهٔ آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ پرداختند. نتایج نشان داد که متوسط وزنی ردپای آب در تولید گوجه‌فرنگی ۰/۹۳۶ مترمکعب در کیلوگرم بوده که بیش‌ترین و کم‌ترین ردپای آب مربوط به شهرستان‌های جاسک و بستک با مقدار ۱/۵۴ و ۶۶/ ۰مترمکعب برکیلوگرم است. متوسط حجم ردپای صادراتی آب مجازی گوجه‌فرنگی ۱۰/۸ میلیون مترمکعب با ارزش ۲۸ میلیون ریال است که بالاترین و کم‌ترین سهم را به‌ترتیب شهرستان بندرعباس و بشاگرد داشته‌اند. تغییرات زمانی ردپای آب نشان می‌دهد که روند ردپای آب در بخش مرکزی رو به کاهش و در سایر بخش‌ها

[1] Agricultural water stress index (AWSI)
[2] Agricultural wate footprint
[3] Water Resources Available

فاقد روند معناداری است. این در حالی است که متغیر ساعات آفتابی نیز رو به کاهش بوده و از بین عوامل غیراقلیمی، روند عملکرد در بخش مرکزی افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد، بنابراین روند تغییرات ردپای آب را می‌توان بـه عوامـل غیراقلیمـی مرتبط دانست.

Fu et al. (2019) اجزای ردپای آب و فشار کمبود آب را برای محصولات اصلی استان شاندونگ واقع در کشور چین طی دورهٔ آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ محاسبه کردند و به ارزیابی تنش آبی برای محصولات کشاورزی در این استان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داده که تولیدات کشاورزی در اکثر مناطق استان با خطر کمبود آب مواجه است. بنابراین، اصلاح ساختار کشت محصولات کشاورزی در این استان بر اساس منابع آب محلی ضروری است. Bazrafshan et al. (2019) به ارزیابی مؤلفه‌های ردپای آب در مرکبات تحت تأثیر عوامل اقلیمی و غیراقلیمی در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد محصول، مهم‌ترین عامل در تغییر زمانی ردپای آب مرکبات است. هم‌چنین نتایج نشان داد که روند ردپای آبی، خاکستری و سفید در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ افزایش چشم‌گیری داشته است. این پژوهش رویکردهای عملی را برای مدیران و سیاست‌گذاران منطقهٔ کشاورزی برای مدیریت ردپای آب ارائه و به بهینه‌سازی مصرف آب و کشت مرکبات در مقیاس منطقه‌ای کمک می‌کند. Bazrafshan and Dehghanpir (2020) به برآورد ردپای آب، ارزش اقتصادی ردپای آب و تجارت آب مجازی در سطح شهرستان‌های استان هرمزگان و اولویت‌بندی تولید مرکبات با استفاده از ردپای آب و ارزش اقتصادی ردپای آب است. نتایج نشان داد که میانگین ردپای آب ۱/۷۴ مترمکعب بر کیلوگرم و سهم ردپای آبی سبز، آبی و خاکستری ۶، ۷۸ و ۱۶ درصد است. در سطح شهرستان کم‌ترین و بیش‌ترین میزان ردپای آب به‌ترتیب در رودان (۱/۲۲ مترمکعب بر کیلوگرم) و بشاگرد (۲/۷۹ مترمکعب بر کیلوگرم) است. ارزش اقتصادی ردپای آب ۰/۴۰۹-۰/۱۷۹مترمکعب بر دلار است. توزیع نامناسب کشت در شهرستان‌ها منجر به کاهش ارزش اقتصادی ردپای آب در استان (۰/۳ دلار در مترمکعب) شد. تجارت آب مجازی نشان داد که هرمزگان در تولید مرکبات خودکفا بوده و می‌تواند سالانه ۳۱۷/۶۱ میلیون مترمکعب آب مجازی به سایر مناطق صادر کند. در نهایت، نتایج نشان داد که شهرستان‌های رودان و بشاگرد در رتبهٔ اول و آخر در سطح شهرستان در تولید مرکبات قرار دارند.

محدودهٔ جغرافیایی استان هرمزگان منطبق بر بخش جنوبی ایران و دارای اقلیم خشک و فراخشک بوده و از جمله مناطقی است که تغییرات شرایط جوی در آن بسیار محسوس است. هم‌چنین مشکل کمبود منابع آب و بارش یک واقعیت مهم و غیرقابل چشم‌پوشی در مناطق خشک مانند استان هرمزگان محسوب می‌شود که باعث شده این استان دارای پتانسیل کمی در استفاده از آب سبز باشد. با توجه به این‌که تولید محصولات کشاورزی در استان هرمزگان به شدت به آب آبیاری به‌صورت مستقیم وابسته است، این مسأله موجب تلفات قسمت زیادی از منابع آب در بخش کشاورزی شده است. بنابراین، بررسی روند تغییرات ردپای آب و هم‌چنین وضعیت کمبود منابع آبی به‌منظور ارائه الگوی کشت مناسب برای کاهش ردپای آب و حفظ منابع آبی استان امری ضروری است. روش پیشنهادی برای بهبود بهره‌وری کشاورزی، کاهش تنش آب ، مقابله با کمبود منابع آب ناشی از تولید محصولات کشاورزی، توسعهٔ استفادهٔ پایدار از منابع آبی در استان هرمزگان بسیار مناسب است. بر همین مبنا اهداف اصلی پژوهش حاضر شامل: ۱- برآورد اجزاء ردپای آب محصولات کشاورزی در استان هرمزگان، 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 استان هرمزگان، ۴- محاسبهٔ شاخص‌های خودکفایی و وابستگی آب در سطح استان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

استان هرمزگان در بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقهٔ طول شرقی واقع شده است. این استان حدود ۶۸ هزار کیلومتر مربع مساحت دارد که از این نظر هشتمین استان کشور است. این استان از نظر آب و هوایی در منطقهٔ گرم و خشک ایران قرار گرفته و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی است. دمای متوسط سالانهٔ این منطقه حدود ۲۷ درجهٔ سلسیوس است. متوسط بارش در استان هرمزگان ۱۸۸ میلی متر است. اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت (هکتار)، تولید در واحد سطح (تن)، عملکرد (تن در هکتار)، تاریخ کاشت و برداشت، طول دورهٔ رشد، میزان مصرف کود (کیلوگرم در هکتار) برای محصولات کشاورزی مورد مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی و اطلاعات مربوط به منابع آبی مانند منابع آب در دسترس[1]، کل مصرف آب[2] مصرف آب در بخش کشاورزی[3] در دو بخش، آب‌های سطحی و زیرزمینی استان برای دورهٔ آماری

