



Evaluation of seasonal performance of irrigation systems and plants with ARIS index

Yaser Hamdi Ahmadabad¹ | Abdolmajid Liaghat² | Teymor Sohrabi³ |
Ali Rasoulzadeh⁴ | Jamal Ahmadaali⁵

1. Corresponding Author, Agricultural Engineering Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran. and E-mail: y.hamdi@areeo.ac.ir
2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Univ. College of Agriculture and Natural Resources, Univ. of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aliaghat@ut.ac.ir
3. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Univ. College of Agriculture and Natural Resources, Univ. of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: myousef@ut.ac.ir
4. Department of Water Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: rasoulzadeh@uma.ac.ir
5. Agricultural Engineering Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran. E-mail: j.ahamdaali@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 13, 2024

Revised: Sep. 28, 2024

Accepted: Oct. 1, 2024

Published online: March. 2025

Keywords:

*water efficiency,
Moghan plain,
Surface irrigation system,
center pivot irrigation system,
ARIS*

ABSTRACT

Irrigation performance evaluation is needed for hydrological planning and as the first step to improve water management, one of the performance evaluation criteria is the relative annual irrigation supply index (ARIS), which is used in agriculture and water resources management to evaluate the adequacy of water supply for irrigation in the length of a cropping period is used. Therefore, the purpose of this research is to investigate the ARIS index and water productivity indices for different plants (wheat, seed corn, corn, maize, sugar beet, cotton, alfalfa and soybean) in two surface and center pivot irrigation systems in It was Moghan Plain where three indices $[(WP)_{T} \cdot (WP)_{eg}$ and $[(WP)_{en}$ were used to check water efficiency. This research was conducted in 13 combinations of irrigation system - crop in the area of 647 hectares. The results showed that the ARIS index for the studied area varied from 0.73 to 2.21, so that the overall average was 1.27 with an overall standard deviation of 0.15, which indicated the application of heavy irrigation in the fields. Regarding the irrigation systems, the average ARIS for surface and center pivot irrigation was 1.60 and 0.89, respectively. Also, in terms of plant type, soybean and corn had the lowest and highest ARIS values with 0.73 and 1.73, respectively. On the other hand, the investigation of technical and economic efficiency of water for main crops and irrigation systems showed that maize and seed corn and cotton in the surface irrigation system had the lowest value, while sugar beet and corn under center pivot irrigation system had the highest value of water economic efficiency index. Considering the volume of water consumption, water productivity and gross productivity, the best option for cultivation in the wheat crop area was recommended. Also, in terms of water consumption and productivity, according to the type of irrigation system, center pivot system is more efficient than surface system, and the development of this system is recommended.

Cite this article: Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, A., Sohrabi, T., Rasoulzadeh, A., Ahmadaali, J., (2025) Evaluation of seasonal performance of irrigation systems and plants with ARIS index, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (1),75-90. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379319.669755>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379319.669755>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

The total annual rainfall in Iran is approximately 393 billion cubic meters, a significant portion of which is lost through surface and groundwater flows. Inefficient water resource management and low irrigation efficiency have led to substantial water losses in both modern and traditional irrigation networks. The ARIS index has been introduced as a tool for evaluating irrigation system performance, and numerous studies worldwide have examined its applicability. However, this index has not yet been studied in Iran. This research aims to assess the ARIS index and water productivity in the irrigation systems of the Moghan Plain, facilitating comparisons with other regions globally.

Materials and Methods:

The study was conducted in the Moghan Plain (Moghan Agro-Industry and Livestock Company) in Ardabil Province, Iran, covering 674 hectares. The dominant irrigation systems in the region include surface irrigation and center pivot. Data collection spanned two agricultural years (2016–2017) across 41 farms cultivating eight different crops. The study assessed irrigation water application (IWA) and irrigation efficiency using the ARIS index, comparing irrigation water use with crop water requirements. Additionally, three water productivity indices (WP_T , WP_{eg} , and WP_{en}) were evaluated. Field sampling and farmer surveys provided crop yield, irrigation volume, economic data, and operational costs, enabling a comprehensive analysis of irrigation performance and water productivity.

Results:

Most of the farms in the region are dedicated to sugar beet and grain corn, with these two crops occupying a significant share of the cultivated area. Due to the prevalence of leased farms, sugar beet has become a common crop among tenants because of its higher economic profitability. The evapotranspiration of crops varied between 465 and 939 mm, and the net irrigation requirement was estimated to range from 2,100 m³/ha for wheat to 8,150 m³/ha for alfalfa. A comparison of irrigation systems indicated that in surface irrigation, water consumption was higher than in center pivot systems due to infiltration and runoff losses. Sugar beet had the highest water consumption in surface irrigation, while wheat had the lowest in center pivot systems. The water productivity index showed that forage corn and sugar beet had the highest water productivity, and the center pivot system generally outperformed surface irrigation in most crops. This system demonstrated better economic performance due to improved control over irrigation depth and reduced losses. Additionally, an analysis of the economic water productivity index revealed that seed corn and wheat had the highest economic returns, while alfalfa had the lowest.

Conclusion:

The study found that surface irrigation used more water than center pivot systems, which had higher water efficiency due to less runoff and deeper infiltration. The ARIS index showed excessive water use in surface-irrigated fields. Shifting to center pivot irrigation can reduce water wastage and improve efficiency. Improving water management practices and advising farmers is crucial to optimize irrigation and conserve water.

Author Contributions

Conceptualization, Y.H., A.L., T.S. & A.R; methodology, Y.H., A.L., T.S. & A.R; software, Y.H., A.L., T.S. & A.R; formal analysis, Y.H. & J.A; investigation, Y.H., A.L. & A.R; resources, Y.H; data curation, Y.H., A.L. & A.R; writing-original draft preparation, Y.H. & J.A; writing-review and editing, Y.H., A.L., T.S. & A.R; visualization, Y.H. & J.A; supervision, Y.H.; project administration, Y.H.; funding acquisition, Y.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve the paper. The authors gratefully acknowledge the support and facilities provided by Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

ارزیابی عملکرد فصلی سیستم‌های آبیاری و گیاهان با شاخص ARIS

یاسر حمدی احمدآباد^۱ | عبدالمجید لیاقت^۲ | تیمور سهرابی^۳ | علی رسولزاده^۴ | جمال احمدآلی^۵

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران، y.hamdi@areeo.ac.ir۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، تهران، ایران، aliaghat@ut.ac.ir۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، تهران، ایران، myousef@ut.ac.ir۴. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، rasoulzadeh@uma.ac.ir

۵. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران، j.ahamdaali@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۷/۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۰

تاریخ انتشار: فروردین ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:

بهره‌وری آب،

ذلت مغان،

سیستم آبیاری سطحی،

سیستم آبیاری سنتریپوت،

شاخص عرضه نسبی سالانه

آبیاری.

ارزیابی عملکرد آبیاری برای برنامه‌ریزی هیدرولوژیکی و به عنوان اولین گام برای بهبود مدیریت آب مورد نیاز است که یکی از معیارهای ارزیابی عملکرد، شاخص عرضه نسبی سالانه آبیاری (ARIS) می‌باشد که در کشاورزی و مدیریت منابع آب برای ارزیابی کفایت تامین آب برای آبیاری در طول یک دوره زراعی استفاده می‌گردد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، بررسی شاخص ARIS و شاخص‌های بهره‌وری آب برای گیاهان مختلف (گندم، ذرت بذری، علوفه‌ای و دانه‌ای، چغندرقد، پنبه، یونجه و سویا) در دو سیستم آبیاری سطحی و سنتریپوت در دشت مغان بود که برای بررسی بهره‌وری آب از سه شاخص WP_T ، WP_{eg} و WP_{en} استفاده شد. این تحقیق در ۱۳ ترکیب سیستم آبیاری - محصول در سطح ۶۴۷ هکتار انجام شد. نتایج نشان داد شاخص ARIS برای منطقه مورد مطالعه از ۰/۷۳ تا ۲/۲۱ متغیر بوده به طوری که میانگین کلی آن ۱/۲۷ با انحراف استاندارد کلی ۰/۱۵ به دست آمد که بیانگر اعمال پراپیاری در سطح مزارع بود. با توجه به سیستم‌های آبیاری، میانگین ARIS برای آبیاری سطحی و سنتریپوت به ترتیب ۱/۶۰ و ۰/۸۹ به دست آمد. همچنین به لحاظ نوع گیاه، سویا و ذرت علوفه‌ای با ۰/۷۳ و ۱/۷۳ به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار ARIS بودند. از طرف دیگر، بررسی بهره‌وری فنی و اقتصادی آب برای محصولات اصلی و سیستم‌های آبیاری نشان داد ذرت دانه‌ای و بذری و پنبه در سیستم آبیاری سطحی و چغندرقد و ذرت علوفه‌ای تحت کشت سیستم آبیاری سنتریپوت به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی آب بودند. با توجه به حجم مصرف آب، بهره‌وری آب و بهره‌وری ناخالص، بهترین گزینه برای کشت در منطقه محصول گندم توصیه گردید. همچنین به لحاظ مصرف آب و بهره‌وری با توجه به نوع سیستم آبیاری، سیستم سنتریپوت کارایی بیشتری نسبت به سیستم سطحی داشته و توسعه این سیستم توصیه می‌گردد.

