Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Development of an irrigation decision support system and investigation of its compatibility with the conditions of the Mahabad irrigation and drainage network

Hossein Dehghanisanij[1]*, Somayeh Emami[2], Abdollah Amini[3], Vahid Rezaverdinejad[4], Amir Nourjou[1], Sanaz Mohammadi[6], Seyeh Hasan Tabatabaie[7], Bahareh Jamshidi[1]

[1] Associate Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Alborz, Iran
[2] Former Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3] Former M.Sc. Student,, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
[4] Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
[5] Assistant Professor, Technical and Engineering Research, West Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Urmia, Iran
[6] Former Ph.D. Student, Department of Engineering and Water Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[7] Ph.D. Student, Department of Engineering and Water Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

Irrigation decision support systems (IDSS) are among the approaches considered a tool in complex decision-making for water resource managers due to the enormous development of computer systems. Modernizing at different levels of water consumption can significantly increase water productivity indicators. Performing these conditions requires technological changes. The primary pillar of any IDSS system is its ability to adapt to environmental changes. This process allows the prediction model to compare predicted values with actual results and adjust automatically. IDSS systems for designing cropping patterns and optimal irrigation programs have the critical capabilities to control and manage optimal irrigation on large levels and water rights. These systems suggest the optimal cultivation pattern and dynamically provide the water consumption optimization schedule. According to previous studies, the most critical challenge of irrigation management is the limited amount of available water, which leads to the complexity of the optimal use of agricultural water in real conditions. One of the most important strategies to save Lake Urmia is to take necessary measures to reduce water consumption in the agricultural sector. One of the primary solutions to reduce water consumption in the agriculture sector is to decrease the loss of valuable and non-useful uses of agricultural water through the improvement of irrigation management. For this purpose, in the present study, the details of the adaptability of a developed IDSS system to improve irrigation management with the conditions of irrigation and drainage network, water and soil resources, climate, and vegetation in Mahabad Plain have been discussed.

Materials and Methods

To evaluate the IDSS, the downstream farms of the Mahabad irrigation and drainage network located southeast of Lake Urmia were selected. The Mahabad irrigation and drainage network consists of a diversion dam, two main canals, 11 2nd-grade canals, 69 main drains, and 10 water pumping stations. Four sites from the Mahabad irrigation and drainage network were chosen as selected sites. In each site, 20 farms were considered for monitoring the IDSS. The rest of the farms were under the control of the farmer, and only optimal irrigation programs were provided to the farmer by the IDSS. The general framework of the IDSS has been developed to achieve the goal of optimal management of water consumption in agriculture, taking into account the time and amount of water availability using international methods. The IDSS provides the optimal irrigation schedule for the cropping pattern in the farm by using online information on agricultural meteorology, water access conditions of the farm, soil, and crop characteristics, and the type of irrigation system used in the farm. The IDSS can suggest the optimal cropping pattern for farm conditions. During the crop growth period, the farmer can introduce farm events as feedback to the system. In this situation, IDSS simulates new scenarios according to the existing situation in the farm and represents the new optimal irrigation schedule for the next few days.

Results and Discussion

To adapt the IDSS for irrigation planning the physicochemical characteristics of soil and water, water right, soil texture, crop characteristics, and etc. were considered. It is possible to update soil and water resource details during the growing season in the system. The information on irrigation systems can be loaded separately in the IDSS. According to the uploaded details, the optimal irrigation schedule was designed. IDSS takes advantage of seven-

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

day agricultural meteorological forecasts, which leads to the maximum use of rainfall in the region and a proper matching between the provided irrigation schedule and the forecast of meteorological information in the coming days. To adapt the IDSS for irrigation planning the physicochemical characteristics of soil and water, water right, soil texture, etc. were considered. The virtual agricultural meteorological station launched by IDSS estimated the minimum temperature, maximum temperature, and sunshine hours with a good degree and relative humidity with a very good degree compared to the regional synoptic station data. Based on statistical indicators, the performance of IDSS for simulating volumetric soil moisture is evaluated as good to very good. Also, IDSS is adapted to the social conditions, the agricultural structure of the study area, and the knowledge level of farmers.

Conclusion

IDSS has up-to-date simulations and is suitable for providing an optimal irrigation schedule within the study area. Determining the effectiveness of IDSS in water consumption showed that the irrigation schedule provided by IDSS reduced the water consumption in the area. In farms that are under the basin irrigation system, the use of irrigation planning provided by IDSS has resulted in an average increase of 13.5% in water consumption and 8.6% in crop yield. The reason for the increase in water requirements in the basin irrigation systems is the high advance time in the farms under monitoring, and to meet the water requirments at the end of the irrigation farms, IDSS has inevitably increased the water consumption. The use of irrigation planning provided by IDSS has been able to reduce water consumption by 41% and 14% and increase the crop yield by 10.3% and 8.6% respectively in farms under drip and sprinkler irrigation systems. Therefore, the potential application of IDSS as an irrigation consultation and the degree to which this system has improved the irrigation management of agricultural farms can be used in most areas of the Lake Urmia basin. Next, it is suggested that IDSS be evaluated for other areas and crop yields, emphasizing the application of IDSS in humid and semi-humid climates.

Keywords: Agriculture, IDSS, Irrigation Management, Lake Urmia, Smart Irrigation

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to thank the Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute (AREEO), Karaj, Alborz, Iran, for assisting in conducting this study.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this study.

Data availability statement

All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

Hossein Dehghanisanij and Somayeh Emami: Writing-original draft preparation, visualization, supervision, conceptualization, methodology; **Abdollah Amini, Vahid Rezaverdinejad, and Amir Nourjo:** Resources, software, manuscript editing; **Sanaz Mohammadi, Seyed Hasan Tabatabaie, and Bahareh Jamshidi**: Formal analysis and investigation.

*Corresponding Author, E-mail: h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

Citation: Dehghanisanij, H., Emami, S., Amini, A., Rezaverdinejad, V., Nourjou, A., Mohammadi, S. Tabatabaii, S.H., & Jamshidi, B. (2024). Development of an irrigation decision support system and investigation of its compatibility with the conditions of the Mahabad irrigation and drainage network. *Water and Soil Management and Modeling*, *4*(2), 55- 74. DOI: 10.22098/mmws.2023.12456.1243

Received: 04 March 2023, Received in revised form: 30 March 2023, Accepted: 30 March 2023, Published online: 30 March 2023
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp. 55-74

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

توسعهٔ یک سیستم تصمیم‌یار آبیاری و بررسی انطباق‌پذیری آن با شرایط شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد

حسین دهقانی‌سانیج[۱*]، سمیه امامی[۲]، عبدالله امینی[۳]، وحید رضاوردی‌نژاد[۴]، امیر نورجو[۵]، ساناز محمدی[۶]، حسن طباطبایی[۷]، بهاره جمشیدی[۱]

[۱] دانشیار، مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران

[۲] دانش‌آموختهٔ دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۳] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

[۴] استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

[۵] استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

[۶] دانش‌آموختهٔ دکتری، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۷] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط سازمان کشاورزی و غذا (FAO) برای تأمین غذا در آینده، بخش کشاورزی باید از روش‌های بهینهٔ عملیاتی و سیستم‌های تصمیم‌ساز هوشمند استفاده کند. این امر از طریق توسعهٔ کشاورزی دقیق با استفاده از دادهٔ زیاد و هوشمندسازی امکان‌پذیر خواهد بود. کشاورزی سنتی توسط کشاورزان در حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه موجب شده تا مصرف آب به مهم‌ترین معضل این حوضه تبدیل شود. توسعهٔ سیستم‌های تصمیم‌یار به‌عنوان ابزاری در تصمیم‌گیری‌های پیچیده از جمله رویکردهایی است که توجه مدیران منابع آب در سطح بین‌المللی را به خود جلب کرده است. به‌همین منظور در پژوهش حاضر، یک سامانهٔ تصمیم‌یار آبیاری (IDSS) با هدف بهبود مدیریت آبیاری در اراضی کشاورزی دشت مهاباد واقع در جنوب‌شرقی دریاچهٔ ارومیه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ توسعه داده شد. در ادامه، تطبیق‌پذیری IDSS با شرایط شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد، منابع آب و خاک، داده‌های هواشناسی و رطوبت خاک بررسی شد. برای ارزیابی تطبیق‌پذیری IDSS، شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشهٔ میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف (EF) و شاخص توافق ویلموت (d)، استفاده شد. نتایج نتایج نشان داد IDSS سازگاری و تعامل مناسبی با منابع آب و خاک، عملکرد محصولات و داده‌های هواشناسی دارد. استفاده از IDSS به‌طور متوسط موجب کاهش ۱۳/۹ درصدی آب مصرفی و افزایش ۶/۷ درصدی عملکرد محصول شد. ایستگاه هواشناسی مجازی کشاورزی راه‌اندازی شده توسط IDSS، دمای حداقل و حداکثر و ساعات آفتابی و رطوبت نسبی را به‌ترتیب با درجهٔ خوب و خیلی‌خوب نسبت به داده‌های ایستگاه سینوپتیک منطقه برآورد کرد. بر اساس شاخص‌های آماری، عملکرد IDSS برای شبیه‌سازی رطوبت حجمی خاک با درجهٔ خوب تا خیلی‌خوب ارزیابی می‌شود. هم‌چنین، IDSS در تطبیق با شرایط اجتماعی، ساختار کشاورزی منطقهٔ مطالعاتی و سطح دانش کشاورزان است. برای پژوهش‌های آتی ضروری است اطلاعات در مقیاس حوضه جمع‌آوری و انعطاف‌پذیری و کارایی IDSS بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: دریاچه ارومیه، IDSS، کشاورزی، مدیریت آبیاری، هوشمندسازی آبیاری