[1] Available Water Resources (AWR)
[2] Water Use (WU)
[3] Available Water in Agriculture Sector (AWU)

۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ از شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان تهیه شد. هم‌چنین اطلاعات مربوط به جمعیت و سرانه مصرف هر یک از محصولات به‌طور متوسط از سازمان برنامه و بودجه جمع‌آوری شده است. اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، تولید، عملکرد و نیاز آبی محصولات مورد مطالعه در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲ – ارزیابی ردپای آب

در این پژوهش، اجزای WF شامل ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید محصولات کشاورزی در استان هرمزگان بر اساس روش توصیف شده توسط Hoekstra et al. (2011) برای دورهٔ آماری مورد مطالعه برآورد شد. ردپای آب سبز محصولات کشاورزی از طریق رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود که در آن P_e؛ مجموع بارندگی مؤثر در طول دورهٔ رشد گیاه به میلی‌متر که با استفاده از روش USDA-SCS (Fu et al., 2019) برآورد شد. ET_c؛ تبخیر و تعرق هر گیاه به میلی‌متر، Y؛ عملکرد هر محصول به تن در هکتار است. ردپای آب آبی هم مانند، ردپای آب سبز با استفاده از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود با این تفاوت که تبخیر و تعرق محصول هم در نظر گرفته می‌شود (Hoekstra et al., 2011).

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

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

WF_{Grey} با استفاده از رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود که در آن a؛ درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR؛ مقدار مصرف کود نیتروژن برای هر محصول (کیلوگرم در هکتار)، C_{max}؛ حداکثر غلظت قابل قبول نیتروژن (کیلوگرم در مترمکعب)، C_{Nat}؛ غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده (کیلوگرم در مترمکعب)، a به‌صورت یک ضریب و در شرایط آبی ۱۰ درصد و در شرایط دیم پنج درصد در نظر گرفته می‌شود (Chapagain et al., 2006) در محاسبهٔ ردپای آب خاکستری، تنها از کود نیتروژن استفاده شده است.

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

تبخیر و تعرق گیاه ET_c بر حسب $mmday^{-1}$ از حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه (مرجع) در ضریب گیاهی K_c (رابطهٔ ۴) به‌دست می‌آید:

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (۴)$$

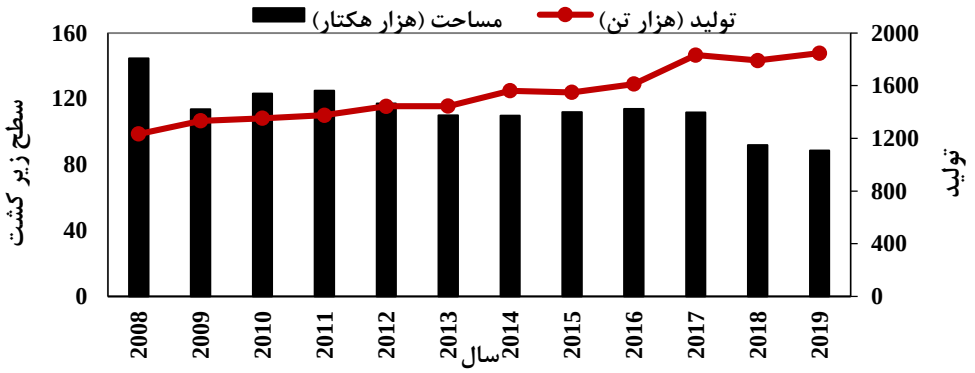
رابطهٔ (۴) یعنی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش FAO-Penman Monteith ارائه شده توسط Allen (1998) محاسبه شد که در آن ET_c تبخیر و تعرق گیاه مرجع K_c ضریب محصول R_n تابش خالص بر سطح گیاه ($MJ\ M^{-2}\ d^{-1}$)، G جریان گرمای خاک ($MJ\ M^{-2}\ d^{-1}$)، T میانگین دمای هوا بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد، U_2 سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع دو $m\ s^{-1}$، e_a فشار بخار اشباع kP_a، e_d فشار بخار واقعی KPa، Δ شیب منحنی فشار بخار KPa^0C^{-1} و γ ثابت پیزومتریک KPa^0C^{-1}.

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

جدول ۱- متوسط سطح زیر کشت، تولید و عملکرد محصولات کشاورزی مورد مطالعه در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸

Table 1- The average cultivated area, production, and yield of agricultural products studied in Hormozgan Province during the statistical period of 2008 to 2019

محصول	کشت آبی			کشت دیم			عمق آب (میلی‌متر)			
	مساحت	تولید	عملکرد	مساحت	تولید	عملکرد	مصرف کود	نیاز خالص آبیاری	باران موثر	تبخیر و تعرق
	هزار هکتار	هزار تن	(تن در هکتار)	هزار هکتار	هزار تن	(تن در هکتار)	(کیلوگرم بر هکتار)			
گندم	12.65	47.67	3.77	0	0	0	240/14	361.63	97	264.63
جو	1.30	2.91	2.23	0	0	0	192.99	320.81	93.94	226.88
ذرت دانه‌ای	5.49	33.14	6.20	0	0	0	439	787	0	787
خیار	5.61	106.32	19.90	0	0	0	328.08	349.29	86.71	262.57
پیاز	9.97	256.21	26.53	0	0	0	358.87	496.26	96.16	400.11
سیب‌زمینی	0.57	15.21	27.18	0	0	0	356	370.83	92.50	278.33
گوجه‌فرنگی	14.05	428.51	30.82	0	0	0	369	508.18	94.41	413.76
هندوانه	6.86	157.71	23.34	0	0	0	231.75	463.94	0	463.94
یونجه	0.58	5.67	9.34	0	0	0	149.39	1411.33	93.50	1317.83
خربزه	0.82	17.59	31.85	0	0	0	150	539	44.63	494.38
مرکبات	24.04	333.31	17.61	0	0	0	200	1119.81	86.81	1033
نخیلات	29.76	125.50	4.33	3.01	3.55	1.18	150	1539.76	57.43	1482.33



شکل ۱- متوسط سطح زیر کشت و تولید محصولات کشاورزی مورد مطالعه در استان هرمزگان طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸

Figure 1- The average area under cultivation and the production of agricultural products studied in Hormozgan pProvince during the statistical period 2008 to 2019

۲-۳ – شاخص تنش آبی و تنش آبی در بخش کشاورزی

کمبود آب منطقه‌ای کشاورزی در این پژوهش با WSI اندازه‌گیری می‌شود. روش شناخته شده برای محاسبهٔ WSI، نسبت استفاده از منابع آب (مصرف آب) به میزان منابع آب موجود است (Raskin et al., 1997): که در رابطهٔ (۶)، WU و AWR به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ مصرف آب و منابع آب موجود بر حسب مترمکعب هستند.