استناد: حمدی احمدآباد؛ یاسر، لیاقت؛ عبدالمجید، سهرابی؛ تیمور، رسول زاده؛ علی، احمدآلی؛ جمال، (۱۴۰۴) ارزیابی عملکرد فصلی سیستم‌های آبیاری و گیاهان با شاخص

ARIS، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۱)، ۷۵-۹۰. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379319.669755>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379319.669755>

مقدمه

براساس یک برآورد تقریبی، حجم کل بارندگی‌ها در ایران حدود ۳۹۳ میلیارد مترمکعب در سال است که از این مقدار حدود ۹۵ میلیارد مترمکعب به صورت جریان‌های سطحی بوده که بخش عظیمی از این آب‌ها از طریق رودخانه‌های مختلف از دسترس خارج می‌شود. حجم آب‌های زیرزمینی نیز حدود ۳۵ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. براساس یک برآورد کلی، در صورتی که آب‌های سطحی و زیرزمینی مهار شوند و با راندمان مناسب مورد استفاده قرار گیرند، هر سال می‌توان در مجموع حدود ۱۰ تا ۱۲ میلیون هکتار زمین را زیر کشت زراعت‌های آبی برد. این در حالی است که در شرایط کنونی به دلیل عدم وجود تأسیسات ذخیره‌ای کافی و پایین بودن راندمان‌های آبیاری، تنها حدود ۵/۷ تا ۸ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی زیر کشت محصولات آبی (با استفاده از آب‌های زیرزمینی و سطحی) قرار دارد. براساس اطلاعات موجود، هم‌اکنون به دلیل تلفات زیاد آب در شبکه‌های مدرن و سنتی، زراعت‌های مختلف به دفعات کافی آبیاری نمی‌شوند. البته این مسأله در مناطقی اتفاق می‌افتد که منابع آب فراوان وجود ندارد. در مناطقی که منابع آب کافی در دسترس کشاورزان می‌باشد، این مسأله به صورت بالا رفتن حجم تلفات بروز می‌نماید. استفاده از فنون آبیاری از قرن‌ها قبل در سطح دنیا متداول بوده است، بالاخص در ایران فن بهره‌برداری از آب و آبیاری دارای سابقه بسیار طولانی می‌باشد. با وجود این، شناخت مفاهیم علمی راندمان آبیاری تنها از چند دهه قبل مورد توجه قرار گرفته است. راندمان آبیاری از نظر مقایسه سیستم‌های مختلف آبیاری معیار بسیار سودمندی است. در واقع راندمان آبیاری معیاری است که در آن نحوه‌ی کاربری آب در آبیاری به کمیت تبدیل می‌شود. تا به حال دست‌کم ۲۰ روش مختلف برای توصیف کمی نحوه استفاده از آب تحت عناوین راندمان آبیاری ارائه شده است که همه آنها تا حدودی مفید واقع شده است. اختلاف این روش‌ها بیشتر جنبه سلیقه‌ای داشته و ممکن است مثلاً یک روش، ترکیبی از دو روش دیگر باشد و یا تفاوت‌ها در نحوه تعریف راندمان‌ها باشد تا ماهیت آنها، و گرنه در تمامی آنها هدف آن است که نقاط ضعف سیستم از نظر هدر رفتن آب مشخص گردد (۱).

Clemmens and Dedrick (1994) سیستم‌های آبیاری را براساس راندمان کاربرد آب طبقه‌بندی کردند. در یک سناریوی بهینه شده، برای بهترین سیستم آبیاری، راندمان ۹۰ درصد بود. در صورتی که با راندمان ۹۰ درصد، آب آبیاری اعمال شده با نیاز خالص آبیاری برابر باشد مقدار ARIS ۱/۱۱ خواهد بود. با فرض راندمان ۹۰ درصد، مقدار ARIS کمتر از ۱/۱۱ کم‌آبیاری و بیشتر از ۱/۱۱ پرآبیاری محسوب می‌شود. شاخص ARIS می‌تواند برای تخمین درجه کم‌آبیاری یا پرآبیاری فصلی در مزارع استفاده شود چنانچه اگر در یک مزرعه پرآبیاری اعمال شود این شاخص به راندمان آبیاری وابسته خواهد بود. Hamdi et al (2021) به منظور بهبود عملکرد سیستم آبیاری سطحی در دشت مغان مطالعاتی را انجام دادند. نتایج نشان داد با اعمال سناریوهای مدیریتی می‌توان راندمان کاربرد آب را از ۳۵ درصد به حدود ۷۰ درصد رساند. با توجه به تحقیقات انجام شده، شاخص ARIS در کشور ایران مورد بررسی قرار نگرفته است به همین دلیل تحقیقی به منظور بررسی این شاخص در دشت مغان که در استان اردبیل واقع شده است انجام شد. در زیر مروری بر کارهایی که تا بحال در مورد شاخص ARIS^۱ که در کشورهای مختلف صورت گرفته است ارایه شده است.

Faci et al (2000) سیستم آبیاری سطحی در ابرو اسپانیا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مقدار ARIS برای غلات و آفتابگردان به ترتیب ۲ و ۰/۸۶ به دست آمد. آنالیز سیستم آبیاری سطحی برای گیاهان زراعی در ابرو اسپانیا توسط Lecina et al (2005) نشان داد که مقدار ARIS برابر با ۲/۰۵ در سال ۲۰۰۰ و ۱/۵۱ در سال ۲۰۰۱ به دست آمد. نتایج مطالعات Dechmi et al (2003) بر روی سیستم‌های آبیاری بارانی در منطقه ابرو اسپانیا نشان داد متوسط شاخص ARIS برای یونجه و غلات به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۹۰ به دست آمد. در دو سیستم آبیاری بارانی Cavero et al (2003) شاخص ARIS را در بازه ۰/۹۴ تا ۱/۱۲ برای ذرت، ۱/۰۳ تا ۱/۱۵ برای یونجه و ۰/۵۷ تا ۱/۰۹ برای آفتابگردان ارایه دادند. در گزارشی از یک منطقه بادخیز با سیستم آبیاری کلاسیک ثابت، Zapata et al (2009) میانگین شاخص ARIS را ۱/۲۵ برای غلات و ۱/۵۹ برای یونجه تخمین زدند. این محققان به این نتیجه رسیدند که عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی در منطقه ابرو اسپانیا به شدت تحت تاثیر شرایط هواشناسی منطقه قرار دارد.

Lorite et al (2004) شاخص ARIS را در سیستم آبیاری مزارع Genil-Cabra در اسپانیای شمالی (۷۰۰۰ هکتار) مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور، محققان از داده‌های ۴ فصل آبیاری استفاده کردند و ۷ نوع گیاه را در نظر گرفتند. نتایج برای محصولات مختلف نشان داد بازه شاخص ARIS از ۰/۲۲ برای آفتابگردان تا ۱/۱۹ برای چغندر قند متغییر است که به ترتیب نشان دهنده کم‌آبیاری و پرآبیاری

(در حد کم) می‌باشد. Garcia et al (2008) شاخص ARIS را در همان منطقه آنالیز کردند با این تفاوت که ۱۵ فصل آبیاری در نظر گرفتند. متوسط این شاخص برای تمامی گیاهان ۰/۶۰ به دست آمد، که برای آفتابگردان ۰/۲۳، غلات زمستانه ۰/۲۸ و پنبه ۰/۷۹ گزارش شد. Agide et al (2016) عملکرد سیستم‌های آبیاری در Ethiopia را آنالیز کردند نتایج نشان داد متوسط شاخص ARIS برای سیستم‌های آبیاری سنتی، مدرن و نیمه سنتی به ترتیب ۱/۱۸، ۲/۶۳ و ۳/۸۴ به دست آمد.

Molden et al (1998) به بررسی عملکرد سیستم‌های آبیاری سطحی در کشورهای مختلف پرداخته و مقدار ARIS را در بازه ۰/۵ تا ۴/۱۶ ارائه دادند. Molden (1997) با جمع‌آوری داده‌های مربوط به عملکرد سیستم آبیاری در هند، مقدار ARIS را ۱/۵۴ برای گندم و ۱/۶۴ برای پنبه به دست آوردند. Salvador et al (2011) در ابروی اسپانیا عملکرد سیستم آبیاری و گیاهان را برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق درختان میوه، گیاهان تابستانه، گیاهان زمستانه، سبزیجات، درختان زیتون و تاکستان‌ها با سه نوع سیستم آبیاری در نظر گرفته شد. مساحت زیر کشت بررسی شده در این تحقیق ۶۷۰ هزار هکتار بوده است. نتایج نشان داد مقدار ARIS برای گیاهان در محدوده ۰/۴۶ تا ۱/۳۰ و برای سیستم‌های آبیاری سطحی، کلاسیک ثابت و قطره‌ای به ترتیب ۱/۱۴، ۱/۱۶ و ۰/۶۵ به دست آمد. Exposito and Berbel (2017) در یک مطالعه موردی در حوضه رود Guadalquivir در جنوب اسپانیا به منظور استفاده از آب آبیاری کشاورزی در یک حوضه بسته و تأثیرات آن بر روی بهره‌وری آب در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۵ برای گیاهان غالب منطقه (۱۱ نوع گیاه) انجام شد. نتایج نشان داد مقدار شاخص ARIS در سال ۲۰۰۵ در بازه ۰/۳۷ (غلات) تا ۱/۳۹ (درختان میوه) و در سال ۲۰۱۲ در بازه ۰/۴۱ (زیتون) تا ۱/۵۵ (درختان میوه) قرار گرفت. Zhao et al (2017) به بررسی بهره‌وری آب کشاورزی براساس فاکتورهای مختلف پرداختند. در این تحقیق، سناریوهای متفاوت برای بهینه‌سازی بهره‌وری آب گیاهان مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد متوسط شاخص WP_T در وضع موجود ۱/۵۴ کیلوگرم بر متر مکعب بوده که با اعمال سناریوهای بهینه‌سازی، متوسط این شاخص نسبت به وضع موجود ۰/۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافته است. در تحقیقی دیگر، Buendia - Espinoza et al (2004) در سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مکزیک بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری (WP_{eg}) را در بازه ۱/۶۵ تا ۲/۶۸ پوند بر مترمکعب برای گوجه فرنگی و ۲/۱۴ تا ۲/۳۴ پوند بر مترمکعب برای کدو حلواپی به دست آوردند در همین راستا، Exposito and Barbel (2017) مقدار این شاخص را ۰/۱۹ برای برنج، ۰/۴۴ برای ذرت، ۰/۲۱ برای پنبه، ۰/۶۱ برای چغندر قند، ۱/۵۱ برای پرتقال و ۱/۱۷ یورو بر مترمکعب برای زیتون به دست آوردند. Salvador et al (2011) کمترین و بیشترین مقدار WP_{eg} را به ترتیب برای یونجه در سیستم آبیاری سطحی (۰/۰۸۱) یورو بر مترمکعب) و درخت سیب در سیستم آبیاری قطره‌ای (۱/۲۰ یورو بر مترمکعب) گزارش کردند. Salvador et al (2011) مقدار بهره‌وری خالص اقتصادی آب آبیاری (WP_{en}) را در محدوده ۰/۰۴۳ یورو بر متر مکعب برای گندم و ۱/۰۰ یورو بر متر مکعب برای سیب ارائه دادند. Perry (2001) و Jalota et al (2007) مقدار شاخص مذکور را برای برنج، ذرت دانه‌ای و گندم به ترتیب ۰/۰۲۰، ۰/۰۳۴ و ۰/۰۸۱ یورو بر متر مکعب به دست آوردند همچنین این محققان مقدار WP_{en} را برای ذرت دانه‌ای و گندم به ترتیب در بازه ۰/۱۰۶ تا ۰/۰۵۳ و ۰/۱۲۱ تا ۰/۱۰۰ یورو بر مترمکعب ارائه دادند.