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

استناد: دهقانی‌سانیج، حسین، امامی، سمیه، امینی، عبدالله، رضاوردی‌نژاد، وحید، نورجو، امیر، محمدی، ساناز، طباطبایی، سیدحسن، و جمشیدی، بهاره (۱۴۰۳). توسعهٔ یک سیستم تصمیم‌یار آبیاری و بررسی انطباق‌پذیری آن با شرایط شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۲)، ۵۵-۷۴.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12456.1243

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۵۵ تا ۷۴

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و بروز خشکسالی در آن امری طبیعی است. از این‌رو، آب نقش کلیدی برای تولید مواد غذایی در ایران دارد. به‌دلیل ناکافی و محدود بودن آب‌های شیرین، زمین‌های کشاورزی و به‌دنبال آن خاک‌های حاصل‌خیز و نیز هزینهٔ زیاد نهاده‌ها (نیروی کار، منابع انرژی، مواد و کودهای شیمیایی)، به کارگیری روش‌های مناسب و هوشمند با هدف بهبود بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری، ضروری به‌نظر می‌رسد. وضعیت بحرانی منابع آب در ایران بر هیچ یک از افراد جامعه پوشیده نیست. پاسخ به چرایی رسیدن به چنین وضعیتی، در رسیدن به راه‌حل جامع کمک خواهد کرد. از جمله عوامل وقوع چنین شرایطی می‌توان به دسترسی کشاورزان به منابع آبی بدون رعایت مجوزها، بهره‌برداری و در نتیجه رقابت در جهت غارت منابع (طی چند دههٔ گذشته)، عدم یکپارچگی اطلاعات تحلیل شده در زمینهٔ مصرف آب در بخش کشاورزی کشور، عدم شکل‌گیری ارتباط سریع و سادهٔ میان کشاورزان و متخصصین آب و خاک کشور که این دو قشر هم‌چون دو جزیرهٔ جدا از هم می‌باشند، دانش اندک کشاورزان در استفاده از علوم روز کشاورزی و تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات و در کل اتکا به تجربهٔ گذشتگان خود و در نهایت فروپاشی ساختارهای اجتماعی سنتی تقسیم آب کشاورزی اشاره کرد (Yousefzadeh Chabok et al., 2016; Marzban et al., 2019).

امروزه بهره‌گیری از هوش مصنوعی به کشاورزان و متولیان امر کمک می‌کند که چگونه برای کنترل شرایط و سپس سازگاری با آن از دانش نوین کشاورزی و آبیاری استفاده کرده و بدین‌وسیله تا حدودی بر مشکلات یاد شده در بالا غلبه کنند. استفاده از سامانهٔ تصمیم‌ساز برنامه‌ریزی هوشمند آبیاری (IDSS)[1] که بسیار فراتر از خودکارسازی و یا اتوماسیون است، می تواند با بهره‌گیری از ظرفیت‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء، مصرف آب و مدیریت آبیاری را در مزرعه به طور محسوسی بهینه نماید (Arman, 2015; Abdollahzadeh Kahrizi et al., 2023). بهبود کیفیت تولید، صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، صرفه‌جویی در نیروی کارگری، کاهش مصرف کود و سم، افزایش میزان برگشت سرمایه، آبیاری موفقیت‌آمیز، سیستم تولید بهینه و پایدار از جمله مزایای IDSS است. با توجه به وضعیت فعلی آب کشور و از آن‌جایی‌که بیش از ۸۰ درصد منابع آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، استفاده از IDSS می تواند یک راه‌حل مطمئن و مطلوب برای برون‌رفت از بحران آب و مدیریت مناسب آن باشد (Araghinejad, 2011a; Jamali et al., 2018; Ghanian and Mohammadzadeh, 2019; Hemmat et al., 2019).

IDSS برای ارائهٔ برنامهٔ بهینهٔ آبیاری و با توجه به شرایط کشاورزی ایران توسعه داده شده است. این سامانه شرایط دسترسی زمانی، مکانی و کیفی آب، را مدنظر قرار می‌دهد و با اتصال به ایستگاه برخط هواشناسی مجازی در مزرعه و شبیه‌سازی تولید محصول و بر اساس پارامترهای برخط فنی و مالی مزرعه، برنامهٔ آبیاری بهینهٔ الگوی کشت را به‌صورت کاربر دوست ارائه می‌کند. IDSS این قابلیت را دارد تا در شرایط منابع آبی مشترک، بر اساس میزان حق‌آبه، تخصیص آب را بین الگوی کشت موجود با رویکرد افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی مدیریت کند. هم‌چنین، تنش‌های محیطی و غیرمحیطی را مورد توجه قرار داده تا حداقل تنش به الگوی کشت مزرعه وارد شود. IDSS اطلاعات فنی مزرعه را دریافت و بر اساس شرایط اقلیمی و پیش‌بینی مراحل رشد، برنامهٔ آبیاری را به کشاورز اعلام می‌کند. برنامهٔ آبیاری در طول مراحل رشد با دریافت بازخورد از کشاورز بهینه می شود. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینهٔ استفاده از سامانه‌های تصمیم یار در مدیریت منابع آب و کشاورزی صورت گرفته است (Araghinejad, 2011b; Giusti and Marsili-Libelli, 2015; Assadi et al., 2019).

یکی از جدیدترین و بروزترین سامانه‌های تصمیم‌یار آبیاری در دنیا به‌نام IMO یا Irrigation management online است که توسط دانشگاه اورگان آمریکا با همکاری گروه کشاورزی ایالات متحدهٔ آمریکا توسعه یافته است. شروع کار پروژه در سال ۲۰۰۹ کلید خورده است و نهایتاً پایگاه اطلاعاتی برخط برنامه ریزی آبیاری (http://www.iff.ag/) در سال ۲۰۲۱ به مرحلهٔ بهره‌برداری رسیده است. در این سامانهٔ برخط اطلاعاتی مانند زمان دسترسی به آب، الگوی کشت، بافت خاک، سیستم آبیاری و غیره به‌عنوان پارامترهای ورودی در سامانه تعریف شده است. این سامانه برنامه‌ریزی آبیاری بهینه را بر اساس عمق آبیاری و نظر کارشناس متخصص برای اعمال کم‌آبیاری در دوره‌های مختلف فنولوژیکی رشد گیاه در طی دورهٔ رشد در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد. در این راستا، Rinaldi and He (2014) در مطالعهٔ خود به این نتیجه رسید که عملیات کم‌آبیاری نیازمند مدیریت پیچیده‌تری نسبت به آبیاری متداول بوده و پیشنهاد داد که یک سیستم مدیریتی تصمیم‌گیر جهت انجام عملیات کم‌آبیاری استفاده شود. در پژوهشی، Arabzadeh et al. (2016) یک سامانهٔ تصمیم‌یار مکانی برای دسته‌بندی حق‌آبه‌های کشاورزی و خرید آن‌ها طراحی کردند. با مقایسهٔ همهٔ سناریوها، بهترین سناریو

[1] Irrigation decision support system

که متعلق به خرید حق‌آبه مربوط به دهک اول بود پیشنهاد شد. در پژوهش دیگری، Moghali et al. (2016) به شناخت سامانه‌های DSS و نقش آن‌ها در مدیریت بحران آب تهران پرداختند. نتایج نشان داد باید مدیریتی مناسب در زمینهٔ عرضه و تقاضای آب شرب، پایش و کنترل هدررفت‌های واقعی و ظاهری و رعایت الگوی مصرف صورت پذیرد. هم‌چنین، Navarro-Hellín et al. (2016) یک سیستم پشتیبانی تصمیم برای مدیریت آبیاری در کشاورزی (SIDSS)[1] ارائه دادند. کارایی سامانهٔ SIDSS روی سه مزرعهٔ تجاری درختان مرکبات واقع در جنوب‌شرقی اسپانیا تأیید شد. در مناطق تپه‌ای هند نیز Nain and Singh (2016)، یک سامانهٔ DSS برای تصمیم‌گیری در مورد رقم، زمان کاشت، آبیاری، کوددهی و برداشت محصولات توسعه دادند. در کشور چین، Yang et al. (2017) یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (FIS-DSS)[2] برای برنامه‌ریزی آبیاری و تخصیص و مدیریت منابع آب آبیاری کشاورزی توسعه دادند. در ادامه، Li et al. (2018) یک سیستم پشتیبان تصمیم‌یار آبیاری مبتنی بر وب (WIDSSLI) ارائه دادند. نتایج نشان داد که WIDSSLI می‌تواند محتوای آب خاک را به‌طور دقیق شبیه سازی کند.