$$WSI = \frac{WU}{AWR} \qquad (۶)$$

AWSI در یک منطقه به‌عنوان نسبت کل ردپای آب زراعی به قابل دسترس بودن منابع آب کشاورزی در یک دورهٔ معین تعریف می‌شود. با اشاره به این روش، AWSI برای سیستم تولید محصولات کشاورزی که مبتنی بر منابع آب آبی و سبز و چارچوب ردپای آب است ، به شرح زیر است:

$$AWSI = \frac{AWF}{AWR} \qquad (۷)$$

که در آن، AWF ردپای آب منطقه‌ای کشاورزی است، که مجموعه‌ای از ردپای آب برای همهٔ انواع محصولات زراعی بر حسب مترمکعب و AWR منابع آبی است که برای تولید محصولات زراعی (از جمله کلیهٔ محصولات اولیهٔ زراعی) در یک منطقه تهیه شده است.

AWR شامل در دسترس بودن منابع آب آبی یا به اصطلاح متعارف (AWR_{Blue}) و در دسترس بودن منابع آب سبز یا به اصطلاح بارش مؤثر (AWR_{Green}) مانند موارد زیر است:

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

AWR_{blue} به‌صورت زیر محاسبه می‌شود: که در آن AWR کل منابع آب در دسترس منطقه‌ای بر حسب مترمکعب است. همچنین AWU و WU به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ منابع آب مصرفی در بخش کشاورزی و کل منابع آب مصرف‌شدهٔ منطقه‌ای هستند. AWR_{green} به میزان بارش مؤثر سالانه اشاره دارد و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود: که در آن ، A مساحت اراضی زراعی منطقه‌ای قابل کشت برحسب متر مربع و Pe بارش مؤثر سالانه بر حسب میلی‌متر، که به‌عنوان روش توصیه شده در مدل US Department به شرح زیر برآورد شده است (FAO, 2010):

$$AWR_{blue} = AWR * \frac{AWU}{WU} \qquad (۹)$$

$$AWR_{green} = 10 * A * P_e \qquad (۱۰)$$

$$P_e = \begin{cases} P * \left(\frac{4.17 - 0.02 * P}{4.17}\right), & P < 83 \\ (41.7 + 0.1 * P), & P \geq 83 \end{cases} \qquad (۱۱)$$

۲-۴- کمبود آب آبی

کمبود آب آبی با نسبت ردپای آب آبی WF_{blue} به AWR منابع آبی در دسترس (شامل تمامی محصولات زراعی) در یک منطقه طبق رابطهٔ (۱۲) مشخص می‌شود.

$$BWS = \frac{WF_{Blue}}{AWR} \qquad (۱۲)$$

جدول ۲ طبقه‌بندی تنش آبی، تنش آبی در بخش کشاورزی و کمبود آب آبی را نشان می‌دهد.

۲-۵- فقر آب

فقر آب از طریق حاصل‌ضرب ردپای آب AWF در AWSI طبق رابطهٔ (۱۳) تعیین می‌شود.

$$Water\ Deprivation = AWF * AWSI \qquad (۱۳)$$

۲-۶- شاخص وابستگی به آب

شاخصی که منعکس کنندهٔ اتکای یک منطقه به منابع آب خارجی از طریق واردات آب مجازی است.WU کل آب تخصیص یافته برای تولید محصولات کشاورزی، TNVWI کل واردات خالص آب مجازی منطقه است. اگر این شاخص به ۱۰۰ درصد نزدیک باشد آن‌گاه منطقه تقریبا به‌طور کامل به واردات آب مجازی متکی است.

$$WD = \frac{TNWI}{WU + TNWI} * 100 \qquad (۱۴)$$

۲-۷- شاخص خودکفایی آب

شاخص خودکفایی آب نشان‌دهندهٔ توانایی ملی برای تأمین آب مورد نیاز برای تولید داخلی است. اگر این شاخص به صفر نزدیک شود یعنی یک منطقه به شدت به وارد کردن آب به‌صورت مجازی متکی است. اطلاعات کلی از وضعیت منابع آب و تولید کشاورزی در جدول ۳ در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان داده شده است.

$$\mathrm{WSS} = 100 - \mathrm{WD} \qquad (۱۵)$$

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص تنش آبی، کمبود آب آبی و تنش آبی در بخش کشاورزی (Pfister et al., 2009; Xinchun et al., 2017)

Table 2-Water stress index (WSI) Classification, blue water scarcity and Water Stress Index in Agriculture section (AWSI) (Pfister et al., 2009, Xinchun et al., 2017)

دسته‌بندی	شاخص تنش آبی	شاخص تنش آبی کشاورزی و کمبود آب آبی
بدون تنش آبی	0-0.15	0–0.15
تنش آبی پایین	0.16–0.3	0.16–0.3
تنش آبی متوسط	0.3–0.6	0.31–0.6
تنش آبی بالا	0.61–0.8	0.61–1.2
تنش آبی بسیار بالا	0.81–0.9	1.21–1.9
تنش آبی بحرانی	>0.91	>1.9

جدول ۳- وضعیت منابع آب در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷–۱۳۹۸

Table 3- Water resources of Hormozgan Province during 2008-2019

سال	منابع آب (میلیون مترمکعب)		سرانهٔ منابع آب	سرانهٔ تولید
	آب آبی	آب سبز	مترمکعب	تن
1387	1667.63	870.92	1429.36	0.69
1388	1577.74	1095.50	1505.20	0.75
1389	1568.70	985.33	1438.08	0.76
1390	1554.53	984.87	1429.84	0.77
1391	1553.15	933.15	1399.95	0.81
1392	1581.54	921.38	1409.30	0.81
1393	1519.51	1100.51	1475.23	0.88
1394	1563.28	1077.67	1487.02	0.87
1395	1532.22	862.87	1348.59	0.91
1396	1443.14	1078.56	1419.88	1.03
1397	1532.18	846.55	1339.38	1.01
1398	1921.03	1232.45	1775.61	1.04

