

Investigating the Trend of Long-Term Changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) Water Footprints in Sistan and Baluchestan with Mann Kendall Trend Test

Vida Varnaseri Ghandali¹, Mahmoud Ramroudi^{2*}, Fatemeh Karandish³, Mohammad Galavi⁴ and Tohid Aligholinia⁵

- 1- Ph.D. Student of Agroecology, University of Zabol, Zabol, Iran.
 - 2- Associate Professor of Agronomy Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
 - 3- Associate Professor, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
 - 4- Professor of Agronomy Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
 - 5- Ph.D. Graduated Student, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
- (*- Corresponding Author Email: mramroudi42@uoz.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 08-01-2022
Revised: 06-02-2022
Accepted: 12-02-2022
Available Online: 25-01-2021

Varnaseri Ghandali, V., Ramroudi, M., Karandish, F., Galavi, M., & Aligholinia, T. (2024). Investigating the trend of long-term changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) water footprints in Sistan and Baluchestan with Mann Kendall Trend Test. *Journal of Agroecology*, 15(4), 755-768. (in Persian with English abstract)
DOI: [10.22067/agry.2022.74569.1088](https://doi.org/10.22067/agry.2022.74569.1088)

Introduction

One of the main problems in arid and semi-arid regions of the country is the lack of water for irrigating agricultural products and other uses. Sistan and Baluchestan provinces is considered to be one of the arid and semi-arid regions in Iran that are facing water shortages. The present study evaluated the trend of changes in water footprint of two crops, wheat and watermelon, as the main crops in Sistan and Baluchestan province. In this way, the changes in water footprint in the two components of blue and green water products and the cause of these changes under the influence of various factors will be investigated.

Materials and Methods

The present study aimed to evaluate the trend of changes in the water footprint of two crops that is wheat and watermelon, as the main crops in Sistan and Baluchestan province. In this way, the changes in water footprint in the two components of water and green water products and the cause of these changes under the influence of various factors will be investigated. For this purpose, first, the water footprint of these two products were investigated in all cities where they were cultivated in two sections: blue and green water footprint in a 30-years' time span from 1978 to 2017. Then, by using Mann Kendall Trend Test, the trend of long-term changes was investigated. Water footprint calculations were performed through Cropwat and aqua crop software and, finally, according to the blue and green water footprint formula in Excel.



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

[https:// DOI: 10.22067/agry.2022.74569.1088](https://doi.org/10.22067/agry.2022.74569.1088)

Results and Discussion

The results have indicated that the trend of changes in the water footprint of wheat has been increasing in Sarbaz and Iranshahr. As for watermelon, this trend has also been increasing in Zahedan and Konarak, mainly due to reduced rainfall and yields. The average water footprint of wheat and watermelon in Sistan and Baluchestan province has been reported to be 2134.9 and 318.1, respectively. Moreover, the share of blue and green water for two crops, wheat and watermelon has been reported to be 1773, 361.9 and 291.7, 26.5, respectively. The results obtained in this study are consistent with Karandish's research (Kardashian, 2018). The 30-year trend of Mann Kendall method calculated water footprint in three sections :blue, green, and total water, as well as for yield and rainfall. The results of trend finding for both wheat and watermelon at 95 and 99% levels showed that the yield of watermelon in Nikshahr, Chabahar, and Khash counties had an increasing trend, and this reduced the blue water footprint and consequently reduced the total water footprint of the crop. Wheat crop is a more effective factor, and with the changes in its 30-year trend, the water footprint of the crop, especially its green water footprint, has been affected. In Zabol, Iranshahr, and Zahedan stations, this issue is quite evident, and with the decrease in rainfall trend, the green water footprint of the crop has decreased.

Conclusion

The results show more water footprint of wheat than watermelon due to the high yield of watermelon versus wheat. In comparing the green and blue water footprints of the crops, the results show a greater share of green water footprints in the wheat crop than in the watermelon crop, which is also due to the length of the growing season and the date of cultivation and harvest of wheat and more use of rainwater resources. Evaluating the change with the Mann Kendall Trend Test indicates an increase in yield and a decrease in rainfall in the 30 years studied in two places, which has increased the blue water footprint and reduced the green water footprint of crops.

Acknowledgments

The corresponding author gratefully Acknowledges the financial support from the University of Zabol (Grant No. 9719-21). We would like to thank the anonymous reviewer for very helpful comments and suggestions on the manuscript.

Keywords: Blue water, Green water, Sarbaz, Water shortage, Konarak

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، ص ۷۶۸-۷۵۵

بررسی روند تغییرات بلندمدت ردپای آب در محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus*) در استان سیستان و بلوچستان

ویدا ورناصری قندعلی^۱، محمود رمرودی^{۲*}، فاطمه کاراندیش^۳، محمد گلوی^۴ و توحید علیقلی‌نیا^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

چکیده:

یکی از مشکلات اساسی مناطق خشک و نیمه خشک کشور، کمبود آب برای آبیاری محصولات کشاورزی و دیگر مصارف است. استان سیستان و بلوچستان یکی از استان‌هایی است که جزو مناطق خشک و نیمه خشک کشور محسوب می‌شود که با مشکل کم‌آبی مواجه است. هدف این پژوهش، ارزیابی روند تغییرات ردپای آب دو محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus*) به‌عنوان عمده‌ترین محصولات مورد کشت در استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. برای این منظور، ابتدا ردپای آب این دو محصول در تمامی شهرستان‌هایی که کشت می‌شود، در دو جز ردپای آب آبی و آب سبز به‌صورت ۳۰ ساله از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ محاسبه شده و سپس با روش روندیابی منکندال، روند تغییرات بلندمدت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، روند تغییرات ردپای آب گندم در شهرستان‌های سرباز و ایرانشهر و هندوانه در شهرستان‌های زاهدان و کنارک افزایشی بوده که این عمدتاً به‌دلیل کاهش بارندگی و کاهش عملکرد می‌باشد. متوسط ردپای آب گندم و هندوانه در استان به‌ترتیب ۲۱۳۴/۹ و ۳۱۸/۱ مترمکعب بر تن به‌دست آمد که سهم آب آبی و آب سبز به‌ترتیب برای دو محصول گندم و هندوانه ۱۷۷۳، ۳۶۱/۹، ۲۹۱/۷ و ۲۶/۵ مترمکعب بر تن به‌دست آمد. در نتیجه، محصولاتی با عملکرد و بهره‌وری پایین و ردپای آب کل بالا برای منطقه مناسب نیست که لازم است در تعیین الگوی کشت منطقه لحاظ گردند.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، آب سبز، سرباز، کم‌آبی، کنارک

مقدمه

مشکلات کم‌آبی به‌خصوص کمبود آب شیرین در مناطق دچار

بحران، تنها یک مسئله ملی برای این کشورها نیست، بلکه یک موضوع جهانی است که اثرات ناشی از آن در درازمدت می‌تواند کشورها را دچار چالش کرده و امنیت غذایی را تهدید کند (Karadish & Šimůnek, 2019; & Šimůnek, 2018). با این مشکلات، یکی از اهداف بلندمدت مدیریت راهبردی آب کشورها، تعادل برقرار کردن بین عرضه و تقاضا آب و منابع آب موجود با کمترین هزینه ممکن می‌باشد. برای پاسخگویی به نیاز روزافزون تقاضا آب در کشور، می‌توان به توسعه منابع آبی جدید شامل بهره‌برداری بهینه از منابع آبی باقی‌مانده، استفاده مجدد از فاضلاب،

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۴- استاد گروه زراعت دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۵- دانش‌آموخته گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

*- نویسنده مسئول (Email: mramroudi42@uoz.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.74569.1088

مدیریت تأمین با مدیریت تقاضا استوار بوده که جنبه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در نظر می‌گیرد (Aligholinia et al., 2021).