در مطالعه‌ای، Polinova et al. (2019) از مدل SWAP برای بهینه‌سازی آبیاری در شرایط محدودیت دسترسی به آب استفاده کردند. آن‌ها با یکپارچه‌سازی راه‌کارهای مدرن و متداول، اقدام به مدیریت آبیاری پنبه کردند. هرچند مدل SWAP نتوانست اثرات کمبود آب در دوره‌های فنولوژیکال گیاه را بر کاهش محصول در نظر بگیرد، ولی از تنش‌های بحرانی در پنبه جلوگیری کرده و آب را مطابق با عملیات زراعی توزیع کرد. در یک بررسی، Servati and Mumtaz (2019) یک سامانهٔ تصمیم‌یار برای ارزیابی تناسب اراضی بر اساس چارچوب فائو، با تعدادی از تغییرات لازم به‌منظور مطابقت با شرایط محلی توسعه دادند. برای راستی‌آزمایی سامانه، تعداد ۶۰ خاکرخ در منطقه‌ای به وسعت ۳۲۰۰ هکتار در منطقهٔ آمل واقع در استان مازندران انتخاب شد. نتایج نشان داد روش سامانهٔ تصمیم‌یار به‌دلیل استفاده از کیفیت‌های اراضی و در نظرگیری شرایط منطقه‌ای نتایج مناسب‌تری ارائه می‌کند. سیستم‌های DSS ابزاری مناسب در مدیریت بهینهٔ آبیاری می‌باشند (Kukar et al. 2019).

از سایر پژوهش‌ها، Simionesei et al. (2020) یک سیستم تصمیم‌یار آبیاری تحت عنوان IrrigaSys در جنوب پرتغال توسعه دادند. این سیستم برنامه‌های آبیاری بهینه و نیز اطلاعات اضافی (بیلان آب خاک، پیش‌بینی آب و هوا در روزهای آینده و تصاویر ماهواره‌ای) را به‌صورت هفتگی برای کمک به کشاورزان در فرآیند تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد. در نهایت، Jewpany et al. (2022) یک سیستم پشتیبانی تصمیم برای شناسایی الگوی کشت بهینه و مدیریت آبیاری در تایلند ارائه دادند. نتایج حاکی از کارایی مناسب سیستم توسعه داده شده در مدیریت آبیاری بود. پایین بودن راندمان کاربرد آبیاری و عدم انطباق مدیریت آبیاری بر مراحل رشد نیز می‌تواند با بیش آبیاری و یا گاهی تنش آبیاری همراه باشد. از روش‌های اساسی در کاهش آب مصرفی در بخش کشاورزی، کاهش تلفات مصارف مفید (تعرق گیاه) و غیرمفید (تبخیر از خاک) آب کشاورزی است (Naderi at al., 2015). ضعف در مدیریت آبیاری از طریق عدم تناسب زمان آبیاری، مقدار آب آبیاری با مراحل رشد گیاه و مقدار رطوبت در خاک منجر به تلفات واقعی آب از طریق تلفات تبخیر و کاهش بهره‌وری از طریق خلاء عملکرد محصول می‌شود. در مدیریت آبیاری علاوه‌بر مسائل فنی لازم است عوامل مختلفی، از جمله سهم آب (حق‌آبه)، خرده مالکیت و شرایط مالی مزرعه مدنظر قرار داده شود تا همراه با مصرف بهینهٔ آب، ارتقاء بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در مزرعه ارتقا یابد. در حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه، روش آبیاری غالب به‌صورت سطحی انجام می‌شود و هیچ‌گونه مدیریت آبیاری اعمال نمی‌شود. توانایی بهبود مدیریت آب در کشاورزی معمولاً با سیاست‌های ناکافی، ضعف عمدهٔ سازمانی و محدودیت‌های مالی محدود می‌شود. با توجه به محدودیت‌های یاد شده، بخش مدیریت آب کشاورزی در حال تغییر موقعیت خود در جهت ارائه خدمات مدرن و پایدار است (Bagheri et al., 2013).

توسعهٔ سامانه‌های تصمیم‌یار[3] (DSS)، از جمله رویکردهایی است که در دههٔ اخیر با توجه به توسعهٔ سیستم‌های کامپیوتری، به‌عنوان ابزار و دستیار در تصمیم‌گیری‌های پیچیده برای مدیران منابع آب مورد توجه قرار گرفته‌اند. مدرن کردن و استفاده از راه کارهای هوشمندسازی در سطوح مختلف بهره‌برداری از آب می‌تواند افزایش معناداری بر شاخص‌های ارزیابی بهره‌وری مصرف آب داشته باشد. دست‌یابی به چنین شرایطی مستلزم تغییرات فناورانه است. رکن اصلی هر سامانهٔ DSS، توانایی آن در تطبیق با تغییرات محیطی است. تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری مهم‌ترین مؤلفهٔ هر سامانهٔ هوشمند است که قابلیت تغییر به‌منظور تطابق با شرایط متغیر را برای سامانه فراهم می‌کند (Arman, 2015). با توجه به پژوهش‌های انجام شده، بحرانی‌ترین چالش مدیریت آبیاری، محدودیت در مقدار آب موجود است که منجر به پیچیدگی استفادهٔ بهینه از آب کشاورزی در شرایط واقعی می‌شود. با توجه به مصرف

[1] Ship inspection decision support system
[2] Flexible irrigation scheduling decision support system
[3] Decision support systems

بیش‌ترین مقدار منابع آب حوضه در بخش کشاورزی و مدیریت ضعیف در کاربرد آن، یکی از مهم‌ترین راه‌کارها و اولویت‌های نجات دریاچهٔ ارومیه، انجام اقدامات لازم در راستای کاهش مصرف آب در این بخش است. از راه‌حل‌های اساسی در کاهش آب مصرفی در بخش کشاورزی، کاهش تلفات مصارف مفید و غیرمفید آب کشاورزی از طریق ارتقاء مدیریت آبیاری، است. به‌این منظور، در پژوهش حاضر، به تشریح جزئیات انطباق‌پذیری یک IDSS با هدف ارتقاء مدیریت آبیاری با شرایط شبکهٔ آبیاری و زهکشی، منابع آب و خاک، اقلیم و گیاه در دشت مهاباد پرداخته شده است. در همین راستا، ابتدا منابع آب در دسترس (سطحی و زیرزمینی) جهت آبیاری در منطقهٔ شناسایی و سپس به بررسی میزان تطبیق‌پذیری IDSS با آن اقدام شد. در ادامه تطبیق‌پذیری IDSS با منابع خاک، گیاه، داده‌های هواشناسی و عملکرد محصولات در دشت مهاباد مورد ارزیابی قرار گرفت. تفاوت اصلی IDSS با سیستم‌های تصمیم‌یار برخط در این است که سامانهٔ توسعه داده شده با در نظر گرفتن سهولت کاربرد برنامه‌ریزی آبیاری برای کشاورز، برنامهٔ آبیاری را بر اساس ساعت آبیاری ارائه می‌کند. هم‌چنین، بخش بهینه‌سازی کم‌آبیاری الگوهای کشت مختلف نیز در IDSS توسعه داده شده با استفاده از هوش مصنوعی اجرا و نیازی به حضور متخصص آبیاری جهت تصمیم‌گیری و بررسی‌های متعدد سامانه که پرهزینه و زمان‌بر است، نیست.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دشت مهاباد واقع در جنوب‌شرقی دریاچهٔ ارومیه انجام شد. دشت مهاباد در مختصات جغرافیایی ″۴۳ °۴۵ شمالی، ″۴۶ °۳۶ شرقی قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۰ متر است. میانگین بارندگی سالانهٔ این دشت، ۴۱۳ میلی‌متر و میانگین رطوبت آن ۵۳ درصد است. میانگین دمای سالانه و حداقل دمای آن نیز به‌ترتیب ۱۲/۸ و ۶/۷ درجهٔ سانتی‌گراد است (Bahramzadeh, 2015). دشت مهاباد دارای کشاورزی نسبتاً پررونق با شبکهٔ آبیاری و زهکشی و اراضی مستعد است. محصولات عمدهٔ این دشت شامل گندم، جو، چغندرقند، یونجه، دانه‌های روغنی، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، باغات سیب، هلو، شلیل و انگور است. شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد از سد انحرافی، دو رشته کانال اصلی، ۱۱ رشته کانال درجهٔ دو، شامل شش رشته کانال در ساحل چپ و پنج رشته کانال در ساحل راست، ۶۹ رشته زهکش اصلی و درجهٔ دو، شامل ۳۵ رشته در ساحل چپ و ۳۴ رشته در ساحل راست و تعداد ۱۰ ایستگاه پمپاژ آب، شامل پنج ایستگاه در ساحل چپ و پنج ایستگاه در ساحل راست، تشکیل شده است (شکل ۱). در ادامه، مشخصات شبکهٔ آبیاری مهاباد شامل میزان آب مصرفی کشاورزی، اراضی تحت پوشش شبکه و مشخصات سازه‌ای شبکه در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- میزان آب مصرفی کشاورزی در محل سد مهاباد (برحسب میلیون مترمکعب)