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ردپای آب در بخش کشاورزی

متوسط حجم اجزاء ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی در استان هرمزگان در جدول ۴ طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان داده شده است. کل حجم ردپای آب در استان هرمزگان ۱۶۹۸/۰۲ میلیون مترمکعب است که، ۱۴۸۴/۶۴ میلیون مترمکعب آن مربوط به آب آبی، ۷۵/۵۱ میلیون مترمکعب مربوط به آب سبز و ۱۳۷/۸۶ میلیون مترمکعب مربوط به آب خاکستری است، که ۷۹/۱۹ درصد مربوط به آب آبی و ۶/۶۵ و ۱۴/۱۶ به‌ترتیب مربوط به ردپاهای سبز و خاکستری هستند. در طول دورهٔ آماری مورد بررسی، ردپای آب آبی و بعد از آن به‌ترتیب ردپای آب خاکستری و آب سبز بیش‌ترین سهم از ردپای آب را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در بین محصولات کشاورزی مورد مطالعه بیش‌ترین مقدار ردپای آب آبی مربوط به محصولات باغی شامل نخیلات با مقدار ۶۹۶/۶۶ و مرکبات با مقدار ۳۹۵/۱۹ میلیون مترمکعب و کم‌ترین ردپای آب آبی مربوط به سیب‌زمینی با مقدار ۲/۷۸ و هم‌چنین جو با مقدار ۵/۱۵ میلیون مترمکعب است. هم‌چنین نتایج نشان داد که محصولات گوجه‌فرنگی و یونجه با مقدار ۲۵/۹۲ و ۰/۴۳ به‌ترتیب بیش‌ترین میزان و کم‌ترین میزان ردپای آب خاکستری را به خود اختصاص داده‌اند. در رابطه با ردپای آب سبز بیش‌ترین میزان آن طی دورهٔ آماری مورد مطالعه مربوط به مرکبات با مقدار ۱۹/۹۸ میلیون مترمکعب و کم‌ترین آن مربوط به محصولات ذرت دانه‌ای و هندوانه با مقدار صفر میلیون مترمکعب است.

جدول ۴- حجم ردپای آب و سهم هر یک از اجزاء محصولات کشاورزی مورد مطالعه در استان هرمزگان

Table 4- Volume and share of WF in Hormozgan Province

محصول		ردپای آب (میلیون مترمکعب)				درصد		
		سبز	آبی	خاکستری	کل	سبز	آبی	خاکستری
زراعی	گندم	10.96	56.33	15.19	82.48	13.29	68.29	18.41
	جو	1.07	5.14	1.26	7.47	14.34	68.85	16.83
	ذرت دانه‌ای	0	67.09	12.05	79.14	0	84.78	15.22
	خیار	3.87	26.62	9.20	39.68	9.76	67.08	23.17
	پیاز	9	67.55	17.89	94.44	9.53	71.52	18.94
	سیب‌زمینی	0.34	2.78	1.01	4.13	8.27	67.43	24.36
	گوجه فرنگی	12.48	100.06	25.92	138.45	9.01	72.27	18.72
باغی	هندوانه	0	48.63	7.95	56.58	0	85.49	14.06
	یونجه	0.50	12.22	0.43	13.14	3.77	92.97	3.28
	خربزه	0.37	6.38	0.62	7.37	5.03	86.56	8.38
	مرکبات	19.98	395.19	24.04	439.21	4.55	89.98	5.47
	نخیلات	16.94	696.66	22.32	735.92	2.30	94.67	3.03
	نخیلات دیم	1	-	0.53	1.53	66	-	34
	مجموع	75.51	1484.64	137.86	1698.02	–	–	–
	بیشترین	19.98	696.66	25.92	735.92	14.34	94.67	24.26
	کمترین	0	2.78	0.43	4.13	0	67.08	3.03
	متوسط	6.29	123.72	11.49	141.50	6.65	79.19	14.16

شکل ۲، مقدار متوسط هر یک از اجزاء ردپای آب محصولات را برای تمام سال‌های مورد مطالعه در استان هرمزگان نشان می‌دهد که مقدار کل آن به‌طور متوسط برابر با ۳۵۴۶/۴۸ میلیون مترمکعب است. ردپای آب آبی، سبز و خاکستری به‌ترتیب برابر با ۳۰۶۳/۱۴، ۱۷۹/۶۰و ۳۰۳/۷۴ میلیون مترمکعب هستند. در شکل ۲الف، ردپای آب آبی در طول سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ با مقدار ۲۸۰۶/۴۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۷ شروع شده و بعد با یک سری تغییرات افزایشی و گاهی اوقات کاهشی در سال ۱۳۹۸ به مقدار ۳۰۵۴/۷۶ میلیون مترمکعب رسیده است. ردپاهای سبز و خاکستری به‌ترتیب از ۱۵۷/۸۹ و ۲۶۲/۰۸ در سال ۱۳۸۷ به مقادیر ۱۶۷/۶۷ و ۲۸۸/۹۳ در سال ۱۳۹۸ رسیده‌اند. بنابراین ردپای آب آبی در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه دارای یک روند تقریبا افزایشی و بالا نسبت به سایر اجزاء ردپای آب بوده است؛ لذا، کنترل ردپای آب آبی به‌دلیل سهم بالای آن در مصرف کلی آب، اهمیت ویژه‌ای دارد. شکل ۲ب، سهم هر یک از اجزاء ردپای آب را به‌طور متوسط طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ به‌صورت درصد نشان می‌دهد. سهم سالانهٔ ردپای آب آبی، ردپای آب سبز و ردپای آب خاکستری در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ به‌ترتیب ۸۶/۳۵، ۵/۰۷ و ۸/۵۸ درصد است.