تجارت و مبادله آب مجازی و ارزیابی ردپای آب یکی از راهکارهایی است که با مدیریت تلفیقی و کارآمد در جهت توسعه پایدار بین عرضه و تقاضای آب از طریق مبادلات محصولات آب‌بر به‌منظور کاهش تنش آبی در دنیا مطرح می‌باشد. کشورهای کم آب می‌توانند با دخالت دادن تجارت آب مجازی در سیاست‌های آبی، علاوه بر اینکه میزان دسترسی خود را به منابع آبی جهان افزایش دهند، از افزایش فشار بر منابع محدود خود نیز بکاهند. واردات مواد غذایی به‌منظور استفاده از منبع تجارت آب مجازی بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست یک کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با امنیت غذایی و فرهنگ کشورها ارتباط مستقیم دارد که در فرآیند تصمیم‌سازی باید در نظر گرفته شوند. لذا، کشورهای کم آب می‌توانند با توجه به شرایط، ظرفیت‌ها و نیازهای داخلی و همچنین ملاحظات امنیت غذایی خود، نقطه بهینه‌ای را برای میزان واردات مواد غذایی و کالاهای آب‌بر کشور بیابند (Aligholinia et al., 2020). اگرچه این راه حل موجب وابستگی کشورها شده و از خودکفایی آن‌ها می‌کاهد، اما ضرورت تخصیص بهینه منابع محدود به‌ویژه منابع آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید محصولات کاملاً احساس می‌شود که لازمه آن ارائه الگوی کشت مدیریتی مناسب بر اساس آب مجازی و شاخص ردپای آب محصولات مختلف کشاورزی در اقلیم‌های مختلف می‌باشد.

شاخص ردپای آب در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای توسط متخصصین در نقاط مختلف دنیا استفاده شده و محققان بسیاری میزان آب واقعی محصولات مختلف نظیر گندم (Hoekstra & Chapagin, 2007) (Salaria et al., 2014)؛ چای (Camellia sinensis L.) (Jefferies et al., 2012)؛ برنج (Oryza sativa L.) (Chapagin & Hoekstra, 2012)؛ پنبه (Gossypium hirsutum cv. siokra) (Chico et al., 2013)؛ انگور (Vitis vinifera L.) (Ene et al., 2013)؛ ذرت (Zea mays L.) (Nana et al., 2014) و سیب زمینی (Solanum tuberosum L.) (Herath et al., 2014) را مورد بررسی قرار دادند. هواکسترا و هانگ (Hoekstra & Hung, 2005) در تحقیقی، ردپای آب کشورهای مختلف از جمله ایران را برای دوره (۱۹۹۵-۱۹۹۹)

شیرین کردن آب‌های شور، افزایش ظرفیت تولید منابع موجود، در نظر گرفتن راهبردهای صرفه‌جویی آب در بخش‌های مختلف اقتصادی و توسعه روش‌های مدیریت کارآمد جدید اشاره کرد (Aligholinia et al., 2021).

استان سیستان و بلوچستان از نظر وسعت، جزو استان‌های پهناور ایران می‌باشد که وسعت این استان معادل ۱۸۱۷۸۵ کیلومتر مربع می‌باشد. به استناد گزارش سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان میانگین بارندگی در این استان حدود ۵۲/۳ میلی‌متر در سال است و به‌همین خاطر جزو مناطق اقلیمی گرم و خشک محسوب می‌شود. میانگین حداقل دمای سالانه این استان ۱۲ درجه و میانگین حداکثر دمای سالانه ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و میزان حداکثر دمای مطلق در تابستان در شهرستان سرباز به ۵۱/۷ درجه سانتی‌گراد رسید (Salari et al., 2014). بخش کشاورزی در این استان، مقدار قابل توجهی از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی را جهت تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌کند و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در این استان است (Dahmardeh Ghaleño et al., 2017). بنابراین، بررسی حجم آب واقعی که جهت تولیدات محصولات کشاورزی در این استان به کار گرفته شده است، ضروری می‌باشد (Hekmatnia et al., 2020).

بیش از دو دهه است که جهان پی برده است که در مدیریت منابع آب باید بیشتر به مدیریت تقاضا توجه کرد تا مدیریت عرضه کشاورزی مبتنی بر آبیاری در سراسر جهان برای رفع تقاضای روزافزون غذا، به‌سرعت در حال افزایش است (Yao et al., 2017). ایران در سال ۲۰۰۴، نزدیک به ۶۸ درصد کل منابع آب قابل تجدید مورد استفاده قرار داد که از این مقدار، ۹۲/۲ درصد آن به بخش کشاورزی اختصاص داده شد، درحالی‌که بخش‌های شهری و صنعتی به‌ترتیب ۶/۶ و ۱/۲ درصد را مصرف کردند (AQUASTAT, 2016). بدین ترتیب، دانشمندان مدیریت تلفیقی آب را مطرح نمودند. مدیریت تلفیقی دو سیاست کلی و یک هدف اصلی دارد. سیاست‌های مدیریت تلفیقی عبارتند از: ۱- با آب باید به‌عنوان یک کالای اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی برخورد شود، ۲- سیاست‌ها و گزینه‌هایی که مدیریت آب را هدایت می‌کند باید در چهارچوبی یکپارچه تحلیل شوند. هدف اصلی مدیریت تلفیقی این است که به‌واسطه مدیریت تلفیقی آب، توسعه پایدار، کارآمد و عادلانه منابع آب حاصل شود. بنابراین، مبانی مدیریت تلفیقی بر پایه ترکیب‌پذیری

به بررسی تغییرات ردپای آب در دو جز آب آبی و آب سبز محصولات و علت این تغییرات تحت تأثیر عوامل مختلف پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

از آنجایی که کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده بخش آب است. لذا، محصولاتی که از کشاورزی تولید می‌شوند، اغلب دارای ردپای آب قابل توجهی هستند. این بخش به بحث در مورد جزئیات ارزیابی روند ردپای آب دو محصول گندم و هندوانه می‌پردازد. در این تحقیق برای بررسی ردپای آب محصولات در استان سیستان و بلوچستان، ابتدا شهرستان‌هایی که در آن‌ها این محصولات به‌صورت عمده و غالب کشت می‌شوند، انتخاب گردیدند. در همین راستا، ۱۰ ایستگاه در هر یک شهرستان‌های سیستان و بلوچستان انتخاب شد و از متوسط دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۱۹۷۸-۲۰۱۷) داده‌های آماری هواشناسی و کشاورزی آن‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است که داده‌های هواشناسی مورد نیاز تحقیق، شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، درصد رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، سرعت باد و بارندگی در مقیاس روزانه و ماهانه از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده و داده‌های مربوط به مشخصات گیاهی شامل طول دوره رشد، ارتفاع بوته، عملکرد محصولات، عمق ریشه و ضریب گیاهی از آمارنامه‌های کشاورزی، سند ملی کشور و آمارنامه‌های سازمان خواروبار جهانی (FAO) استخراج گردید (FAO, 2010). شکل ۱، موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه و جداول ۱ و ۲، به ترتیب مشخصات آماری هواشناسی استان سیستان و بلوچستان و مشخصات گیاهی محصولات زراعی مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

