Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Spatial analysis of surface water resources using water footprint approach in the Khiavchai sub-watersheds, Ardabil Province

Mehran Soheili[1], Raoof Mostafazadeh[2], Abazar Esmali Ouri[3], Leyla Babaei[4], Zeinab Hazbavi[*5]

1. Former M.Sc Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: mehran.soh.1400@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
3. Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: esmaliouri@uma.ac.ir
4. Ph.D. Student, Department of Rangeland and Watershed Mangemenr, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. Email: babaee.leyla1395@gmail.com
5. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 12 October 2022
Revised: 17 March 2023
Accepted: 10 April 2023
Published online: 06 June 2023

Keywords:
Virtual water, index-based assessment, crop production, ecological services, water management

ABSTRACT

This research aims to analyze the spatial water footprint of agricultural products in four categories of blue, green, gray, and white water in Khiavchai sub-watersheds. To this end, the meteorological data (monthly rainfall and temperature) were used as input data for the CROPWAT program. The Google Earth images were used to map the land use areas and estimate the area of agricultural and rangelands. It was found that apples, sour cherries, cherries, walnuts, and grapes are the dominant crops produced in the orchard area. The four types of virtual waters of agricultural products were analyzed in four land uses, i.e., orchards, rainfed agriculture, irrigated agriculture, and rangelands. The total water consumed by the apple product is more than other products in all sub-watersheds and the amount of virtual water of walnut is also high in most sub-watersheds. The total consumption of blue, green, white, and gray water in sour cherry, cherry, and grape was the same and was evaluated as less than the other two products. In addition, the average amount of blue water for rainfed agriculture was estimated as 2788.85 m^3 t^{-1}, among which lentils and chickpeas had the higher blue water among the rainfed crops. According to the results, sub-watersheds 7 and 14 located in western parts of the study area had the highest of virtual water. In sub-watershed 7, a large part of its area is used for rangeland and only a small part is related to rainfed agriculture, and all area of sub-watershed 14 is used for rangeland. Therefore, the appropriate cultivation pattern can be determined based on the amount of virtual water and its spatial changes.

Citation: Soheili, M., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., Babaei, L., & Hazbavi, Z. (2024) Spatial analysis of surface water resources using water footprint approach in the Khiavchai sub-watersheds, Ardabil Province. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(1), 1-19.
DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Zeinab Hazbavi
Address: Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Tel: +989166084002
Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Spatial analysis of surface water resources using water footprint approach in the Khiavchai sub-watersheds, Ardabil Province

Mehran Soheili[1], Raoof Mostafazadeh[2], Abazar Esmali Ouri[3], Leyla Babaei[4], Zeinab Hazbavi[*5]

1. M.Sc Student Former, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: mehran.soh.1400@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
3. Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: esmaliouri@uma.ac.ir
4. Ph.D. Student, Department of Rangeland and Watershed Mangemenr, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. Email: babaee.leyla1395@gmail.com
5. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The water footprint concept is one of the planning requirements at every level of natural resource management, especially water, soil, and vegetation. Carrying out protective and management measures in any effective way requires having basic information about the water footprint of various agricultural and rangeland products in the region. Therefore, in the present research, a spatial analysis of surface water resources was carried out by calculating water footprints in Khiavchai sub-watersheds located in Meshginshahr City. Besides, spatial changes in water footprint values of various agricultural, orchards, and rangeland products were mapped and their comparison was also analyzed.

Methodology: In the concept of the water footprint to create an integrated approach, four main components of water resources including blue, green, white, and gray waters are examined. Blue water is the amount of underground or surface water that is used to produce a product. Green water is the amount of rainwater that the crop feeds on before reaching the saturated zone. Gray water, as the third component of water footprint analysis, represents polluted water that entered the environment as a result of human activities, including industry and agriculture. Finally, the volume of irrigation water loss is considered white water. Therefore, it can be seen that the water footprint includes the direct and indirect aspects of water consumption and its pollutants in the entire production process. In the present research, the spatial water footprint of agricultural products in four categories of blue, green, gray, and white water in Khiavchai sub-watersheds was analysed. To this end, the meteorological data (monthly rainfall and temperature) were used as input data for the CROPWAT program. The Google Earth images were used to map the land use areas and estimate the area of agricultural and rangelands. It was found that apples, sour cherries, cherries, walnuts, and grapes are the dominant crops produced in the orchard area. The four types of virtual waters of agricultural products were analyzed in four land uses, i.e., orchards, rainfed agriculture, irrigated agriculture, and rangelands.

Results and Discussion: In all four water types, sub-watersheds 7 and 14 have the highest water, which is due to the large area of these two sub-watersheds compared to others, followed by more crop cultivation and higher water consumption. The highest blue water footprint can be seen in the northern and western parts of the Khiavchai Watershed. Meanwhile, the situation is different in the green water footprint, and its largest is seen in the central and western parts, which is attributed to the abundant rainfall in these areas (Figure 1).

***Corresponding author:** Zeinab Hazbavi
Address: Department of Rangeland and Watershed Management, Water Managemnent Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Tel: +989166084002
Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

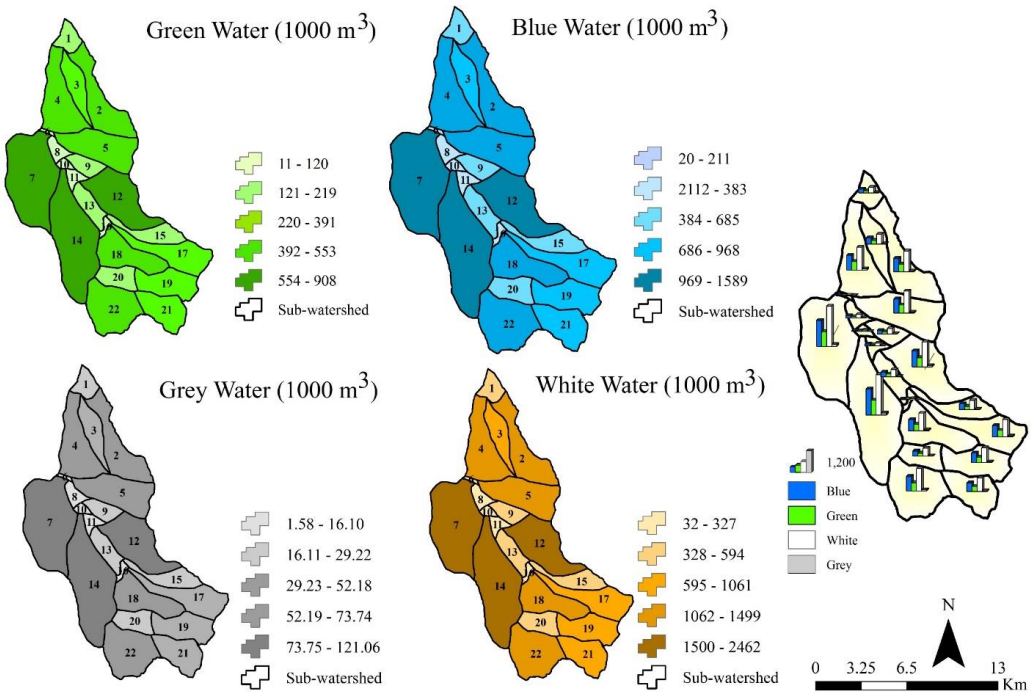


Figure 1- Spatial changes of investigated waters for rainfed products

The total consumption of blue, green, white, and gray water in sour cherry, cherry, and grape was the same and was evaluated as less than the other two products. In addition, the average amount of blue water for rainfed agriculture was estimated as 2788.85 $m^3 t^{-1}$, among which lentils and chickpeas had the higher blue water among the rainfed crops. According to the results, sub-watersheds 7 and 14 located in western parts of the study area had the highest of virtual water. In sub-watershed 7, a large part of its area is used for rangeland and only a small part is related to rainfed agriculture, and all area of sub-watershed 14 is used for rangeland.

Conclusion: Considering the natural resources degradation and the change of the ecological components during the last century in the world and in Iran, the results obtained from the water footprint assessment in the land use planning, while using the environmental and climatic potentials of the region is critical to preserve valuable water resources. Ardabil Province is one of the main hubs of wheat production in the country, and the Khiavchai Watershed has been leading in the cultivation and production of wheat crops compared to other rainfed crops. Also, due to the high percentage of animal husbandry and the subsequent increase in the need for crop cultivation in the region, the total water consumption will be higher. Thus, by allocating the appropriate cultivation pattern in the region according to the water availability, water footprint, and environmental considerations, it is possible to develop an appropriate management and protection plan.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This study was conducted as M.Sc. Thesis and it has received support from the University of Mohaghegh Ardabili.

Authors' contribution: Mehran Soheili: Data preparation, methodology; Raoof Mostafazadeh: Conceptualization, data preparation, methodology, results control, Supervisor; Abazar Esmali Ouri: Methodology, Supervisor; Leyla Babaei: Software, methodology, results control, writing, advisor; Zeinab Hazbavi: Methodology, results control, writing, advisor.

Conflicts of interest: The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: We would like to express our sincere gratitude to the Agriculture Jihad organization of Ardabil Province for the providing necessary data.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

تحلیل مکانی منابع آب سطحی با رویکرد ردپای آب در زیرحوضه‌های خیاوچای، استان اردبیل

مهران سهیلی[۱]، رئوف مصطفی‌زاده[۲]، اباذر اسمعلی‌عوری[۳]، لیلا بابایی[۴]، زینب حزباوی[۵*]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
mehran.soh.1400@gmail.com
۲. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
۳. استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
esmaliouri@uma.ac.ir
۴. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
babaee.leyla1395@gmail.com
۵. دانشیار ، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
z.hazbavi@uma.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۰ مهر ۱۴۰۱
بازنگری: ۲۶ اسفند ۱۴۰۱
پذیرش: ۲۱ فروردین ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۶ خرداد ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
آب مجازی، ارزیابی شاخص‌محور، تولید محصول، خدمات بوم‌شناختی، مدیریت آب

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی ردپای آب محصولات در چهار بخش مختلف آب آبی، سبز، خاکستری و سفید در زیرحوضه‌های خیاوچای واقع در استان اردبیل بوده است. بدین‌منظور از داده‌های هواشناسی (بارش و دمای ماهانه) به‌عنوان داده‌های ورودی برنامه CROPWAT استفاده شد. از تصاویر Google Earth برای تهیه نقشه کاربری اراضی و برآورد مساحت کاربری‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که پنج محصول سیب، آلبالو، گیلاس، گردو و انگور کشت‌های غالب کاربری باغ هستند. بر همین اساس، در چهار بخش کاربری باغ، زراعت دیم، زراعت آبی و کاربری مرتع رد پای آب محصولات تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که مجموع آب مصرف شده توسط محصول سیب در همه زیرحوضه‌ها بیش‌تر از سایر محصولات بوده و میزان آب مجازی گردو نیز در اکثر زیرحوضه‌ها بالاست. مجموع مصرف چهار آب آبی، سبز، سفید و خاکستری در محصولات آلبالو، گیلاس و انگور به‌طور یکسان بوده و کم‌تر از دو محصول دیگر ارزیابی شد. هم‌چنین، میانگین مجموع آب آبی برای کاربری زراعت دیم برابر ۲۷۸۸/۸۵ مترمکعب بر تن برآورد شد که در این میان محصولات عدس و نخود بیش‌ترین آب آبی را در بین محصولات زراعت دیم داشته‌اند. از نظر تحلیل مکانی، زیرحوضه‌های ۷ و ۱۴ واقع در بخش غربی حوضه خیاوچای بیش‌ترین مقادیر آب‌های مورد بررسی را به خود اختصاص دادند. در زیرحوضه ۷ بخش اعظمی از مساحت آن را کاربری مرتع و تنها بخشی جزئی از آن مربوط به زراعت دیم بوده و ۱۰۰ درصد مساحت زیرحوضه ۱۴ کاربری مرتع بوده است. بنابراین، الگوی کشت مناسب می‌تواند بر اساس مقادیر آب مجازی و تغییرات مکانی آن تعیین شود.