Table 1- Amount of agricultural water consumption at the Mahabad Dam site (million m^3)

سال آبی	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97
برنامهٔ منابع و مصارف	131	127	95	95	99	95
عملکرد	140	106	103	95	99	81

جدول ۲- مشخصات مساحت اراضی تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد (برحسب هکتار)

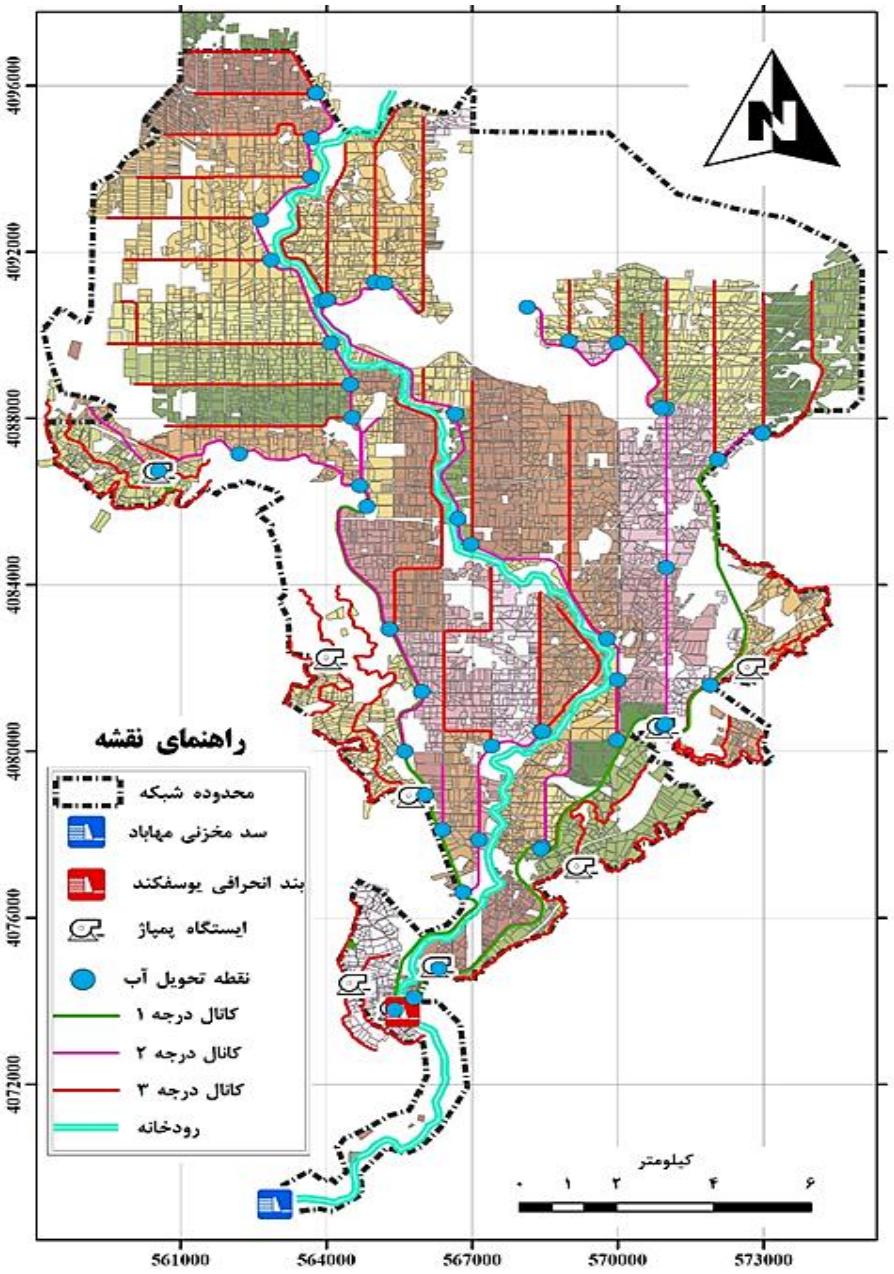
Table 2- Specifications of the land area covered by the irrigation and drainage network of Mahabad (ha)

مساحت جغرافیایی شبکه	مساحت اراضی				منبع تامین آب
	ناخالص	خالص	مدرن	نیمه مدرن	
22248	13571	12268	12268	-	سد مخزنی مهاباد

جدول ۳- مشخصات کانال‌های انتقال و توزیع آب در شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد

Table 3- Characteristics of water transmission and distribution channels in the Mahabad irrigation and drainage network

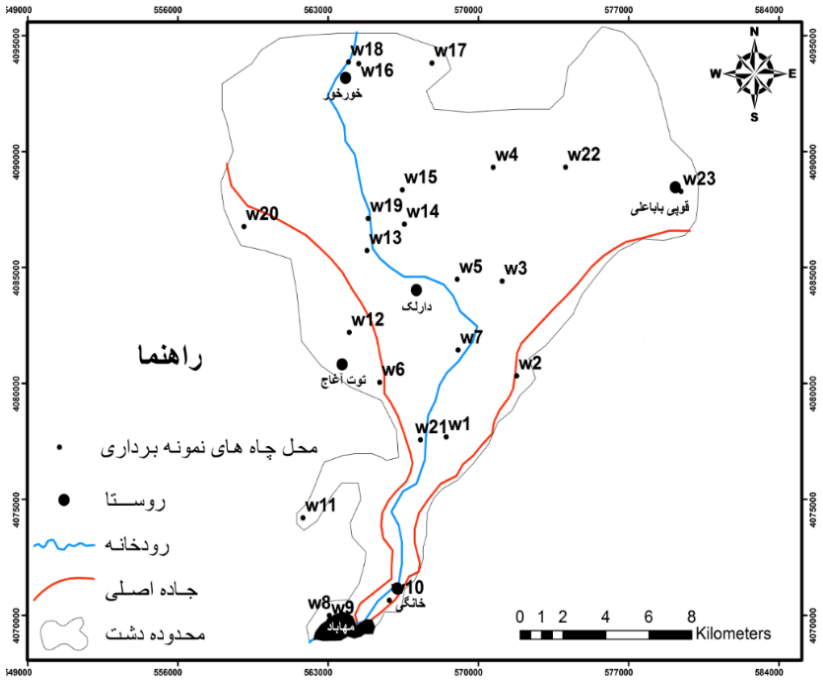
نوع کانال انتقال و توزیع آب	جنس سازه	ساحل راست		ساحل چپ		جمع طول
		تعداد سازه	طول سازه	تعداد سازه	طول سازه	
کانال درجهٔ یک	بتنی	1	18648	1	15355	34003
کانال درجهٔ دو	بتنی	5	41622	6	34114	75736
کانال درجهٔ سه	بتنی	25	77402	27	95033	172435
	خاکی	2	2121	2	1721	3842
کانال درجهٔ چهار	بتنی	-	-	11	10153	1053
	خاکی	257	198515	242	188425	386940



شکل ۱- محدودهٔ کلی، کانال‌های آبیاری و نقاط تحویل آب در شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد

Figure 1- General area, irrigation channels, and water delivery points in the Mahabad irrigation and drainage network

در محدودهٔ آبخوان مهاباد تعداد ۲۱ چاه مشاهداتی موجود است که به‌طور یکنواخت در محدودهٔ آبخوان گسترده شده‌اند. حداقل عمق آب در این چاه‌ها ۱/۰۷ و حداکثر آن ۱۱/۶ متر است. مکان چاه‌های مشاهده‌ای و محل قرارگیری آن‌ها در دشت مهاباد در شکل ۲ و جدول ۴ آورده شده است.



