Research Paper

Evaluation of Virtual Water and Water Consumption Intensity in the Production of Horticultural Products in Alborz Province in the Current and Optimal Conditions

Mohammad Shirali [1], Aslan Egdernezhad [2*], Saloome Sepehri Sadeghian[3]

[1] M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
[2] Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

.

10.22125/IWE.2022.350295.1649

Received:
September 3, 2022
Accepted:
December 12, 2022
Available online:
October 3, 2023

Keywords:
Virtual Water, Intensity of Water Consumption, FAO 33, Optimization.

Abstract

Alborz province is one of the hubs of horticultural products in the country, whose garden area has doubled in recent years. This has increased the pressure on the province's water resources. Therefore, to find a solution to reduce the pressure on water resources in this province, the status of horticultural production based on the concepts of virtual water and the intensity of water consumption in the current and optimal conditions were examined.

[3] Assistant professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

1. Introduction

Alborz province is one of Iran's hubs of agricultural and horticultural production, which consumes a large part of its water resources for agricultural purposes every year. The amount of horticultural production in this province is increasing every year, so the area under cultivation of gardens has increased more than twice in the last 15 years. This issue has caused water tension in this province. Therefore, in order to protect its water resources, it is necessary to pay attention to the management of water consumption in the agricultural sector based on the concept of virtual water. Therefore, in the present research, first, the virtual water status of garden crops in this province was investigated based on the virtual water indicators. In the following, using irrigation planning, the amount of virtual water indicators was determined in optimal water consumption conditions. Then the water stress intensity in two current states and optimal water harvesting conditions for garden use in this province were investigated.

[*] **Corresponding Author:** Aslan Egdernezhad
Address: Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Email: a_eigder@ymail.com
Tel: +989163111269

2. Materials and Methods

In this study, the area under cultivation, average irrigation water, and orchard yield were determined by field studies by researchers. Indicators of water consumption, virtual water, water productivity, virtual water consumed, and water consumption intensity were obtained. Then, using irrigation planning, the amount of irrigation water was evaluated for the conditions of reducing water consumption in orchards. The best conditions for each crop were selected based on the results obtained and compared with the current conditions.

3. Results

According to the results, in most garden products, it is necessary to reduce water consumption compared to the current situation. The largest decrease was observed in peach, apple, nectarine, and grape crops. The difference between water consumption for these products in the current and optimal conditions was 0.7, 6.4, 6.3, and 5.7 million cubic meters, respectively. The lowest difference between water consumption in the current and optimal conditions was determined in pomegranate and pistachio products with a difference of 0.12 and 0.35 million cubic meters. The average of virtual water consumed by horticultural products in Alborz province in the current situation is 0.0133 million cubic meters, which in the optimal case decreased to 0.0109 million cubic meters. Therefore, with the reduction of water consumption in orchards, the intensity of water consumption decreases from 0.33 to 0.26. This will save 19% of the province's water resources.

4. Discussion and Conclusion

The results of this research showed that in the current conditions, the amount of virtual water, water consumption, and virtual water consumed by garden products in Alborz province are between 0.0002-0.1081 cubic meters per kilogram, 0.63-35.13 million cubic meters, and 0.0090-0.0160 million cubic meters, respectively. The lowest difference between the virtual water consumed in the two current and optimal conditions was obtained in pomegranate and pistachio orchards, and the highest difference in the virtual water consumed in the two current and optimal conditions was obtained in grape orchards with the amount of 0.0044 million cubic meters. In optimal conditions, except for the two crops of cherry and almond, the amount of irrigation water for other garden crops decreased. Changes in the amount of water consumed by gardens in Alborz province caused an 80% decrease in the intensity of water consumption. In addition, these changes reduced the indicators of virtual water, water consumption, and virtual consumed garden products to 0.0001-0.865 cubic meters per kilogram, 0.51-28.11 million cubic meters, and 0.0046-0.0174 million cubic meters, respectively.

5. Six important references

- 1) El-Sadek, A., “Virtual Water Trade as a Solution for Water Scarcity in Egypt”, Water Resources Management, 2010. PP. 2437-2448.
- 2) Fraiture, C. de, Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M., Molden, D. “Does International Cereal rade Save Water? The Impact of Virtual Water Trade on Global Water Use”. Comprehensive Assessment Research Report 4, Colombo, Sri Lanka, Comprehensive Assessment Secretariat. 2004.
- 3) Jiang, W. & Marggraf, R. “Bilateral virtual water trade in agricultural products: a case study of Germany and China”. Water International. 2015. 40 (3): 483-498.
- 4) Masud, M. B., Wada, Y., Goss, G. & Faramarzi, M. “Global implications of regional grain production through virtual water trade”. Science of the Total Environment. 2019. 659, 807-820.
- 5)Renault, D., “Value of virtual water in food: Principles and virtues. In: Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade”, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. 2003.
- 6) Wu, X. J., Li, Y. P., Liu, J., Huang, G. H., Ding, Y. K., Sun, J., and Zhang, H. 2021, Identifying optimal virtual water management strategy for Kazakhstan: A factorial ecologically-extended input-output model, Journal of Environmental Management, 297: 113303.

.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال چهاردهم. شماره پنجاه و سه . پاییز ۱۴۰۲

ارزیابی آب مجازی و شدت مصرف آب در تولید محصولات باغی استان البرز در شرایط فعلی و بهینه

محمد شیرآلی[۱]، اصلان اگدرنژاد[۲]، سالومه سپهری صادقیان[۳]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۹/۲۱

مقاله پژوهشی

چکیده

استان البرز یکی از قطب‌های محصولات باغی در کشور است که سطح باغات آن در طی سال‌های اخیر دو برابر شده است. این موضوع سبب افزایش فشار بر منابع آب این استان شده است. از این رو، برای یافتن راه‌حلی برای کاهش فشار بر منابع آب این استان، وضعیت تولیدات باغی براساس مفاهیم آب مجازی و شدت مصرف آب در دو حالت فعلی و بهینه مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق ابتدا سطح زیر کشت، متوسط آب آبیاری و عملکرد باغات با مطالعات میدانی توسط محققان و اخذ اطلاعات از جهاد کشاورزی استان البرز تعیین شد. سپس شاخص‌های مصرف آب، آب مجازی، بهره‌وری آب، آب مجازی مصرف شده و شدت مصرف آب به دست آمد. در ادامه، با استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری، میزان آب آبیاری برای شرایط کاهش مصرف آب در باغات بررسی شد. در انتها، بهترین شرایط برای هر محصول براساس نتایج به دست آمده انتخاب و با شرایط فعلی مقایسه شد. براساس نتایج، در اکثر محصولات باغی لازم است میزان مصرف آب نسبت به شرایط فعلی کاهش یابد. بیشترین کاهش در محصولات هلو، سیب، شلیل و انگور دیده شد. تفاوت آب مصرفی برای این محصولات در دو حالت فعلی و بهینه به ترتیب ۷/۰، ۶/۴، ۶/۳ و ۵/۷ میلیون مترمکعب بود. کمترین اختلاف بین مصرف آب در حالت فعلی و بهینه نیز در محصولات انار و پسته با اختلاف ۰/۱۲ و ۰/۳۵ میلیون مترمکعب تعیین شد. متوسط آب مجازی مصرف شده توسط محصولات باغی در استان البرز در شرایط فعلی ۰/۰۱۳۳ میلیون مترمکعب است که در حالت بهینه به ۰/۰۱۰۹ میلیون مترمکعب کاهش یافت. از این رو، با کاهش مصرف آب در باغات، شدت مصرف آب از ۰/۳۳ به ۰/۲۶ کاهش می‌یابد. این عمل سبب صرفه‌جویی ۱۹ درصدی در منابع آب این استان می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، بهینه‌یابی، شدت مصرف آب.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۶۸۰۷۲۸۹۴، پست الکترونیک: mohammad.shirali32@gmail.com