استناد: سهیلی، مهران، مصطفی‌زاده، رئوف، اسمعلی‌عوری، اباذر، بابایی، لیلا، و حزباوی، زینب (۱۴۰۳). تحلیل مکانی منابع آب سطحی با رویکرد ردپای آب در زیرحوضه‌های خیاوچای، استان اردبیل. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۱)، ۱-۱۹.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* **نویسنده مسئول:** زینب حزباوی
نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
تلفن: ۰۹۱۶۶۰۸۴۰۰۲
پست الکترونیکی: z.hazbavi@uma.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

مقدمه

منابع آب بخشی جدایی‌ناپذیر از محیط اقتصادی-اجتماعی بوده و به موضوعی چالش‌برانگیز تبدیل شده است. پیچیدگی چرخه‌های هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی، نگرانی‌های مختلف را برای مصرف‌کنندگان آب تحمیل کرده است (Langsdale et al., 2007). بنابراین، کسب اطلاعات با کیفیت بالا از منابع آب به‌منظور مدیریت مؤثر و اتخاذ سیاست‌های عملی مورد نیاز است. از طرف دیگر، درک تعاملات پویا و ساز و کارهای بازخورد در میان عوامل اجتماعی، اقتصادی و محیطی برای برنامه‌ریزی راهبردی و مدیریت منابع آب بسیار مهم است (Sun & Yang, 2019 ؛Han et al, 2017 ؛Zhang et al, 2016). با وجود این، تعاملات متعدد غیرخطی و بازخورد پویا بین این عوامل سطح بالایی از پیچیدگی و عدم‌قطعیت را ایجاد نموده که درک پیامدهای تصمیم‌گیری را دشوار می‌کند (Cotier et al., 2016). تفکر غیرخطی سنتی و مدل‌های مکانیکی فاقد چارچوب ذهنی و سازمانی هستند که نمی‌توانند چنین پیچیدگی را برطرف نمایند زیرا تعاملات و پویایی زیرسیستم‌های مختلف را به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهند (Mirchi et al., 2012). در نتیجه، دلایل اصلی مشکلات این است که اغلب سیاست‌ها به‌اندازه کافی برای تدوین مدیریت راهبردی آب درک نمی‌شوند (گوهری و همکاران، ۲۰۱۷).

شاخص‌های مختلفی مانند کمیت، کیفیت، تغییرات زمانی و مکانی منابع آب نقش اساسی در توسعه ابزارهای مدیریتی منابع آب دارند (Gómez-Martínez, 2021). کل مصرف آب در یک کشور به تنهایی معیاری درست برای خروج واقعی آب آن کشور از منابع آب جهانی نیست. در حقیقت، حجم آب مجازی وارداتی باید به کل مصرف آب داخلی اضافه شود تا تصویری واقعی از نیاز واقعی یک کشور به منابع آب جهانی به‌دست آید. به‌طور مشابه، حجم آب مجازی صادر شده باید از حجم مصرف آب خانگی کاهش یابد. آن‌ها مجموع خالص واردات آب مجازی و مصرف آب داخلی را به‌عنوان رد پای بوم‌شناختی آب یک کشور معرفی کردند که شاخصی برای تعیین میزان واقعی مصرف آب است (Aldaya & Hoekstra, 2010). در مفهوم رد پای آب به‌منظور ایجاد رویکرد یکپارچه، چهار جزء اصلی منابع آب شامل آب‌های آبی، سبز، سفید و خاکستری مورد بررسی قرار می‌گیرد (Zhang & Hoekstra, 2013). به‌منظور ارزیابی مناسب مصرف آب در بخش کشاورزی، مطالعه شاخص رد پای آب در حوضه‌های مختلف ضروری است (علیقلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸). آب آبی مقدار آب زیرزمینی یا سطحی است که برای تولید محصول استفاده می‌شود. آب سبز، مقداری از آب باران است که محصول قبل از رسیدن به منطقه اشباع از آن تغذیه می‌کند. آب خاکستری، به‌عنوان سومین جزء تجزیه و تحلیل ردپای آب، نشان‌دهنده آب آلوده‌ای است که در نتیجه فعالیت‌های انسانی از جمله صنعت و کشاورزی وارد محیط زیست شده است. در نهایت، حجم تلفات آب آبیاری به‌عنوان آب سفید در نظر گرفته می‌شود (Hoekstra & Chapagain, 2007; Zhang & Hoekstra, 2013). بنابراین، می‌توان دریافت که رد پای آب شامل جنبه‌های مستقیم و غیرمستقیم مصرف آب و آلاینده‌های آن در کل فرایند تولید است (Hoekstra & Chapagain, 2007).

Hastings و همکاران (۲۰۱۱) چندین شاخص استخراج کرده‌اند که به صراحت آب سبز را توصیف می‌کند. چارچوب حسابداری می‌تواند برای ترکیب اطلاعات سطح حوضه در مورد تأثیرات تغییرات آب و هوایی استفاده شود که می‌تواند از سیاست‌گذاری در زمینه سازگاری آب و هوا، منابع آب و کشاورزی حمایت کند. Chukalla و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با استفاده از سه روش ارزیابی شامل محیطی، چرخه حیات و تحلیل ورودی و خروجی محیط، به ردیابی منابع آلوده‌کننده در زنجیره‌های تامین آب پرداختند. در نهایت، آن‌ها سناریوهایی را ارائه کردند که می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی نحوه کاهش کمبود آب شیرین در آینده توسط بشریت عمل کنند. Bassi و همکاران (۲۰۲۰) کارایی حسابداری آب در حوضه‌های آبریز هند را بر اساس سرانه دسترسی آب به ازای هر نفر بررسی کردند. این ارزیابی به‌منظور استفاده از سرانه آب برای مدیریت منابع آب در مقیاس حوضه صورت گرفت که در نهایت شکاف‌هایی را در سرانه آب در هند مشخص کرد. هم‌چنین، Dan wang (۲۰۲۱) در مطالعه خود اظهار کردند که اندازه‌گیری دقیق تنش آبی پیش‌نیاز مدیریت پایدار آب است. در این مطالعه، مفاهیم مربوط به تنش فیزیکی آب در اثر استفاده از آب‌های آبی و سبز و آلودگی آب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که شکاف‌های پژوهشی در ارزیابی تنش فیزیکی آب مربوط به نیازهای جریان محیط، جریان برگشت، آلودگی آب و استانداردسازی اصطلاحات و رویکردها وجود دارد.

در ایران نیز آبابایی و رمضانی اعتدالی (۱۳۹۴) مقدار آب‌های سبز (بارندگی مؤثر)، آبی (نیاز خالص به آبیاری)، خاکستری (برای رقیق کردن کودهای شیمیایی) و سفید (تلفات آبیاری) در تولید گندم در ۱۵ استان عمده تولید گندم در کشور را برآورد کردند. نتایج نشان می‌دهد که حجم کل رد پای آب در تولید محصول در کشور در دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۵ (۲۰۱۵-۲۰۱۱) معادل ۴۱۲۱۴۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است. در اراضی کشاورزی، سهم رد پای آب‌های سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب ۲۳، ۲۵، ۱۷ و ۳۵ درصد از کل رد پای آب در تولید گندم در هر استان است. ابوالحسنی و خلیلی (۱۳۹۵) روش‌های مختلف حسابداری آب از نظر شاخص‌های برآورد کمی را تجزیه و تحلیل و مقایسه نمودند. آن‌ها اظهار کردند که حسابداری آب با جمع‌آوری اطلاعات لازم و تجزیه و تحلیل دقیق وضعیت موجود و تغییرات در استفاده از منابع آب، مدیریت پایدار این منابع را امکان‌پذیر می‌کند. در روش حسابداری رد پای آب، تفاوت بین مقادیر مربوط به "آب

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

سبز" و "آب آبی" و هم‌چنین "آب خاکستری"، میزان آلودگی تولید شده را نشان می‌دهد و به‌دلیل تأمین ابزارهایی برای ارزیابی فیزیکی و اقتصادی، برای مدیریت آب در مناطق بحرانی کارآمدتر است. هم‌چنین، پوران و راغفر (۱۴۰۰)، ارزش اقتصادی آب مجازی با رویکرد حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری در پنج استان ایلام، بوشهر، آذربایجان غربی، اصفهان و سمنان برای ۱۲ محصول در پنج گروه غالب محصولات غلات و حبوبات، محصولات صنعتی، سبزیجات و محصولات بافندگی را محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که ارزش اقتصادی محصولات آب خاکستری استان اصفهان ۷۲۲۰ ریال و استان آذربایجان غربی ۴۳۳۰ ریال به ازای هر متر مکعب آب خاکستری مورد استفاده در کشاورزی است. به‌طور کلی، هر چه شرایط آب نامطلوب‌تری در استان‌ها وجود داشته باشد، ارزش اقتصادی محتوای آب محصولات آن‌ها بیش‌تر است و بهره‌وری آب ۱۲ محصول در مناطق مورد مطالعه افزایش یافته است.

علیقلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) آثار آب مجازی محصول گندم در ۳۳ استان کشور در شرایط مختلف آب و هوایی را مورد بررسی قرار دادند. رد پای آب محصول در هر سه جزء آب‌های آبی، سبز و خاکستری در هر اقلیم محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقادیر رد پای آب آبی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی، بیش‌ترین میزان ردپای آب سبز در قسمت‌های شمالی و غربی و بیش‌ترین میزان رد پای آب خاکستری در جنوب مشاهده می‌شود. میانگین رد پای آب‌های سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب ۵۰۳/۳، ۱۳۹۲/۸و ۲۸۶/۲ متر مکعب بر تن بود. نتایج این مطالعه نشان داد که کشت محصول گندم در همه اقلیم‌ها مناسب نیست و در آب و هوای خشک خنک گرم (A-C-W) و خشک خنک بسیار گرم (A-C-VW) ایران توصیه نمی‌شود. شکوهی و همکاران (۱۳۹۹)، از مفاهیم حسابداری آب و تجارت آب مجازی برای تعیین ترکیب بهینه محصول در دشت قزوین برای مدیریت بهتر آب کشاورزی استفاده کردند. مجموع ردپای منابع آب محصولات و آب مجازی در تولید محصولات اصلی منطقه برای دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ به‌ترتیب حدود ۲۰۵۳ و ۱۴۱۱ میلیون متر مکعب در سال به‌دست آمده است. سهم صادرات از منابع آب مجازی، منابع آبی و سود خالص منطقه به‌ترتیب ۴۹/۸، ۵۵/۵ و ۵۵ درصد برآورد شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که حذف صادرات محصولات عمده کشاورزی، میانگین رد پای اقتصادی را افزایش می‌دهد. هم‌چنین حذف صادرات محصولات عمده نه تنها به افزایش سود خالص مصرف آب کمک نمی‌کند، بلکه باعث کاهش آن نیز می‌شود. حکمت‌نیا (۱۳۹۹)، با انجام مطالعه‌ای درباره ردپای آب محصولات بیان می‌کند که در برنامه‌ریزی منابع آب، ضمن خودکفایی نسبی در تولید محصول کشاورزی، باید کالاهای آب‌بر نظیر غلات را از سایر کشورها از جمله تایلند وارد کرد؛ زیرا این کشور مشخصاتی از قبیل فاصله مسافتی کم، دسترسی از طریق دریا، رابطه مناسب سیاسی، هزینه‌های تامین آب کم‌تر و منابع آبی فراوان‌تری دارد. اخیراً، عبداله‌زاده کهریزی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی آب مجازی و شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی دشت پلدشت پرداختند. متناسب با اهداف پژوهش از شاخص‌های فیزیکی و مالی بهره‌وری آب شامل شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب[1] (CDP)، درآمد به ازای واحد حجم آب[2] (BPD) و بازده خالص به ازای واحد حجم آب[3] (NBPD) جهت برنامه محاسبه بهره‌وری آب استفاده شد. نتایج نشان داد که محصول هندوانه دارای کم‌ترین سطح برداشت با ۵۷۸۹ هکتار و بیش‌ترین سطح برداشت مربوط به گندم با ۷۳۳۶۱ هکتار بوده است. هندوانه نیز دارای بیش‌ترین میزان تولید با ۲۳۷۹۵۱ تن و کم‌ترین میزان تولید ۱۳۶۰۰۲ تن بوده است. هم‌چنین، نتایج بهره‌وری نشان می‌دهد که محصولات گندم، جو، یونجه و هندوانه به‌ترتیب دارای بهره‌وری ۲۳/۲، ۲۵/۳، ۸۶/۱ و ۸۹/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب هستند. لذا محصول هندوانه و یونجه به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری بوده‌اند.

جمع‌بندی مرور منابع نشان می‌دهد که توجه به مفهوم رد پای آب یکی از الزامات برنامه‌ریزی در هر سطح از مدیریت منابع طبیعی به‌ویژه آب، خاک و پوشش گیاهی در هر کشور است. با این حال، هنوز مطالعات جامعی در این زمینه انجام نشده است. این در حالی است که انجام اقدامات حفاظتی و مدیریتی به هر طریق مؤثر مستلزم داشتن اطلاعات اولیه از ردپای آب محصولات مختلف کشاورزی و مرتعی در سطح منطقه است. بدین‌منظور، تحلیل مکانی منابع آب سطحی با محاسبه ردپای آب در زیرحوضه‌های خیاوچای واقع در شهرستان مشگین‌شهر، استان اردبیل به‌منظور ارائه نقشه تغییرات مکانی مقادیر رد پای آب محصولات مختلف تولیدی کشاورزی و مرتعی و مقایسه آن انجام شد.

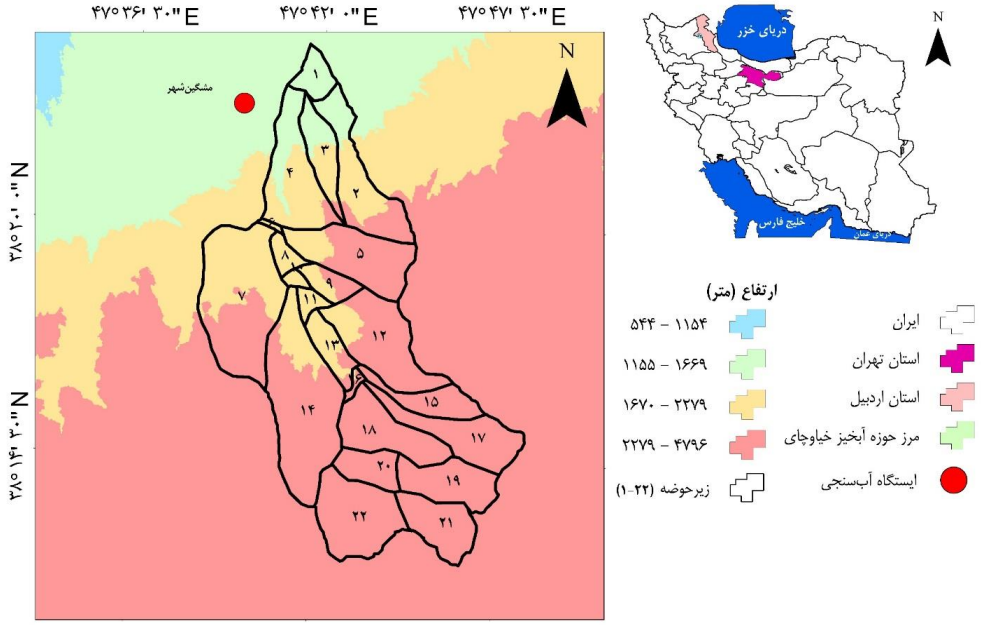
[1] Performance index per unit of water volume
[2] Income per unit of water volume
[3] Net return per unit of water volume

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

حوضه خیاوچای با مساحت ۱۴۲/۷۲ کیلومتر مربع در لبه غربی کوه سبلان، در جنوب شهرستان مشگین‌شهر در محدوده جغرافیایی ۳۸ °۴۷ تا ۴۸ °۴۷ طول شرقی و ۱۲ °۳۸ تا ۲۴ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است. شیب متوسط حوضه حدود ۴۰ درصد است (باقری و همکاران، ۱۳۹۵). حداکثر ارتفاع ۴۵۶۰ متر از سواحل دریا در قله کسری در ارتفاعات جنوبی حوضه و حداقل ارتفاع ۱۳۷۵ متر در خروجی حوضه در محل ایستگاه سینوپتیک واقع در مشگین‌شهر است. خیاوچای رودخانه اصلی حوضه است. این رودخانه سابقه سیلاب‌های رسوبی را دارد (غیاثی و همکاران، ۱۳۹۶). در این تحقیق نقشه کاربری اراضی حوضه خیاوچای از پژوهش‌های پیشین (قابل‌نظام و همکاران، ۱۳۹۹) دریافت شد که بر اساس پایش میدانی و تصاویر Google Earth در نرم‌افزار ArcGIS 10.6 تهیه شده است. بر همین اساس، کاربری‌های اراضی کل حوضه خیاوچای به‌ترتیب مساحت شامل مرتع، اراضی لخت، کشت دیم، باغ، مسکونی و کشت آبی به‌دست آمد (شکل ۲).

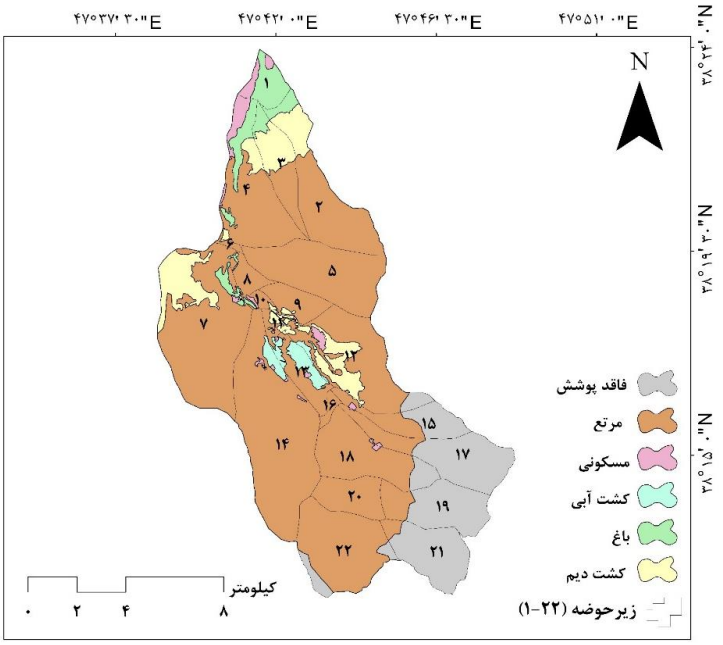


شکل ۱- موقعیت حوضه خیاوچای در استان اردبیل و ایران

Figure 1- Location of Khiavchai Watershed in Ardabil Province and Iran

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوضه خیاوچای (قابل‌نظام و همکاران، ۱۳۹۹)

Figure 2- Land use map of the Khiavchai Watershed (Ghabalnezam et al., 2019)

روش کار

ارزیابی ردپای آب محصولات

آب آبی مربوط به مقدار آب زیرزمینی یا سطحی مورد استفاده شده برای تولید محصول است. آب سبز میزان آب باران تغذیه شده توسط محصول قبل از رسیدن به منطقه اشباع است. آب خاکستری به‌عنوان سومین جزء تحلیل ردپای آب محصولات بیان‌گر آن دسته از آب‌های آلوده‌ای است که در اثر فعالیت‌های بشر از جمله صنعت و کشاورزی وارد محیط زیست انسان شده است، آب سفید میزان تلفات آب آبیاری در تولید محصولات را مشخص می‌سازد (Ababaei and Ramezani Etedali, 2014). در تحقیق حاضر، ردپای آب‌های آبی، سبز، خاکستری و سفید بر اساس مطالعات پیشین (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۵؛ آبابایی و اعتدالی، ۲۰۱۴) محاسبه شد (رابطه‌های ۱ تا ۴).

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_C - P_e) \times 10}{y} \quad (۱)$$

$$WF_{Green} = \frac{p_e \times 10}{y} \quad (۲)$$

$$WF_{gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{MAX} - C_{NAT}} \times \frac{1}{Y} \quad (۳)$$

$$WF_{White} = \frac{10 \times (D_t - (ET_C - P_e))}{Y} \quad (۴)$$

در روابط فوق، WF_{Green}، WF_{Blue}، WF_{gray} و WF_{White} به‌ترتیب بیان‌گر ردپای آب‌های آبی، سبز، خاکستری و سفید محصولات بر حسب مترمکعب بر تن هستند. p_e مجموع بارندگی مؤثر در طول دوره رشد هر گیاه (میلی‌متر)، ET_C تبخیر و تعرق (میلی‌متر)، Y عملکرد هر محصول (تن در هکتار)، α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR (کیلوگرم در هر هکتار)، نرخ مصرف کود برای هر گیاه، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن (کیلوگرم بر مترمکعب)، C_{Nat} غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده (کیلوگرم بر مترمکعب)، D_t عمق آب آبیاری برای هر گیاه در طول فصل رشد (میلی‌متر) و ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از میلی‌متر به مترمکعب بر هکتار است.