شکل ۲- چاه‌های مشاهده‌ای دشت مهاباد

Figure 2- Observation wells of Mahabad plain

جدول ٤- مکان چاه‌های مشاهده‌ای در دشت مهاباد

Table 4- Location of observation wells in Mahabad plain

شمارهٔ پیزومتر	محل قرارگیری	شمارهٔ پیزومتر	محل قرارگیری	شمارهٔ پیزومتر	محل قرارگیری
1	کوسهٔ کهریز	8	دریاس	15	قره‌خان
2	اراضی کوسهٔ کهریز	9	اراضی دارلک	16	فخری‌گاه
3	قره‌قشلاق	10	گاپیس	17	اراضی قره‌خان
4	کهنه‌دل	11	دارلک	18	حاجی‌خوش
5	قره‌قشلاق	12	اگریقاش	19	گردگوروی
6	قزل‌قوپی	13	قم‌قلعه	20	گابازله
7	اراضی قزل‌قوپی	14	لج	21	گوگ‌تپه

۲-۲- منطقه‌های انتخابی محل اجرای طرح

چهار منطقه از شبکهٔ آبیاری و زهکشی مهاباد، شامل روستاهای توت آغاج، قم‌قلعه، یوسف‌کندی و دارلک به‌عنوان منطقه‌های منتخب انتخاب شدند. از بین منطقه‌های انتخابی فقط روستای یوسف‌کندی دارای کشت بهاره است و سه روستای دیگر هر دو کشت بهاره و پاییزه را شامل می شوند. در هر منطقه تعداد ۲۰ مزرعه و باغ برای انجام پژوهش در نظر گرفته شد. از این بین، دو مزرعه یا باغ در هر منطقه به‌عنوان مزارع و باغات پایش انتخاب شد تا کشاورزان بتوانند شاهد اثربخشی IDSS باشند. در مزارع پایش اطلاعات مورد نیاز، شامل رطوبت خاک، دبی، حجم آب مصرفی و عملکرد محصول جهت بررسی و تحلیل نتایج IDSS با دقت بالا اندازه‌گیری شد. حجم آب مصرفی در آبیاری‌های قطره‌ای و کرتی به‌ترتیب توسط کنتور حجمی و فلوم WSC اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک به روش وزنی با در نظر گرفتن حداقل سه نقطه در ابتدا، وسط و انتهای هر مزرعهٔ تحت پایش اندازه‌گیری شد. جدول ۵ نشان‌دهندهٔ الگوی کشت و نوع سیستم آبیاری مورد استفاده در باغات و مزارع تحت پایش است.

جدول ۵- الگوی کشت و نوع سیستم آبیاری مورد استفاده در باغات و مزارع تحت مطالعه

Table 5- Cultivation pattern and irrigation system type used in the farms under study

الگوی کشت	نوع سیستم آبیاری
سیب درختی	قطره‌ای
یونجه	بارانی
چغندرقند	کرتی
چغندرقند	بارانی
سیب درختی	کرتی
سیب درختی	کرتی
گندم	بارانی
گندم	کرتی

آبیاری و مدیریت مزارع پایش در طول دورهٔ انجام پژوهش، کاملاً مطابق با برنامه بهینهٔ آبیاری ارائه شده توسط IDSS بود. این در حالی است که ۱۸ مزرعه و باغ غیرپایش در هر منطقه

تحت کنترل خود کشاورز بود و در این مزارع و باغات تنها برنامهٔ بهینهٔ آبیاری توسط IDSS در اختیار کشاورز قرار می‌گرفت و اجرای برنامهٔ آبیاری ارائه شده توسط IDSS و مدیریت مزرعه توسط خود کشاورز انجام می‌شد.

۲-۳- چهارچوب سامانهٔ تصمیم‌یار آبیاری

در پژوهش حاضر، یک سامانهٔ تصمیم‌یار آبیاری به‌منظور دست یابی به هدف مدیریت بهینهٔ مصرف آب در کشاورزی با در نظر گرفتن زمان و میزان دسترسی به آب با استفاده از روش‌های معتبر بین‌المللی طراحی شده است. IDSS بر پایهٔ مدل‌های گیاهی و زراعی بوده که با اطلاعات اقلیمی منطقه و اطلاعات زراعی و مدیریتی مزرعه بهینه‌سازی می‌شود. IDSS به‌صورت صفحهٔ تحت وب و اپلیکیشن موبایل اطلاعات تصمیم‌یار را در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد. IDSS قادر است الگوی کشت بهینه را نیز برای شرایط مزرعه پیشنهاد دهد. در طی دورهٔ رشد گیاه این امکان وجود دارد که کشاورز بتواند رخدادهای داخل مزرعه از قبیل تغییر در ساعت یا تاریخ آبیاری، خسارت وارده به گیاهان و در صورت استفاده از الگوی کشت پیشنهادی سامانه، هرگونه تغییر در الگوی کشت انجام شده در مزرعه را به‌صورت بازخورد به سامانه معرفی کند. در این شرایط IDSS طبق وضعیت موجود در مزرعه سناریوهای جدید را شبیه‌سازی کرده و برنامهٔ بهینهٔ آبیاری جدید را مجدداً برای روزهای بعدی ارائه می‌دهد. شکل ۳ اطلاعات ورودی مورد نیاز و خروجی‌های IDSS را نشان می‌دهد.

شکل ۳- نمایی از نحوهٔ عملکرد IDSS

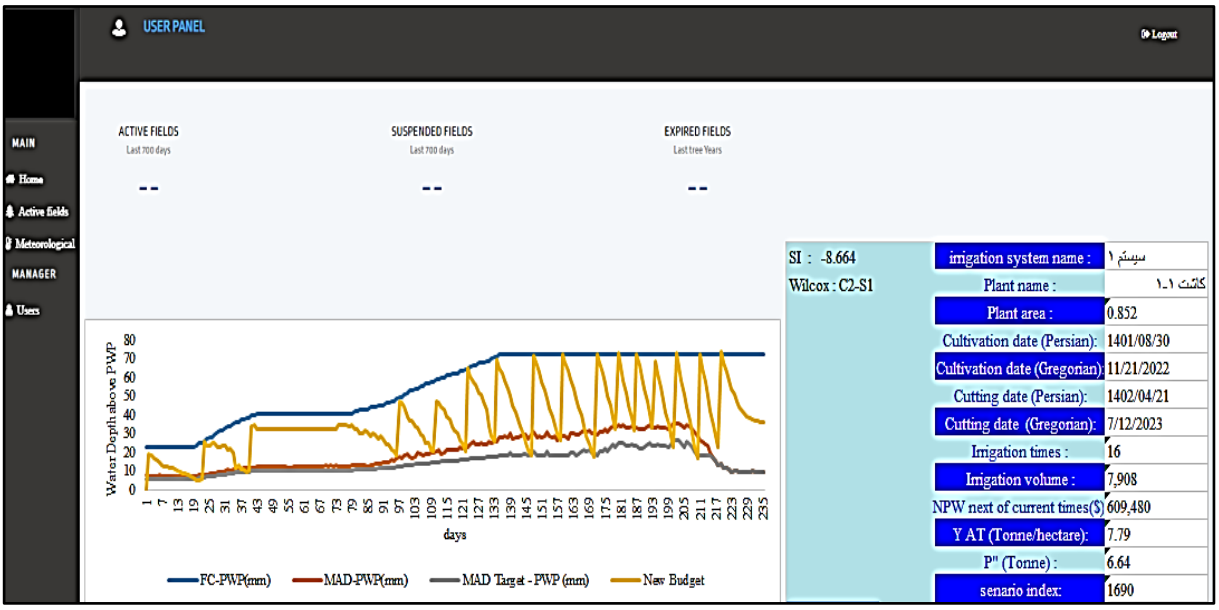
Figure 3- A view of the performance of the IDSS

۲-٤- محاسبهٔ نیاز آبی محصولات در IDSS

برای محاسبات مربوط به تعیین نیاز آبی گیاهان، داده‌های هواشناسی منطقهٔ تحت کشت برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع نیاز است (Allen et al., 1998). باتوجه به تجربیات موجود در دنیا، در IDSS از ایستگاه‌های هواشناسی مجازی برای دریافت داده‌های برخط هواشناسی استفاده شده است. IDSS داده‌های هواشناسی سینوپتیک دریافتی را پس از تبدیل به داده‌های هواشناسی کشاورزی طبق دستورالعمل ارائه شده در نشریهٔ فائو-۵۶، برای محاسبات مربوط به برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار می‌دهد. IDSS قادر است بیلان آب خاک را در اعماق مختلف خاک و در خاک‌های لایه‌بندی شده شبیه‌سازی کند (شکل ۴). بهینه‌سازی برنامهٔ آبیاری در IDSS بر اساس اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده است. در طی دورهٔ رشد بر اساس الگوی کشت موجود در مزرعه IDSS منابع آب محدود را بر اساس دوره های فنولوژیکی رشد گیاه تخصیص می‌دهد. در IDSS از فرم تصحیح شدهٔ رابطهٔ استوارت به‌صورت زیر استفاده شده است (Pereira et al., 2020).

$$Y_c = Y_m - \frac{Y_m K_y (T_c - T_{cact})}{T_c} \qquad (۱)$$

در این رابطه، K_y ضریب واکنش محصول، Y_m و Y_a به ترتیب عملکرد پتانسیل (حداکثر) و واقعی محصول و $T_{c\,act}$ و T_c به‌ترتیب تعرق واقعی و پتانسیل سالانه (میلی‌متر) مربوط به Y_a و Y_m است که جایگزین تبخیر-تعرق در رابطهٔ قبلی استوارت شده است (Pereira et al., 2020).