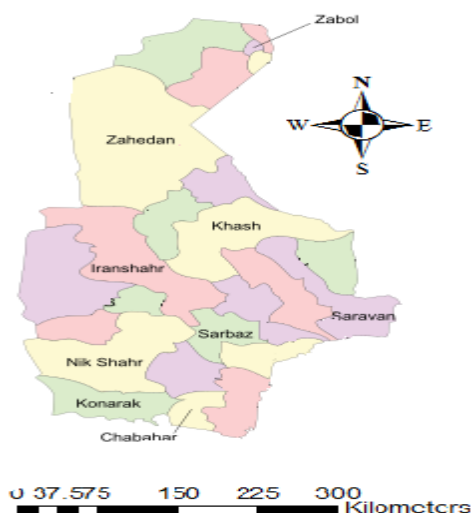
محاسبات ردپای آب

محاسبات ردپای آب از طریق نرم‌افزار کراپ وات و اکواکراپ و در نهایت، اکسل انجام شد، تودروویک و همکاران (Todorovic et al., 2009) به مقایسه سه مدل CropSyst، AquaCrop و WOFOST در شبیه‌سازی رشد و توسعه آفتابگردان تحت رژیم‌های آبی متفاوت در جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج آن‌ها، تفاوت قابل توجهی بین نتایج شبیه‌سازی این سه مدل نشان داد، اما نهایتاً مدل AquaCrop به دلیل پارامترهای ورودی کمتر، در شرایطی که

برآورد نمودند. مطابق تحقیق آن‌ها، بیشترین ردپای آب (حدود ۲۰۰۰ مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر) برای کشورهای بلژیک و هلند و کمترین ردپای آب (در حدود ۵۰۰ مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر) برای کشورهای چین، هند و اندونزی برآورد شده است. ردپای آب ایران، به‌ازای هر نفر ۱۴۵۷ مترمکعب در سال، خودکفایی آبی کشور ۹۳/۶ درصد و وابستگی به منابع آب خارجی ۶/۴ درصد محاسبه شده است (۶/۴ درصد از پتانسیل منابع آب کشور به‌صورت وارداتی از طریق محصولات کشاورزی و صنعتی و ... انجام می‌گیرد) (Hoekstra & Hung, 2005). کاراندیش و هوکسترا (Karandish & Hoekstra, 2017) بر اساس مدل AquaCrop به برآورد ردپای آب آبی و آب سبز مرتبط با تولید و مصرف ۲۶ محصول در هر سال (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و به‌طور روزانه برای ۳۰ استان کشور پرداختند. آن‌ها اظهار داشتند در سال ۲۰۱۰، ۲۶ درصد کل آب مصرف شده در منطقه نیمه خشک، صرف تولید محصولات برای صادرات به سایر مناطق کشور (عمدتاً غلات) و یا خارج از کشور (عمدتاً میوه‌ها و آجیل‌ها) گردید. در نتایج پژوهش کاراندیش (Karandish, 2018)، نشان داده شده است که پنج استان کشور از دیدگاه مصرف و سه استان از دیدگاه تولید، ردپای آب گندم فراتر از حجم منابع آبی تجدیدپذیر است. او اظهار داشت که با پایه‌گذاری سیاست‌های صحیح، امکان دستیابی به محیط زیست پایدار در مناطق تولیدکننده و مصرف‌کننده گندم وجود خواهد داشت.

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهانی و همچنین پایین بودن سطح کاربرد تکنولوژی در بخش کشاورزی، بالا بودن ردپای آب ملی نسبت به میانگین جهانی (حدود ۱۰۰۰ مترمکعب در سال به‌ازای هر نفر) قابل حدس و پیش‌بینی است. از طرفی، بررسی وضعیت موجود کشاورزی نیز بیانگر آن است که با وجود پتانسیل افزایش تولید محصولات کشاورزی، به‌دلیل فقدان سیستم مدیریتی صحیح امکان استفاده بهینه از منابع موجود آب و خاک میسر نشده است. در این راستا، بررسی روند تغییرات بلندمدت عمده محصولات کشت شده در منطقه خشک و نیمه خشک ایران، به‌خصوص سیستان و بلوچستان لازم و ضروری است. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی در زمینه بررسی روند تغییرات ردپای آب محصولات به‌صورت بلندمدت در ایران صورت نگرفته است، هدف از این تحقیق ارزیابی این موضوع برای دو محصول گندم و هندوانه در استان سیستان و بلوچستان به‌صورت ۳۰ ساله می‌باشد تا بدین طریق

اطلاعات کمتری در دسترس می‌باشد، توصیه شد. آزمایشات متعددی در رابطه با دقت مدل Aqua Crop برای گیاهان مختلف در مناطق مختلف جهان انجام شده است.



شکل ۱- محدوده مطالعاتی استان سیستان و بلوچستان
Fig. 1- Study area of Sistan and Baluchestan province

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی منطقه مورد مطالعه
Table 1- The 30-year average climate traits at the counties

شهرستان City	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature(°C)	بارش سالانه Average annual precipitation (mm)	سرعت باد Wind speed (m.s ⁻¹)	رطوبت نسبی Relative humidity	ساعت آفتابی Sunshine
زاهدان Zahedan	10.97	27.22	72.58	5.84	29.53	9.28
زابل Zabol	15.29	30.27	51.16	8.65	34.99	8.72
زهک Zahak	15.59	30.64	28.74	6.59	9.27	46.12
سرباز Sarbaz	17.51	32.10	166.00	5.40	39.15	9.50
سراوان Saravan	14.88	29.89	103.51	4.95	28.36	9.40
خاش Khash	12.76	27.99	143.88	5.48	28.41	9.40
ایرانشهر Iranshahr	20.34	34.32	103.65	4.41	28.31	9.23
کنارک Konarak	20.76	32.65	90.31	4.05	62.80	8.53
چابهار Chabahar	23.43	29.54	112.00	4.09	74.34	8.15
نیک‌شهر Nikshahr	21.70	34.80	159.00	9.60	37.00	9.50

$$CWU_{green} = 10 * \sum_{d=1}^{EP} ET_{green} \quad (۵) \text{ معادله}$$

$$CWU_{blue} = 10 * \sum_{d=1}^{EP} ET_{blue} \quad (۶) \text{ معادله}$$

که در آن، ET_{green} : نشان‌دهنده تبخیر-تعرق آب سبز (تبخیر-تعرق ناشی از آب باران مورد استفاده گیاه) و ET_{blue} : نشان‌دهنده تبخیر-تعرق آب آبی (تبخیر-تعرق ناشی از آب آبیاری مورد استفاده گیاه) برحسب (میلی‌متر در سال) می‌باشند. عدد ۱۰ نیز به منظور تبدیل عمق آب در میلی‌متر به حجم آب در سطح زمین بر حسب متر مکعب در هکتار است. در معادله‌های ۶ و ۷، lgp : طول دوره رشد در واحد روز است. بدین ترتیب، منظور از مجموع داده‌های تبخیر-تعرق در طول دوره رشد یعنی محاسبه مجموع تبخیر-تعرق روزانه گیاه از روز اول کاشت گیاه تا روز برداشت آن می‌باشد. جزء آبی مورد استفاده گیاه (CWU_{blue}) که از معادله ۷ به دست می‌آید، مقدار آبی که به صورت مستقیم (نیاز آبی گیاه) از طریق آبیاری مورد استفاده گیاه است، را نشان می‌دهد. این در حالی است که هنگام آبیاری، مقدار آب نیز به صورت غیرمستقیم مورد مصرف قرار می‌گیرد که این مصارف غیرمستقیم آبشویی خاک، آبیاری‌هایی که به دلیل راندمان پایین آبیاری مصرف می‌شود، را شامل می‌گردد. گارسیا موریلو و همکاران (Garcia Morillo et al., 2015)، با توجه به مفاهیم و توضیحات ذکر شده، به منظور محاسبه جزء آبی واقعی مورد استفاده در تولید محصولات معادله ۷ را به صورت زیر ارائه دادند.