در داخل کشور نیز مطالعات زیادی در زمینه محاسبه انواع شاخص‌های بهره‌وری آب در بخش کشاورزی صورت گرفته است با این تفاوت که نوع روش‌های آبیاری در محصولات مختلف و تأثیر آنها بر روی بهره‌وری آب در این مطالعات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه‌ای Farahani and Ovis (2008) بهره‌وری آب در غلات را حدود ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کردند. نتایج تحقیق زمانی و همکاران (۱۳۹۳) به منظور بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی دشت بهار نشان داد بیشترین و کمترین مقدار شاخص WP_T به ترتیب برای ذرت برابر با ۸/۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب و کدو برابر با ۰/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب در سیستم آبیاری مدرن بود. همچنین بیشترین و کمترین مقدار شاخص WP_{eg} به ترتیب برای سیر برابر با ۱۱۵۵۳/۶۵ ریال بر مترمکعب در سیستم مدرن و یونجه برابر با ۱۹۱۶/۶۸ ریال بر مترمکعب در سیستم سنتی بود. بیشترین مقدار WP_{en} برای سیر با ۴۱۵۳/۰۵ ریال بر مترمکعب در سیستم مدرن به دست آمد.

با وجود مطالعات زیادی که در زمینه بهره‌وری آب آبیاری انجام شده است در معدود مطالعاتی به بررسی و مقایسه بهره‌وری آب با شاخص‌های جدید در سیستم‌های مختلف آبیاری پرداخته شده است. از طرف دیگر، شاخص بررسی عملکرد سالانه آبیاری (ARIS) در کشور برای گیاهان و سیستم‌های آبیاری بررسی نشده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، بررسی شاخص ARIS و شاخص‌های بهره‌وری آب برای گیاهان مختلف در سیستم‌های آبیاری سطحی و سنتی در دشت مغان بود. این اطلاعات می‌تواند برای مقایسه دشت مغان با مناطق دیگر در جهان مورد مقایسه و بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر دشت مغان (شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان) بود. دشت مغان در استان اردبیل واقع شده است و یکی از دشت‌های حاصل خیز کشور می‌باشد. سیستم‌های رایج آبیاری در این دشت، سیستم آبیاری سطحی، بارانی (کلاسیک ثابت) و سنتریپوت می‌باشد. محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است. در این تحقیق دو سیستم آبیاری رایج سطحی و سنتریپوت و برای انتخاب نوع گیاه، گیاهان غالب منطقه در نظر گرفته شدند. داده‌برداری در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ صورت گرفت و میانگین داده‌های دو سال زراعی به عنوان داده‌های تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. در مجموع ۴۱ مزرعه با ۸ گیاه و دو سیستم آبیاری مختلف انتخاب شد. مساحت محدوده تحقیق ۶۷۴ هکتار بود. اطلاعات مربوط به مزارع مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. براساس نوع سیستم آبیاری، سیستم آبیاری سطحی ۴۴۰ هکتار (۶۸ درصد کل مساحت) و سیستم آبیاری سنتریپوت ۲۰۷ هکتار (۳۲ درصد از کل مساحت) را به خود اختصاص داده است. از لحاظ نوع گیاه، چغندر قند با ۱۹۳ هکتار (۳۰ درصد کل مساحت)، ذرت بذری با ۱۲۰ هکتار (۱۹ درصد)، ذرت دانه‌ای با ۱۲۴ هکتار (۱۹ درصد)، و گندم با ۹۶ هکتار (۱۵ درصد از کل مساحت) بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به این که کشت پنبه در منطقه اکثراً به صورت کشت دوم بوده است بنابراین در کشت اول مساحت مربوط به این محصول کم بوده که در نتیجه آن کمترین مساحت در تحقیق حاضر، مربوط به پنبه با ۸ هکتار (۱/۲ درصد از کل مساحت) بود. در سیستم آبیاری سنتریپوت، در هر آبیاری مقدار آب مصرفی از طریق کنتور حجمی قرائت گردید و با جمع کردن قرائت‌ها در طول فصل رشد، کل آب مصرفی (IWA) به دست آمد. در سیستم آبیاری سطحی در مزارع مورد مطالعه، در فصل رشد دبی ورودی به مزارع با استفاده از فلوم اندازه‌گیری شد. سپس در هر مرحله آبیاری دبی ورودی به مزارع در ساعت آبیاری ضرب شد و حجم آب ورودی به مزارع تعیین گردید. همچنین در منطقه مورد مطالعه ۲۱۰ پرسشنامه از کشاورزان جمع‌آوری گردید که ۴۱ پرسشنامه مربوط به مزارعی بود که اطلاعات مورد نیاز به صورت میدانی اندازه‌گیری شد و مابقی پرسشنامه‌ها از کشاورزان اطراف منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید. این پرسشنامه‌ها شامل آب مصرفی در هکتار، قیمت فروش محصولات، درآمد ناخالص، هزینه‌های یک فصل زراعی شامل تمامی عملیات کاشت، داشت و برداشت بود. در هر مرحله آبیاری اطلاعات مربوط به دبی ورودی (که اکثراً کشاورزان به صورت اینچ آب بیان می‌کردند)، ساعت آبیاری و هزینه‌های آبیاری (شامل هزینه آب، آبیاری، کارگر و ...) از کشاورزان گرفته شد. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده IWA و اطلاعات پرسشنامه‌ای، میانگین آب مصرفی آبیاری در طول یک فصل رشد برای تمامی محصولات در منطقه به دست آمد. اطلاعات مربوط به تبخیر و تعرق ماهیانه، بارش موثر و نیاز خالص آبیاری محصولات برای منطقه (IR_n) از سند ملی استخراج گردید.

در این تحقیق به منظور ارزیابی عملکرد فصلی سیستم‌های آبیاری و گیاهان از شاخص ARIS (Malano and Burton, 2001) استفاده شد. این شاخص به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$ARIS = \frac{IWA}{IR_n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: IWA آب آبیاری اعمال شده (مترمکعب در هکتار) و IR_n نیاز خالص آبیاری در یک فصل زراعی (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. مقدار یک در این شاخص بیانگر برابر بودن مقدار آب آبیاری اعمال شده با نیاز خالص آبیاری می‌باشد.

علاوه بر شاخص ARIS، شاخص‌های اقتصادی و بهره‌وری در تعیین کارایی یک سیستم می‌تواند موثر باشد. بنابراین برای بررسی بهره‌وری آب از سه شاخص WP_T ، WP_{eg} و WP_{en} استفاده شد که روابط آن‌ها در معادله‌های (۲ تا ۴) ارائه شده است:

بهروری آب آبیاری یکی از شاخص‌های مهم برای اندازه‌گیری اثرات مدیریت آب آبیاری می‌باشد که اکثر محققان (Salvador et al, 2010; Zwart and Bastiaanssen, 2004; Kahlown et al, 2007; al, 2011) در مقالات، رابطه آن را به صورت زیر گزارش داده‌اند:

$$WP_T = \frac{Y}{IWA} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن WP_T بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) و IWA حجم آب آبیاری اعمال شده (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