[۲] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۶۳۱۱۱۲۶۹، پست الکترونیک: a_eigder@ymail.com (مسئول مکاتبات)

[۳] استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۲۳۹۵۴۸۳۷. پست الکترونیک: sepehri_saloome@yahoo.com

مقدمه

حدود ۲۷ درصد تولید ناخالص داخلی و بیش از ۲۲ درصد از نیروی کار ایران با بخش کشاورزی مرتبط است (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۷). از این رو نمی‌توان نقش کشاورزی را در توسعه اقتصاد کشور و تولید مواد غذایی نادیده گرفت. از طرف دیگر، بیشترین تولیدات کشاورزی در شرایط فاریاب انجام می‌شود و این موضوع نقش آب در توسعه کشاورزی را بارز می‌کند (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۸؛ ابراهیمی‌پاک و اگدرنژاد، ۱۳۹۶؛ احسانی و همکاران، ۱۳۸۸). افزایش جمعیت در دهه‌های آینده سبب نیاز بیشتر برای تولید محصولات کشاورزی خواهد شد و این موضوع مستلزم در نظر گرفتن آب بیشتر برای بخش کشاورزی است. برای تأمین غذای کشور تا سال ۱۴۱۰ به بیش از ۱۵۰ میلیارد مترمکعب آب در هر سال نیاز خواهد بود که با توجه به اینکه کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۸) و روند توسعه خشکسالی در دهه‌های آینده نیز بر تداوم تولید محصولات کشاورزی اثر فزاینده‌ای خواهد داشت، سبد آبی کشور قابلیت تأمین این مقدار آب را نخواهد داشت. بنابراین مدیریت بهینه آب در بخش کشاورزی می‌بایست مدنظر قرار گیرد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰؛ اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ علیزاده و خلیلی، ۱۳۸۸). آب مجازی یکی از مفاهیم نوین برای بهینه کردن مصرف آب برای تولید محصولات کشاورزی است. آب مجازی میزان آب پنهانی است که برای تولید محصول کشاورزی در سطح یک زمین کشاورزی، حوضه آبریز یا کشور می‌تواند مدنظر قرار گیرد (Masud et al., 2019). این مفهوم برای اولین بار توسط آلن در دهه ۹۰ میلادی معرفی شد (Chapagain and Hoekstra, 2004). آب مجازی میزان آب مصرفی، غذا و تجارت را به هم پیوند می‌زند و به صورت عکس بهره‌وری آب تعریف شده است. این مهم با توجه به ظرفیت پایین منابع آب تجدیدپذیر بسیاری از کشورها از جمله ایران، می‌تولند به پایداری منابع آب و کشاورزی کمک کند. بدین ترتیب با حذف محصولات آب‌بر در یک منطقه خشک و وارد کردن آن محصولات از مناطق با وضعیت مطلوب آبی، میزان دسترسی به منابع آب افزایش یافته و فشار بر منابع آب کاهش می‌یابد (Antonelli et al., 2017; El-Sadek, 2010). این مفهوم در قلب تجارت نیز گسترش یافته است به طوری که تجارت محصولات کشاورزی مسبب تجارت آب مجازی است. نتایج تحقیقی طی سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۹۵ نشان داد که گندم، سویا و برنج به ترتیب ۳۰، ۱۷ و ۱۵ درصد حجم تجارت آب مجازی بین کشورها را به خود اختصاص داد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). کشور مصر برای کاهش فشار بر منابع آبی خود و ذخیره حدود ۹/۹ میلیارد مترمکعب آب، در سال ۱۹۹۵ حدود ۷/۵ میلیون تن غلات وارد کرد (Fraiture et al., 2004). همچنین، این کشور با وارد کردن هر کیلوگرم ذرت، حدود ۰/۵۲ مترمکعب آب در هکتار ذخیره کرده است (Renault, 2003). بررسی میزان تبادل آب مجازی در کشور ایران در طی این سال‌ها (۱۹۹۵-۱۹۹۹) نشان داد که حدود ۲۹/۱ میلیارد مترمکعب آب مجازی توسط واردات محصولات کشاورزی به کشور وارد شده است (Chapagain and Hoekstra, 2004). از طرفی، حدود ۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی از طریق صادرات محصولات کشاورزی طی سال‌های منتهی به ۲۰۰۲ از ایران صادر شده است (احسانی و همکاران، ۱۳۸۸). کشور کانادا با صادرات گندم طی ۱۰ سال حدود ۵ میلیارد مترمکعب از منابع آب خود را نیز صادر کرد (Jiang and Marggraf, 2015). در کشور چین نیز به دلیل کمبود منابع آب در برخی مناطق، تولید برخی محصولات در آنجا از نظر آب مجازی توجیه‌پذیر نیست. به همین دلیل انتقال آب مجازی بین مناطق مختلف در این کشور پیشنهاد شد (Deng et al., 2021). مطالعه تبادل آب مجازی بین چین و آلمان نشان داد که سیاست‌های مبتنی بر پایداری منابع آب در کشور آلمان سبب شد که این کشور حدود ۶۹ میلیون مترمکعب از منابع آب خود را ذخیره کند. این مهم با وارد کردن محصولات آب‌بر از کشور چین انجام شد (Jiang and Marggraf, 2015). مشابه این تحقیق در کشورهای ماکائو (Chen et al., 2015) و اسپانیا (Renault, 2003) انجام شد و این محققان گزارش کردند که با وجود صادرات آب مجازی، فشاری بر منابع آب این کشورها وارد نکرده است. ارزیابی وضعیت تولید محصولات کشاورزی و آب