$$CWA_{blue} = WAg + \sum_{i=1}^n WAI \quad (۷) \text{ معادله}$$

که در آن، WAg : مقدار آب مستقیم مصرفی (بر اساس نیاز آبی) و WAI : مقدار آبی است که به صورت غیرمستقیم (آبشویی، راندمان کاربرد پایین، جلوگیری از سرمازدگی و ...) برحسب (متر مکعب در هکتار) مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور محاسبه تبخیر-تعرق روزانه نیز از معادله پیشنهادی آلن و همکاران (Allen et al., 1998) مطابق معادله ۸ استفاده گردید.

$$ET = Ks[t] * Kc[t] * ET0[t] \quad (۸) \text{ معادله}$$

که در آن، $Kc[t]$: ضریب گیاهی، $Ks[t]$: عامل بدون بعد کاهش تعرق که وابسته به آب قابل دسترس در خاک می‌باشد و $ET0[t]$: تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد. $Ks[t]$ بر اساس تابع روزانه حداکثر مقدار واقعی رطوبت قابل دسترس در ناحیه ریشه خاک قابل محاسبه است (معادله ۸).

این مدل با استفاده از داده‌های تجربی شش فصل زراعی روی ذرت در دانشگاه کالیفرنیا مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داده شد، زیست توده و عملکرد محصول در شرایط مختلف تراکم بوته، تاریخ کاشت و نیاز آبی با دقت مناسبی شبیه‌سازی می‌شود (Hsiao et al., 2009). همچنین این مدل برای شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد محصول جو در شمال ایتوبی مورد استفاده قرار گرفت و نتایج نشان داد که مدل از دقت خوبی برخوردار است (Araya et al., 2010). شبیه‌سازی روزانه رشد گیاه از کاشت تا برداشت برای محصولات مورد بررسی پس از واسنجی و صحت‌سنجی اکواکراپ انجام شد. سپس با استفاده از خروجی‌های نرم‌افزار که شامل اجزای بیلان است با توجه به فرمول ذیل، ردپای آب آبی و ردپای آب سبز محاسبه گردید.

ردپای آب هر محصول از حاصل جمع دو جزء آب آبی و آب سبز به دست آمد (معادله ۱).

$$WF_i = WF_{i_{green}} + WF_{i_{blue}} \quad (۱) \text{ معادله}$$

که در آن WF_i : ردپای آب کل محصول i است، $WF_{i_{blue}}$: ردپای آب آبی است که برای آب‌های مورد استفاده از منابع سطحی و زیرزمینی محاسبه گردید، $WF_{i_{green}}$: ردپای آب سبز می‌باشد که شامل حجمی از آب باران مؤثر است که به صورت رطوبت در خاک ذخیره می‌شود.

در معادله ۱، ردپای آب به عنوان واحدی از محصول بیان می‌شود، یعنی حجم آب در جرم محصول که معمولاً برای بیان روند ردپای آب در بخش کشاورزی از عنوان تن در هکتار استفاده می‌شود. برای این منظور، از حاصل تقسیم شدن ردپای آب هر محصول بر مقدار عملکرد آن استفاده گردید (معادله ۲).

$$WF = WF_i / Y \quad (۲) \text{ معادله}$$

ردپای آب هر جزء نیز طبق معادله‌های ۳ تا ۵ به دست می‌آید.

$$WF_{i_{green}} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (۳) \text{ معادله}$$

$$WF_{i_{blue}} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (۴) \text{ معادله}$$

که در معادله‌های ۳ و ۴، CWU_{green} و CWU_{blue} : به ترتیب جزء آب سبز و جزء آب آبی محصول برحسب (متر مکعب در هکتار) و Y : عملکرد گیاهان زراعی برحسب (تن بر هکتار) می‌باشد.

اجزا مصرف آب محصول (CWU) سبز و آبی نیز از مجموع تبخیر-تعرق روزانه در تمام دوره رشد یک گیاه به صورت معادله ۶ و ۷ محاسبه گردید.

$$ET_{green} = \begin{cases} ETc & , Irr Req = 0 \\ Eff Rain & , other wise \end{cases} \quad (12) \text{ معادله}$$

$$ET_{blue} = \begin{cases} 0 & , Eff Rain \geq ETc \\ ETc - Eff Rain & , other wise \end{cases} \quad (13) \text{ معادله}$$

آزمون روند من‌کندال

این آزمون ابتدا توسط من (Mann, 1945) ارائه و سپس توسط کندال (Kandel, 1975) توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی (۱۹۶۶) توصیه شده است. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است (Turgay & Ercan, 2005). در این روش، داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده (X_i) با تمام داده‌های بعد از خود (X_j) مقایسه می‌شود. مراحل انجام این آزمون به ترتیب زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sign(x_i - x_j) \quad (14) \text{ معادله}$$

$$(15) \text{ معادله}$$

$$sign(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i > x_j \\ 0 & \text{if } x_i = x_j \\ -1 & \text{if } x_i < x_j \end{cases}$$

برای متغیرهای مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون گره (دو یا چندین داده با مقادیر عددی مساوی) میانگین و واریانس پارامتر من‌کندال (S) به صورت معادله‌های ۱۶ و ۱۷ است:

$$E(S) = 0 \quad (16) \text{ معادله}$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (17) \text{ معادله}$$

که در آن، n : تعداد داده‌های سری مشاهدات است. اگر در سری مشاهدات داده‌های تکراری وجود داشته باشد مقدار واریانس از معادله ۱۸ محاسبه خواهد شد.

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n (i)(i-1)(2i+5)}{18} \quad (18) \text{ معادله}$$

که در آن، t_i : تعداد گره با ظرفیت i را نشان می‌دهد. برای مثال، در یک سری داده فقط سه عدد با مقادیر مساوی وجود داشته باشد یک گره با ظرفیت ۳ ($t_3=1$) وجود خواهد داشت.

اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد، S از توزیع نرمال پیروی خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (Z_S) به صورت معادله ۱۹ محاسبه خواهد شد.

$$(9) \text{ معادله}$$

$$Ks[t] = \begin{cases} \frac{S[t]}{(1-p) * Smax[t]} & , S[t] < (1-p) * Smax[t] \\ 1 & , other wise \end{cases}$$

که در آن، $Smax[t]$: ماکزیمم رطوبت قابل دسترس در ناحیه ریشه خاک در حالت ظرفیت زراعی زمین و p : کسری از $Smax$ است که در آن یک محصول می‌تواند آب موردنیاز خود را بدون تنش از منطقه ریشه جذب نماید. تبخیر- تعرق (ET_0) یک منطقه را می‌توان با اندازه‌گیری مستقیم و یا با تخمین با استفاده از یک مدل یا فرمول تجربی محاسبه نمود. از آنجایی که اندازه‌گیری مستقیم تبخیر- تعرق کاری پرهزینه و غیرمعمول می‌باشد، در اکثر موارد از روش‌های غیرمستقیم استفاده شد. در این تحقیق، ۱۳ روش غیرمستقیم برآورد تبخیر- تعرق مورد محاسبه قرار گرفت و در نهایت، با استفاده از داده‌های لایسیمیتری بهترین روش برای هر منطقه انتخاب گردید و مینا محاسبات قرار گرفت.