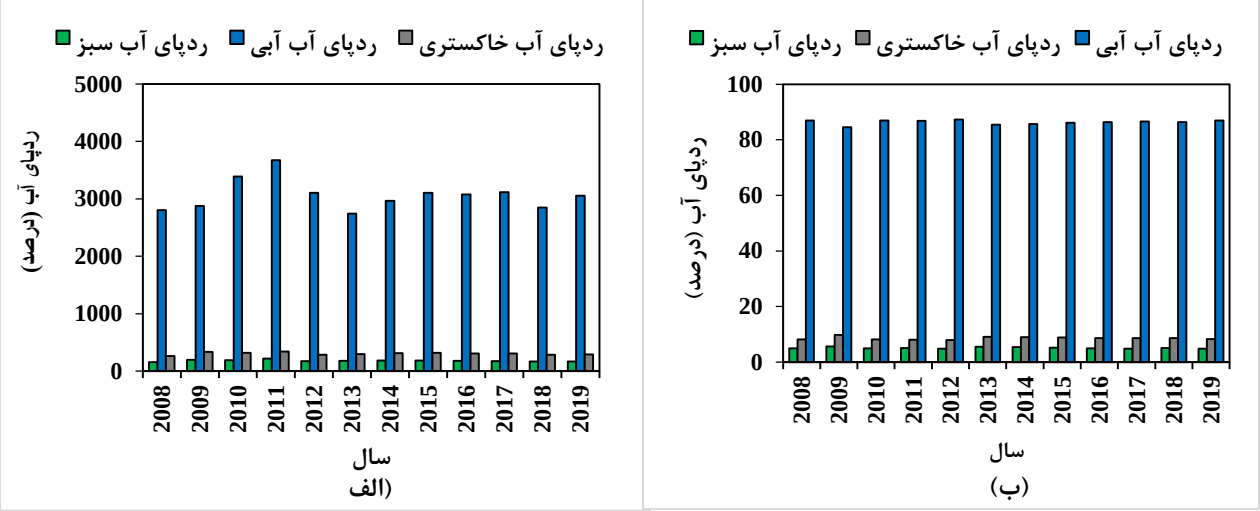
شکل ۲ روند تغییرات ردپای آب آبی، سبز و خاکستری را نشان می‌دهد، با توجه به شکل ردپای آب آبی، ردپای آب سبز و ردپای آب خاکستری در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه تقریباً دارای روند ثابتی بوده است و کم‌ترین میزان نوسان را از خود نشان داده است. با توجه به شکل ۲ب، اجزای ردپای آب روند تغییر قابل توجهی را در طول دورهٔ آماری از خود نشان نمی‌دهد. بالا بودن ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز نشان می‌دهد که منابع آب آبی مانند آب‌های سطحی و زیرزمینی منابع آب قطعی برای تولید محصولات کشاورزی در استان هرمزگان محسوب می‌شوند.

ردپای آب سبز در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه روند معناداری نداشته و روند تقریبا ثابتی از خود نشان داده است به‌طوری‌که دامنهٔ تغییرات آن از ۴/۷۸ درصد در سال ۱۳۹۸ تا ۵/۶۷ درصد در سال ۱۳۸۸ در نوسان است. روند ردپای آب خاکستری در طی سال‌های مورد مطالعه تقریبا ثابت بوده است. به‌طوری‌که مقدار آن از ۷/۹۲ درصد در سال ۱۳۹۱ به ۹/۷۷ درصد در سال ۱۳۸۸ تغییر می‌یابد. این مسأله نشان می‌دهد که مصرف کود طی این سال‌ها تغییر چندانی نداشته و تقریبا ثابت بوده است.

۳-۲- منابع آبی در دسترس

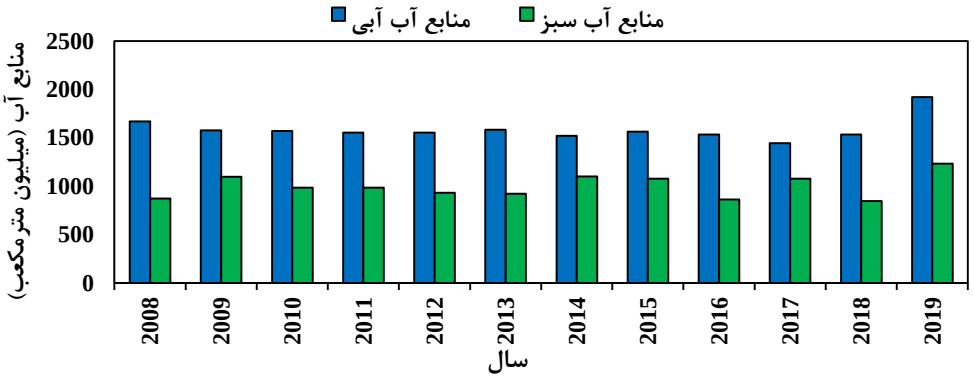
تغییرات زمانی منابع آبی در دسترس و اجزای آن (سبز و آبی) در استان هرمزگان در دورهٔ ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ در شکل ۳، نشان داده شده است. متوسط AWR طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ تقریبا ۲۵۸۳/۷۰ میلیون مترمکعب بوده که AWR_{Blue} ۱۵۸۴/۵۵ میلیون مترمکعب و AWR_{Green} برابر با ۹۹۹/۱۵ میلیون مترمکعب است. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، AWR_{Blue} و AWR_{Green} تغییرات قابل توجهی در طول زمان ندارند به‌طوری‌که در رابطه با AWR_{Blue} کم‌ترین مقدار آن ۱۴۴۳/۱۴ که در ۱۳۹۶ و بیش‌ترین مقدار آن ۱۹۲۱/۰۳ که در ۱۳۹۸ و AWR_{Green} در ۱۳۹۷ با مقدار ۸۴۶/۵۵

گیگا مترمکعب کم‌ترین مقدار را داشته و بیش‌ترین آن در ۱۳۹۸ با مقدار ۱۲۳۲/۴۵ بوده است. بر اساس شکل ۳، می‌توان استنباط نمود که منابع آب آبی جزء اصلی منابع آب موجود کشاورزی بوده و ۶۱/۳۹ درصد از منابع آبی در دسترس را به خود اختصاص داده است.



شکل ۲- سهم هر یک از اجزای ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی استان هرمزگان

Figure 2- The contribution of each component of the water footprint in the production of agricultural products in Hormozgan Province



شکل ۳- منابع آب در دسترس کشاورزی استان هرمزگان

Figure 3- Agricultural water resource availability in Hormozgan Province

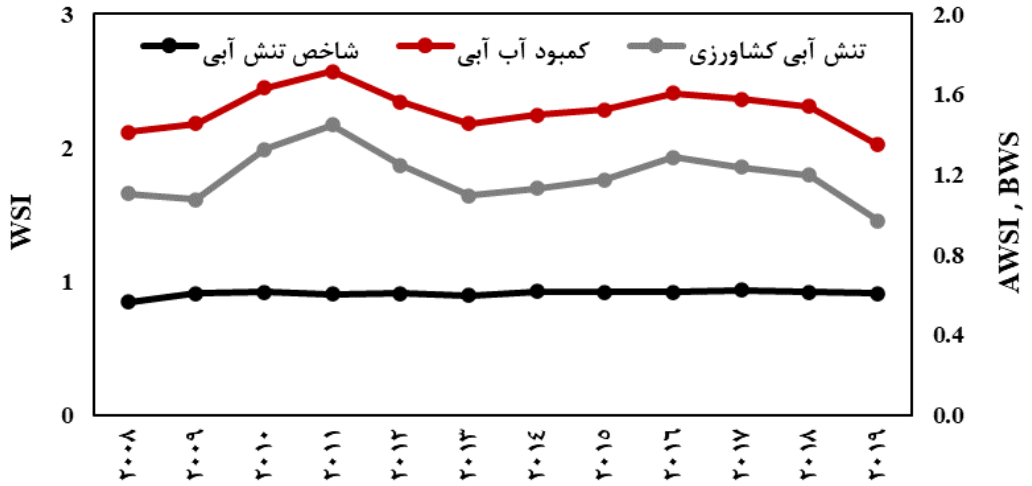
۳-۳- مقایسهٔ شاخص تنش آبی در بخش کشاورزی و کمبود آب آبی