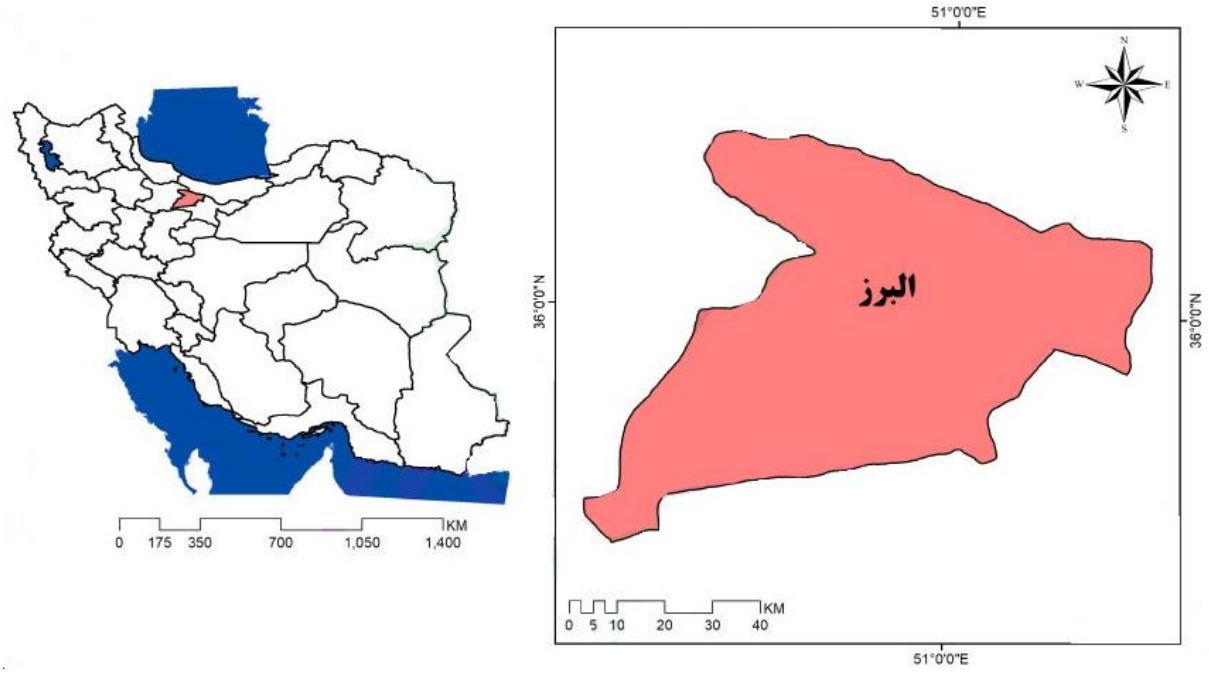
مجازی در ایران نشان داد که در اکثر استان‌ها آب پایدار و کافی برای تولید محصولات کشاورزی به خصوص در فصل تابستان وجود نداشت. مقدار آب ناپایدار حدود ۱۴/۴ میلیارد مترمکعب در سال و مقدار آب ناکافی حدود ۸/۴ میلیارد مترمکعب در سال بود (Karandish et al., 2021). در تحقیقی که توسط محمدی و بنی‌حبیب انجام شد، کشت محصولات کم‌آب‌بر برای صادرات محصولات کشاورزی در ایران پیشنهاد شد (محمدی و بنی‌حبیب، ۱۳۹۹). بررسی میزان آب مجازی میوه‌های خرما، بادام و فندق در بخش کشاورزی ایران نشان داد که در مجموع هر سال حدود ۱۳۸۳۰ میلیون متر مکعب آب برای تولید این محصولات مصرف می‌شود که ۹۰ درصد آن به طرق مختلف از دسترس خارج می‌گردد. لذا، به دلیل فشار بر منابع آب، مدیریت آب در این زمینه به عنوان یکی از اولویت‌های اساسی پیشنهاد شد (Bazrafshan et al., 2022). بررسی مقدار بهینه آب مجازی برای کشور قزاقستان در تحقیقی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقدار خالص آب مجازی وارد شده به این کشور تا ۴۶ میلیارد مترمکعب می‌تواند باشد. این موضوع می‌تواند به بهبود امنیت آبی این کشور کمک کند. این موضوع با توجه به اینکه بخش کشاورزی حدود ۸۶ درصد از کل آب مجازی صادر شده از این کشور را شامل می‌شود و بهینه کردن آب در کشاورزی می‌تواند با این دیدگاه می‌تواند به حل این معزل کمک کند (Wu et al., 2021).

استان البرز یکی از قطب‌های کشاورزی و تولیدات باغی در ایران است که هر سال بخش زیادی از منابع آب خود را برای مصارف کشاورزی مصرف می‌کند. میزان تولید محصولات باغی در این استان هر سال در حال افزایش است به طوری که سطح زیرکشت باغات طی ۱۵ سال گذشته بیش از دو برابر افزایش یافته است. این موضوع سبب وارد آمدن تنش آبی در این استان شده است. بنابراین، براساس مرور منابع، برای حفاظت از منابع آب آن، لزوم توجه به مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی براساس مفهوم آب مجازی ضروری است. بر این اساس، هدف این پژوهش، بررسی وضعیت فعلی آب مجازی و شدت مصرف آب در تولید محصولات باغی در این استان و ارائه سناریوی بهینه برای مدیریت وضعیت آب این استان است. با توجه به اینکه تاکنون این موضوع مورد توجه محققان نبوده است، در پژوهش حاضر ابتدا وضعیت آب مجازی محصولات باغی در این استان براساس شاخص‌های آب مجازی بررسی شد. در ادامه با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی آبیاری، میزان شاخص‌های آب مجازی در شرایط مصرف بهینه آب تعیین گردید. در ادامه وضعیت شدت تنش آبی در دو حالت فعلی و شرایط بهینه برداشت آب برای مصارف باغی در این استان بررسی شد.

روش تحقیق

محل پژوهش

استان البرز در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز و در همسایگی استان مازندران، قزوین، تهران و مرکزی قرار گرفته است و از نظر جغرافیایی بین طول جغرافیایی ۹٬ ۵۰º تا ۲۷٬ ۵۱º شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲٬ ۳۵º تا ۲۰٬ ۳۶º شمالی قرار دارد (شکل ۱). اقلیم این استان متنوع است به گونه‌ای که از اقلیم بیابانی در قسمت‌های جنوبی شروع شده و تا اقلیم‌های نیمه مرطوب و مرطوب در قسمت‌های شمالی ادامه پیدا می‌کند. با این وجود اقلیم استان البرز متأثر از سامانه‌های شمالی، شمال غربی و غربی است و عمده بارش‌ها در فصول پاییز و زمستان تحت تأثیر این سامانه‌ها انجام می‌شود. از ابتدای آبان بارندگی‌ها در این استان آغاز شده و معمولاً تا اردیبهشت ادامه می‌یابد.



شکل (۱): موقعیت استان البرز در کشور

روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا سطح زیر کشت، متوسط آب آبیاری و عملکرد باغات با مطالعات میدانی توسط کارشناسان تعیین شد. شاخص‌های مصرف آب، آب مجازی، بهره‌وری آب، آب مجازی مصرف شده و شدت مصرف آب توسط روابط ارائه شده در ادامه به دست آمد. سپس با استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری، میزان آب آبیاری برای شرایط کاهش مصرف آب در باغات بررسی شد. بهترین شرایط برای هر محصول براساس نتایج به دست آمده انتخاب شد و با شرایط فعلی مقایسه شد.