شکل ٤- رابط کاربری IDSS

Figure 4- The user interface of the IDSS

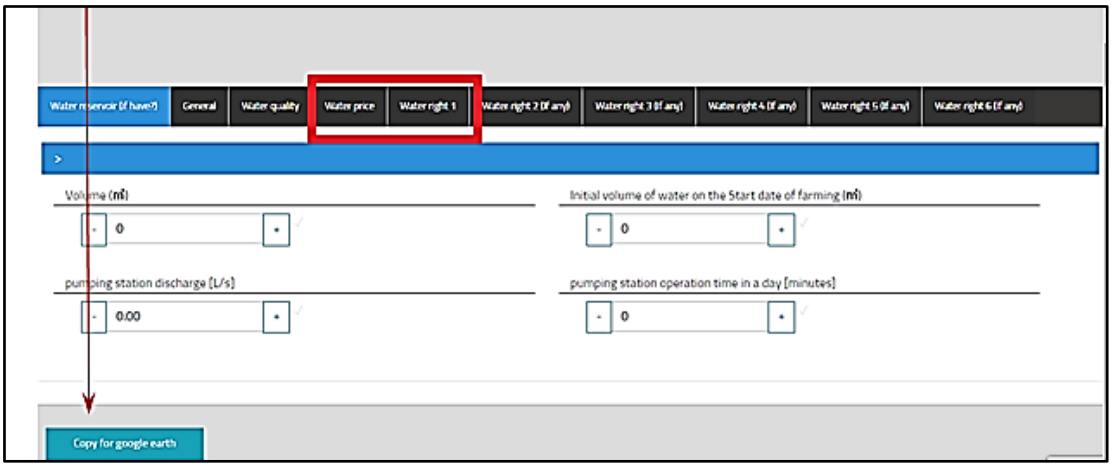
٢-٥- تطبیق‌پذیری IDSS

برای تطبیق IDSS با نیاز آبی گیاه، اطلاعات منابع آب و خاک‌شناسی مزارع (ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی) شامل، کیفیت آب، زمان‌های دسترسی کشاورزان به آب، بافت خاک، مقادیر SAR، گراول و دیگر پارامترهای مرتبط با منابع آب و خاک، در شروع فصل رشد به‌عنوان ورودی وارد سامانه می‌شود. در ادامه، تطبیق IDSS برای برنامه‌ریزی آبیاری، این اطلاعات را مدنظر قرار می‌دهد. هم‌چنین، امکان بروزرسانی اطلاعات منابع آب و خاک در طول فصل رشد در IDSS امکان‌پذیر است. با توجه به انواع سیستم‌های آبیاری (آبیاری سطحی، زیرسطحی و تحت فشار) که در منطقه‌های تحت مطالعه موجود بود، اطلاعات هر یک از سیستم‌های آبیاری به تفکیک در IDSS قابل بارگذاری است. با توجه به اطلاعات فنی که برای هر یک از سیستم‌های آبیاری در شروع فصل رشد در سامانه بارگذاری می‌شود. برنامهٔ بهینهٔ آبیاری با توجه به شرایط دسترسی به آب (حق‌آبه) برای قطعات مختلف مزارع مورد بررسی، طراحی می‌شود. در صورتی‌که منبع آب در دسترس برای کشاورزی، منابع آب زیرزمینی باشد در این حالت چاه آب متعلق به کشاورز بوده و دبی و زمان کارکرد (پمپاژ از چاه)، به‌صورت جدول ۶ از کشاورزان مورد پرسش قرار گرفته و در IDSS وارد می‌شود (شکل ۵ الف-ب).

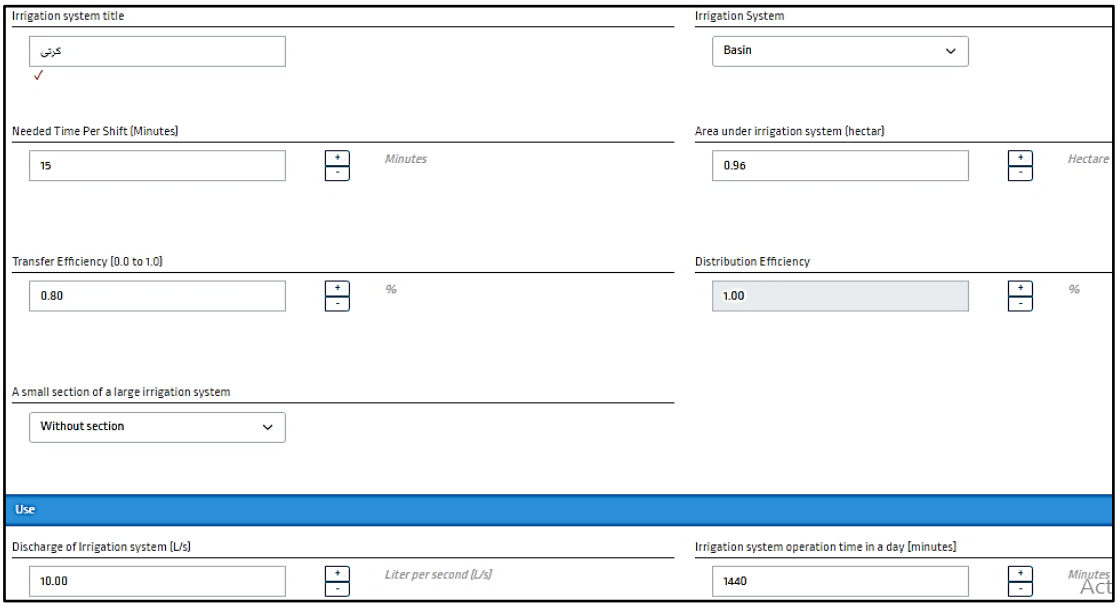
جدول ٦- شرایط دسترسی به آب (Water right)

Table 6- Water access conditions (Water right)

پرسش
نام یا نوع منبع آب مورد استفاده
چند روز یک‌بار به منبع تأمین آب دسترسی دارید؟
قیمت در طول سال زراعی
تاریخ اولین روز دسترسی
تاریخ آخرین روز دسترسی
میزان دبی در اولین روز دسترسی
میزان دبی در آخرین روز دسترسی
مدت زمان دسترسی در هر شبانه‌روز (دقیقه)



(الف)



(ب)

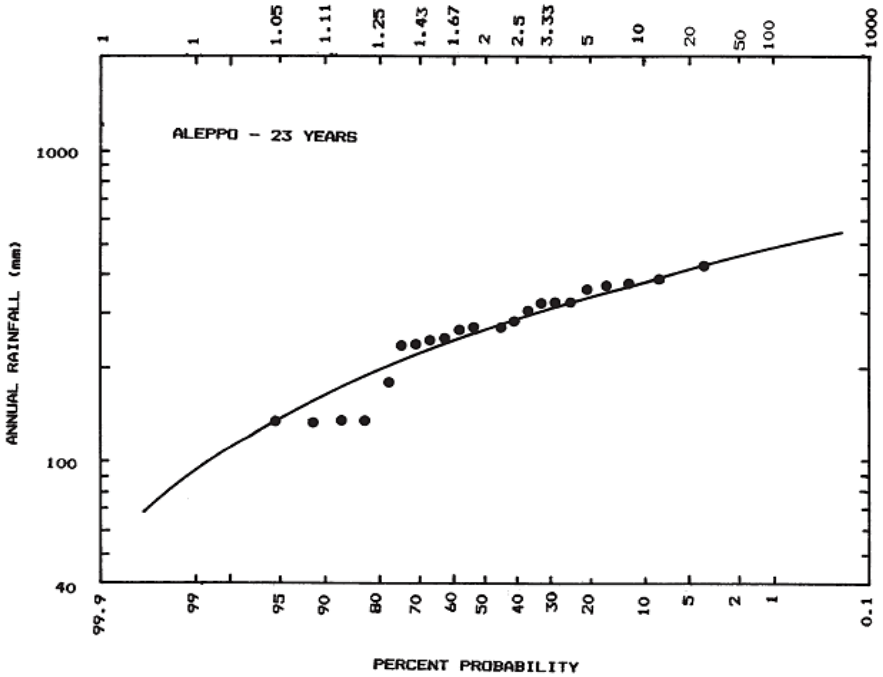
شکل ٥- ورود اطلاعات منبع آب به‌صورت چاه آب در IDSS (الف و ب)

Figure 5- Entering water source information in the form of water wells in the IDSS (a and b)

حق‌آبهٔ شبکهٔ آبیاری و زهکشی در IDSS به‌صورت فواصل زمانی منظم ۱۲ روز یک‌بار (دسترسی منظم) تعریف می‌شود. در حالت استفاده از شبکهٔ آبیاری و زهکشی با دسترسی نامنظم، دبی و مدت زمان تحویل آب در IDSS در نظر گرفته می‌شود. از آن‌جایی‌که تحویل آب به شبکه به‌صورت نامنظم است، از این‌رو راه‌کارهایی اتخاذ شد؛ الف) آبیاری مزرعه با استفاده از همان سیستم اصلی موجود در مزرعه انجام شود و ب) آبیاری مزرعه با استفاده از سیستم متفرقه (عموماً به‌صورت نوار و یا کرت‌های آبیاری) انجام شود. در حالت اول، مشکلی وجود نداشته و کشاورز به‌صورت مستقیم بازخوردها را اعلام، در IDSS ثبت و در نهایت سیستم آن را در سیستم آب و خاک مدنظر قرار می‌دهد. در حالت دوم، سیستم آبیاری عموماً به‌صورت کرتی که با سیستم آبیاری اصلی مزرعه متفاوت است، به‌عنوان یک سیستم متفرقه در IDSS تعریف می‌شود. در انتها، کاربر سیستم آبیاری را در صفحهٔ کاربری خود انتخاب و ساعت‌های آبیاری انجام شده با سیستم متفرقه را به‌عنوان بازخورد ثبت می‌کند. تطبیق با برنامه‌های آبیاری ارائه شده توسط کاربر از طریق وب اپلیکیشن و صفحهٔ تعاملی از کشاورزان اخذ و برای بهینه‌سازی برنامه‌های آبیاری بعدی لحاظ می‌شود.