تغییرات سالانهٔ سه شاخص WSI، AWSI، و BWS در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ در شکل ۴ نمایش داده شده است. با توجه به شکل مقدار متوسط WSI در طول دورهٔ آماری برابر با ۰/۹۱ و همواره طی این دوره مقدار آن بالاتر از ۰/۸۵ بوده است که نشان می‌دهد بیش از ۸۰ درصد منابع آب موجود در استان هرمزگان صرف تولیدات کشاورزی شده و از نظر طبقه‌بندی (جدول ۳) در کلاس با تنش آبی شدید و بحرانی قرار گرفته است. هم‌چنین در طول دورهٔ مورد مطالعه WSI روند تغییرات قابل توجهی از خود نشان نداده و تقریبا ثابت بوده است.

نتایج مربوط به تغییرات زمانی شاخص تنش آبی در بخش کشاورزی به‌صورت سالانه در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار متوسط این شاخص در طول دورهٔ آماری برابر با ۱/۳۸ است. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد در تمام سال‌های آماری مورد مطالعه مقدار شاخص تنش آبی کشاورزی بیش‌تر از یک است که نشان می‌دهد در تمام طول دورهٔ آماری مورد مطالعه در استان هرمزگان، بخش کشاورزی با تنش آبی بسیار بالا مواجه بوده است.

نتایج تغییرات زمانی شاخص کمبود آب آبی نشان می‌دهد که محدودهٔ تغییرات زمانی این شاخص از ۰/۹۷ در سال ۱۳۹۸ تا ۱/۴۵ در سال ۱۳۹۰ متغیر است. مقدار متوسط این شاخص در طول دورهٔ

آماری برابر با ۱/۱۹ است که نشان می‌دهد استان هرمزگان در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه از نظر کمبود آب آبی در سطح بالاتر از یک است و این استان با کمبود آب آبی بحرانی در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی مواجه است. نتایج حاصل از این بخش با پژوهش Xinchun et al. (2017) و Cao et al. (2018) هم‌راستا است.

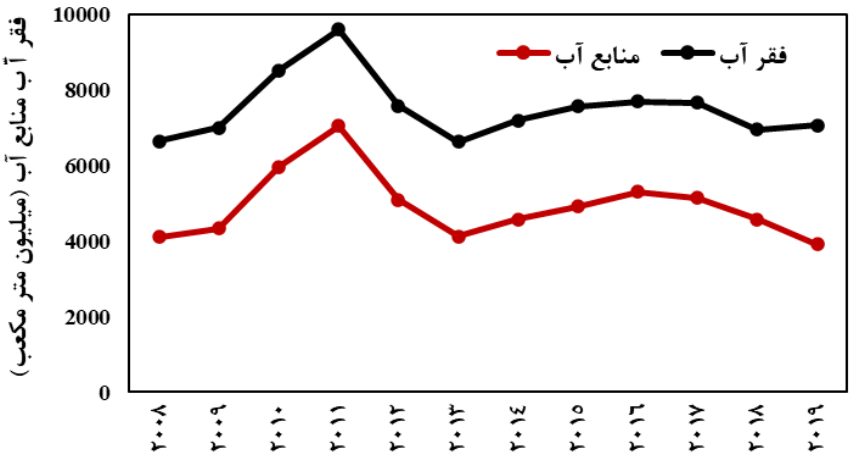


شکل ۴- تغییرات زمانی شاخص تنش آبی، تنش آبی کشاورزی و کمبود آب آبی در استان هرمزگان

Figure 4- Temporal variation in the water stress index (WSI), agricultural water stress index (AWSI), and blue water scarcity (BWS) in Hormozgan Province

۳-۴- منابع آب و فقر آب در بخش کشاورزی

در شکل ۵ تغییرات فقر آب و منابع آب به‌صورت سالانه در استان هرمزگان طی دورهٔ آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ نشان داده شده است. براساس نتایج، مقدار متوسط منابع آب و فقر آب به‌ترتیب در طول دورهٔ آماری برابر با ۲۵۸۳/۷۱ و ۴۹۱۹/۵۹ میلیون مترمکعب است. با توجه به شکل از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸ فقر آب یک روند تقریبا افزایشی داشته، درحالی‌که مقدار منابع آب در حال کاهش بوده است. کم‌ترین میزان فقر آب مربوط به سال ۱۳۹۸ و برابر با ۳۹۰۹/۸۵ میلیون مترمکعب و بیش‌ترین میزان آن مربوط به سال ۱۳۹۰ و برابر با ۷۰۴۶/۶۷ میلیون مترمکعب است. در این سال خشکسالی فراگیری در کل استان حکم‌فرما بوده است. هم‌چنین با توجه به شکل تغییرات مقادیر فقر آب و منابع آب کاملاً از هم پیروی کردند.

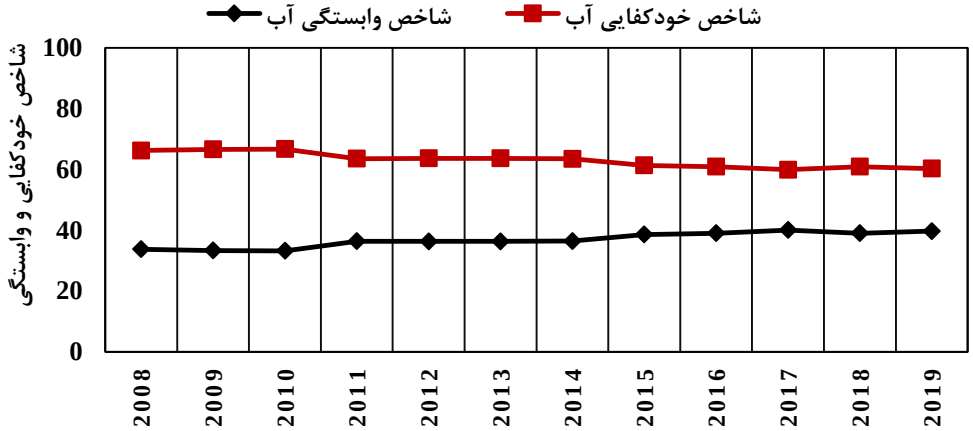


شکل ۵- تغییرات زمانی منابع آب و فقر آب در بخش کشاورزی در استان هرمزگان

Figure 5- Temporal variation of water resources and water poverty in Hormozgan Province