شاخص‌های مورد استفاده

برای تعیین میزان مصرف آب در باغات استان البرز از رابطه (۱) استفاده شد.

$$W = \frac{A \times I}{1000000} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، W میزان مصرف آب (میلیون مترمکعب)، A سطح زیرکشت هر محصول (هکتار) و I میزان مصرف آب برای هر محصول براساس مترمکعب بر هکتار است. مقدار آب مجازی برای هر محصول کشاورزی به صورت نسبتی از متوسط نیاز آبی به متوسط عملکرد محصول براساس رابطه (۲) محاسبه شد.

$$VWCc = \frac{CWRc}{Tpc} \qquad (۲)$$

در این رابطه، VWCc میزان آب مجازی محصول کشاورزی (مترمکعب بر کیلوگرم)، CWRc میزان نیاز آبی گیاه زراعی مورد مطالعه (مترمکعب) و TPc متوسط تولید گیاه زراعی (کیلوگرم در سال) است. بهره‌وری آب برای محصولات کشاورزی (WPc) با میزان آب مجازی رابطه معکوس دارد و براساس رابطه (۳) محاسبه شد.

$$WPc = \frac{1}{VWCc} \qquad (۳)$$

میزان آب مجازی مصرف شده استان البرز برای هر محصول، از حاصل ضرب مقدار کمی آن محصول در میزان آب مجازی آن به صورت زیر محاسبه شد.

$$NVWI = M \times VWCc \qquad (۴)$$

که در این رابطه، NVWI میزان آب مجازی مصرف شده (مترمکعب)، M مقدار محصول (کیلوگرم) و VWCc مقدار آب مجازی محصول کشاورزی مورد نظر (مترمکعب بر کیلوگرم) است. شاخص شدت مصرف آب در بخش کشاورزی به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$WI = \frac{AWU}{TWU} \quad (۵)$$

در این رابطه، WI شاخص شدت مصرف آب (-)، AWU مصرف آب در بخش کشاورزی (مترمکعب) و TWU کل منابع آب موجود در استان البرز (مترمکعب) است.

برنامه‌ریزی آبیاری

با توجه به اینکه مدل گیاهی برای شبیه‌سازی باغات وجود ندارد، برای تعیین واکنش عملکرد نسبت به تغییرات آب آبیاری، از رابطه پیشنهاد شده توسط دورنباس و کاسام در نشریه فائو ۳۳ استفاده شد. این رابطه در مدل‌های مختلف گیاهی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (۶)$$

در این روابط، Yx و Ya به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ETx و ETa به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و Ky ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق است. با توجه به اینکه شرایط آبیاری در کل استان البرز برای باغات متفاوت است، برای هر محصول، باغات با مدیریت یکسان انتخاب و میزان محصول برداشت شده و مقدار آب آبیاری تعیین شدند. با استفاده از مقادیر به دست آمده، ضریب Ky برای هر محصول تعیین و در برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. پس سعی شد براساس رابطه (۶)، مقدار عملکرد نسبت به میزان آب آبیاری در چهار سناریو برای هر محصول تعیین شود. این سناریوها شامل تأمین نیاز آبی هر محصول به میزان ۲۰+ درصد بیشتر از نیاز آبی فعلی و ۲۰-، ۴۰- و ۶۰- درصد کمتر از نیاز آبی فعلی محصولات در نظر گرفته شد. علت آن، احتمال بیش‌آبیاری در اکثر باغات استان البرز است که قبلاً توسط بازدیدهای میدانی مشاهده شد. سناریو ۲۰+ بیشتر از نیاز فعلی هم برای بررسی اثر افزایش آبیاری بر تولید محصولات است. برای تعیین سناریوی بهینه، تغییرات عملکرد و آب مجازی در سناریوهای مختلف بررسی و شرایط مصرف آب مجازی کمتر به عنوان انتخاب بهینه پیشنهاد شد. البته انتخاب آن در صورتی مجاز بود که کاهش عملکرد نسبت به سناریوی بعد از آن بیشتر از ۱۰ درصد نباشد.

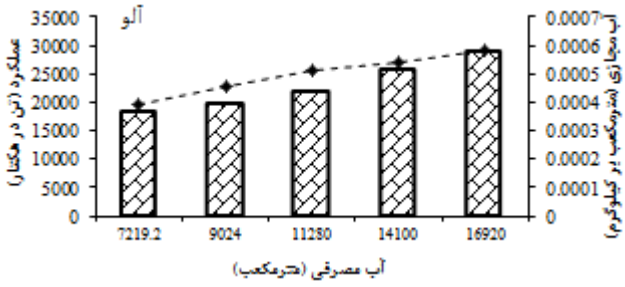
یافته‌ها

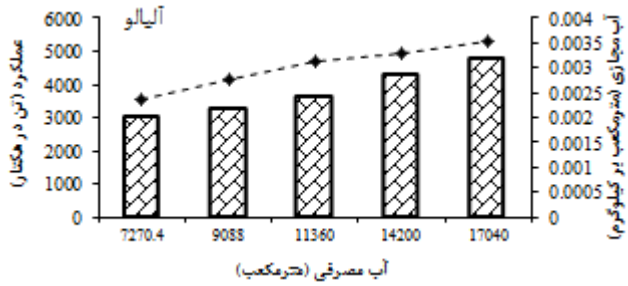
در جدول (۱) مشخصات باغات در استان البرز نشان داده شده است. بیشترین سطح زیر کشت به باغات هلو، شلیل و گیلاس اختصاص دارد. با توجه به سطح زیاد این باغات، عملکرد آن‌ها در سطح استان هم از مقدار قابل توجهی برخوردار است. از طرف دیگر، مصرف آب این محصولات در سطح استان نیز بالا است. لیکن برخی محصولات مانند گلابی، از عملکرد در واحد سطح خوبی برخوردار است. از این رو، با وجود سطح زیرکشت کمتر، عملکرد قابل قبولی در سطح استان البرز دارد. با توجه به عملکرد زیاد محصولات باغی، آب مجازی آن‌ها کم است ولی در محصولاتی مانند پسته، به دلیل عملکرد کم، مقدار آب مجازی بیشتر از سایر محصولات باغی است. کمترین میزان آب مجازی مصرف شده به ترتیب به محصولات انگور، انار و پسته اختصاص داشت. این به دلیل پایین بودن سطح زیر کشت دو محصول انار و پسته و پایین بودن مصرف آب در تولید انگور است. برخی محققان نیاز آبی باغات انگور را ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار گزارش کرده‌اند (عروجیان‌مشهدی و همکاران، ۱۴۰۱) که با احتساب راندمان ۴۰ درصد در آبیاری سطحی برای این باغات در استان البرز، مقدار آب مصرفی باید بیشتر از ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار باشد. همین موضوع سبب شده است تا شدت مصرف آب در تولید این محصولات کمتر از سایر باغات باشد. تفاوت در مقادیر آب مصرفی محصولات مختلف به دلیل تفاوت در تسطیح زمین در باغات برای هر محصول و دانش، توانایی فنی و اجرایی بهره‌بردار برای تأمین نیاز آبی محصولات است (نادری و قدمی‌فیروزآبادی، ۱۴۰۱). تغییرات عملکرد باغات براساس میزان مصرف آب در شکل (۲) نشان داده شده است. روند یکسانی بین همه باغات مشاهده می‌شود به طوری که با افزایش آب آبیاری، عملکرد نیز افزایش می‌یابد. لیکن شدت افزایش برای هر محصول مشابه نیست. برای تعیین مناسب‌ترین مقدار آب آبیاری، عملکرد و آب مجازی برای سناریوهای مختلف آبیاری هر محصول مورد مقایسه قرار گرفت. افزایش آب