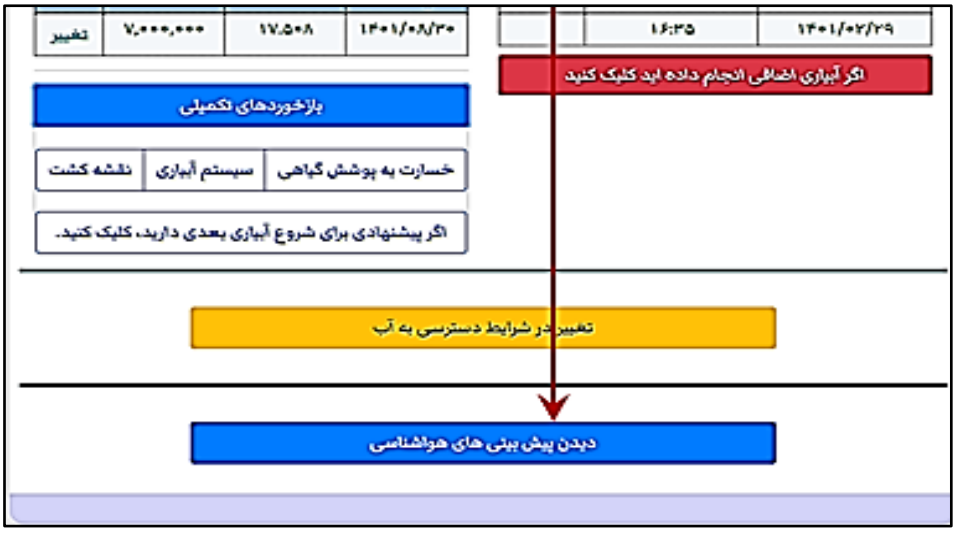
پس از انتخاب محل مزرعه در IDSS، سامانه به‌صورت خودکار داده‌های بلندمدت اقلیمی آن منطقه را دانلود و برنامه‌های آبیاری پیش‌بینی شده تا انتهای فصل رشد را شبیه‌سازی می‌کند. طی فصل رشد، IDSS به‌طور خودکار یک ایستگاه هواشناسی مجازی به‌صورت برخط به محل مزرعه اختصاص داده و در نتیجه برنامه‌های آبیاری پیش‌بینی شده را به‌صورت دینامیک اصلاح می‌نماید. IDSS از پیش‌بینی‌های هفت روزهٔ هواشناسی

کشاورزی بهره‌مند می‌شود که این امر منجر به استفاده حداکثری از بارش‌ها در منطقه و تطبیق مناسبی بین زمان‌بندی آبیاری ارائه شده و پیش‌آگاهی اطلاعات هواشناسی در روزهای آتی می‌شود. در IDSS برای شرایط بلندمدت هواشناسی، یک برازش آماری (توزیع آماری پیرسون) در نظر گرفته شده (شکل ۶) و بر اساس آن، پیش‌بینی‌های هواشناسی (برای هفت روز آینده) انجام می‌شود (شکل ۷).



شکل ٦- توزیع آماری پیرسون برای شرایط بلندمدت هواشناسی در IDSS

Figure 6- Pearson statistical distribution for long-term meteorological conditions in IDSS



شکل ۷- پیش‌بینی‌های هواشناسی در IDSS

Figure 7- Meteorological forecasts in the IDSS

برای تطبیق‌پذیری IDSS با عملکرد محصول، میزان عملکرد محصول در طی سال‌های گذشته در حالت نرمال و نیز در حالتی‌که تنش‌های آبی وجود نداشته باشد، اخذ و در IDSS بارگذاری می‌شود. سپس سامانه اثرات تنش‌های آبی، تنش‌های شوری و تنش‌های حرارتی و نوری را بر مقدار محصول ابراز شده توسط کاربر، برآورد می‌نماید. همچنین، IDSS بر اساس بازخوردهایی که کاربران در طول فصل رشد از میزان محصول ارائه می‌دهند، می‌تواند با شرایط واقعی مزرعه و تولید محصول واسنجی شود. لازم به ذکر است، چنان‌چه در ورود اطلاعات تناژ

محصول دقت لازم به‌عمل آید، تطبیق‌پذیری لازم در تخمین تولید محصول وجود خواهد داشت.

۲-۶- شاخص‌های ارزیابی

تطبیق‌پذیری IDSS با داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ مزرعه‌ای با شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشهٔ میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف (EF) و شاخص توافق ویلموت (d) به‌صورت رابطه‌های (۲) تا (۶) مورد ارزیابی قرار گرفت (Tsegay et al., 2012).

$$R^2 = \left[\frac{\sum(O_i - O_m)(P_i - P_m)}{\sum(O_i - O_m)\sum(P_i - P_m)}\right]^2 \quad (۲)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{0.5} \quad (۳)$$

$$NRMSE = \frac{1}{O_m}\left[\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{0.5} \times 100 \quad (۴)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - O_m)^2} \quad (۵)$$

$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2} \quad (۶)$$

در این روابط، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، O_m میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، P_i مقادیر برآورد شده توسط IDSS و n تعداد کل مشاهدات می‌باشند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تطبیق‌پذیری IDSS با نیاز آبی محصولات

در جدول ۷، نیاز آبی محصولات گندم، چغندرقند، یونجه و سیب درختی محاسبه شده با روش پنمن-مانتیث بر اساس داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل اجرای پژوهش (ایستگاه سینوپتیک مهاباد)، با مقادیر نیاز آبی حاصل از IDSS مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد بین نیاز آبی برآورد شده توسط داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مهاباد و IDSS تطابق مناسبی وجود دارد و سامانه توانسته است نیاز آبی محصولات گندم، چغندرقند، یونجه و سیب درختی را در همان بازهٔ زمانی (۱۴۰۱-۱۴۰۰) در محدودهٔ مناسبی برآورد کند.

جدول ۷- مقایسهٔ نیاز آبی محصولات در طول دورهٔ رشد (میلی‌متر)

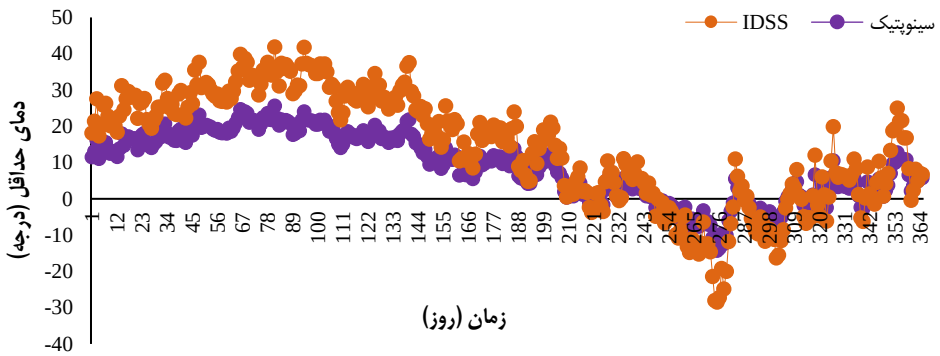
Table 7- Comparison of the water requirement of crops during the growing season (mm)

محصول	ایستگاه هواشناسی مجازی کشاورزی راه‌اندازی شده توسط IDSS	ایستگاه سینوپتیک مهاباد
گندم	415.15	435
یونجه	755.2	726
چغندرقند	1105	1067
سیب درختی	821.3	824

در پژوهش مشابهی یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی آبیاری انعطاف‌پذیر (FIS-DSS) در چین توسعه داده شد که به راحتی قابل سفارشی‌سازی و تطبیق با نواحی مختلف آبیاری بود که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Yang et al., 2017). پژوهش‌ها نشان داده است سامانه‌های تصمیم‌یار می‌توانند در فرموله کردن کشاورزی پایدار استفاده شوند (Servati et al., 2016). در پژوهش Ge et al. (2013) نتیجه نشان داد DSS برای تخصیص آب در مناطق کشاورزی مؤثر عمل می‌کند.