پس از محاسبه تبخیر- تعرق، نیاز آبی محصول با استفاده از تبخیر- تعرق، ضریب گیاهی و بارندگی مؤثر برآورد گشت. معادله برآورد نیاز آبی محصول نیز به صورت معادله ۱۱ می‌باشد.

$$Irr Req = \sum_{d=1}^{lgp} ((ET_0 * Kc) - Eff Rain) \quad (10) \text{ معادله}$$

که در آن، $Irr Req$: نیاز آبیاری برحسب periods mm بوده و Kc : ضریب گیاهی است که مقدار آن بر اساس خصوصیات محصول، تاریخ کشت، رشد محصول، طول فصل رشد و شرایط اقلیمی تغییر می‌کند (Doorenbos, 1984) و $Eff Rain$: نیز بارندگی مؤثر بوده که برای محاسبه آن از روش USDA استفاده گردید. در این روش، زمانی که بارندگی افزایش پیدا می‌کند، مقدار کارایی آن کاهش خواهد یافت (Yarahmadi, 2003). روش پیشنهادی USDA برای محاسبه بارندگی مؤثر به صورت معادله ۱۱ می‌باشد.

$$(11) \text{ معادله}$$

$$Eff Rain = \begin{cases} \frac{Ptot(125 - 0.2 Ptot)}{125} & , Ptot \leq 250 mm \\ 125 + 0.1 Ptot & , other wise \end{cases}$$

که در آن، $Ptot$: کل بارندگی و $Eff Rain$: بارندگی مؤثر برحسب میلی‌متر می‌باشند.

در نهایت، تبخیر- تعرق آب سبز و آبی نیز با توجه به نیاز آبیاری، تبخیر- تعرق گیاهی و بارندگی مؤثر به ترتیب طبق معادله‌های ۱۲ و ۱۳ محاسبه شدند.

میانگین تغییرات ۳۰ ساله آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ۲ میانگین ردپای آب محصولات را برای هر شهرستان نشان می‌دهد. نتایج مربوط به ردپای آب در جدول ۲ شده است. ردپای آب نشان-دهنده میزان آب مصرف شده به‌ازای هر کیلوگرم محصول تولیدی به تفکیک منابع آب می‌باشد. متوسط ردپای آب آبی برای محصول گندم ۱۷۷۳ مترمکعب بر تن محاسبه شد. بدین معنی که برای تولید یک تن گندم در اقلیم آب و هوایی سیستان و بلوچستان به‌طور متوسط ۱۷۷۳ مترمکعب آب از منابع آب آبی مصرف شده است. بیشترین ردپای آب سبز در گندم مربوط به شهرستان خاش و کمترین مربوط به شهرستان زاهدان می‌باشد.

$$Z_s = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (19)$$

بنابراین، در یک آزمون دو طرفه برای تشخیص روند در سطح اعتماد α ، فرض صفر که دال بر نبود روند در سری مشاهدات است، رد خواهد شد، اگر مقدار Z_s بزرگ‌تر یا مساوی Z جدول باشد. برای محاسبه آزمون روند، از نرم افزار Spss استفاده گردید.

نتایج و بحث

به‌منظور تحلیل تغییرات و ارزیابی روند تغییرات ردپای آب محصولات، ابتدا ردپای آب هر دو محصول در دو جزء ردپای آب آبی و آب سبز و حاصل جمع آن‌ها به‌عنوان ردپای آب کل محاسبه شده و

جدول ۲- میانگین ردپای آب گندم و هندوانه در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان

Table 2- Average water footprint of wheat and watermelon in Sistan and Baluchestan cities

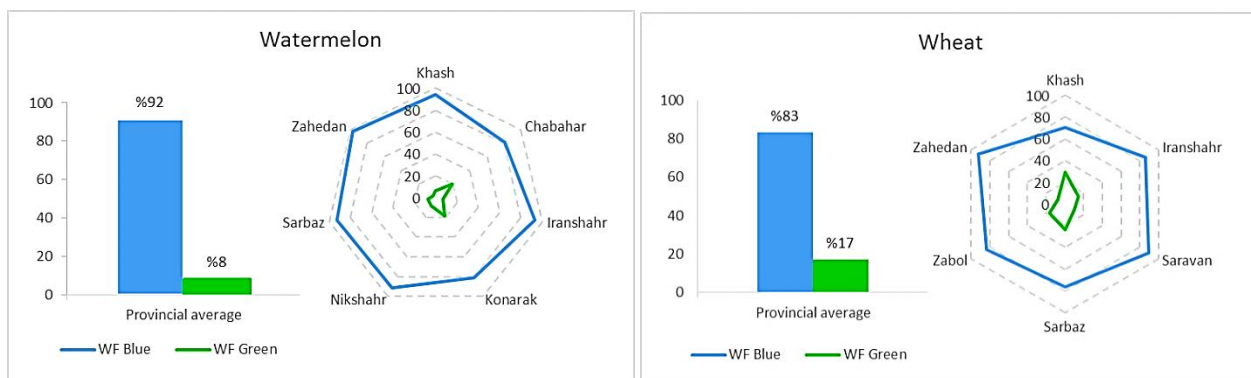
میانگین استان (Average)	Khash (ton.m ⁻³)	Chabahar (ton.m ⁻³)	Iranshahr (ton.m ⁻³)	Konarak (ton.m ⁻³)	Nikshahr (ton.m ⁻³)	Sarbaz (ton.m ⁻³)	Zahedan (ton.m ⁻³)	شهرستان City	محصول product
291.7	244.5	178.7	276.8	123.9	295.2	423.5	499.3	WF blue	هندوانه Watermelon
26.5	15.4	42.7	21.3	28.3	27.8	32.6	17.2	WF green	
318.1	259.8	221.3	298.1	152.2	323	456.1	516.5	WF total	
میانگین استان (Average)	*	Khash	Iranshahr	Saravan	Sarbaz	Zabol	Zahedan	شهرستان City	گندم Wheat
1773.0	*	1824.9	1385	1699.5	1133.6	2319.5	2275.4	WF blue	
361.9	*	754	233	193	352.9	458.8	179.6	WF green	
2134.9	*	2578.9	1618.1	1892.6	1486.5	2778.3	2455.1	WF total	

آبیاری فاریاب می‌باشد. به‌طور متوسط، سهم آب آبی و آب سبز از ردپای آب کل محصول به‌ترتیب برای محصولات گندم ۸۳ و ۱۷ درصد برای هندوانه ۹۲ و ۸ درصد در استان سیستان و بلوچستان به‌دست آمد. بیشترین میزان ردپای آب آبی برای شهرستان زاهدان و ایرانشهر برای هر دو محصول گندم و هندوانه به‌دست آمد. بیشترین میزان ردپای آب سبز برای محصول هندوانه در شهرستان‌های خاش و چابهار و برای محصول گندم در خاش و سرپاز به‌دست آمد، نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با پژوهش کاراندیش (Karandish, 2018) و سالاری و همکاران (Salari et al., 2015) مطابقت دارد. همچنین نتایج تحقیق سالاری و همکاران (Salari et al., 2015)

با توجه به نتایج جدول ۲ میزان ردپای آب گندم در همه شهرستان‌ها بیشتر از هندوانه است که علت این امر عملکرد بالای هندوانه در مقایسه با گندم می‌باشد. در مقایسه اجزای ردپای آب، ردپای آب آبی محصولات از ردپای آب سبز آن‌ها بیشتر می‌باشد و این نشان‌دهنده مصرف بیشتر این محصولات از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی (آب آبیاری) است. شکل ۲، سهم آب آبی و سبز هر یک از محصولات را در هر شهرستان بر اساس درصد نشان می‌دهد. سهم آب سبز در ردپای آب محصولات در محصول گندم بیشتر از هندوانه است (شکل ۲) که این موضوع به‌دلیل زمان کشت و استفاده بیشتر این محصول از نزولات آسمانی و بارندگی به‌جای

به [Hoekstra & Chapagin, 2007](#); [Aligholinia et al, 2017](#)) نتایج مشابهی دست یافتند، همچنین آن‌ها بیان داشتند، بیشترین مقدار آب مصرفی مربوط به مصرف غلات می‌باشد.