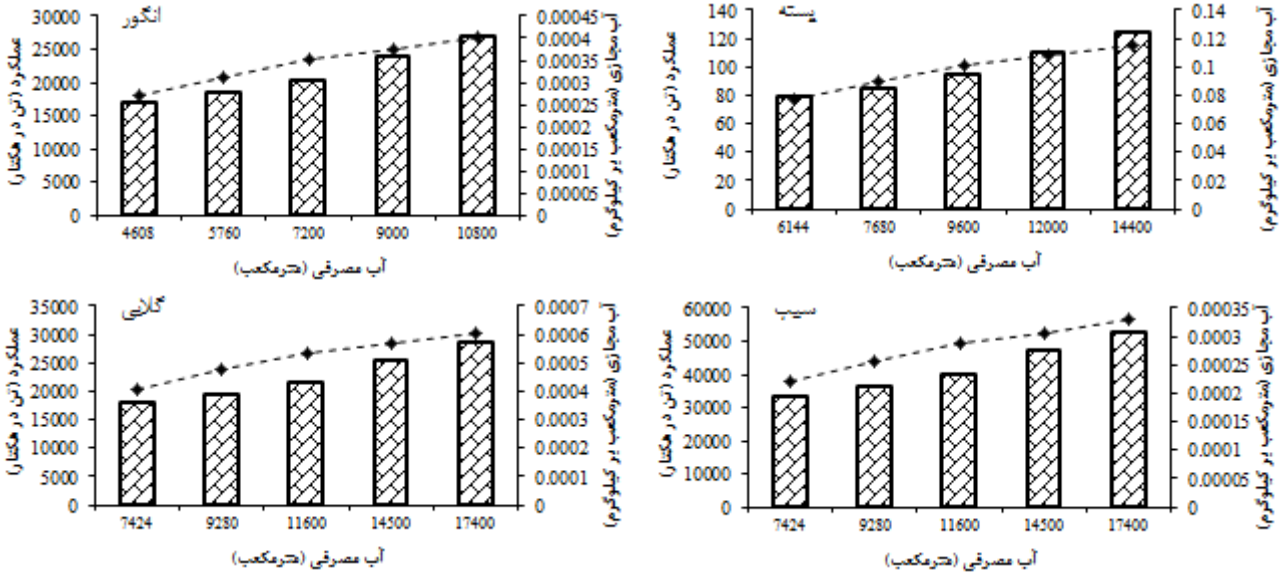
آبیاری اثر زیادی بر تغییرات عملکرد آلبالو داشت در حالی که تأثیر چندانی بر تغییرات آب مجازی سناریوهای مختلف نداشت. این نتایج حاکی از این بود که بهتر است بیشترین مقدار آب آبیاری برای حصول حداکثر عملکرد به کار گرفته شود. بنابراین مقدار ۱۷۰۴۰ مترمکعب به عنوان بهترین گزینه آبیاری در نظر گرفته شد. تغییرات عملکرد و آب مجازی برای آلو تقریباً مشابه هم بود. تغییرات بین عملکرد در سناریوهای ۷۲۱۹، ۹۰۲۴، ۱۱۲۸۰ و ۱۶۹۲۰ مترمکعب به ترتیب برابر با ۰/۰۶، ۰/۱۰، ۰/۱۷ و ۰/۱۴ تن در هکتار بود.

جدول (۱): شرایط فعلی باغات در استان البرز

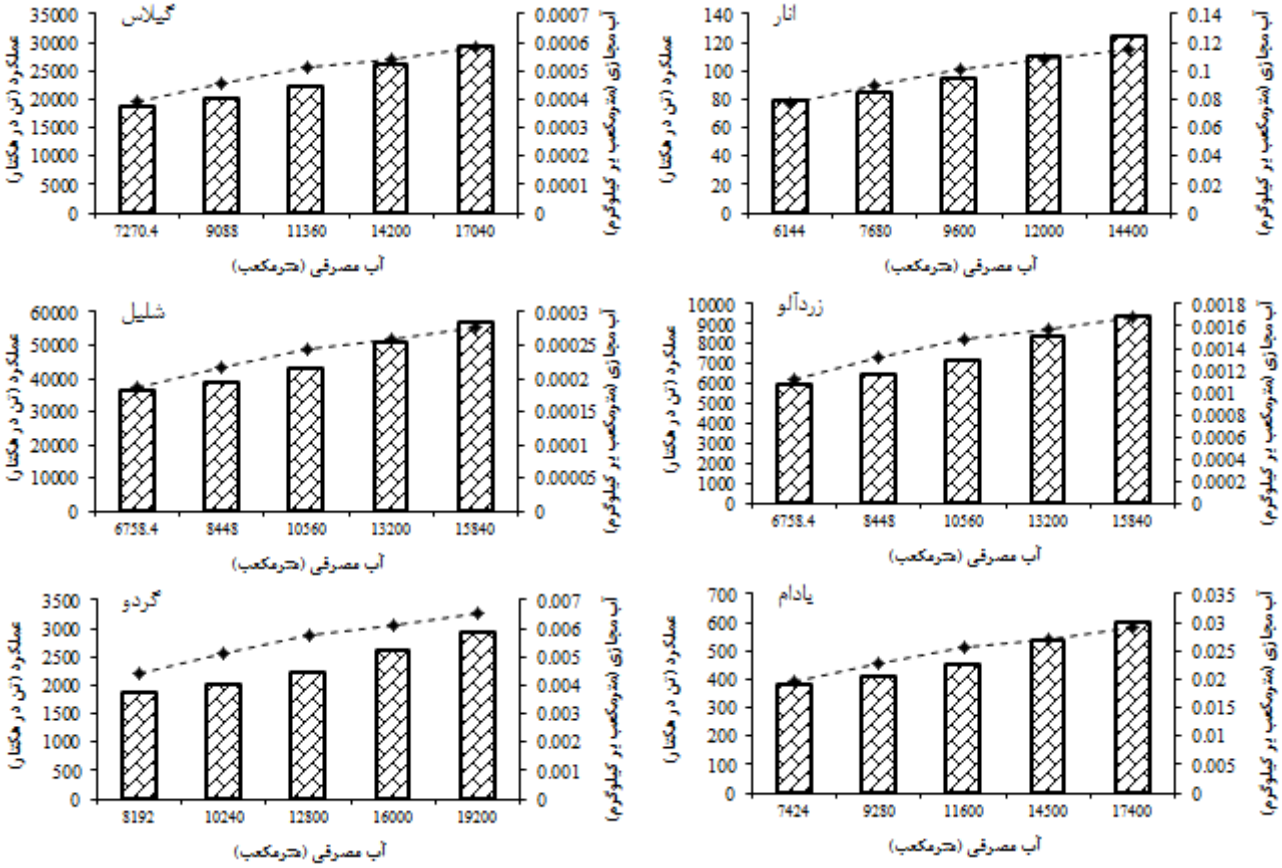
نام محصول	آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار)	تولید (تن)	سطح (هکتار)	مصرف آب (میلیون مترمکعب)	آب مجازی (مترمکعب بر کیلوگرم)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	آب مجازی مصرف شده (میلیون مترمکعب)	شدت مصرف آب
پسته	۱۲۰۰۰	۱۱۱	۱۴۷	۱/۷	۰/۱۰۸۱	۹/۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲۹
انار	۱۱۰۰۰	۷۰۶	۵۸	۰/۶	۰/۰۱۵۶	۶۴/۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱۱
سیب	۱۴۵۰۰	۴۷۲۲۷	۲۲۱۳	۳۲/۰	۰/۰۰۰۳	۳۲۵۷/۰	۰/۰۱۴	۰/۰۵۳۵
گلابی	۱۴۵۰۰	۲۵۵۸۴	۹۲۵	۱۳/۴	۰/۰۰۰۶	۱۷۶۴/۴	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲۴
آلبالو	۱۴۲۰۰	۴۲۹۳	۳۶۰	۵/۱	۰/۰۰۳۳	۳۰۲/۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸۵
گیلاس	۱۴۲۰۰	۲۶۱۲۸	۱۶۹۱	۲۴/۰	۰/۰۰۰۵	۱۸۴۰/۰	۰/۰۱۴	۰/۰۴۰۰
آلو	۱۴۱۰۰	۲۵۹۲۵	۱۲۱۹	۱۷/۱	۰/۰۰۰۵	۱۸۳۸/۹	۰/۰۱۴	۰/۰۲۸۶
هلو	۱۳۲۰۰	۸۶۷۸۸	۲۶۶۲	۳۵/۱	۰/۰۰۰۲	۶۵۷۴/۸	۰/۰۱۳	۰/۰۵۸۶
زردآلو	۱۳۲۰۰	۸۴۳۰	۵۲۴	۶/۹	۰/۰۰۱۶	۶۳۸/۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵۵
شلیل	۱۳۲۰۰	۵۰۹۳۵	۲۴۰۴	۳۱/۷	۰/۰۰۰۳	۳۸۵۸/۷	۰/۰۱۳	۰/۰۵۲۹
بادام	۱۴۵۰۰	۵۳۵	۲۵۱	۳۱/۶	۰/۰۲۷۱	۳۶/۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶۱
گردو	۱۶۰۰۰	۲۶۱۴	۹۸۶	۱۵/۷	۰/۰۰۶۱	۱۶۳/۴	۰/۰۱۶	۰/۰۲۶۳
انگور	۹۰۰۰	۲۴۰۵۶	۱۳۰۱	۱۷/۷	۰/۰۰۰۴	۲۶۷۲/۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۹۵