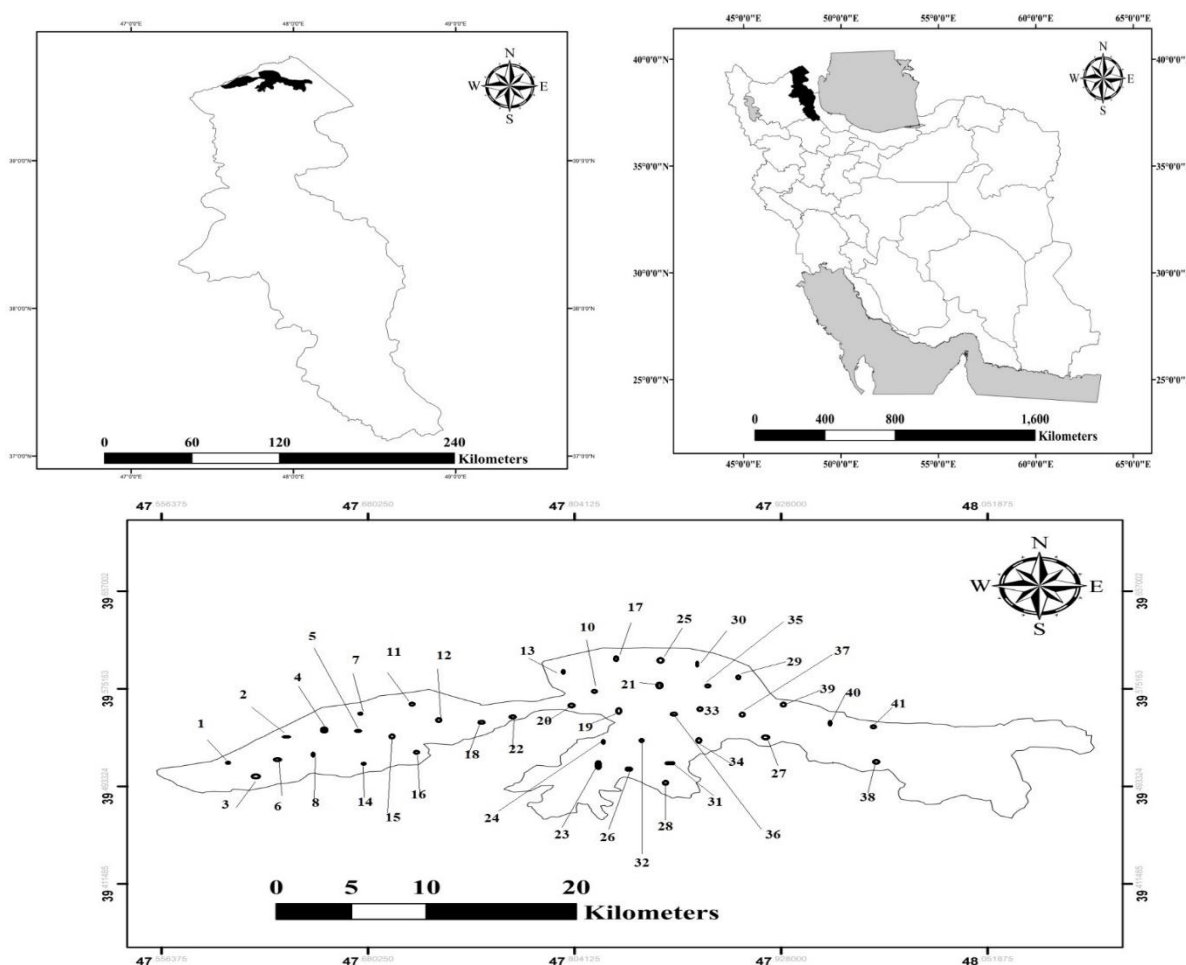
به دلیل اختلاف بین عملکرد و هزینه، شاخص WP_T نمی‌تواند برای مقایسه بین گیاهان کافی باشد برای همین منظور از روش بهره‌وری اقتصادی ناخالص آب آبیاری (WP_{eg}) استفاده شد. این شاخص نسبت بین درآمد ناخالص یک محصول (I_g) و حجم آب آبیاری در یک فصل رشد (IWA) می‌باشد که رابطه آن به صورت زیر است (Salvador et al, 2011):

$$WP_{eg} = \frac{I_g}{IWA} \quad \text{رابطه ۳}$$

از طرف دیگر، برای ارزیابی درست بهره‌وری اقتصادی آب علاوه بر درآمد باید هزینه‌ها را هم در نظر گرفت بنابراین شاخص WP_{en} (بهره‌وری خالص اقتصادی آب آبیاری) (واحد پول بر متر مکعب) که نسبت درآمد خالص محصول (M_n) به حجم آب آبیاری در فصل رشد (IWA) می‌باشد مورد استفاده قرار گرفت که رابطه آن در زیر آمده است:

$$WP_{en} = \frac{M_n}{IWA} \quad \text{رابطه ۴}$$

به منظور تعیین عملکرد محصولات، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری میدانی صورت گرفت. برای تعیین عملکرد محصولات در هر هکتار سه پلات یک در یک در سه نقطه در نظر گرفته شد. نمونه‌ها از داخل پلات برداشت شدند. در نهایت برای ذرت بذری، ذرت دانه‌ای، سویا و گندم عملکرد دانه‌ها و برای یونجه عملکرد علوفه خشک در هکتار به دست آمد. برای این منظور، نمونه‌ها در داخل آون با دمای ۷۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. با توجه به این‌که یونجه در منطقه ۴ تا ۵ مرحله برداشت می‌شد، در مزارع مورد مطالعه برای پنج مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت و در هر مرحله برداشت، میانگین عملکرد علوفه خشک تعیین گردید. عملکرد چغندرقد و ذرت علوفه‌ای با توجه به شرایط منطقه تعیین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد چغندرقد، قسمت غده به عنوان محصول در نظر گرفته می‌شود بنابراین با حذف خاک چسبیده به غده و برگ‌های روی غده، عملکرد محصول در هکتار تعیین گردید. برداشت پنبه در منطقه در دو چین انجام شد. در چین اول غوزه‌های رسیده برداشت و مابقی غوزه‌ها به طور کامل در چین دوم برداشت شد. بنابراین عملکرد گیاه پنبه (وزن غوزه) در هکتار اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین عملکرد ذرت علوفه‌ای، با توجه به اینکه بعد از برداشت، مستقیم با همان وضعیت به فروش می‌رسد دقیقاً عین شرایط در نظر گرفته شد و نمونه‌های برداشت شده اندازه‌گیری گردید. لازم به ذکر می‌باشد قیمت فروش محصولات از روی قیمت مصوب دولت در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ و پرسشنامه‌ها، و میزان هزینه‌ها برای تمامی محصولات و مزارع مورد مطالعه از روی پرسشنامه‌ها تعیین شد.



شکل ۱. موقعیت مزارع مورد مطالعه

جدول ۱. مساحت مربوط به هر محصول و سیستم آبیاری

سیستم آبیاری	محصول	تعداد قطعات زمین‌ها	متوسط مساحت
سطحی	چغندر قند	۹	۲۰
سطحی	ذرت بذری	۴	۱۸
سطحی	ذرت علوفه‌ای	۴	۱۰
سطحی	پنبه	۱	۸
سطحی	ذرت دانه‌ای	۴	۱۷
سطحی	سویا	۲	۸
سطحی	گندم	۳	۲۲
سنتر پیوت	چغندر قند	۱	۱۳
سنتر پیوت	ذرت علوفه‌ای	۲	۱۲
سنتر پیوت	ذرت دانه‌ای	۴	۱۴
سنتر پیوت	ذرت بذری	۳	۱۶
سنتر پیوت	گندم	۲	۱۵
سنتر پیوت	یونجه	۲	۱۳

نتایج و بحث

اطلاعات مربوط به تبخیر و تعرق و بارش موثر در طول دو فصل زراعی، مساحت زیر کشت، تعداد مزارع و نیاز خالص آبیاری (IR_n) برای محصولات مختلف در جدول ۲ براساس نوع گیاه طبقه‌بندی شده است.

جدول ۲- تبخیر تعرق، بارش موثر و نیاز خالص آبیاری به تفکیک محصولات

IR_n ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	P (mm)	ET_c (mm)	مساحت		تعداد	گیاه
			متوسط مساحت (هکتار)	کل مساحت (هکتار)		
۷۹۷۰	۶۲	۸۵۹	۱۹/۳	۱۹۳	۱۰	چغندر قند
۶۰۵۰	۳۶	۶۴۱	۱۷/۲	۱۲۰	۷	ذرت بذری
۴۰۴۰	۶۱	۴۶۵	۱۰/۷	۶۴	۶	ذرت علوفه‌ای
۶۷۰۰	۶۰	۷۳۰	۸	۸	۱	پنبه
۶۰۵۰	۳۶	۶۴۱	۱۵/۵	۱۲۴	۸	ذرت دانه‌ای
۶۵۸۰	۳۸	۶۹۶	۸	۱۶	۲	سویا
۲۱۰۰	۷۳	۲۸۳	۱۹/۲	۹۶	۵	گندم
۸۱۵۰	۱۲۴	۹۳۹	۱۳	۲۶	۲	یونجه
			۱۱۰/۹	۶۷۴	۴۱	مجموع

از لحاظ تعداد، بیشترین مزارع مربوط به چغندر قند و ذرت دانه‌ای به ترتیب با ۱۰ و ۸ مزرعه بوده است که بیانگر کشت غالب منطقه می‌باشد. در این تحقیق مساحت کل مزارع ۶۴۷ هکتار بوده است. با توجه به اینکه در دشت مغان قسمت زیادی از مزارع اجاره داده می‌شود و در کشت اجاره‌ای اکثر محصولات صرفه اقتصادی ندارد لذا کشت غالب اجاره گیرنده‌ها چغندر قند بوده است. از طرف دیگر، طبق مطالعات میدانی و نظرات کارشناسان منطقه، کشت ذرت بذری و دانه‌ای برای کشت و صنعت هزینه‌چندانی ندارد ولی درآمد معناداری دارد همچنین ذرت علوفه به دلیل کشت دوم (بعد از گندم، جو و کلزا) در منطقه کاشته می‌شود. بنابراین، چغندر قند، ذرت بذری و ذرت دانه‌ای با ۶۷ درصد بیشترین مساحت مزارع مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. میانگین مساحت مزارع در محدوده ۸ هکتار برای پنبه و سویا تا ۱۹/۳ هکتار برای چغندر قند بوده است. تبخیر و تعرق برای گیاهان در محدوده ۴۶۵ میلی‌متر برای ذرت علوفه‌ای و ۹۳۹ میلی‌متر برای یونجه قرار گرفت. متوسط تبخیر و تعرق ۶۵۶/۷۵ میلی‌متر بود. براساس اطلاعات سند ملی در دشت مغان برای محصولات مورد مطالعه مقدار بارش موثر در محدوده ۳۶ (ذرت دانه‌ای و بذری) تا ۱۲۴ (یونجه) میلی‌متر گزارش شده است. با کسر بارش موثر (P) از تبخیر و تعرق گیاهان (ET_c)، مقدار نیاز خالص آبیاری (IR_n) بدست آمد. بیشترین و کمترین مقدار نیاز خالص آبیاری (IR_n) در طول فصل زراعی به ترتیب ۸۱۵۰ مترمکعب در هکتار برای یونجه و ۲۱۰۰ مترمکعب در هکتار برای گندم تخمین زده شد. چغندر قند با ۷۹۷۰ مترمکعب در

هکتار بعد از یونجه بیشترین مقدار IR_n را داشت. نیاز خالص آبیاری برای محصولات سویا، ذرت بذری، ذرت دانه‌ای و پنبه در حدود ۶۵۰۰ مترمکعب در هکتار بوده است.