نشان دادند آب سبز سهم ناچیزی در آبیاری محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان دارد و حدوداً ۹۰/۸ درصد از آبیاری محصول گندم از طریق مصرف آب آبی انجام می‌شود. ([Arabi et al., 2012](#);



شکل ۲- سهم و درصد ردپای آب آبی و سبز گندم و هندوانه در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان

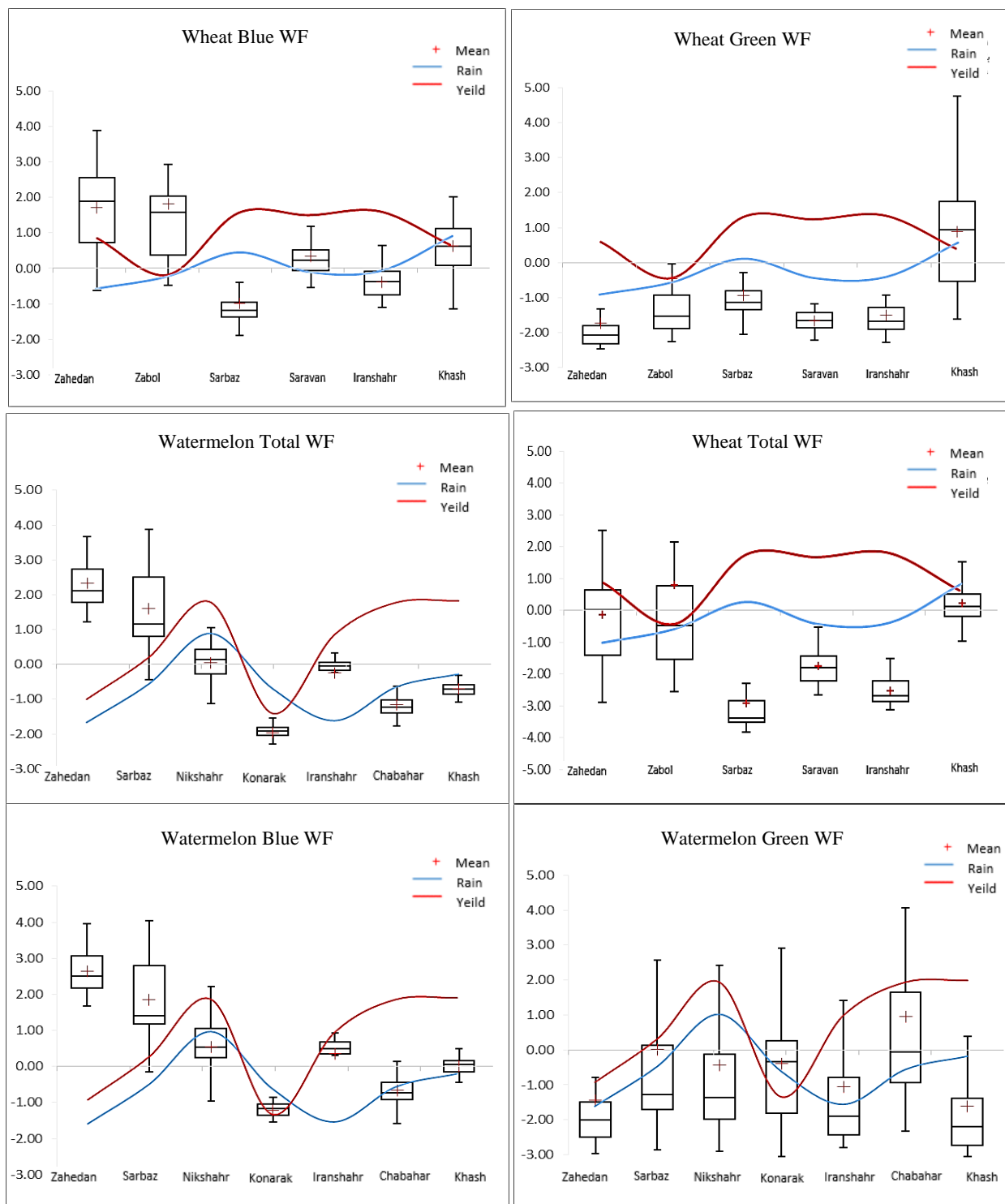
Fig. 2- Share and percentage of blue and green water footprints of wheat and watermelon in Sistan and Baluchestan cities

ردپای آب سبز گیاهان هم در آنجا افزایش داشته و با کاهش آن، شاهد کاهش ردپای آب سبز بوده است. با این حال، از تأثیر عملکرد در تغییرات ردپای گیاهان در شهرستان‌ها نمی‌شود، چشم‌پوشی کرد. این موضوع در شهرستان سراوان برای محصول گندم و در شهرستان ایرانشهر برای محصول هندوانه کاملاً مشهود است.

جهت بررسی روند تغییرات ۳۰ ساله از روندیابی منکندال استفاده شد. روند تغییرات ردپای آب در سه بخش آب آبی، سبز و کل و همچنین برای عملکرد و بارندگی مورد محاسبه قرار گرفت. شکل ۴ نتایج روندیابی را برای هر دو محصول گندم و هندوانه در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، عملکرد هندوانه در شهرستان‌های نیکشهر، چابهار و خاش دارای روند افزایشی بوده و همین امر باعث کاهش ردپای آب آبی و به تبع آن کاهش ردپای آب کل محصول گردیده است. در محصول گندم، بارندگی عامل تأثیرگذارتر بوده و با تغییرات روند ۳۰ ساله آن، ردپای آب محصول به‌خصوص ردپای آب سبز آن تحت تأثیر قرار گرفته است. در ایستگاه‌های زابل، ایرانشهر و زاهدان این موضوع کاملاً مشهود بوده و با کاهش روند بارندگی، ردپای آب سبز محصول کاهش داشته است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد تأثیر متقابل عملکرد و بارندگی توأم باید بررسی گردد.

به‌منظور بررسی بیشتر تغییرات ردپای آب و تأثیرات عملکرد و بارندگی در هر شهرستان بر آن، تغییرات هر یک از اجزای ردپای آب به‌صورت نمودار جعبه‌ای رسم شده و به‌منظور بررسی تأثیر بارندگی و عملکرد، واحدهای بعد شده و به مقایسه همزمان این پارامترها پرداخته شده است. شکل‌های ۳ تأثیر متقابل تغییرات پارامترهای بارندگی و عملکرد را بر اجزای ردپای آب نشان می‌دهد. در واقع، همبستگی بین عملکرد و بارندگی محصول گندم در اکثر شهرستان‌ها تفاوت چندانی وجود نداشت، به‌استثنای شهرستان سراوان، اثر متقابل مثبت بین بارندگی و عملکرد مشاهده گشت. محصول هندوانه، شهرستان چابهار نیک‌شهر و خاش عملکرد و بارندگی اثر متقابل مثبت در ردپای آب آبی و سبز و کل داشتند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد، عملکرد گندم و هندوانه در این شهرستان‌ها متأثر از آب آبی و سبز (مکمل در جهت آبیاری) می‌باشد.