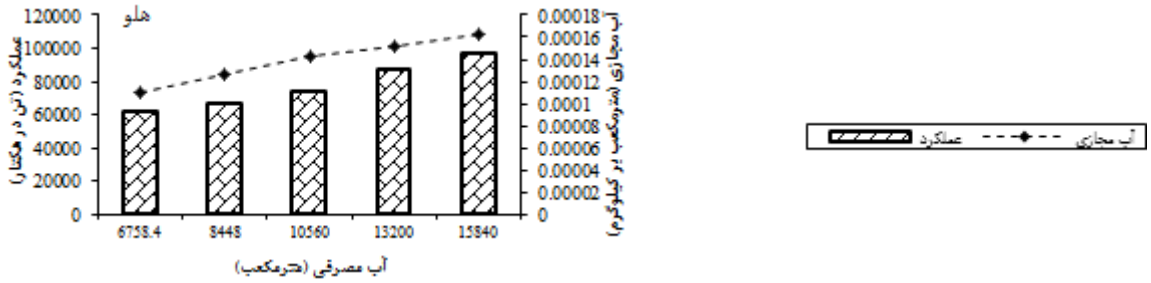






شکل (۲): تغییرات عملکرد و آب مجازی در محصولات باغی مختلف براساس تغییرات آب مصرفی



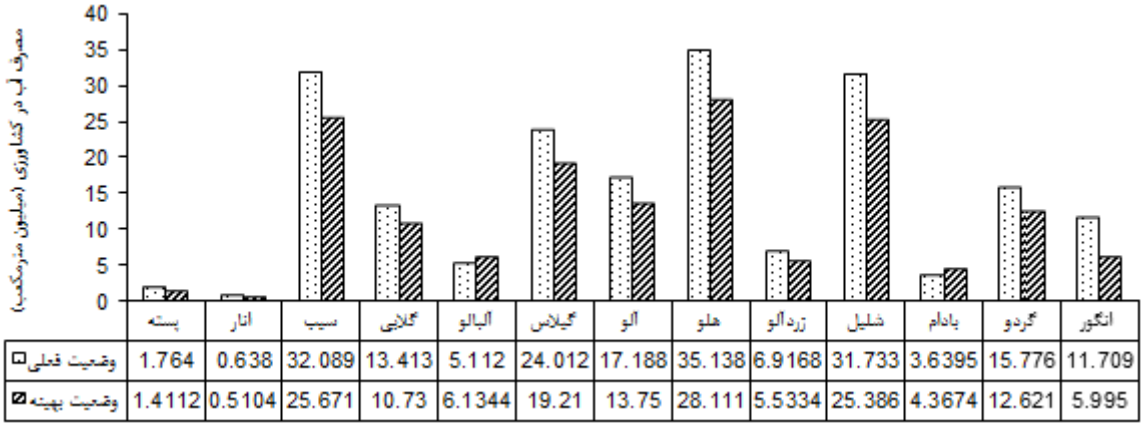


ادامه شکل (۲): تغییرات عملکرد و آب مجازی در محصولات باغی مختلف براساس تغییرات آب مصرفی

تغییرات آب مجازی برای این سناریوها به ترتیب برابر با ۱/۲، ۱/۱، ۰/۶ و ۰/۸ مترمکعب بر تن بود. بنابراین مقدار ۱۱۲۸۰ مترمکعب به عنوان سناریوی بهینه انتخاب شد. تغییرات عملکرد برای لنگور در مقادیر ۴۶۰۸، ۵۷۶۰، ۷۲۰۰، ۹۰۰۰ و ۱۰۸۰۰ مترمکعب به ترتیب برابر با ۰/۰۱۶، ۰/۰۲۵، ۰/۰۴۵ و ۰/۰۳۶ تن بود. در حالی که اختلاف بین آب مجازی در سناریوهای آبیاری اشاره شده به ترتیب برابر با ۳/۴، ۳/۰، ۱/۷ و ۲/۱ مترمکعب بر تن بود. در این شرایط کمترین مقدار آب آبیاری به عنوان گزینه بهینه انتخاب شد. زیرا در این صورت می‌توان به عملکرد تقریباً مشابه با سناریوی آبیاری حداکثر دست یافت و آب مجازی کمی مصرف کرد. این موضوع به کاهش فشار بر منابع آب نیز کمک می‌کند. این نتایج توسط سایر محققان از جمله Bazrafshan et al. (۲۰۲۱) و Wu et al., (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است. مقادیر عملکرد و آب مجازی برای گیاهان بادام، پسته، زردآلو، سیب، شلیل، گردو، گلابی، انار، گیلاس و هلو نیز در شکل (۲) قابل مشاهده است.

با توجه به اینکه روند تغییرات و انتخاب سناریوهای بهینه آبیاری برای این محصولات مشابه سه محصول انگور، آلبالو و آلو است؛ برای این گیاهان به ذکر نتایج سناریوی بهینه اکتفا می‌شود. مقادیر بهینه برای آلبالو، آلو، پسته، انگور، سیب، گلابی، انار، گیلاس، زردآلو، شلیل، بادام، گردو و هلو به ترتیب برابر با ۱۷۰۴۰، ۹۶۰۰، ۱۰۵۶۰، ۱۱۶۰۰، ۱۰۵۶۰، ۱۲۸۰۰، ۱۱۶۰۰، ۸۸۰۰، ۱۱۳۶۰ و ۱۰۵۶۰ مترمکعب تعیین شد.