قابل ذکر است که مقادیر Pe با استفاده از به‌کارگیری نرم‌افزار CROPWAT محاسبه شد (آبابایی و اعتدالی، ۲۰۱۴). هم‌چنین، مقادیر α در شرایط زارعت دیم و آبی به‌ترتیب ۵ و ۱۰ درصد در نظر گرفته شد (Chapagain et al., 2006). در این تحقیق، WF_{Gray} تنها برای

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

کودهای نیتروژن به‌کار گرفته شد. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده بر اساس استاندارد EPA-US برابر با ۱۰ لیتر در میلی‌گرم است. از آن‌جا که اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر در نظر گرفته شد (Chapagain et al., 2006). قابل ذکر است که برای تمامی داده‌های اقلیمی و زراعی از میانگین ۲۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۰) استفاده شد.

سازمان فائو برای محاسبه نیاز آبی گیاهان بر اساس روش فائو-پنمن-مونتیت که در شرایط آب و هوایی خشک و مرطوب کاربرد دارد، نرم‌افزار CROPWAT را تهیه کرده است. داده‌های ورودی این نرم‌افزار علاوه بر اطلاعات موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه مورد بررسی شامل میانگین حداکثر و میانگین حداقل دما، میانگین رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین و ساعات آفتابی روزانه به‌صورت ماهانه و سالانه هستند (Allen et al., 1998). علاوه‌بر این، این نرم‌افزار برنامه‌های آبیاری برای شرایط مختلف مدیریتی و برنامه تامین آب برای الگوهای مختلف محصول را محاسبه می‌کند. هم‌چنین، CROPWAT می‌تواند برای ارزیابی شیوه‌های آبیاری کشاورزان و برآورد عملکرد محصول در شرایط دیم و آبیاری مورد استفاده قرار گیرد (Halimi & Tefera, 2013).

در تحقیق حاضر با وارد نمودن اطلاعات مربوط به گیاه مورد نظر و هم‌چنین داده‌های مربوط به آب و هوای منطقه به CROPWAT میزان تبخیر و تعرق برای هر محصول محاسبه شد. داده‌های هواشناسی موجود به‌صورت روزانه بوده که در ابتدا به‌صورت ماهانه مرتب شدند و داده‌های حداقل دما، حداکثر دما، درصد رطوبت، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی از داده ایستگاه سینوپتیک مشگین‌شهر استخراج شدند. هم‌چنین، برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT، از داده‌های بارش، باد و دمای ایستگاه مشگین‌شهر که نزدیکترین و در دسترس‌ترین ایستگاه به همه‌ی زیرحوضه‌ها بوده است، استفاده شد. طول دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۶۲برای ایستگاه مورد نظر در نظر گرفته شد.

همان‌گونه که قبلا اشاره شد، برای محاسبه رد پای آب در کاربری کشاورزی از کشت‌های غالب منطقه استفاده شد. علاوه بر این، برای محاسبه رد پای آب در کاربری مرتع، فقط مجموع آب سبز و آبی در نظر گرفته شده است. بدین‌منظور طبق روش به‌کار برده شده توسط Sawalhah et al. (2021) داده‌های بارش متوسط سالانه حوضه که به‌صورت تقریبی ۳۱۵ میلی‌متر است (پورنعمتی و همکاران، ۱۳۹۳)، در میزان مساحت کاربری مرتع در هر زیرحوضه که بر حسب هکتار در نظر گرفته شده است، ضرب شد تا مقدار کل بارش بر حسب متر مکعب محاسبه شود. سپس، در هر یک از زیر حوضه‌ها مقدار متوسط تولید مرتع که برابر ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (شریفی، ۱۳۹۷)، در مساحت مرتع بر حسب هکتار ضرب و مقدار کل تولید مرتع در زیرحوضه‌ها محاسبه شد. در نهایت برای رسیدن به میزان آب کل، مقدار کل بارش بر مقدار کل تولید تقسیم شد. قابل ذکر است که با توجه به وجود تبخیر و تعرق همه بارش صرف تولید محصول نشده است، اما به‌سبب عدم دسترسی به آمار تبخیر و تعرق از آن در محاسبات صرف‌نظر شده است و اثر آن برای محصولات مرتعی یکسان در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبه آب‌های آبی، سبز، سفید و خاکستری در محصولات مختلف در جدول (۱) ارائه شده است. علی‌رغم نزدیکی زیرحوضه‌های مورد بررسی و مشابهت آب و هوایی و اقلیمی، تغییرات نامنظمی در سری داده‌ها دیده می‌شود. حداکثر و حداقل آب آبی به‌ترتیب در محصولات نخود (۱۲۰۶۴۴/۰۲ مترمکعب بر تن) و سیب (۴۲۹/۵۲ مترمکعب بر تن) به‌دست آمد. هم‌چنین برای آب سبز حداکثر برای محصول نخود (۳۱۲۸/۰۲ مترمکعب بر تن) و حداقل برای محصول سیب (۲۱۱/۳۰ مترمکعب بر تن) برآورد شد. طبق نتایج آب سفید برای محصول گندم با حداکثر مقدار ۶۶۳۳/۳۲ مترمکعب بر تن و حداقل آن برای محصولات نخود، عدس و کلزا با مقدار عددی صفر و میزان آب خاکستری در کم‌ترین حالت با مقدار عددی یک برای محصول سیب و بیش‌ترین میزان آن با مقدار ۲۱۱ برای محصول کلزا به‌دست آمد.

در بخش محصولات باغی در حوضه خیاوچای پنج محصول سیب، آلبالو، گیلاس، گردو و انگور کشت غالب منطقه است. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، مجموع آب مصرف شده توسط محصول سیب در همه زیرحوضه‌ها بیش‌تر از سایر محصولات بوده و میزان آب گردو نیز در اکثر زیرحوضه‌ها بالاست. در محصولات انگور، گیلاس و آلبالو، مجموع چهار آب آبی، سبز، سفید و خاکستری به‌طور یکسان و کم‌تر از دو محصول دیگر برآورد شده است.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

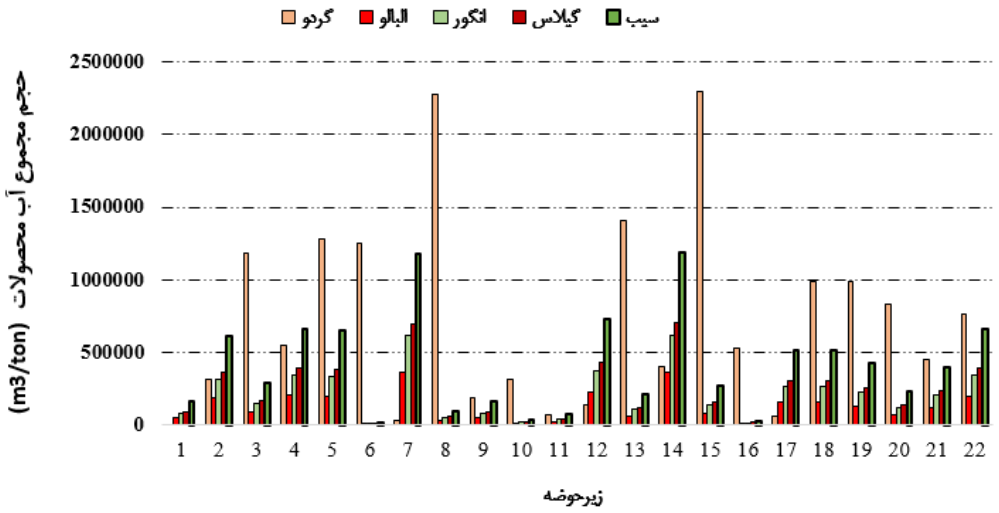
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

جدول ۱- حجم اجزای آب مجازی (مترمکعب بر تن) در محصولات مورد بررسی

Table 1- The volume of virtual water components (m^3 t^{-1}) in the investigated products

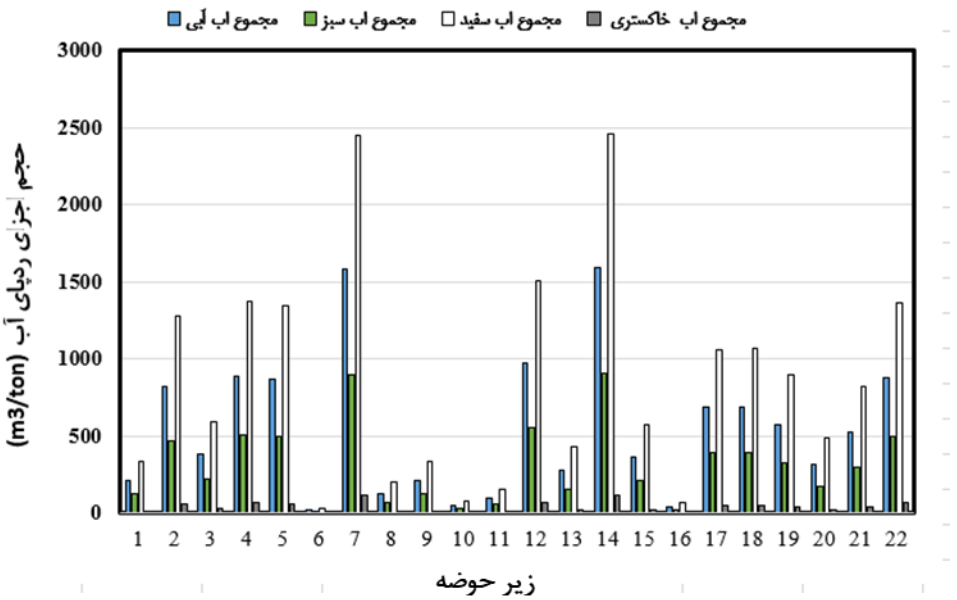
کاربری	محصولات	آب آبی	آب سبز	آب سفید	آب خاکستری
باغ	گردو	1612.32	1104.62	4211.21	6.62
	آلبالو	1036.07	498.1	1112.47	2.98
	انگور	730.49	500.46	1428.23	3.00
	سیب	439.52	211.3	471.92	1.27
	گیلاس	1295.59	622.87	1391.12	3.73
دیم	گندم	4965.93	2283.6	6633.32	60.41
	جو	4979.35	1785.78	227	52.06
	نخود	120644.02	3128.02	0	62.06
	عدس	114973.3	2980.99	0	59.15
	کلزا	5234.16	1111.59	0	211.44
	یونجه	1829.12	855.23	1859.87	20.49
آبی	گوجه	1829.12	855.23	1859.87	20.49

مجموع آب‌های مورد محاسبه برای زیرحوضه‌ها در بخش محصولات باغی در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین میزان آب سفید در زیر حوضه‌های ۷ و ۱۴ و بیش‌ترین میزان مجموع آب آبی در زیرحوضه‌های ۷، ۱۲ و ۱۴ است. کم‌ترین میزان مجموع همه آب‌ها در زیرحوضه‌های ۶، ۱۰، ۱۱ و ۱۶ برآورد شد. در شکل ۴، آب‌های آبی، سبز، سفید و خاکستری محاسبه شده به‌صورت مجزا نمایش داده شده است. مقادیر به‌دست آمده در همه آب‌های مورد بررسی در زیر حوضه‌های ۷ و ۱۴ بیش‌ترین مقدار و در زیرحوضه‌های ۲۲، ۱۲ و ۴ کم‌ترین مقدار است. کم‌ترین میزان مجموع آب‌ها در زیرحوضه‌های ۱۰، ۱۱ و ۸ است که می‌تواند نشان‌گر بالا بودن مقدار رطوبت و بارندگی و هم‌چنین بالا بودن عملکرد محصول در این ایستگاه‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌ها باشد. بالا بودن مقدار رد پای آب آبی نسبت به رد پای آب سبز نشان‌دهنده کم بودن نرخ بارش‌ها و حاکی از پایداری اقلیم خشک و نیمه‌خشک در استان از نظر کشاورزی است.