در جدول ۳ متوسط آب آبیاری مصرفی و انحراف از میانگین به تفکیک گیاهان و سیستم‌های آبیاری ارائه شده است.

جدول ۳- آب آبیاری مصرفی (IWA) و انحراف از میانگین به تفکیک محصول و سیستم آبیاری

SD ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	IWA Average ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	مساحت کل (ha)	تعداد زمین‌ها	سیستم	محصول
۵۹۲	۱۳۸۹۹	۱۸۰	۹	سطحی	چغندر قند
۰	۶۰۶۵	۱۳	۱	سنتر پیوت	
۱۶۸۶	۸۹۱۳	۴۰	۴	سطحی	ذرت علوفه
۶۷۷	۵۱۰۳	۲۴	۲	سنتر پیوت	
۹۶۳	۸۵۰۹	۷۲	۴	سطحی	ذرت بذری
۲۴۷	۵۲۰۷	۴۸	۳	سنتر پیوت	
۱۶۰۴	۸۶۴۳	۶۸	۴	سطحی	ذرت دانه‌ای
۱۱۵۷	۳۷۵۶	۵۶	۴	سنتر پیوت	
۲۶۶	۳۸۵۴	۶۶	۳	سطحی	گندم
۱۱۹	۱۹۲۷	۳۰	۲	سنتر پیوت	
۰	۹۹۵۶	۸	۱	سطحی	پنبه
۱۲۴	۴۷۹۱	۱۶	۲	سطحی	سویا
۷۵۷	۷۵۱۵	۲۶	۲	سنتر پیوت	یونجه
۶۳۰	۷۴۲۵	۶۴۷	۴۱		*

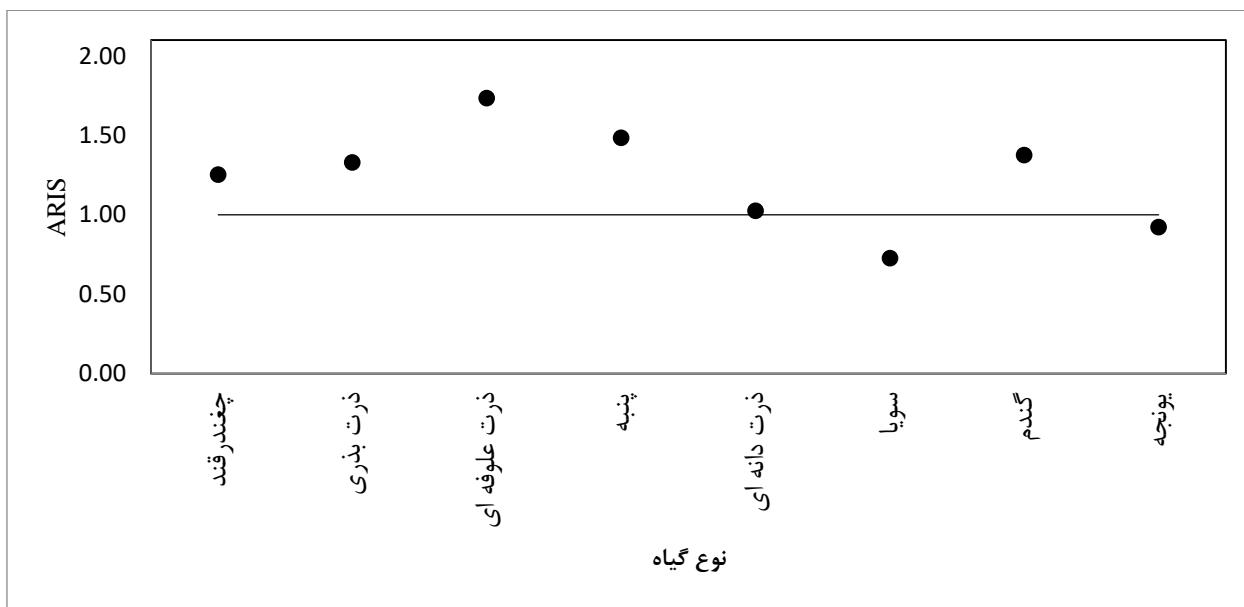
*تعداد زمین‌ها (کل)، مساحت کل (کل مساحت‌ها)، میانگین آب آبیاری مصرفی (IWA Average) و متوسط انحراف از میانگین (SD Average)

میانگین IWA برای تمامی گیاهان و سیستم‌های آبیاری ۷۴۲۵ مترمکعب در هکتار بدست آمد. بیشترین و کمترین مقدار آب مصرفی به ترتیب برای چغندر قند در سیستم آبیاری سطحی با ۱۳۸۹۹ مترمکعب در هکتار و گندم در سیستم آبیاری سنتر پیوت با ۱۹۲۷ مترمکعب در هکتار بدست آمد که کوتاه بودن دوره رشد گندم و استفاده حداکثری از آب باران می‌تواند از دلایل کم بودن IWA در این محصول باشد. در تمامی مزارع با مقایسه بین سیستم آبیاری سطحی و سنتر پیوت به دلیل تلفات عمقی و رواناب زیاد، آب آبیاری مصرفی در سیستم سطحی به مراتب بیشتر از سنتر پیوت بود. به طوری که محدوده آب آبیاری مصرفی در سیستم سنتر پیوت ۱۹۲۷ (گندم) تا ۷۵۱۵ (یونجه) مترمکعب در هکتار بوده، در حالی که این محدوده برای سیستم آبیاری سطحی از ۳۸۵۴ (گندم) تا ۱۳۸۹۹ (چغندر قند) متغیر بود. بسته به نوع محصول، پنبه در سیستم آبیاری سطحی با ۹۹۵۶ مترمکعب در هکتار رتبه دوم آب آبیاری مصرفی را به خود اختصاص داد که دلیل اصلی آن تلفات نفوذ عمقی و عدم آشنایی کشاورزان با شیوه اصولی آبیاری در مزارع پنبه بود. با ارزیابی و بررسی‌های میدانی آبیاری سطحی، مشخص گردید طول زیاد شیارها و وجود ترک‌های گسترده در سطح خاک سبب افزایش تلفات آبیاری (نفوذ عمقی و رواناب) و به دنبال آن افزایش آب مصرفی در آبیاری سطحی شده است. ذرت بذری، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای در سیستم آبیاری سطحی IWA در حدود ۸۵۰۰ تا ۸۹۰۰ مترمکعب در هکتار داشته‌اند. بیشترین متوسط انحراف از میانگین برای ذرت علوفه‌ای در سیستم آبیاری سطحی بدست آمد که دلیل آن متفاوت بودن روش‌های آبیاری مزارع توسط زارعین بوده است. کمترین مقدار این شاخص برای گندم در سیستم آبیاری سنتر پیوت با ۱۱۹ مترمکعب در هکتار بوده است.

متوسط شاخص ARIS در جدول ۴ به تفکیک محصول و سیستم آبیاری ارائه شده است.

برای هر محصول و سیستم آبیاری میانگین این شاخص محاسبه شد. محدوده شاخص ARIS از ۰/۶۲ برای ذرت دانه‌ای در سیستم آبیاری سنتر پیوت تا ۲/۲۱ برای ذرت علوفه‌ای در سیستم آبیاری سطحی متغیر بود. در سیستم آبیاری سطحی برای تمامی محصولات به جز سویا (۰/۷۳) میانگین این شاخص بیشتر از ۱ بوده به طوری که در محدوده ۱/۴۳ تا ۲/۲۱ قرار گرفت (شکل ۲). در سیستم آبیاری سنتر پیوت مقدار شاخص ARIS به جز در ذرت علوفه‌ای (۱/۲۶) در تمام محصولات کمتر از ۱ به دست آمد. متوسط ARIS برای تمامی محصولات و سیستم‌های آبیاری ۱/۲۷ به دست آمد که Salvador et al (2011) متوسط این شاخص را ۱/۰۸ محاسبه کرده بودند بنابراین نتایج تحقیق بدست آمدخ با نتایج (Cavero et al (2003) و Salvador et al (2011) مطابقت دارد. متوسط انحراف از میانگین (SD) برای

شاخص ARIS برابر با ۰/۱۵ بود که صرف نظر از تک‌مزارع (چغندر قند در سیستم آبیاری سنتریپوت و پنبه در سیستم آبیاری سطحی) بیشترین مقدار مربوط به ذرت علوفه‌ای و بذری در سیستم آبیاری سطحی در حدود ۰/۴۲ و ۰/۴۸ و کمترین مقدار مربوط به سویا در همان سیستم آبیاری بوده است. اختلاف زیاد انحراف از میانگین ARIS نشان از تغییرات زیاد در مدیریت آبیاری از طرف زارعین می‌باشد. بیشترین تعداد مزارع در این مطالعه مربوط به چغندر قند با سیستم آبیاری سطحی بوده که SD در حدود ۰/۰۷ را به دست داده که نشان از مدیریت مشابه کشاورزان در آبیاری این محصول می‌باشد.