ارزیابی شکل ۴ نشان‌دهنده روند معکوس بین ردپای آب سبز و ردپای آب آبی در اکثر شهرستان‌ها برای دو محصول هندوانه و گندم می‌باشد، به‌طوری‌که در هر شهرستانی که ردپای آب آبی بالاست، میزان ردپای آب سبز آن پایین بوده و در شهرستان‌هایی که ردپای آب آبی کم، میزان ردپای آب سبز بیشتر می‌باشد. با توجه به نمودارهای جعبه‌ای و تغییرات بارندگی و عملکرد می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات ردپای آب سبز در شهرستان‌ها عمدتاً تحت تأثیر بارندگی می‌باشد، به‌نحوی که با افزایش بارندگی در یک ایستگاه



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای اجزای ردپای آب و تغییرات عملکرد و بارندگی در هر شهرستان

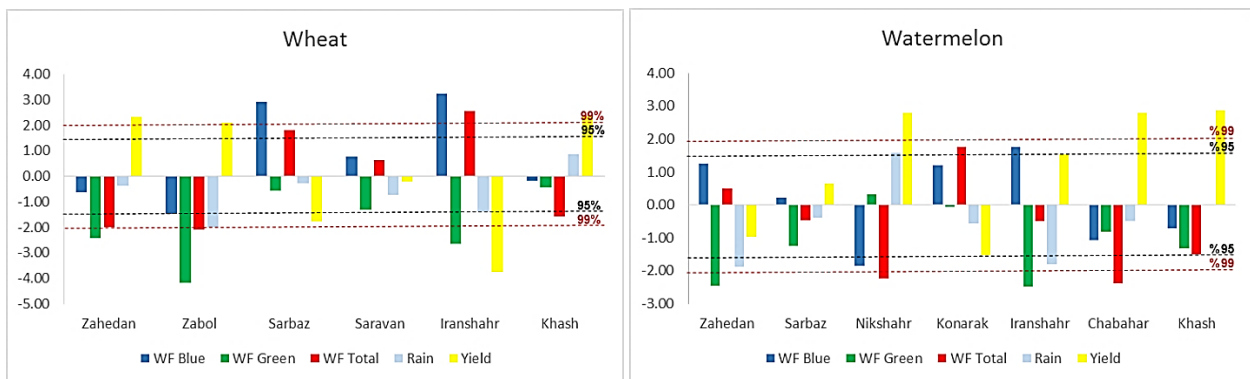
Fig. 3- Diagram box of water footprint components and changes in yield and rainfall in each city

شهرستان زاهدان با کاهش بارندگی ردپای آب سبز محصول کاهش داشته، اما همزمان ردپای آب آبی محصول دارای روند کاهشی بوده

تأثیر متقابل این دو پارامتر را در محصول گندم و در شهرستان‌های زاهدان و ایرانشهر به‌خوبی می‌توان مشاهده کرد.

شده و نتایج تحقیقات آن‌ها تأییدکننده صحت نتایج تحقیق فوق می‌باشد. با توجه به اینکه بخش کشاورزی تکیه‌گاه اصلی در تأمین نیاز غذایی کشور است، از طرفی، با توجه به افزایش جمعیت در نتیجه فشار بیشتر روی منابع آبی و ایجاد عدم امنیت غذایی در نهایت، روند ردپای آب آبی و سبز در گندم و هندوانه می‌تواند سطح خودکفایی این شهرستان‌ها را در این دو محصول نشان دهد. (Golabi et al., 2019) با مطالعه بر سیر تاریخی گیاه جو در شهرستان‌های اصفهان به نتایج مشابه دست یافتند.

که این به دلیل افزایش عملکرد گندم در این شهرستان بوده است. دقیقاً عکس همین روند را در شهرستان ایران‌شهر برای محصول گندم می‌توان دید، به طوری که با کاهش بارندگی ردپای آب سبز روند کاهش یافته و با کاهش عملکرد ردپای آب آبی افزایش یافته و تأثیر متقابل آن‌ها باعث افزایش ردپای آب کل محصول در این شهرستان شده است. این موضوع در تحقیقات علیقلی‌نیا و همکاران (Aligholinia et al., 2020) و سالاری و همکاران (Salari et al., 2015) برای محصولات دیگر در اقلیم‌های شش‌گانه ایران نیز اشاره



شکل ۴- روند تغییرات ردپای آب آبی، سبز و کل، عملکرد و بارندگی در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان
Fig. 4- Trend of changes blue, green and total water footprint, yield and rainfall in Sistan and Baluchestan cities

محصولی برای کشت در منطقه مناسب خواهد بود که ضمن دارا بودن ردپای آب کل کمتر، سهم ردپای آب سبز آن نسبت به ردپای آب آبی آن بیشتر باشد و به تبع آن، محصولاتی با عملکرد و بهره‌وری پایین (ردپای آب کل بالا) برای کشت در منطقه مناسب نبوده و در انتخاب الگوی کشت و تعیین سیاست‌های کشاورزی منطقه این مفاهیم باید مد نظر قرار بگیرد. مدیریت ردپای آب به عادت‌های فردی در جامعه و فرهنگ مصرفی جامعه مربوط است. از طرف دیگر، در بعضی مناطق، آبی که برای رشد بعضی از محصولات نیاز است، بالاتر از اقتضای شرایط اقلیمی آن ناحیه قرار می‌گیرد، در نتیجه فشار بیشتری به منابع آب آن ناحیه وارد می‌گردد. درحالی‌که همان محصول در شرایط جغرافیایی مناسب‌تر به آب کمتری برای رشد نیاز دارد، در نتیجه ردپای آب کمتری نیز به‌جای خواهد گذاشت. مردم اطلاعات چندانی در مورد تأثیرشان روی منابع آب و کمبود آن ندارند. به همین دلیل، نیاز است تا مصرف‌کنندگان از شرکت‌ها و دیگر ذینفعان در روند تولید محصولات، شفافیت بیشتری در ارتباط با ردپای آب بخواهند با استفاده از روش‌های متفاوت (تغییر الگوی مصرف، اصلاح الگوی کشت، تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، کم کردن تبخیر و

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی ردپای آب ۳۰ ساله دو محصول گندم و هندوانه در شهرستان‌های سیستان و بلوچستان پرداخته شد. نتایج نشان‌دهنده ردپای آب بیشتر گندم نسبت به هندوانه است که این به دلیل عملکرد بالای محصول هندوانه در مقابل گندم می‌باشد. در مقایسه ردپای آب آبی و سبز محصولات، نتایج نشان‌دهنده سهم بیشتر ردپای آب سبز در محصول گندم نسبت به محصول هندوانه است که این نیز به دلیل طول دوره رشد و تاریخ کشت و برداشت محصول گندم و استفاده بیشتر این محصول از منابع آب بارندگی است. ارزیابی روند تغییرات با روندیابی منکندال حاکی از افزایش عملکرد و کاهش بارندگی در ۳۰ سال مورد تحقیق در دو محل بوده که این باعث افزایش ردپای آب آبی و کاهش ردپای آب سبز محصولات شده است. با این حال، میزان کاهش یا افزایش بارندگی و عملکرد در همه شهرستان‌ها یکسان و به یک روند معین نبوده و همین موضوع اهمیت ارائه الگوی کشت محصولات در شهرستان‌ها را بر مبنای ردپای آب محصول نشان می‌دهد. بر مبنای تحقیق فوق،

تعرق به وسیله پوشش منابع آب آبی) سهم آب آبی کاهش پیدا کند و بدین وسیله از حمایت مالی در چاپ مقاله که از محل اعتبارات مدیریت مؤثرتری اعمال گردد. معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره ۲۱-۹۷۱۹ تأمین شده، سپاسگزاری می‌گردد.