۳-۵ - تغییرات شاخص خودکفایی و وابستگی آب

تغییرات شاخص وابستگی آب و شاخص خودکفایی آب در استان هرمزگان برای محصولات کشاورزی مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. بالاترین میزان شاخص خودکفایی آب (کم‌ترین شاخص وابستگی) مربوط به سال ۱۳۸۹ با مقدار ۶۱/۳۳ و کم‌ترین میزان شاخص خودکفایی مربوط به سال ۱۳۹۶ با مقدار ۵۹/۷۸ (بیش‌ترین شاخص وابستگی) است. در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه در استان هرمزگان مقدار متوسط شاخص وابستگی و خودکفایی آب به‌ترتیب برابر با ۳۹/۲۱ و ۶۰/۷۹ درصد است که این مسأله نشان می‌دهد تولید محصولات کشاورزی در استان هرمزگان کم‌تر بوده و به واردات منابع آبی مجازی وابسته است و بیش‌تر در تامین منابع آب برای تولید محصولات خودکفا هستند که با مطالعهٔ Bazrafshan et al. (2018) هم‌خوانی دارد. با توجه به شکل ۶ در طول دورهٔ مطالعه روند تغییرات معناداری در این دو شاخص وجود نداشته و تقریباً ثابت بوده است.



شکل ۶- تغییرات زمانی شاخص خودکفایی و وابستگی آب محصولات کشاورزی مورد مطالعه در استان هرمزگان

Figure 6- Temporal variation of WSS and WD in Hormozgan Province

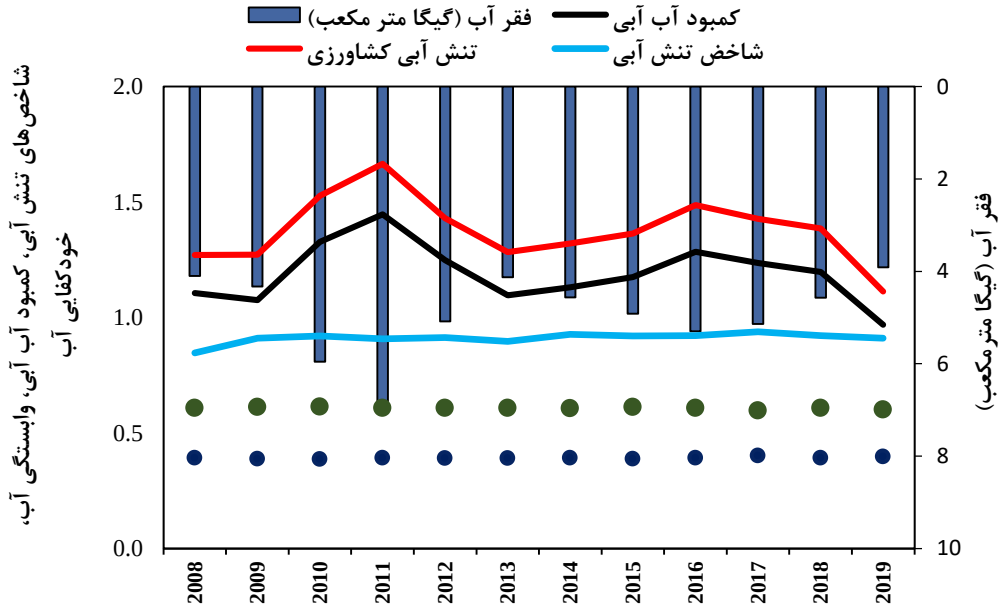
۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی کمبود و تنش آبی در بخش کشاورزی در استان هرمزگان با استفاده از مفهوم ردپای آب پرداخته شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که منابع آب آبی نسبت به منابع آب سبز، جزء منابع آب اصلی موجود در بخش کشاورزی بوده و این می‌تواند دلیلی بر بالا بودن شاخص خودکفایی آب نسبت به شاخص وابستگی آب در استان هرمزگان باشد. این سیاست ملی، دست‌یابی به خودکفایی کامل در تولید تمامی محصولات کشاورزی در استان هرمزگان، فشار زیادی بر سفره‌های آب زیرزمینی و هم‌چنین منابع آب سطحی در استان هرمزگان وارد کرده است. با توجه به نتایج سطح زیر کشت محصولات مورد مطالعه در استان هرمزگان از ۱۴۴/۷۱هزار هکتار در سال ۱۳۸۷ به ۸۵/۶۶ هزار هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده است و در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه روند کاهشی داشته است، اما این کاهش در سطح زیر کشت به کاهش تنش آبی و کمبود منابع آبی در استان هرمزگان کمک نکرده است.

از آن جایی‌که استان هرمزگان دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است، استفاده از شاخص‌های WSI و BWS به تنهایی در ارزیابی وضعیت منابع آبی ممکن است میزان کمبود آب را به خوبی نشان نمی‌دهد. بنابراین، با در نظر گرفتن منابع آب آبی و سبز و ردپای آب در AWSI، استفاده از این شاخص برای ارزیابی کمبود آب و مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی در مناطق خشک مانند استان هرمزگان بسیار مهم است. با توجه به شکل ۷ نتایج نشان داد، در استان هرمزگان مقدار AWSI بالاتر از WSI است به همین دلیل تنش آبی در بخش کشاورزی مشاهده می‌شود. با توجه به این که درصد بالایی از کل ردپای آب مربوط به WF_{blue} است، در نتیجه در استان هرمزگان BWS هم بالاتر از WSI است. بنابراین منابع آب این استان غنی نیست و این استان دارای فقر آبی بالایی 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 استان هرمزگان، موجب فقر آبی بالا شده است. بر اساس نتایج شکل ۷، وابستگی و مصرف زیاد آب آبی نسبت به آب سبز باعث افزایش تنش آبی شده و استان هرمزگان در سطح تنش آبی بالا و خیلی بالا قرار دارد. بنابراین نتایج این پژوهش نشان داد که استان هرمزگان با مقدار متوسط راندمان ۴۰ درصد در درجهٔ بالایی از فقر آب قرار دارد که با افزایش این راندمان، مقدار فقر آب رفع خواهد شد. از طرف دیگر، بالا بودن ردپای آب آبی نسبت به ردپای آب سبز و

خاکستری باعث شده که در بخش کشاورزی دو شاخص کمبود آب آبی و تنش آبی به هم نزدیک شود و از تغییرات هم‌دیگر پیروی کنند. در نتیجه استان هرمزگان از نظر این دو شاخص در سطح تنش آبی بسیار بالا و بحرانی قرار دارد.