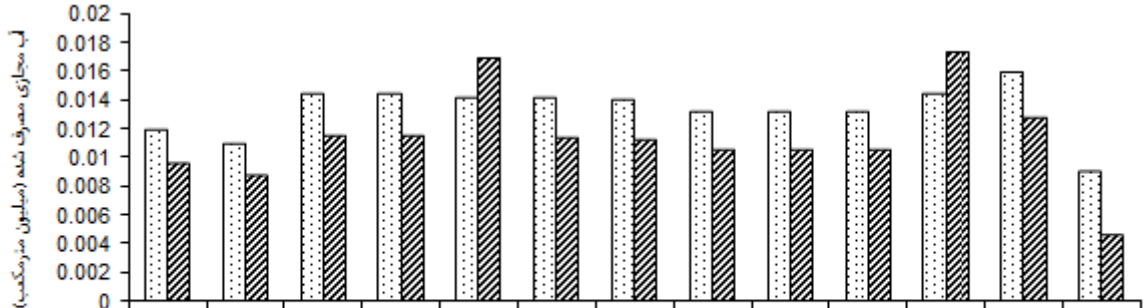
تغییرات مصرف آب در بخش کشاورزی برای دو حالت فعلی و بهینه در شکل (۳) نشان داده شده است. براساس این نتایج، در اکثر محصولات باغی لازم است میزان مصرف آب نسبت به شرایط فعلی کاهش یابد. بیشترین کاهش در محصولات هلو، سیب، شلیل و انگور دیده شد. تفاوت آب مصرفی برای این محصولات در دو حالت فعلی و بهینه به ترتیب ۷/۰، ۶/۴، ۶/۳ و ۵/۷ میلیون مترمکعب بود. کمترین اختلاف بین مصرف آب در حالت فعلی و بهینه نیز در محصولات لنار و پسته با اختلاف ۰/۱۲ و ۰/۳۵ میلیون مترمکعب تعیین شد. مصرف آب در باغات آلبالو و بادام نسبت به حالت فعلی افزایش یافت به طوری که اختلاف بین حالت فعلی و بهینه به ترتیب ۱/۰۲ و ۰/۷۲ میلیون مترمکعب بود. با توجه به اینکه افزایش آب آبیاری اثر زیادی بر تغییرات عملکرد این دو محصول داشت، افزایش میزان آب مصرف شده در بخش کشاورزی از نظر تولید محصول مقرون به صرفه است. این افزایش آب مصرفی از میزان اختصاص یافته به سایر باغات تأمین می‌شود.



	پسته	انار	سیب	گلابی	آلبالو	گیلاس	آلو	هلو	زردآلو	شلیل	بادام	گردو	انگور
وضعیت فعلی	1.764	0.638	32.089	13.413	5.112	24.012	17.188	35.138	6.9168	31.733	3.6395	15.776	11.709
وضعیت بهینه	1.4112	0.5104	25.671	10.73	6.1344	19.21	13.75	28.111	5.5334	25.386	4.3674	12.621	5.995

شکل (۳): مقایسه مصرف آب در بخش کشاورزی در دو حالت فعلی و بهینه

میزان آب مجازی مصرف شده برای محصولات باغی در دو حالت فعلی و بهینه در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که متوسط آب مجازی مصرف شده توسط محصولات باغی در استان البرز در شرایط فعلی ۰/۰۱۳۳ میلیون مترمکعب است که در حالت بهینه به ۰/۰۱۰۹ میلیون مترمکعب کاهش یافت. کمترین اختلاف بین آب مجازی مصرف شده در دو حالت فعلی و بهینه در باغات لنار و پسته دیده شد. اختلاف بین آب مجازی مصرف شده در دو حالت فعلی و بهینه این باغات به ترتیب ۰/۰۰۲۲ و ۰/۰۰۲۴ میلیون مترمکعب است. با توجه به اینکه آب مصرفی برای این دو محصول در دو حالت فعلی و بهینه تفاوت چندانی نداشت، آب مجازی مصرف شده آن‌ها نیز تغییرات چشمگیری نداشت. بیشترین اختلاف آب مجازی مصرف شده در دو حالت فعلی و بهینه در باغات انگور با میزان ۰/۰۰۴۴ میلیون مترمکعب به دست آمد. علت آن بالا بودن آب مصرف شده در این باغات بود. تفاوت آب آبیاری برای حالت فعلی و بهینه برای انگور حدود ۴۰ درصد و برای هلو، سیب و شلیل کمتر از ۲۰ درصد بود. از این رو، آب مجازی مصرف شده برای باغات هلو، سیب و شلیل در دو حالت فعلی و بهینه چندان زیاد نبود. لیکن علت بالا بودن آب مصرفی این سه محصول به دلیل زیاد بودن سطح باغات آن‌ها در استان البرز بود.

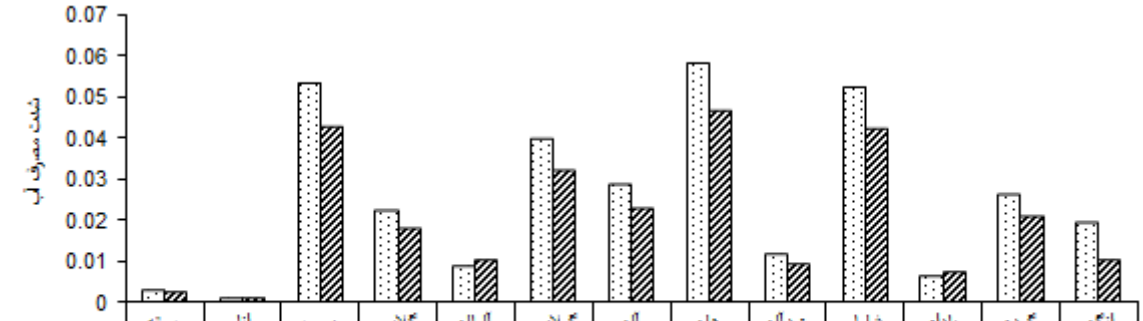


	پسته	انار	سیب	گلابی	آلبالو	گیلاس	آلو	هلو	زردآلو	شلیل	بادام	گردو	انگور
وضعیت فعلی	0.012	0.011	0.0145	0.0145	0.0142	0.0142	0.0141	0.0132	0.0132	0.0132	0.0145	0.016	0.009
وضعیت بهینه	0.0096	0.0088	0.0116	0.0116	0.017	0.0114	0.0113	0.0106	0.0106	0.0106	0.0174	0.0128	0.0046

شکل (۴): مقایسه آب مجازی مصرف شده در دو حالت فعلی و بهینه

شدت مصرف آب در دو حالت فعلی و بهینه در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، بیشترین و کمترین شدت مصرف آب در حالت بهینه به ترتیب برای باغات هلو و انار مشاهده شد. میزان شدت مصرف آب در این باغات به ترتیب ۰/۰۴۶۸ و ۰/۰۰۰۸ بود. با این وجود، بیشترین اختلاف بین حالت فعلی و بهینه در میزان کاهش

شدت مصرف آب برای باغات هلو و انگور مشاهده شد. با انتخاب میزان آب آبیاری بهینه، به ترتیب ۰/۰۱۱۷ و ۰/۰۰۹۵ واحد از میزان شدت مصرف آب در این باغات کاسته شد. کمترین کاهش شدت مصرف آب در دو حالت فعلی و بهینه نیز برای باغات انار و پسته به ترتیب با ۰/۰۰۰۲ و ۰/۰۰۰۶ واحد مشاهده شد. شدت مصرف آب در باغات آلبالو و بادام به ترتیب ۰/۰۰۱۷ و ۰/۰۰۱۲ واحد نسبت به حالت فعلی افزایش یافت. مجموع افزایش شدت مصرف آب در این دو محصول حدود ۴/۲ درصد میزان کاهش شدت مصرف آب در سایر محصولات بود.