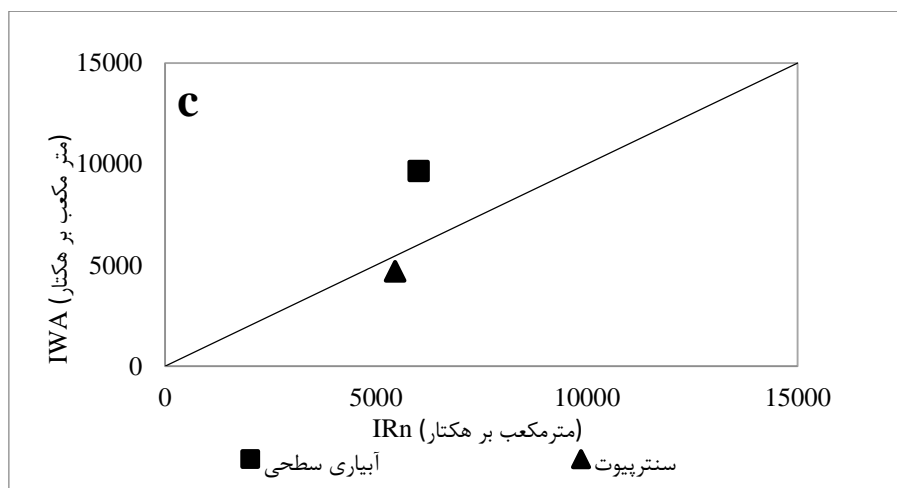
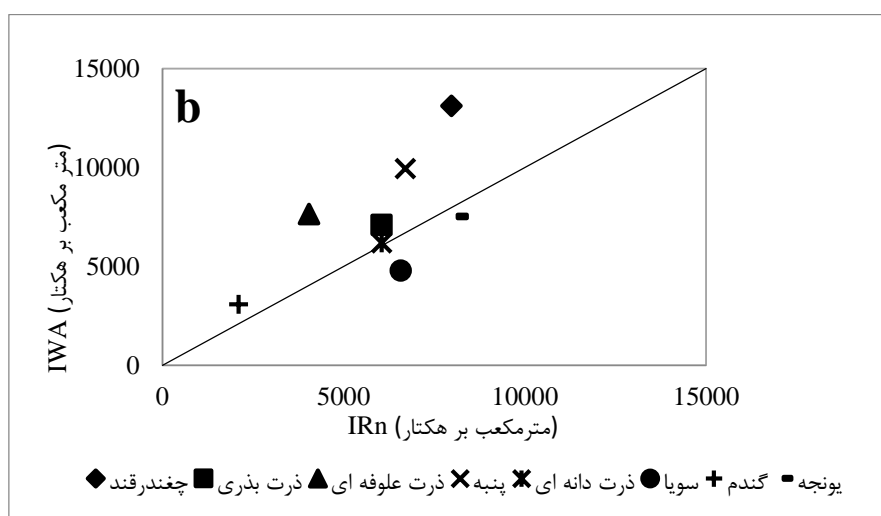
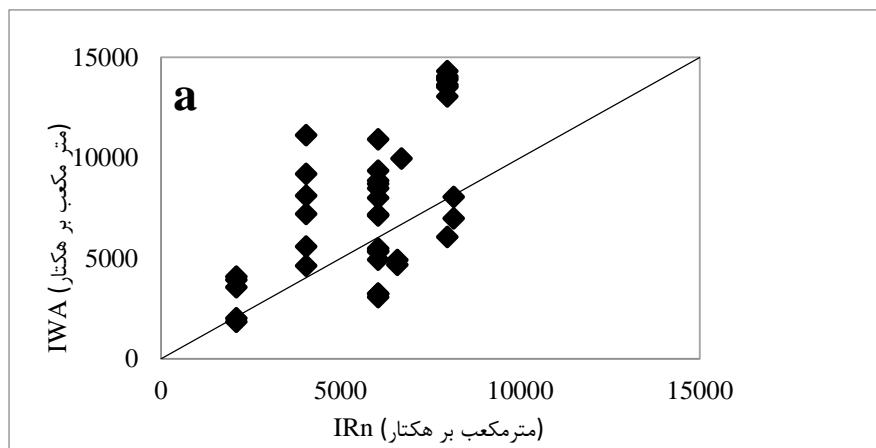


شکل ۲. میانگین شاخص ARIS در محصولات مختلف

جدول ۴. متوسط شاخص ARIS به تفکیک محصولات و سیستم‌های آبیاری

SD	ARIS Average	سیستم	محصول
۰/۰۷	۱/۷۴	سطحی	چغندر قند
۰	۰/۷۶	سنتریپوت	
۰/۴۲	۲/۲۱	سطحی	ذرت علوفه‌ای
۰/۱۷	۱/۲۶	سنتریپوت	
۰/۴۸	۱/۸۰	سطحی	ذرت بذری
۰/۰۴	۰/۸۶	سنتریپوت	
۰/۲۷	۱/۴۳	سطحی	ذرت دانه‌ای
۰/۱۹	۰/۶۲	سنتریپوت	
۰/۱۳	۱/۸۳	سطحی	گندم
۰/۰۶	۰/۹۲	سنتریپوت	
۰	۱/۴۹	سطحی	پنبه
۰/۰۲	۰/۷۳	سطحی	سویا
۰/۰۹	۰/۹۲	سنتریپوت	یونجه
۰/۱۵	۱/۲۷		متوسط

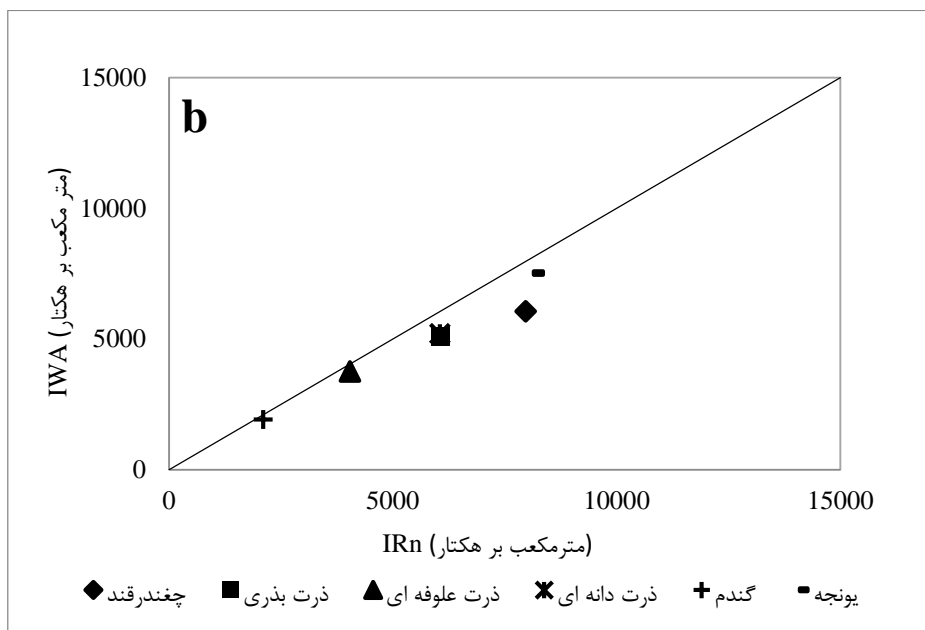
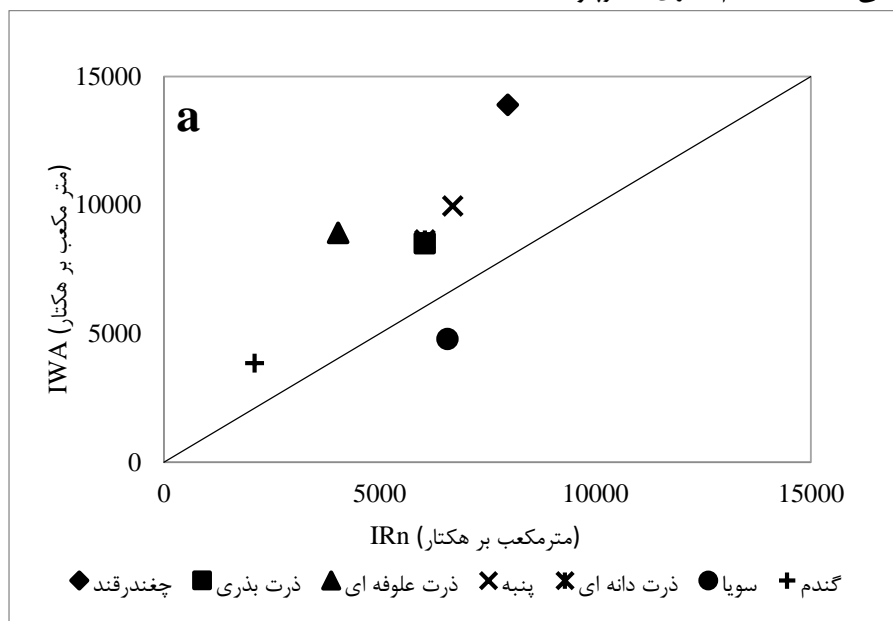
در شکل ۳ آب آبیاری مصرفی (IWA) و نیاز خالص آبیاری (IRn) برای محصولات و سیستم‌های آبیاری مقایسه شده است: در شکل (a) برای تمام محصولات در هر دو سیستم آبیاری سطحی و سنتریپوت (تمامی داده‌ها)، در شکل (b) صرف نظر از سیستم آبیاری براساس نوع محصول و در شکل (c) براساس نوع سیستم آبیاری.



شکل ۳. مقایسه آب آبیاری مصرفی (IWA) و نیاز خالص آبیاری (IR_n): (a) برای تمامی داده‌های مربوط به گیاه و سیستم آبیاری، (b) برای نوع گیاهان، (c) برای نوع سیستم آبیاری

با توجه به شکل ۳ (a) اکثر محصولات در بالای خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که نشان از IR_n بالا بوده است. نقاطی که دارای IR_n پایین هستند در زیر خط قرار گرفته‌اند. در تمام محصولات زیر کشت آبیاری سطحی به جز مزارع سویا، نقاط بالای خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که نشان از برتری IWA به IR_n می‌باشد. در سیستم آبیاری ستر پیوت در تمام محصولات به جز ذرت علوفه‌ای، نقاط پایین خط ۱:۱ قرار گرفتند که برتری IR_n به IWA را نشان می‌دهد. به عبارتی دیگر در این مزارع نیاز آبیاری برای گیاهان تأمین نشده است. با مقایسه بین گیاهان در شکل ۳ (b) مشخص گردید نقاط برای گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت بذر، ذرت علوفه‌ای، چغندر قند و پنبه در بالای خط ۱:۱ قرار گرفته است که نشان دهنده برتری IWA به IR_n در تأمین نیاز آبیاری گیاهان مذکور بوده است. به عبارتی آب مصرفی آبیاری بیش از نیاز

آبی گیاهان بوده است که این بیش آبیاری در چغندر قند بیشتر از تمام محصولات بوده است. در گیاهان یونجه و سویا نقاط زیر خط افتاده است که نشان از کم آبیاری و تأمین نشدن نیاز آبی گیاه بوده است. در شکل ۳ (C) که برای سیستم‌های آبیاری ارائه شده است مشاهده گردید در سیستم آبیاری سطحی نقطه بالای خط و در سیستم آبیاری سنتریپوت نقطه پایین خط افتاده است به عبارتی دیگر در سیستم آبیاری سطحی با مقدار ARIS برابر با ۱/۶۴ بیش آبیاری و در سیستم سنتریپوت کم آبیاری اتفاق افتاده است. با توجه به شکل، کم آبیاری برای یونجه به نسبت بیشتر از پنبه مشاهده گردید. با توجه به فاصله کم بین نقطه سنتریپوت و خط ۱:۱ و مقدار ARIS برابر با ۰/۸۶ می‌توان مشاهده کرد کم آبیاری در سیستم مذکور شدید نبوده است البته این نتیجه‌گیری صرفاً براساس نوع سیستم آبیاری می‌باشد. در شکل ۴ مقایسه مقدار آب آبیاری مصرفی با نیاز خالص آبیاری در گیاهان مختلف براساس نوع سیستم آبیاری انجام شد: ۴ (a) سیستم آبیاری سطحی، ۴ (b) سیستم آبیاری سنتریپوت.