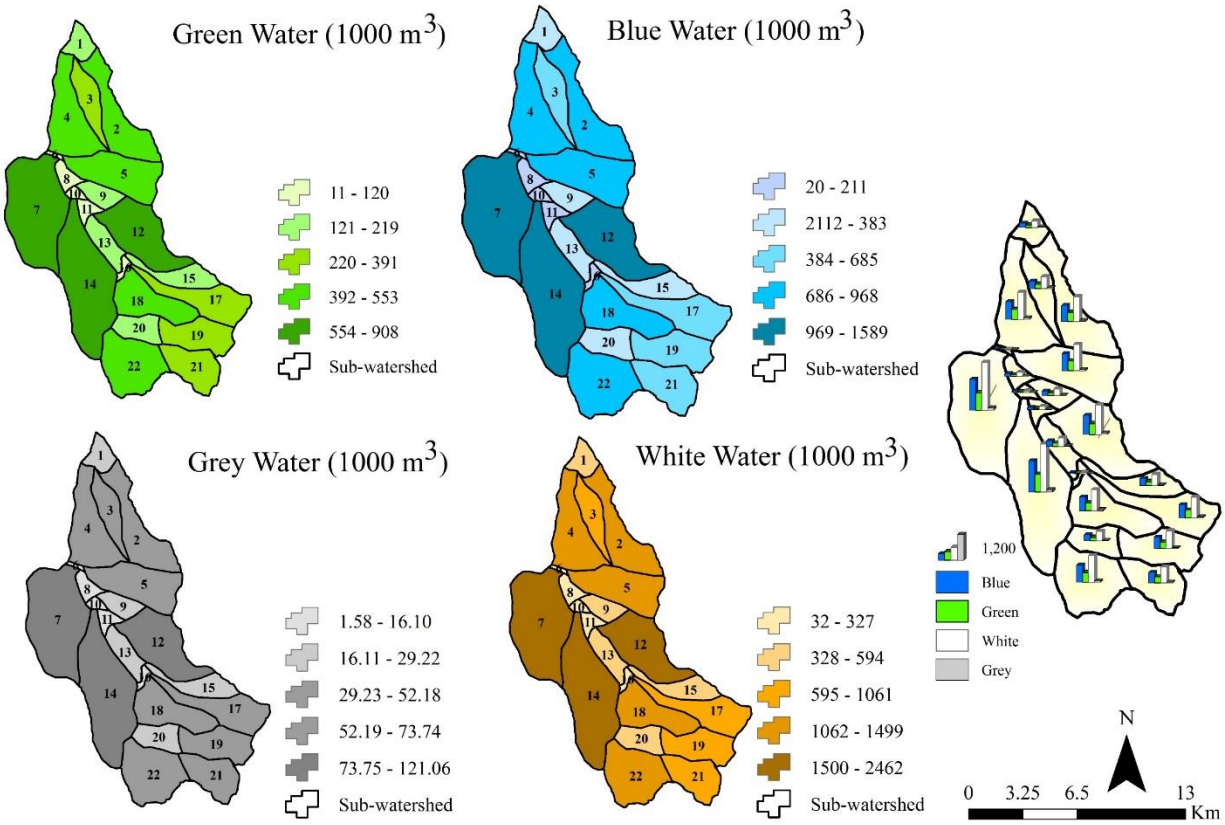
[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]



شکل ۳- تغییرات مجموع (بالا) و تفکیک (پایین) مقادیر آب‌های آبی، سبز، سفید و خاکستری محصولات باغی

Figure 3- Total changes (top) and separation (bottom) of blue, green, white, and gray waters of orchard products



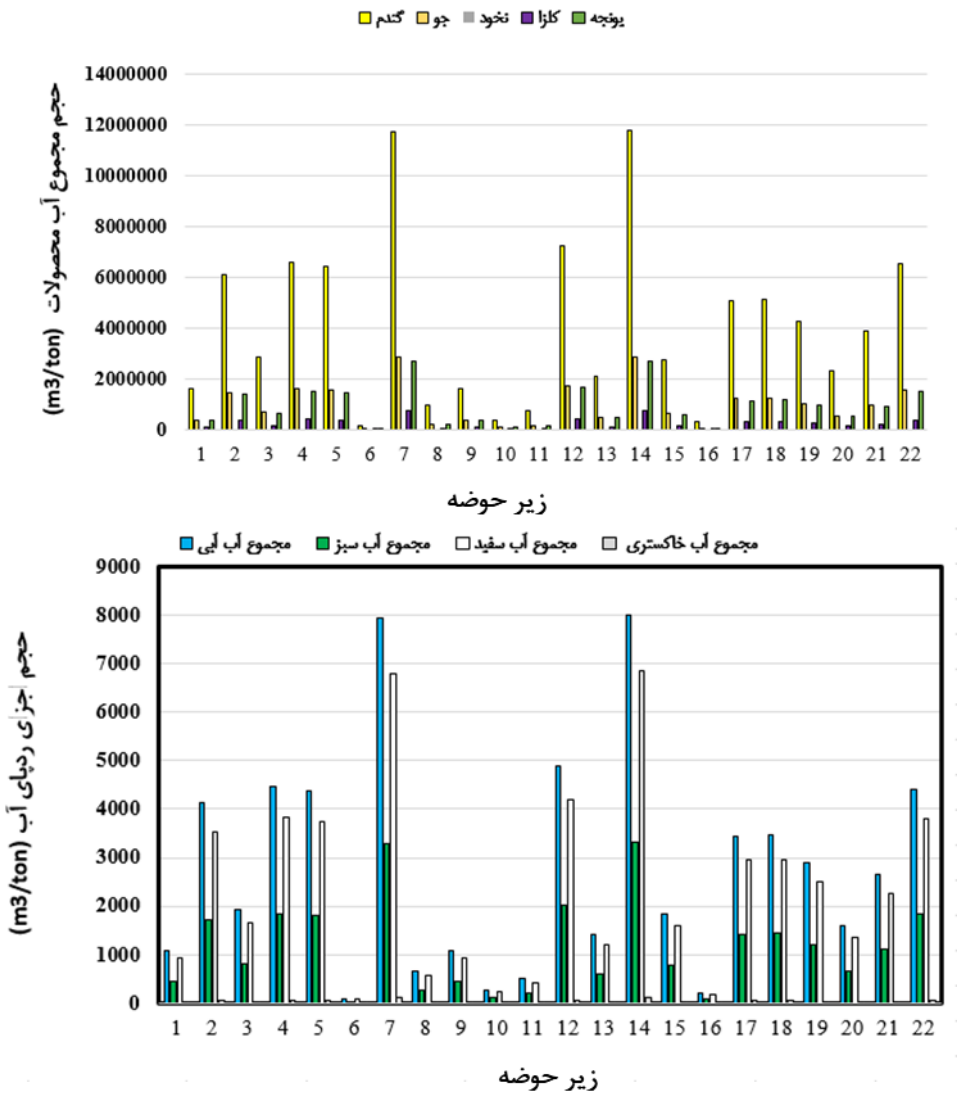
شکل ٤- تغییرات مکانی آب‌های مورد بررسی برای کاربری باغ

Figure 4- Spatial changes of investigated waters for orchard land use

استان اردبیل یکی از قطب‌های اصلی تولید گندم در کشور بوده و حوضه خیاوچای نیز در کشت و تولید محصول گندم نسبت به سایر محصولات دیم پیش‌رو بوده است. گندم در اکثر زیرحوضه‌های آن بیش‌تر از سایر محصولات کشت می‌شود. هم‌چنین با توجه به درصد

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

بالای دامداری منطقه و به دنبال آن افزایش نیاز به مصرف جو کشت محصول هم در منطقه بالاست، و به طبع مصرف آب مجموع بالاتری خواهند داشت. در صورتی‌که کلزا و نخود کم‌ترین میزان آب را به خود اختصاص داده‌اند. آب‌های مورد بررسی در کشت دیم در شکل (۶) به‌صورت مجزا نمایش داده شده‌اند. در هر چهار آب مورد بررسی زیرحوضه‌های ۷ و ۱۴ بیش‌ترین میزان آب را دارند که به‌دلیل مساحت بالای این دو زیرحوضه نسبت به زیرحوضه‌های دیگر و به دنبال آن کشت بیش‌تر محصولات و مصرف آبی بالاتر است. بیش‌ترین مقادیر رد پای آب آبی در قسمت‌های شمالی و غرب حوضه خیاوچای دیده می‌شود. این در حالی است که در بررسی رد پای آب سبز، وضعیت متفاوت است و بیش‌ترین مقدار رد پای آب سبز درقسمت‌های مرکزی و غربی دیده می‌شود که همان‌طور قبلا نیز اشاره شد به بارش‌های فراوان در این مناطق نسبت داده می‌شود.