سپاسگزاری

References

1. Aligholina, T., Rezaei, H., Bahmanesh, J., & Montasseri, J., 2017. Study of water footprint index for dominant crops in the Lake Urmia Catchment and its relationship with irrigation management. *Soil Science*, 27, 4. 37-48. (In Persian with English Summary)
2. Aligholinia, T., Ghorbani, K., Rezaie, H., & Gorbani Nasr Abad, G., (2020). Evaluation and simulation of water footprints of agricultural crops in different climates of Iran considering of climate change scenarios. *Iran-Water Resources Research*, 16(3), 80-97. (In Persian with English Summary) DOI:20.1001.1.17352347.1399.16.3.6.4
3. Aligholinia, T., Sheibani, H., Mohammadi, O., & Hesam, M., (2021). Evaluation and comparison of blue, green and gray water footprint of wheat in different climates of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 15(3), 234-245. (In Persian with English summary). DOI:20.1001.1.17352347.1398.15.3.18.9
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M., (1998). Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO Irrigation and Drainage, FAO.
5. AQUASTAT, (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/>.
6. Arabi, A., Alizadeh, A., Vahab Rajaei, N., Jam K., & Niknia, N. 2012. Agricultural Water Foot Print and Virtual Water Budget in Iran Related to the Consumption of Crop Products by Conserving Irrigation Efficiency. *Journal of Water Resource and Protection*, 4, 318-324. DOI:10.4236/jwarp.2012.45035
7. Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A., & Dejene, T. (2010). Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Management*, 11, 1838-1846. DOI:10.1016/j.agwat.2010.06.021
8. Chapagain, A.K., & Hoekstra, A.Y., (2012). The blue, green, and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70, 749-758. DOI:10.1016/j.ecolecon.2010.11.012
9. Chico, D., Aldaya, M., & Garrido, A., (2013). A water footprint assessment of a pair of jeans: The influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. *Journal of Cleaner Production*, 57, 238-248. DOI:10.1016/j.jclepro.2013.06.001
10. Dahmardeh Ghaleno, M.R., Sadoddin, A., Sheikh, V., & Sabouhi, M., (2017). Optimal utilization of the Chahnimeh water reservoirs in Sistan region of Iran using goal programming method. *Eco Persia*, 5(1), 1641-1654. DOI:10.18869/modares.ecopersia.5.1.1641
11. Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. 1984. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy, 144 p.
12. Ene, A.S., Teodosiu, C., Robu, B., & Volf, I., (2013). Water footprint assessment in the winemaking industry: A case study of office paper. *Journal of Cleaner Production*, 24, 30-35. DOI:10.1016/j.jclepro.2012.11.051
13. FAO., (2010). Global Information and Early Warning System (GIEWS). FAO, Rome, www.fao.org/giews/countrybrief/index.jsp.
14. Garcia-morrillo, J., Martin, M., Camacho, E., Rodriguez Diaz, J.A., & Montesino, I., (2015). Toward precision irrigation for intensive strawberry cultivation. *Agriculture Water Management*, 51, 43-51. DOI:10.1016/j.agwat.2014.09.021
15. Golabi, M.R., Radmanesh, F., Akhondali, A.M., & Niksokhan, M.H., (2019). Investigation of annual water footprint trend of barley production (Case study: Isfahan province). 15-17. The first conference on adaptation strategies to dehydration in arid and semi-arid regions Hakim Sabzevari of University. Sabzevar. Nov 11-19,
16. Hekmatnia, M., Hosseini, S.M., & Safdari, M., (2020). Water resource management of the agricultural sector in Sistan and Baluchestan province: A virtual water perspective. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 11(41), 137-149. (In Persian with English Summary). DOI:10.22125/IWE.2020.114958

17. Herath, I., Green, S., Horne, D., Singh, R., & Clothier, B., (2014). Quantifying and reducing the water footprint of rain-fed potato production, part I: Measuring the net use of blue and green water. *Journal of Cleaner Production*, 81, 111-119. DOI:10.1016/j.jclepro.2014.06.026
18. Hoekstra, A.Y., & Chapagain, A.K., (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1), 35-48. DOI:10.1007/978-1-4020-5591-1_3
19. Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q., (2005). Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15(1), 45-56. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004
20. Hsiao, T.C., Steduto, P., Raes, D., & Fereres, E., (2009). AquaCrop: The FAO crop water model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agricultural Journal*, 101, 448-459. DOI:10.2134/agronj2008.0218s
21. Jefferies, D., Munoz, I., Hoedges, J., King, V.J., Aldaya, M.M., Ercin, A.E., Mila I Canals, L.L., & Hoekstra, A.Y., (2012). Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*, 33, 155-166. DOI:10.1016/j.jclepro.2012.04.015
22. Karadish, F., & Hoekstra, A.Y., (2017). Informing national food and water security policy through water footprint assessment: The case of Iran. *Water*, 9(11), 1-25. DOI:10.3390/w9110831
23. Karadish, F., & Šimůnek, J., (2018). An application of the water footprint assessment to optimize production of crops irrigated with saline water: A scenario assessment with HYDRUS. *Agricultural Water Management*, 208, 67-82. DOI:10.1016/j.agwat.2018.06.010
24. Karadish, F., & Šimůnek, J., (2019). A comparison of the HYDRUS (2D/3D) and SALTMed models to investigate the influence of various water-saving irrigation strategies on the maize water footprint. *Agricultural Water Management*, 213, 809-820. DOI:10.1016/j.agwat.2018.11.023
25. Karadish, F., (2018). Analyzing management scenarios for proper wheat production and consumption in Iran regarding water footprint: Challenges and opportunities. *Iranian of Irrigation and Water Engineering*, 12(4), 954-969. (In Persian with English Summary)
26. Kendall, M.G., (1975). Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.
27. Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrical*, 13, 245-259. DOI:10.2307/1907187
28. Nana, E., Corbari, C., & Bocchiola, D., (2014). A model for crop yield and water footprint assessment: Study of maize in the Po valley. *Agricultural Systems*, 127, 139-149. DOI:10.1016/j.agsy.2014.03.006
29. Salari, S., Karadish, F., & Darzi-Naftchali, A., (2015). Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan province. *Iranian of Irrigation and Water Engineering*, 5(18), 81-94. (In Persian with English summary)
30. Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, I., Saab, M.T.A., Stöckle, C., & Steduto, P., (2009). Assessment of AquaCrop, Crop Syst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*, 101(3), 509-521. DOI:10.2134/agronj2008.0166s
31. Turgay, P., & Ercan, K., (2005). Trend Analysis in Turkish precipitation data. Hydrological processes published online in Wiley Interscience (www.Interscience.wiley.com).
32. Yao, C., Teng, Y., & Huang, L., (2017). Evaluation index system construction and empirical analysis on food security in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(4), 1-10. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2015.04.001
33. Yarahmadi, J., (2003). The integration of satellite images, GIS and CROPWAT model to investigation of water balance in irrigated area; A Case Study of Salmas and Tassooj Plain, Iran. 65pp.