شکل ۴. مقایسه آب آبیاری مصرفی (IWA) و نیاز خالص آبیاری (IR_n): (a) برای گیاهان مختلف در سیستم آبیاری سطحی، (b) برای گیاهان مختلف در سیستم آبیاری سنتریپوت

در سیستم آبیاری سطحی (در شکل ۴(a)) تمام گیاهان به جز سویا بالای خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. به عبارتی دیگر در تمام گیاهان به جز سویا نیاز آبیاری تأمین شده است. در بین گیاهان مورد مطالعه، برای چغندر قند اختلاف میان آب آبیاری مصرفی با نیاز خالص آبیاری

بیش تر از تمام گیاهان بوده است به همین دلیل فاصله نقطه چغندرقد با خط ۱:۱ بیشتر از سایر گیاهان است. در سیستم آبیاری سنتریپوت (شکل ۴(b)) در حالت کلی تمام گیاهان زیر خط واقع شده‌اند. در این میان ذرت علوفه‌ای و گندم کمترین فاصله با خط را داشته‌اند. به عبارت دیگر برای این دو گیاه در سیستم آبیاری مذکور می‌توان ادعا کرد آب مصرفی آبیاری با نیاز خالص آبیاری تقریباً برابر و آبیاری مناسب بوده است. در بقیه گیاهان کم‌آبیاری مشاهده گردید. با توجه به شکل بیشترین کم‌آبیاری برای چغندرقد صورت گرفته است در حالی که در سیستم آبیاری سطحی عکس این موضوع اتفاق افتاد. در جدول ۵ شاخص‌های بهره‌وری برای گیاهان در سیستم‌های آبیاری سطحی و سنتریپوت ارائه شده است. مقدار شاخص بهره‌وری آب در محدوده ۰/۳ تا ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای پنبه در سیستم آبیاری سطحی تا ۵/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای ذرت علوفه‌ای در سیستم آبیاری سنتریپوت بود که با نتایج تحقیق (Zamani et al (2015) همخوانی دارد. شاخص بهره‌وری آب برای ذرت علوفه‌ای و چغندر قند در هر دو سیستم آبیاری سطحی و سنتریپوت بیشترین مقدار را داشته است به طوری که برای این دو محصول و سیستم آبیاری محدوده شاخص مذکور بین ۴/۳۵ تا ۵/۱۳ بوده است، یعنی به ازای مصرف یک متر مکعب آب در حدود ۵ کیلوگرم محصول تولید شده است. برای ذرت بذری و ذرت دانه‌ای در هر دو سیستم آبیاری سطحی و سنتریپوت، سویا و پنبه در سیستم آبیاری سطحی شاخص WP_T کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. گندم در سیستم آبیاری سطحی و سنتریپوت و یونجه در سیستم آبیاری سنتریپوت به ازای مصرف هر مترمکعب آب در حدود یک کیلوگرم محصول تولید نموده است به همین دلیل شاخص بهره‌وری آب در این گیاهان در حدود یک کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. ذرت بذری جزء محصولاتی بوده است که بهره‌وری آب در آن کمتر از یک (در حدود ۰/۵) کیلوگرم بر مترمکعب بوده ولی با مقایسه بهره‌وری ناخالص اقتصادی مشاهده شد بیشترین مقدار این شاخص برای ذرت بذری در آبیاری سنتریپوت با ۲۰۹۹۵ ریال بر مترمکعب و بعد از آن در سیستم آبیاری سطحی با ۱۷۳۹۳ ریال بر مترمکعب بوده است که دلیل بالا بودن WP_{eg} قیمت بالای محصول بوده است. کمترین مقدار این شاخص برای ذرت دانه‌ای در سیستم آبیاری سطحی برابر با ۳۸۸۲ ریال بر مترمکعب به دست آمد. گندم و چغندرقد بعد از ذرت دانه‌ای به نسبت بقیه محصولات بالاترین بهره‌وری ناخالص اقتصادی داشته‌اند که قیمت و تناژ بالا را می‌توان از دلایل این موضوع دانست. مقایسه بین سیستم‌های آبیاری نشان داد در تمام گیاهان به جز چغندرقد، شاخص WP_{eg} در سیستم آبیاری سنتریپوت بیشتر از سیستم آبیاری سطحی بوده است. به طوری که برای ذرت دانه‌ای شاخص بهره‌وری ناخالص اقتصادی در سیستم آبیاری سنتریپوت ۵۲ درصد بیشتر از سیستم آبیاری سطحی بوده است. مقایسه WP_{en} در سیستم آبیاری سطحی نشان داد بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب برای پنبه (۷۲۳۷ ریال بر مترمکعب) و ذرت دانه‌ای (۱۲۳۴ ریال بر مترمکعب) به دست آمد.

بهره‌وری آب آبیاری برای دشت مغان برای ۱۳ ترکیب سیستم آبیاری - محصول تعیین شد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه شاخص‌های بهره‌وری در گیاهان و سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه

محصول	سیستم	WP_T	WP_{eg}	WP_{en}
چغندر قند	سطحی	۴/۳۵	۱۲۱۵۵	۷۳۶۵
ذرت علوفه‌ای	سنتریپوت	۵/۰۶	۱۰۱۱۷	۲۵۴۱
ذرت بذری	سطحی	۴/۴۲	۴۱۹۳	۱۷۶۸
ذرت دانه‌ای	سنتریپوت	۵/۱۳	۴۸۴۶	۲۷۹۵
گندم	سطحی	۰/۳۹	۱۷۳۹۳	۵۷۹۷
پنبه	سنتریپوت	۰/۴۷	۲۰۹۹۵	۸۳۵۱
سویا	سطحی	۰/۴	۳۸۸۲	۱۲۳۴
یونجه	سنتریپوت	۰/۸۶	۸۲۴۲	۲۴۸۹
	سطحی	۱/۰۶	۱۲۱۳۸	۶۸۶۳
	سنتریپوت	۱/۱۴	۱۳۶۵۵	۷۹۶۷
	سطحی	۰/۳۰	۷۶۵۸	۷۲۳۷
	سطحی	۰/۴۵	۸۵۰۴	۲۶۸۵
	سنتریپوت	۱/۰۰	۴۴۹۴	۱۷۹۷

با توجه به اینکه تنوع در بهره‌وری بین محصولات زراعی و سیستم‌های آبیاری زیاد بود شاخص مقایسه از WP_T به WP_{eg} و WP_{en} افزایش یافت. نسبت حداکثر به حداقل بهره‌وری به ترتیب ۱۴، ۱۶ و ۲۴ بود. با اضافه شدن شاخص WP_{en} تفاوت بین محصولات کشاورزی

و سیستم‌های آبیاری بیشتر نمایان شد. مقایسه بین محصولات نشان داد بیشترین مقدار بهره‌وری آب مربوط به ذرت علوفه‌ای و چغندر قند بوده همچنین به لحاظ نوع سیستم آبیاری، سیستم سنتریپوت دارای بهره‌وری بیشتری نسبت به سیستم سطحی می‌باشد که با نتایج Hamei et al. (2021) و حمدی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد چرا که در سیستم سنتریپوت عمق آبیاری کمتر و تلفات ناچیز است اما به دلیل نفوذ عمقی و رواناب زیاد، در سیستم آبیاری سطحی مقدار بهره‌وری کاهش یافت. WP_{eg} و WP_{en} روندهای مشابه WP_T را در مورد محصولات نشان دادند و مقایسه هزینه‌های ناخالص در سیستم‌های آبیاری نشان داد، در اکثر مزارع مقدار این شاخص برای سیستم سنتریپوت بالاتر از سیستم آبیاری سطحی بود. اما بسته به نوع محصول، بیشترین و کمترین مقدار WP_{eg} به ترتیب برای ذرت بذری و یونجه به دست آمد که دلیل آن قیمت بالای ذرت بذری می‌باشد. اما در مورد یونجه باید گفت به دلیل درآمد ناخالص کمتر نسبت به بقیه محصولات و همچنین میزان آب مصرفی بیشتر، کمترین مقدار شاخص بهره‌وری ناخالص اقتصادی آب را به خود اختصاص داد. در مقایسه محصولات رایج کشت در دشت مغان، بعد از ذرت بذری، گندم بهره‌وری اقتصادی بالاتری نسبت به دیگر محصولات نشان داد. بررسی شاخص بهره‌وری خالص در بین سیستم‌های آبیاری، بیانگر برتری سیستم سنتریپوت به سطحی می‌باشد. زیرا در آبیاری سنتریپوت به دلیل تلفات کمتر، آب اعمال شده کمتر و از طرفی نبود هزینه‌های سم‌پاشی، کارگر و ... سبب شد درآمد خالص بیشتر شود. لازم به ذکر است مقدار WP_{en} بسته به نوع محصول از ۱۷۶۸ تا ۸۳۵۱ ریال بر متر مکعب متغیر بود به طوری که در ذرت بذری (۸۳۵۱ ریال بر متر مکعب در سیستم سنتریپوت)، گندم (۷۹۶۷ ریال بر متر مکعب در سیستم سنتریپوت) و پنبه (۷۲۳۷ ریال بر متر مکعب در سیستم سنتریپوت) بیشترین مقدار و در ذرت علوفه‌ای (۱۷۶۸ ریال بر متر مکعب در سیستم سنتریپوت) و یونجه (۱۷۹۷ ریال بر متر مکعب در سیستم سنتریپوت) کمترین مقدار را داشت.