شکل ۵-تغییرات مجموع (بالا) و تفکیک (پایین) مقادیر آب‌های آبی، سبز، سفید و خاکستری محصولات دیم

Figure 5- Changes in total (top) and separation (bottom) of blue, green, white, and gray waters of rainfed crops

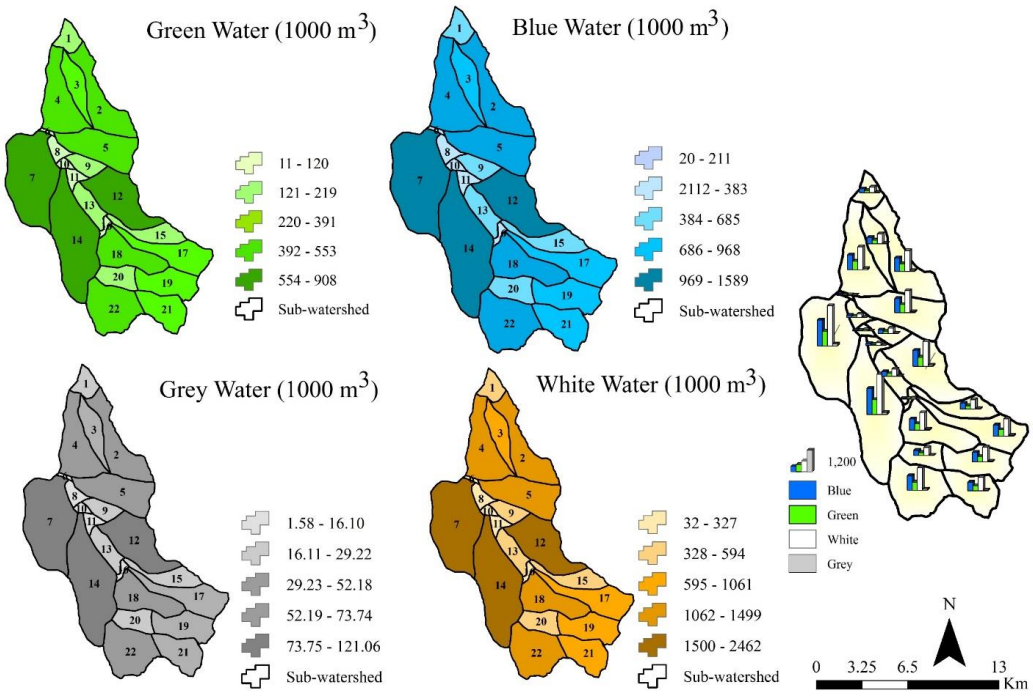
[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

جدول ۲- تغییرات مقادیر آب‌های مورد بررسی (مترمکعب بر تن) در اراضی دیم در زیرحوضه‌های خیاوچای

Table 2- Changes in the investigated water (m^3 t^{-1}) in the rainfed lands in the Khiavchai sub-watersheds

زیرحوضه	مجموع آب آبی	مجموع آب سبز	مجموع آب سفید	مجموع آب خاکستری
1	1087.32	451.95	932.46	14.97
2	4133.47	1718.11	3544.77	56.9
3	1928.46	801.58	1653.8	26.55
4	4461.33	1854.38	3825.93	61.41
5	4367.29	1815.29	3745.28	60.12
6	103.94	43.2	89.14	1.43
7	7933.25	3297.51	6803.37	109.10
8	660.89	274.7	566.77	9.1
9	1087.09	451.86	932.27	14.96
10	268.61	111.65	230.35	3.90
11	507.81	211.08	435.49	6.99
12	4884.55	2030.3	4188.87	67.24
13	1417.01	588.99	1215.2	19.51
14	7982.19	3317.85	6845.33	109.88
15	1851.6	769.63	1587.89	25.49
16	220.75	91.76	189.31	3.04
17	3439.57	1429.68	2949.69	47.35
18	3457.65	1437.2	2965.2	47.6
19	2903.58	1206.89	2490.04	39.97
20	1586.74	659.54	1360.75	21.84
21	2653.83	1103.08	2275.86	36.53
22	4417.84	1836.31	3788.63	60.82



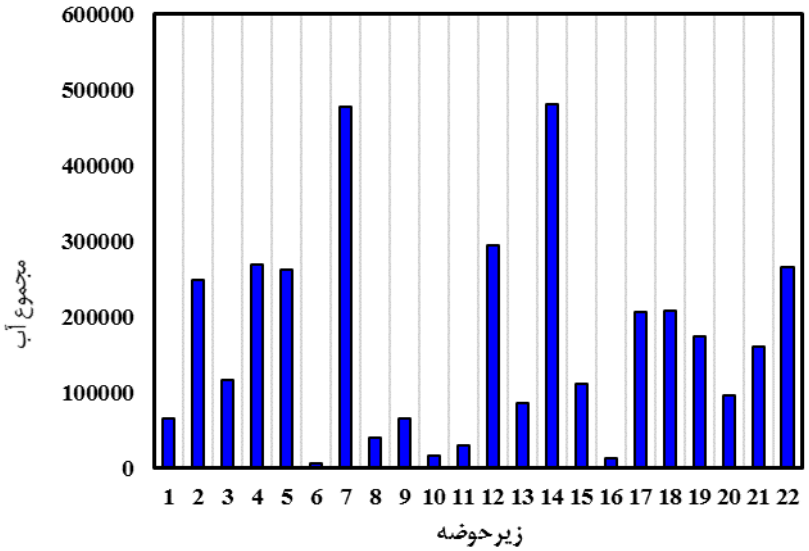
شکل ٦- تغییرات مکانی آب‌های مورد بررسی برای محصولات دیم

Figure 6- Spatial changes of investigated waters for rainfed products

طبق نتایج سهم آب سبز محصولات گندم، جو، نخود، عدس، کلزا، یونجه، گوجه، گردو، آلبالو، انگور، سیب، گیلاس به‌ترتیب، ۲/۲۸، ۱/۷۹، ۳/۱۳، ۲/۹۸، ۱/۱۱، ۰/۸۶، ۰/۱۰، ۱/۱۰، ۰/۵۰، ۱/۲۵، ۰/۲۱ و ۰/۶۲ مترمکعب بر تن است. خسروی (۱۳۹۶) در تحقیق خود بیان کردند که ردپای آب ارتباط تنگاتنگی با آب مجازی دارد. پوران و راغفر (۱۴۰۰) نیز گزارش دادند که هرچه شرایط آب نامطلوب‌تری در استان‌ها وجود داشته باشد، ارزش اقتصادی محتوای آب محصولات آن‌ها بیش‌تر است و بهره‌وری آب محصول در مناطق مورد مطالعه افزایش

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

می‌یابد. در همین راستا، نتایج اردکانی و همکاران (۱۳۹۶) در ارزیابی میزان شاخص بهره‌وری آب مجازی گندم بین سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۵ تا سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ نشان دادند که استان اصفهان تنها در سال ۱۳۸۶ صادرکننده محصول آب مجازی گندم بوده و از طریق صادرات گندم در سال جاری حدود ۰/۱۵ میلیارد مترمکعب آب مجازی به استان‌های دیگر صادر کرده است. علیقلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی آثار آب محصول گندم در ۳۳ استان کشور در شرایط مختلف آب و هوایی اذعان کردند که بیش‌ترین مقادیر ردپای آب آبی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی، بیش‌ترین میزان ردپای آب سبز در قسمت‌های شمالی و غربی و بیش‌ترین میزان ردپای آب خاکستری در جنوب مشاهده می‌شود. با توجه به این‌که در مطالعه حاضر کشت غالب منطقه برای محاسبات صرفاً در نظر گرفته شده است، در بخش محصولات زراعت آبی در حوضه خیاوچای تنها محصول گوجه‌فرنگی کشت غالب منطقه است. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است مجموع آب مصرف شده توسط محصول گوجه‌فرنگی در همه زیرحوضه‌ها به‌جز زیرحوضه‌های ۶، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۶ بیش‌تر بوده و در زیرحوضه‌های ۷ و ۱۴ بالاترین میزان خود را دارد.



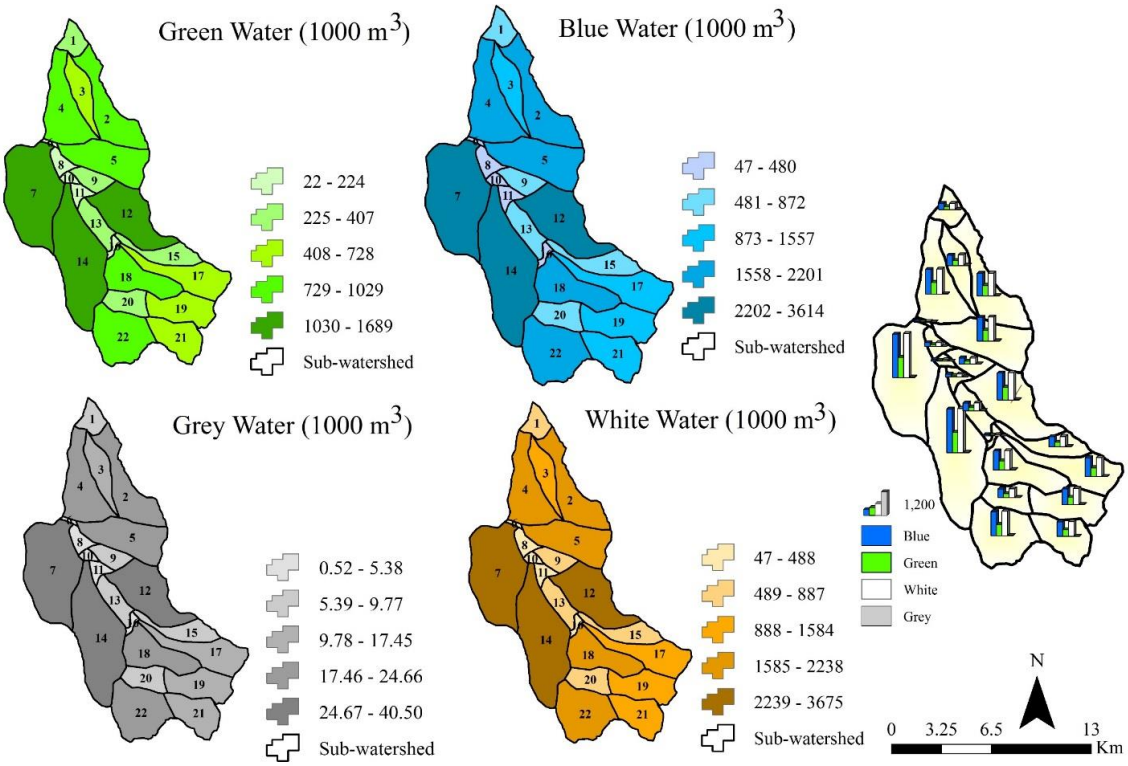
شکل ۷- مجموع رد پای آب در محصول گوجه‌فرنگی

Figure 7- Collection of water footprints in the tomato product

میزان کشت محصول گوجه‌فرنگی در کنار سایر محصولات منطقه خیاوچای ۵/۳۶ درصد است. بررسی سهم اجزای ردپای آب محصولات در کشت آبی نشان می‌دهد شکل (۸) که در زیرحوضه‌های خیاوچای سهم زیادی از ردپای آب محصولات نسبتاً مربوط به آب‌های آبی و سبز است و نشان‌دهنده بالا بودن سهم تلفات آب در تولید گوجه فرنگی در منطقه مورد مطالعه است. لذا لزوم توجه به افزایش راندمان آب که با مشکل جدی کمبود آب در اکثر مناطق مواجه است، امری اجتناب‌ناپذیر است. به‌دلیل ناکافی بودن میزان بارش، سهم بارش مؤثر و آب سبز جهت کشت محصول فوق بسیار کم است.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

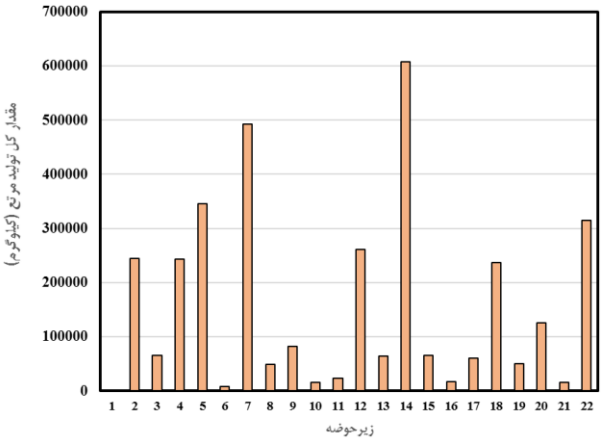
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]