	پسته	انار	سیب	گلابی	آلبالو	گیلاس	آلو	هلو	زردآلو	شلیل	بادام	گردو	انگور
وضعیت فعلی	0.0029	0.0011	0.0535	0.0224	0.0085	0.04	0.0286	0.0586	0.0115	0.0529	0.0061	0.0263	0.0195
وضعیت بهینه	0.0024	0.0009	0.0428	0.0179	0.0102	0.032	0.0229	0.0469	0.0092	0.0423	0.0073	0.021	0.01

شکل (۵): مقایسه شدت مصرف آب در دو حالت فعلی و بهینه

نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور ارائه راهکاری برای مدیریت بهینه منابع آب در استان البرز براساس مفهوم آب مجازی در بخش باغبانی انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط فعلی، میزان آب مجازی، مصرف آب و آب مجازی مصرف شده محصولات باغی در استان البرز به ترتیب در بازه ۰/۱۰۸۱-۰/۰۰۰۲ مترمکعب بر کیلوگرم، ۳۵/۱۳-۰/۶۳ میلیون مترمکعب و ۰/۰۱۶۰-۰/۰۰۹۰ میلیون مترمکعب متغیر بود. کمترین اختلاف بین آب مجازی مصرف شده در دو حالت فعلی و بهینه در باغات انار و پسته و بیشترین اختلاف آب مجازی مصرف شده در دو حالت فعلی و بهینه در باغات انگور با میزان ۰/۰۰۴۴ میلیون مترمکعب به دست آمد. در شرایط بهینه، به جز دو محصول آلبالو و بادام، میزان آب آبیاری سایر محصولات باغی کاهش یافت. تغییرات میزان آب مصرفی باغات استان البرز سبب کاهش ۸۰ درصدی شدت مصرف آب شد و شاخص‌های آب مجازی، مصرف آب و آب مجازی مصرف شده محصولات باغی را به ترتیب به ۰/۰۸۶۵-۰/۰۰۰۱ مترمکعب بر کیلوگرم، ۲۸/۱۱-۰/۵۱ میلیون مترمکعب و ۰/۰۰۴۶/۰۱۷۴-۰/۰ میلیون مترمکعب کاهش داد. از این رو، پیشنهاد می‌شود به منظور حفظ منابع آب استان البرز، مقادیر بهینه آب آبیاری برای باغات در این استان اجرا شود. با اجرای این برنامه، تا ۱۹ درصد از منابع آب استان البرز حفظ می‌گردد.

منابع

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، ا. اگدرنژاد، آ. تافته، م. احمدی. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های WOFOST، AquaCrop و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۳-۷۵): ۷۲۶-۷۱۵.

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، م. احمدی، ا. اگدرنژاد، ع. خاشعی سیوکی. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف زئولیت. حفاظت منابع آب و خاک. ۸(۱): ۱۳۲-۱۱۷.

ابراهیمی‌پاک، ن.، ا. اگدرنژاد. ۱۳۹۶. ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند تحت تنش‌های آبی در شهرکرد. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۳۳۱-۳۱۹.

احسانی، م.، ه. خالدی، ی. برقی. ۱۳۸۸. مقدمه‌ای بر آب مجازی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

احمدی، م.، م. قنبرپوری، ا. اگدرنژاد. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop. مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۱): ۳۰-۱۵.

اگدرنژاد، ا.، ن. ع. ابراهیمی‌پاک، آ. تافته، م. احمدی. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. مدیریت آب در کشاورزی. ۵(۲-۱۰): ۶۴-۵۳.

عروجیان مشهدی، ا.، میرلطیفی، س. م. و دهقانی‌سانیج، ح. ۱۴۰۱. برآورد نیاز آبی، ضریب گیاهی و بهره‌وری آب انگور در دو سیستم کشت داربستی و خزنده در منطقه ملکان، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۲): ۳۶۶-۳۵۵.

علیزاده، ا.، ن. خلیلی. ۱۳۸۸. بررسی بهره‌وری آب-انرژی در زراعت چغندرقند (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). آبیاری و زهکشی. ۳(۲): ۱۳۶-۱۲۳.

محمدی، ع.، م. ا. بنی‌حبیب. ۱۳۹۹. مدل مدیریت راهبردی تبادل آب مجازی محصولات کشاورزی و دامی ایران. مدیریت آب و آبیاری. ۱۰(۱): ۲۹-۱۵.

نادری، ن.، و قدمی‌فیروزآبادی، ع. ۱۴۰۱. بازده آبیاری، نیاز آبی و بهره‌وری آب در روش آبیاری سطحی در باغات زردآلو و انگور، مهندسی آبیاری و آب، ۱۲ (۴-۴۹): ۱۴۰-۱۲۵.

Antonelli, M., F. Laio and S. Tamea. 2017. Water Resources, Food Security and the Role of Virtual Water Trade in the MENA Region, In Environmental Change and Human Security in Africa and the Middle East. PP. 199-217.

Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., and Gerkani Nezhad Moshizi, Z., 2022, Water Footprint of Fruits in Arid and Semi-arid Regions, Online book, pp: 1-26.

Chapagain, A.K., and A. Y. Hoekstra. 2004. Water footprints of nations, Unesco-IHE Institute for Water Education.

Chen, G. Q. and J. S. Li. 2015. Virtual water assessment for Macao, China: highlighting the role of external trade. Journal of Cleaner Production. 93: 308-317.

Deng, J., Li, C., Wang, L., Yu, Sh., Zhang, X., and Wang, Zh., 2021, The impact of water scarcity on Chinese inter-provincial virtual water trade, Sustainable Production and Consumption, 28: 1699-1707.

El-Sadek, A. 2010. Virtual Water Trade as a Solution for Water Scarcity in Egypt, Water Resources Management. PP. 2437-2448.

Fraiture, C., X. Cai, U. Amarasinghe, M. Rosegrant, and D. Molden. 2004. Does International Cereal trade Save Water? The Impact of Virtual Water Trade on Global Water Use. Comprehensive Assessment Research Report 4, Colombo, Sri Lanka, Comprehensive Assessment Secretariat.

Jiang, W. and R. Marggraf. 2015. Bilateral virtual water trade in agricultural products: a case study of Germany and China. Water International. 40 (3): 483-498.

Karandish, F., Nouri, H., and Brugnach, M. 2021. Agro-economic and socio-environmental assessments of food and virtual water trades of Iran, Scientific Report, 11: 15022.

Masud, M. B., Y. Wada, G. Goss, and M. Faramarzi. 2019. Global implications of regional grain production through virtual water trade. Science of the Total Environment. 659: 807-820.

Renault, D. 2003. Value of virtual water in food: Principles and virtues. In: Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

Wu, X. J., Li, Y. P., Liu, J., Huang, G. H., Ding, Y. K., Sun, J., and Zhang, H. 2021, Identifying optimal virtual water management strategy for Kazakhstan: A factorial ecologically-extended input-output model, Journal of Environmental Management, 297: 113303.