نتیجه‌گیری

مقدار آبیاری اعمال شده (IWA) تابع تصمیمات اقتصادی کشاورزان و شیوه‌های مدیریت آب است. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که در دوره‌های زمانی مورد مطالعه، کشاورزان در سیستم آبیاری سطحی نسبت به سنتریپوت آب بیشتری مصرف نموده‌اند. به طوری که تمام گیاهان با سیستم آبیاری سنتریپوت بهره‌وری آب بیشتری نسبت به سیستم آبیاری سطحی داشته که دلیل آن، کم‌آبیاری صورت گرفته در سیستم آبیاری سنتریپوت و کم بودن حجم آب کاربردی (به دلیل عدم وجود تلفات زیاد رواناب و نفوذ عمقی) نسبت به سیستم آبیاری سطحی بوده است. با توجه به نتایج تحقیق، متوسط شاخص ARIS در منطقه بیشتر از یک به دست آمد که نشان‌دهنده مصرف آب بیشتر از نیاز آبی محصولات زراعی در مزارع توسط زارعین است به طوری که، مجموع نیاز آبی گیاهان حدود ۷۴ هزار مترمکعب در دوره رشد محاسبه گردید اما در حدود ۸۸ هزار مترمکعب آب برای آبیاری در این مزارع مصرف شد که قسمت اعظم آن در مزارع با سیستم آبیاری سطحی اتفاق افتاد. از طرف دیگر، سیستم آبیاری سنتریپوت نسبت به سیستم آبیاری سطحی دارای ARIS کمتری بود. به عبارتی، در مزارع تحت سیستم آبیاری سنتریپوت کم‌آبیاری صورت گرفت. به طوری که در تمام سنتریپوت‌ها (به جز یک مورد) این شاخص کمتر از یک به دست آمد. که دلیل اصلی آن کنترل و نظارت بر سیستم (دور، سرعت و ...) از طرف مجموعه بود. همچنین بسته به نوع گیاه، بیشترین و کمترین حجم مصرف آب به ترتیب در مزارع چغندر قند و گندم اعمال شد.

نتایج این مطالعه در خصوص ارزیابی و شناسایی مشکلات ساختاری و مدیریتی مرتبط با عملکرد فعلی آبیاری در منطقه مورد مطالعه نشان داد تغییر سیستم آبیاری (جدا از نوع گیاه) از سطحی به سنتریپوت می‌تواند از هدر رفت و تلفات آبیاری جلوگیری به عمل آورده و مصرف آب در مزرعه را تا حد زیادی کاهش دهد. علاوه بر این، مصرف زیاد آب برای یک محصول و سیستم آبیاری معین، نیازمند اقداماتی برای بهبود مدیریت آب کشاورزان از طریق ترکیبی از خدمات مشاوره آبیاری و اقدامات مدیریتی مسئولان امر است. چرا که کاهش کاربرد آب در مزرعه باعث می‌شود که علاوه بر ذخیره شدن آب از هزینه‌های زیاد کارگری، انرژی و شسته شدن مواد مغذی در مزرعه جلوگیری شود. در نتیجه، برای بهبود عملکرد آبیاری و حفظ منابع آبی لازم است تصمیماتی در خصوص نوع محصول، سیستم آبیاری و آموزش‌های کشاورزان اتخاذ گردد. به عنوان نمونه، با توجه به حجم مصرف آب، بهره‌وری آب و بهره‌وری ناخالص، گندم بهترین گیاه برای کشت در منطقه توصیه می‌شود. از طرف دیگر، سیستم آبیاری سنتریپوت کارایی بیشتری نسبت به سیستم آبیاری سطحی داشته و توسعه این سیستم پیشنهاد می‌گردد.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

زمانی، امید، مرتضوی، ابوالقاسم، و بلدلی، حمید. ۱۳۹۳. بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی در دشت بهار. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸ (۱): ۵۱-۶۲.

حمیدی احمدآباد، یاسر، لیاقت، عبدالمجید، سهرابی، تیمور، رسولزاده، علی، نظری، بیژن، لیاقت، امین. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای (سنتریوت) در مزارع کشت و صنعت و دامپروری مغان. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۷ (۴): ۷۲۹-۷۳۳.

REFERENCES

- Zamani, Omid., Mortazavi, Aboalghasem., & Baladli, Hamid. 2014. Study of the economic efficiency of water in various crops in the Bahar Plain, *Water research in Agriculture*, 28(1): 51-62. (In Persian)
- Hamdi Ahmadabad, Yaser., Liaghat, Abdolmajid., Sohrabi, Teymor., Rasoulzadeh, Ali., Nazari, Bijan., & Liaghat, Amin. (2017). Performance evaluation of center pivot systems in Moghan Agro-Industry and Livestock, *journal of Soil and Water Research*, 47(4), 723-729. (In Persian)
- Agide, Z., Hailelassie, A., Sally, H., Erkossa, T., Schmitter, P., Langan, S., & Hoekstra, D. (2016). Analysis of water delivery performance of smallholder irrigation schemes in Ethiopia: Diversity and lessons across schemes, typologies and reaches.
- Buendia-Espinoza, J.C., Palacios-Velez, E., Chavez-Morales, J., Rojas-Martinez, B., 2004. Impact of pressurized irrigation systems performance on productivity of eight crops, in Guanajuato, Mexico. *Agrociencia* 38 (5), 477-486.
- Cavero, J., Beltrán, A., Aragüés, R., 2003. Nitrate exported in the drainage waters of two sprinkler irrigated watersheds. *Journal of Environmental Quality* 32, 916-926.
- Clemmens, A.J., Dedrick, A.R., 1994. Irrigation techniques and evaluations. *Advance Series in Agricultural Sciences* 22, 63-103.
- Dechmi, F., Playán, E., Faci, J.M., Tejero, M., 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain. I. Characterisation and water use assessment. *Agricultural Water Management* 61, 75-92.
- Expósito, A., & Berbel, J. (2017). Agricultural irrigation water use in a closed basin and the impacts on water productivity: The case of the Guadalquivir river basin (Southern Spain). *Water*, 9(2), 136.
- Faci, J.M., Bensaci, A., Slatni, A., Playán, E., 2000. A case study for irrigation modernisation: I. Characterisation of the district and analysis of water delivery records. *Agricultural Water Management* 42 (3), 313-334.
- Farahani, H., & Oweis, T. *Agricultural Water Productivity in Karkheh River Basin. A Compendium of Review Papers*, 3.
- García-Vila, M., Lorite, I.J., Soriano, M.A., Fereres, E., 2008. Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of Southern Spain. *Agricultural Water Management* 95 (4), 458-468.
- Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, A., Sohrabi, T., Rasoulzadeh, A., & Ebrahimian, H. (2021). Improving performance of furrow irrigation systems using simulation modelling in the Moghan plain of Iran. *Irrigation and Drainage*, 70(1), 131-149.
- Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, A., Sohrabi, T., Rasoulzadeh, A., Nazari, B., & Liaghat, A. (2017). Performance evaluation of center pivot systems in Moghan Agro-Industry and Livestock. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(4), 723-729. (in Persian)
- Jalota, S.K., Sood, A., Vitale, J.D., Srinivasan, R., 2007. Simulated crop yields response to irrigation water and economic analysis: increasing irrigated water use efficiency in the Indian Punjab. *Agronomy Journal* 99 (4), 1073-1084.
- Kahlowan, M.A., Raof, A., Zubair, M., Kemper, W.D., 2007. Water use efficiency and economic feasibility of growing rice and wheat with sprinkler irrigation in the Indus Basin of Pakistan. *Agricultural Water Management* 87 (3), 292-298.
- Lecina, S., Playán, E., Isidoro, D., Dechmi, F., Causapé, J., Faci, J.M., 2005. Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District V of Bardenas (Spain). *Agricultural Water Management* 73 (3), 223-245.
- Lorite, I.J., Mateos, L., Fereres, E., 2004. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment- II. Variability among crops and farmers. *Irrigation Science* 23 (2), 85-92.
- Malano, H., Burton, M., 2001. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. FAO, Rome.
- Molden, D.; Oweis, T.; Steduto, P.; Bindraban, P.; Hanjra, M.A.; Kijne, J. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agric. Water Manag.* 2010, 97, 528-553.



- Molden, D.J., 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper1. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, C.J., de Fraiture, C., Kloezen, W.H., 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report 20. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Perry, C.J., 2001. Charging for irrigation water: the issues and options, with a case study from Iran. Research Report 52. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Salvador, R., Martínez-Cob, A., Cavero, J., & Playán, E. (2011). Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 98(4), 577-587.
- Zamani, O., mortazavi, A. and Balali, H. 2015. Economical Water Productivity of Agricultural Products in Bahar Plain, Hamadan. *Journal of Water Research in Agricultural*. 28(1): 51-62. (in Persian)
- Zapata, N., Playán, E., Skhiri, A., Burguete, J., 2009. Simulation of a collective solidest sprinkler irrigation controller for optimum water productivity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 135 (1), 13–24.
- Zhao, J., Li, M., Guo, P., Zhang, C., & Tan, Q. (2017). Agricultural water productivity oriented water resources allocation based on the coordination of multiple factors. *Water*, 9(7), 490.
- Zwart, S.J.; Bastiaanssen, W.G.M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agric. Water Manag.* 2004, 69, 115–133.