شکل ۸- تغییرات مکانی آب‌های مورد بررسی برای محصول گوجه‌فرنگی

Figure 8- Spatial changes of investigated waters for the tomato crop

در شکل (۹) مقادیر تولید مرتع در هر یک از زیرحوضه‌های خیاوچای ارائه شده است. با توجه به نتایج حداکثر تولید مرتع در زیرحوضه ۱۴ و حداقل آن در زیرحوضه ۱ به‌دست آمد. قابل ذکر است که زیرحوضه ۱ فاقد اراضی مرتعی است. بر همین اساس طبق نتایج میانگین تولید مرتع در حوضه خیاوچای با میانگین ۱۵۴۰۰۱/۰۷ کیلوگرم برآورد شد. شکل (۱۰) تغییرات مکانی ردپای آب محصولات در کاربری مرتع در زیرحوضه‌های خیاوچای را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار ردپای آب کاربری مرتع در زیرحوضه ۱۳، با مقدار عددی ۳۵۵۴۷/۸۲ مترمکعب در کیلومترمربع و کم‌ترین آن در زیرحوضه ۵ با مقدار ۵/۸۰ مترمکعب بر کیلومتر مربع به‌دست آمد. با توجه به نتایج، غرب حوضه کم‌ترین ردپای آب را دارد. نتایج تحقیق حاضر با تحقیق آبابایی و رمضانی اعتدالی (۱۳۹۴) و ابوالحسنی و خلیلی (۱۳۹۵) که اظهار کردند که حسابداری آب مجازی با جمع‌آوری اطلاعات لازم و تجزیه و تحلیل دقیق وضعیت موجود و تغییرات در استفاده از منابع آب، مدیریت پایدار این منابع را امکان‌پذیر می‌کند، مطابقت دارد.



شکل ۹- مقادیر تولید مرتع در هر یک از زیرحوضه‌های خیاوچای

Figure 9- Values of rangeland yield in each Khiavchai sub-watershed

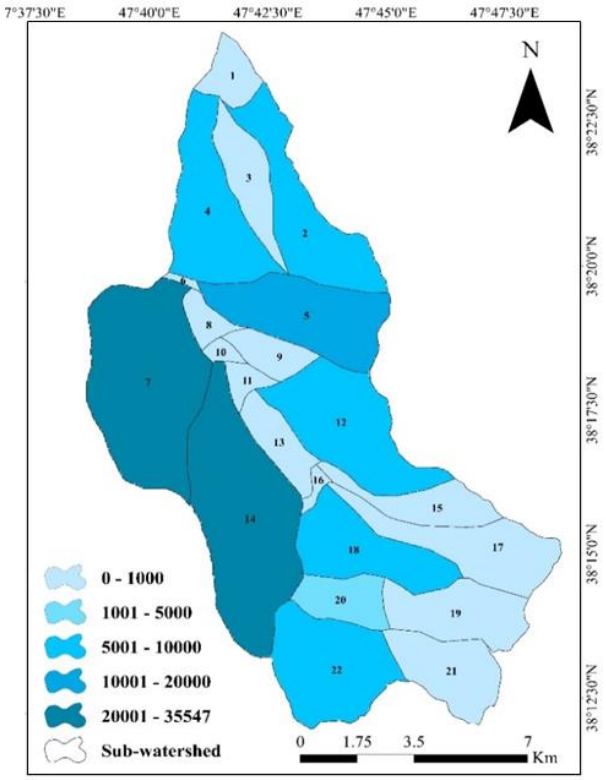
[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

جدول۳- تغییرات مقادیر ردپای آب (مترمکعب بر کیلوگرم) در کاربری مرتع در زیرحوضه‌های خیاوچای

Table 3- Changes in water footprint values (m^3 kg^{-1}) in pasture use in Khiavchai sub-watersheds

زیرحوضه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ردپای آب	0	5737.12	416.25	5669.02	11503.88	80.5	23312.66	232.27	643.36	22.64	52.03
زیرحوضه	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ردپای آب	6533.08	390.28	35547.82	409.2	29.4	351.88	5363.28	246.07	1518.8	24.58	9546.1



شکل ۱۰- تغییرات مکانی ردپای آب (مترمکعب بر کیلوگرم) در کاربری مرتع در زیرحوضه‌های خیاوچای

Figure 10- Spatial changes of water footprint (m^3 kg^{-1}) in rangeland in Khiavchai sub-watersheds

نتیجه‌گیری

به‌منظور دستیابی به هدف اصلی پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل مکانی منابع آب سطحی با رویکرد برآورد ردپای آب در زیرحوضه‌های خیاوچای، استان اردبیل واقع در بخش غربی استان اردبیل اقدامات متعددی شامل جمع‌آوری اطلاعات پایه، محاسبه ردپای آب‌های آبی، سبز، سفید و خاکستری در محصولات کشت شده در کاربری‌های زراعت دیم، زراعت آبی و مرتع صورت گرفت. میانگین مجموع آب‌های آبی، سبز، سفید و خاکستری برای کاربری زراعت باغی به‌ترتیب برابر ۵۵۵۴۲۸/۶۵، ۳۱۷۲۶/۱۴، ۸۶۰۱۹۱/۳۴ و ۴۲۳۰۱/۷۰ مترمکعب بر تن ارزیابی شد. بیش‌ترین میزان مجموع چهار آب برای محصول گردو و کم‌ترین آن برای محصول آلبالو است. در زراعت دیم میزان متوسط آب برای محصول گندم ۴۱۲۵۹۹۲/۳۶۴ متر مکعب، محصول جو ۱۰۰۴۶۹۹/۰۸۸ متر مکعب، محصول نخود ۷۰۵/۹۶۳۱۵ متر مکعب، محصول عدس ۸۸۶۶۲۸/۵۴۹۳ متر مکعب، ۲۶۰۶۱۳/۰۱۰۴ متر مکعب و برای محصول یونجه ۴۱۱۸۶۸/۷۲۷۴ متر مکعب به‌دست آمد. در کاربری زراعت آبی متوسط مجموع آب‌ها برای محصول گوجه‌فرنگی ۱۶۸۰۵۴/۳۶۶ متر مکعب برآورد شد و در کاربری مرتع میزان ردپای آب ۳۵۵۴۷/۸۲ مترمکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. در این میان، محصول عدس و نخود بیش‌ترین آب آبی را در بین محصولات زراعت دیم داشته‌اند. طبق نتایج این تحقیق زیرحوضه‌های ۷ و ۱۴واقع در بخش غربی حوضه خیاوچای بیش‌ترین مقادیر آب‌های مورد بررسی را به‌خود اختصاص دادند. قابل ذکر است که بخش اعظمی از مساحت زیرحوضه ۷ و ۱۰۰ درصد مساحت زیرحوضه ۱۴ را کاربری مرتع شامل می‌شود. سهم آب آبی محصولات گندم، جو، نخود، عدس، کلزا، یونجه، گوجه، گردو، آلبالو، انگور، سیب و گیلاس به‌ترتیب ۴/۹۷، ۴/۹۸، ۱۲۰/۶۴، ۱۱۴/۹۷، ۵/۲۳، ۱/۸۳، ۰/۲۹، ۱/۶۱، ۱/۰۴، ۰/۷۲، ۰/۴۴ و ۱/۳۰ مترمکعب بر تن ارزیابی شد. با توجه به تخریب محیط زیست و تغییر مؤلفه‌های بوم‌شناختی

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

طی قرن اخیر در سطح جهان و ایران، نتایج به‌دست آمده از ارزیابی ردپای آب در برنامه‌ریزی‌های کلان در بخش کشاورزی و تولید محصولات، ضمن استفاده از پتانسیل‌های محیطی و اقلیمی منطقه به حفظ و ذخیره منابع ارزشمند آبی کمک خواهد کرد. بدین‌صورت که با تخصیص الگوی کشت مناسب در منطقه با توجه به میزان موجودیت آب، رد پای آب و ملاحظات محیط زیستی می‌توان نسبت به تدوین برنامه مدیریتی و حفاظتی مناسب اقدام نمود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان: مهران سهیلی: تهیه داده، روش تحقیق؛ رئوف مصطفی‌زاده، مفهوم‌سازی، تهیه داده، روش تحقیق، کنترل نتایج، راهنمایی؛ اباذر اسمعلی‌عوری: روش تحقیق، راهنمایی؛ لیلا بابایی: نرم‌افزار، روش تحقیق، کنترل نتایج، نگارش، مشاوره؛ زینب حزباوی: روش تحقیق، کنترل نتایج، نگارش، مشاوره.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع

۱. ابوالحسنی، لیلی، و خلیلی، احسان. (۱۳۹۵). بررسی روش‌های اجرای حسابداری آب معرفی و اجرای کارآمدترین روش. *آب و توسعه پایدار*، ۳(۱)، ۹-۲۲. **https://jwsd.um.ac.ir/article_27405_d017b516e5a2a1cea891aa907e74fc14.pdf**

۲. باقری اردبیلیان، مریم، اسمعلی‌عوری، اباذر، عابدینی، موسی، و گلی کلانپا، اسماعیل. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل WetSpa حوزه آبخیز خیاوچای مشگین‌شهر، *یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یاسوج*. **https://civilica.com/doc/510848**

۳. پوران، رقیه، و راغفر، حسین، (۱۴۰۰). بررسی الگوی کشت محصولات زراعی استان‌های سمنان و ایلام با تاکید بر نقش آب مجازی در بهره‌وری، *آب و توسعه پایدار*، ۸، (۱)، ۹۷-۱۰۶. **https://jwsd.um.ac.ir/article_40271_b0ab652d5c3447 2ee40ed1956a46fb4f.pdf**

۴. حکمت‌نیا، مهران، حسینی، سید مهدی، و صفدری، مهدی. (۱۳۹۹). تعیین و ارزیابی ردپای آب‌های سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی ایران، *زهکشی و آبیاری ایران*. ۱۴(۲)، ۴۴۶-۴۶۳. **doi:20.1001.1.20087942.1399.14.2.9.4**

۵. خسروی، امید. (۱۳۹۶). بررسی صرفه‌های اقتصادی اجرای حسابداری آب در تولید محصول‌های کشاورزی با توجه به کمبود آب و خشکسالی‌های پیاپی در کشور ایران. مطالعات مدیریت و حسابداری، ۳(۴)، ۲۹۵- ۲۸۶.