آب آبی بیش‌ترین منابع آب موجود و ردپای آب را در سیستم تولید محصولات کشاورزی استان هرمزگان تشکیل می‌دهد. به‌طوری که از کل ردپای آب، سهم اجزاء ردپای آب (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) به‌ترتیب برابر با ۸۶/۳۵، ۵/۰۷ و ۸/۵۸ درصد است. زیاد بودن ردپای آب آبی نشان می‌دهد که در استان هرمزگان، تولید محصولات به شدت به آب آبیاری وابسته است. هم‌چنین نتایج نشان داد که کم‌ترین میزان ردپای آب به‌ترتیب مربوط به آب سبز و آب خاکستری بوده است. بیش‌تر بودن ردپای آب خاکستری نسبت به ردپای آب سبز مربوط به محصولات در استان هرمزگان نشان می‌دهد که در تولید این محصولات در استان مقدار آب بیش‌تری برای رقیق‌سازی کودها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرف دیگر با توجه به این‌که در محاسبهٔ آب خاکستری عواملی مانند مصرف کود و عملکرد محصول نقش بسیار مهمی دارند، می‌توان با کاهش کود مصرفی و یا افزایش عملکرد محصول در هر هکتار، مقدار ردپای آب خاکستری را کاهش داد. در منطقهٔ مورد مطالعه (استان هرمزگان) به‌دلیل بارش کم و تبخیر و تعرق بالا، ردپای آب سبز کم‌ترین میزان را به خود اختصاص داده است و این نشان می‌دهد که در استان در استان هرمزگان آب کم‌تری از رطوبت باقی‌مانده در خاک که ناشی از بارندگی است که برای تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، پژوهش حاضر نشان داد که WSI و ردپای آب در استان هرمزگان بستگی به میزان منابع آب سطحی و زیرزمینی دارد. بنابراین با توجه به مشکلات مربوط به آب در استان هرمزگان و این‌که وابستگی و مصرف زیاد آب آبی نسبت به آب سبز باعث افزایش تنش آبی در بخش کشاورزی شده است. نیاز اساسی به تغییر راهبردهای مدیریتی برای منابع آب و تغییر در الگوی تخصیص منابع آب وجود دارد. به‌طوری‌که در استان هرمزگان 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 استان کمک کند. هم‌چنین این مطالعه می‌تواند به‌عنوان اطلاعاتی پایه برای مدیران و سیاست‌گذاران جهت شناسایی محصولاتی که باید کشت آن‌ها مدیریت شود و هم‌چنین چه نوع توصیه‌های برای مدیریت پایدار منابع آب در استان هرمزگان انجام شود، مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۷- تغییرات شاخص‌های ارزیابی کمبود آب (تنش آبی، تنش آبی کشاورزی و کمبود آب آبی) در استان هرمزگان و مقایسهٔ آن با مقادیر شاخص‌های وابستگی، خودکفایی و فقر آبی

Figure 7- Distribution of water scarcity assessment indices (AWSI, BWS, WSI, WP, WSS, WD) in Hormozgan Province from 2008 to 2019

سپاسگزاری

از ادارهٔ کل جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای استان هرمزگان به‌دلیل تأمین داده‌های پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

آبابایی، ب.، و رمضانی اعتدالی، ه. (۱۳۹۴). برآورد اجزاء ردپای آب در تولید محصول گندم در سطح کشور. *آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی)*، ۲۹(۶)، ۱۴۵۸-۱۴۶۸.

بذرافشان، ا.، دهقان‌پیر، ش.، و حلی‌ساز، ا. (۱۳۹۶). برآورد بیلان آب مجازی در بخش کشاورزی در استان هرمزگان طی دهه گذشته. *مدیریت بیابان*، ۵(۱۰)، ۱۱۶-۱۲۹.

بذرافشان، ا.، و گرکانی‌نژاد مشیزی، ز. (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی در محصول گوجه فرنگی در استان هرمزگان تحت تغییرات اقلیم. *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۲ (۱)، ۲۹-۴۳.

References

Ababaei, B., & Ramezani Etedali, H. (2016). Estimation of water footprint parts in national wheat production. *Journal of Water and Soil*, 29(6), 1458-1468 (in Persian).

Allean, J.A. (1998). Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits. *Groundwater*, 36 (4), 545-546.

Bazrafshan, O., & Dehghanpir, S. (2020). Application of water footprint, virtual water trade and water footprint economic value of citrus fruit productions in Hormozgan Province, Iran. *Sustainable Water Resources Management*, 6(6), 1-10.

Bazrafshan, O., & Gerkani Nezhad Moshizi, Z. (2018). The impacts of climate variability on spatiotemporal water footprint of tomato production in the Hormozgan. *Water and Soil*, 32(1), 29-43 **(**in Persian).

Bazrafshan, O., Dehghanpir, S., & Holisaz, A. (2018). Estimation of Virtual Water Trade in the Hormozgan Province over the Past Decade. *Desert Management*, 5(10), 116-129 (in Persian).

Bazrafshan, O., Zamani, H., Ramezani Etedali, H., & Dehghanpir, S. (2019). Assessment of citrus water footprint components and impact of climatic and non-climatic factors on them. *Scientia Horticulturae*, 250, 344-351.

Cao, X., Huang, X., Huang, H., Liu, J., Guo, X., Wang, W., & She, D. (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., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological economics*, 60(1), 186-203.

Damkjaer, S., & Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513-531.

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.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2010). Bioenergy and Food Security. The BEFS Analytical Framework. FAO: Rome, Italy.

Fu, M., Guo, B., Wang, W., Wang, J., Zhao, L., & Wang, J. (2019). Comprehensive assessment of water footprints and water scarcity pressure for main crops in Shandong Province, China. *Sustainability*, 11(7), 1856.

Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15(1), 45-56.

Hoekstra, A.Y., & Mekonnen, M.M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237.

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M.M., & Mekonnen, M.M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.

Hung, A.H.P., & Hoekstra, A.Y. (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.

Liu, J., Yang, H., Gosling, S.N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., & Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's future*, 5(6), 545-559.

Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental Science & Technology*, 43(11), 4098-4104.

Raskin, P., Gleick, P., Kirshen, P., Pontius, G., & Strzepek, K. (1997). Water futures: assessment of long-range patterns and problems. Background document to the Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World report.

Van Loon, A.F., & Van Lanen, H.A. (2013). Making the distinction between water scarcity and drought

using an observation-modeling framework. *Water Resources Research*, 49(3), 1483-1502.

Xinchun, C., Mengyang, W., Xiangping, G., Yalian, Z., Yan, G., Nan, W., & Weiguang, W. (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.