۶. نصراللهی، زهرا، زارعی، مهران، و انصاری رایگا. سمیرا. (۱۳۹۸). اندازه‌گیری تجارت (واردات و صادرات) آب مجازی و میزان ردپای آب در بخش‌های اقتصادی استان یزد، *آب و توسعه پایدار*، ۱(۳)، ۴۳-۵۲. **https://jwsd.um.ac.ir/article_32138_e 9647f982694879b29cdd371aa3efcd8.pdf**

۷. شکوهی، علیرضا، رمضانی اعتدالی، هادی، مجتبوی، سید امین، و پی سینگ، ویجی. (۱۳۹۵). استفاده از حسابداری ردپای آب برای تعیین ترکیب کشت بهینه در توسعه پایدار (مطالعه موردی: دشت قزوین)، *تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۲ (۳)، ۱۱-۹. **https://www.iwrr.ir/article_32628.html**

۸. شریفی، جابر. (۱۳۹۷). بررسی خصوصیات بوم‌شناختی گونه مرتعی Festuca sulcat در مراتع آلپی استان اردبیل، *تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده*، ۹(۲)، ۲۴-۱۵. **https://jrnr.srbiau.ac.ir/article_14242.html?lang=fa**

۹. غیاثی، سید سعید، رجب‌زاده، فائزه، ناجی‌راد، سمیه، فیض‌نیا، سادات، و نظری‌سامانی، علی‌اکبر. (۱۳۹۶). تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین زمین‌لغزش‌های کم‌عمق در حوزه آبخیز خیاوچای. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۹(۲)، ۱۴۰- ۱۵۴. **doi: 20.1001.1.22519300.1396.9.2.3.1**

۱۰. علیقلی‌نیا، توحید، شیبانی، حسین، محمدی، امید، و حسام، موسی. (۱۳۹۸). مقایسه و ارزیابی رد پای آب آبی، سبز و خاکستری گندم در اقلیم‌های مختلف ایران، *تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۵(۳)، ۲۴۵-۲۳۴. **doi:20.1001.1.17352347.1398.15.3.18.9**

۱۱. عبداله‌زاده کهریزی، رحیم، کوکبی‌نژاد مقدم، امیر حسین، و معروفی‌نیا، ادریس. (۱۴۰۱). بررسی آب مجازی و شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی دشت پلدشت. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۵۴-۶۸. **doi:10.22098/MMWS.2022.11090.1100**

۱۲. عبدالمنافی جهرمی، ن. مظاهری، م. محمدولی سامانی، ج. صمدی، م. (۱۳۹۵). بررسی وضعیت سدها و عملکرد سدسازی در کشور، *گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس*. ۲۹(۵۹)، ۶۱-۵۰.

۱۳. قابل‌نظام، ائلناز، مصطفی‌زاده، رئوف، اسمعلی، اباذر، و حزباوی، زینب. (۱۳۹۹). داده‌کاوی مکانی فرسایش و تولید رسوب در کاربری‌های

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

مختلف حوزه آبخیز خیاوچای، *استان اردبیل، اولین کنفرانس ملی داده‌کاوی در علوم زمین*، دانشگاه اراک. **https://civilica.com/doc/1264884**

References

1. Ababaei, B., & Etedali, H. R. (2014). Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. *Environmental Processes*, 1, 193-205. https://link.springer.com/article/10.1007/s40710-014-0017-7
2. Abdol Manafi Jahromi, N. Mazaheri, M. Mohammad vali Samani, C. Samadi, M. (2015). Investigating the status of dams and the performance of dam construction in the country, Report of Majlis Research Center. 29(59): 61-50. [In Persian]
3. Abolhassany, L., & Khalili, E. (2016). Investigating the water accounting methods, Introduction and implementation most efficient method. Journal of Water and Sustainable Development, 3(1), 9-22. https://jwsd.um.ac.ir/article_27405_d017b516e5a2a1cea891aa907e74fc14.pdf. [In Persian]
4. Aldaya, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agricultural Systems*, 103(6), 351-360. doi:10.1016/j.agsy.2010.03.004
5. Aligholinya, T., Sheibany, H., Mohamadi, O., & Hesam, M. (2019). Comparison and evaluation of blue, green and gray water footprint of wheat in different climates of Iran. Iran-Water Resources Research, 15(3), 234-245. doi:20.1001.1.17352347.1398.15.3.18.9. [In Persian]
6. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
7. Atazadeh, I., Sharifi, M., & Kelly, M. G. (2007). Evaluation of the trophic diatom index for assessing water quality in River Gharasou, western Iran. *Hydrobiologia*, 589, 165-173. https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-007-0736-0
8. Bagheri Ardabilian, M., Esmaali Auri, A., Abedini, M., & Goli Kalanpa, E. (2015). Simulation of river flow using the WetSpa model of Khiauchai Meshkin Shahr watershed, 11th National Conference of Iran Watershed Science and Engineering, Yasouj. https://civilica.com/doc/510848. [In Persian]
9. Bassi, N., Schmidt, G., & De Stefano, L. (2020). Water accounting for water management at the river basin scale in India: approaches and gaps. *Water Policy*, 22(5), 768-788. doi: 10.2166/wp.2020.080
10. Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Savenije, H. H. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3), 455-468. https://hess.copernicus.org/articles/10/455/2006/
11. Chukalla, A. D., Krol, M. S., & Hoekstra, A. Y. (2015). Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. *Hydrology and earth system sciences*, 19(12), 4877-4891. https://hess.copernicus.org/articles/19/4877/2015/
12. Ghablenezam, E, Mostafazadeh, R, esmaili, A, & Hazbavi, Z. (2019). Spatial Data Mining of Erosion and Sediment Production in Different Land Uses of Khiauchai Watershed, Ardabil Province, First National Data Mining Conference in Earth Sciences, Arak University. https://civilica.com/doc/1264884. [In Persian]
13. Ghiasi, S. S., Rajabzadeh, F., Najirda, S., Feiznia, S., & Nazari Samani, A. (2017). A determination of effective factors on shallow landslide occurrence in Khiov-Chai watershed. Watershed Engineering and Management, 9(2), 140-154. doi: 20.1001.1.22519300.1396.9.2.3.1. [In Persian]
14. Gómez-Martínez, G., Galiano, L., Rubio, T., Prado-López, C., Redolat, D., Paradinas Blázquez, C., ... & Macián Cervera, J. (2021). Effects of climate change on water quality in the Jucar River Basin (Spain). *Water*, 13(17), 2424. doi: 10.3390/w13172424
15. Han, T., Zhang, C., Sun, Y., & Hu, X. (2017). Study on environment-economy-society relationship model of Liaohe River Basin based on multi-agent simulation. *Ecological Modelling*, 359, 135-145. doi:10.1016/j.ecolmodel.2017.02.016
16. Hastings, E., & Pegram, G. (2012). Literature review for the applicability of water footprints in South Africa. Gezina: Water Research Commission.
17. Hekmatnia, H., Hosseini, S. M., & Safdari, M. (2020). Determination and assessment of green, blue and gray water footprints in the international trade of agricultural products of Iran. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 14(2), 446-463. doi: 20.1001.1.20087942.1399.14.2.9.4. [In Persian]
18. Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Integrated assessment of water resources and global change: A north-south analysis, 35-48. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-5591-1_3
19. Kahrizi, R. A., Moghaddam, A. H. K., & Merufinia, E. Investigating virtual water and agricultural water productivity index in crops of Poldasht plain. Soil and Water Modeling and Management, 3(1), 54-68. doi:10.22098/MMWS.2022.11090.1100 . [In Persian]
20. Khosravi, Omid. (2016). Investigating the economic benefits of implementing water accounting in the production of agricultural products due to the lack of water and consecutive droughts in Iran. Management and Accounting Studies, 3(4), 286-295. [In Persian]
21. Langsdale, S., Beall, A., Carmichael, J., Cohen, S., & Forster, C. (2007). An exploration of water resources

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]

futures under climate change using system dynamics modeling. *Integrated Assessment Journal*, 7(1): 51–79. https://journals.lib.sfu.ca/index.php/iaj/article/view/2728
22. Mirchi, A., Madani, K., Watkins, D., & Ahmad, S. (2012). Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problems. *Water resources management*, 26(9), 2421–2442. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-012-0024-2
23. Molden D. (1997). Accounting for water use and productivity, International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
24. Mubako, S. T. (2018). Blue, green, and grey water quantification approaches: a bibliometric and literature review. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 165(1), 4-19. doi:10.1111/j.1936-704X.2018.03289.
25. Nash J. (2014). A population-based study on the prevalence of NASH using scores validated against liver histology, *Journal of Hepatology*, 4(19): 34-47.
26. Pouran, R., & Raghfar, H. (2021). Investigation of crop cultivation pattern of Semnan and Ilam provinces by emphasizing the role of virtual water in water productivity. Journal of Water and Sustainable Development, 8(1), 97-106. https://jwsd.um.ac.ir/article_40271_b0ab652d5c34472ee40ed1956a46fb4f.pdf. [In Persian]
27. Sawalhah, M. N., Geli, H. M., Holechek, J. L., Cibils, A. F., Spiegal, S., & Gifford, C. (2021). Water footprint of rangeland beef production in new mexico. *Water*, 13(14), 1950. doi:10.3390/w13141950
28. Sharifi, J. Ecological Characteristics Of Festuca Sulcata In Alpine Ranges Of Ardebil Province. Journal of Renewable Natural Resources Research, 9(2), 15-24. https://jrnr.srbiau.ac.ir/article_14242.html?lang=fa. [In Persian]
29. Shokoohi, A., Ramezani Etedali, H., Mojtabavi, S. A., & Singh, V. P. (2016). Using water footprint accounting for optimizing crop patterns respecting sustainable development (case study: Qazvin plain). Iran-Water Resources Research, 12(3), 99-113. https://www.iwrr.ir/article_32628.html. [In Persian]
30. Sun, B., & Yang, X. (2019). Simulation of water resources carrying capacity in Xiong'an New Area based on system dynamics model. *Water*, 11(5), 1085. doi:10.3390/w11051085
31. Sušnik, J., Vamvakeridou-Lyroudia, L. S., Savić, D. A., & Kapelan, Z. (2013). Integrated modelling of a coupled water-agricultural system using system dynamics. *Journal of Water and Climate Change*, 4(3), 209-231. doi:10.2166/wcc.2013.069
32. Vardon, M., Martínez-Lagunes, R., Gan, H., & Nagy, M. (2012). The system of environmental-economic accounting for water: development, implementation and use. Water Accounting, International Appraoches to Policy and Decision Making. *Edward Elgar, United Kingdom*, 29(7), 32-57
33. Wang, D., Hubacek, K., Shan, Y., Gerbens-Leenes, W., & Liu, J. (2021). A review of water stress and water footprint accounting. *Water*, 13(2), 201. doi:10.3390/w13020201
34. Zarei, M., Nasrallahi, Z., & Ansari Raiga. S. (2018). Measurement of water footprint an virtual water trade in he economic sectors of yazd province using the input- output approach, *Water and Sustainable Development*, 1(3), 43-52. https://jwsd.um.ac.ir/article_32138_e9647f982694879b29cdd371aa3efcd8.pdf. [In Persian]
35. Zhang, G., Hoekstra, A. Y., & Mathews, R. E. (2013). Water Footprint Assessment (WFA) for better water governance and sustainable development, editorial. *Water Resources and Industry*, 1, 1-6.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-26]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.1.4]