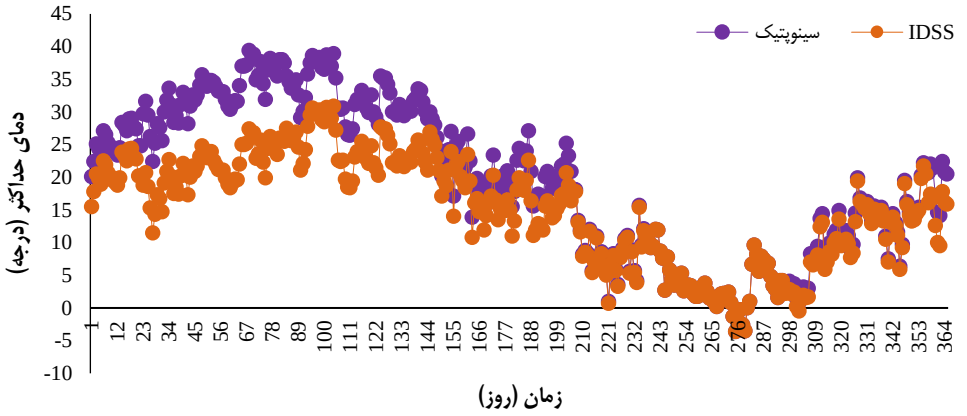
۳-۲- بررسی تطبیق‌پذیری IDSS با داده‌های هواشناسی

داده‌های دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک مهاباد و ایستگاه هواشناسی مجازی کشاورزی راه‌اندازی شده توسط IDSS در شکل‌های ۸ تا ۱۱ مورد مقایسه قرار گرفته است.



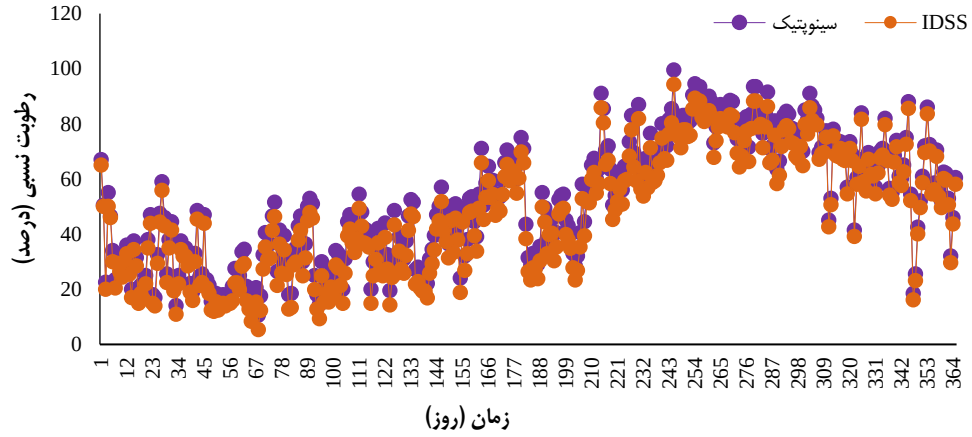
شکل ۸- مقایسهٔ دمای روزانهٔ حداقل ایستگاه هواشناسی مهاباد با ایستگاه IDSS

Figure 8- Comparison of the minimum daily temperature of Mahabad weather station with IDSS station



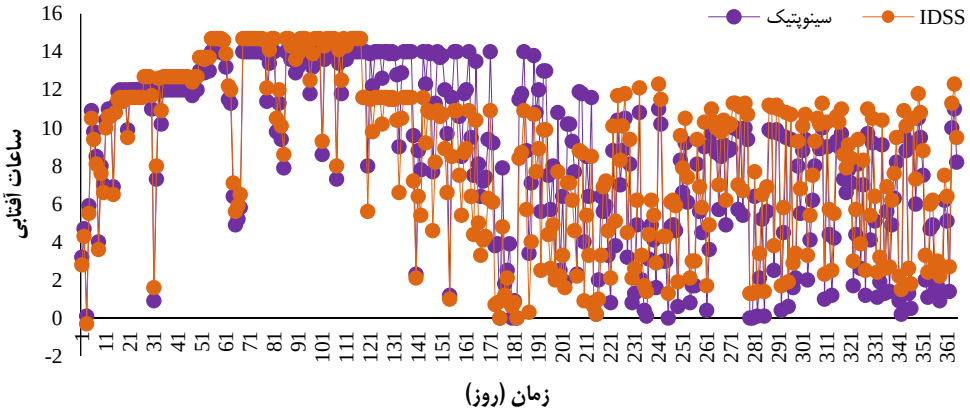
شکل ۹- مقایسهٔ دمای روزانهٔ حداکثر ایستگاه هواشناسی مهاباد با ایستگاه IDSS

Figure 9- Comparison of the maximum daily temperature of Mahabad weather station with IDSS station



شکل ۱۰- مقایسهٔ رطوبت نسبی روزانهٔ ایستگاه هواشناسی مهاباد با ایستگاه IDSS

Figure 10- Comparison of daily relative humidity of Mahabad weather station with IDSS station



شکل ۱۱- مقایسهٔ ساعات آفتابی روزانهٔ ایستگاه هواشناسی مهاباد با ایستگاه IDSS

Figure 11- Comparison of daily sunshine of Mahabad weather station with IDSS station

مطابق شکل‌های بالا، بین دماهای روزانهٔ حداقل و حداکثر اختلاف ناچیزی وجود دارد. مقایسهٔ رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک مهاباد و IDSS نشان می‌دهد تطبیق‌پذیری منا سبی بین مقادیر حاصل از IDSS و داده‌های ایستگاه مهاباد وجود دارد. در مورد ساعات آفتابی نیز مقایسهٔ مشابهی انجام و نتیجه گرفته شد اختلاف ناچیزی بین داده‌های ایستگاه سینوپتیک

مهاباد و IDSS وجود دارد. نتایج مقایسهٔ شاخص‌های آماری داده های IDSS با داده‌های ایستگاه سینوپتیک مهاباد حاکی از آن است که عملکرد IDSS در مقایسه با ایستگاه سینوپتیک مهاباد از نمرهٔ خیلی‌خوب (برای رطوبت نسبی) تا خوب (دمای حداقل، حداکثر و ساعات آفتابی) ارزیابی می‌شود. مقادیر شاخص‌های آماری در جدول ۸ ارائه شده است. مقادیر محاسبه شده برای شاخص NRMSE به‌ترتیب از ۰/۷۲ برای رطوبت نسبی تا ۰/۷۷ برای ساعات آفتابی تغییر می‌نماید. مقدار ضریب تبیین برای تمامی پارامترهای هواشناسی بیش‌تر از ۰/۸۵ قابل قبول به دست آمد. در مجموع می‌توان بیان کرد حسگرهای IDSS داده های ساعات آفتابی و دمای حداقل و حداکثر را با درجهٔ خوب و رطوبت نسبی را با درجهٔ خیلی‌خوب برآورد می‌کند.

جدول ۸- ارزیابی شاخص‌های آماری داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مهاباد با داده‌های IDSS

Table 8- Evaluation of the statistical indicators of Mahabad synoptic weather station data with IDSS data

پارامتر	شاخص‌های آماری				
	R^2	RMSE	NRMSE	EF	d
دمای حداقل	0.94	4.92	0.75	0.85	0.96
دمای حداکثر	0.95	3.90	0.74	0.87	0.96
رطوبت نسبی	0.97	3.1	0.72	0.89	0.98
ساعات آفتابی	0.86	5.02	0.77	0.67	0.73

۳-۳- تطبیق‌پذیری IDSS با تولید محصول به‌ازای حجم آب مصرفی

میزان مصرف آب و عملکرد محصول (تناژ) تخمین زده شده با استفاده از IDSS و میزان عملکرد برداشت شده توسط کشاورزان در برخی مزارع تحت پایش در جدول ۹ ارائه شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌ها، IDSS تطبیق‌پذیری مناسبی با تولید محصول در منطقه به ازای حجم آب مصرفی دارد. در پژوهشی مشابه، Chen et al. (2019) نشان دادند که سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی آبیاری (DSSIS)[1]، یک ابزار مفید برای برنامه‌ریزی آبیاری است که با نتایج پژوهش حاضر نیز تطابق دارد. پژوهش‌گران بیان کردند IDSS زمان و مقادیر آبیاری را برای راندمان بالای سیستم آبیاری یونجه ارائه می‌کند (Li et al., 2019). در جدول ۱۰، درصد تغییرات پارامترهای آب مصرفی و عملکرد محصول بر اساس نوع سیستم آبیاری مورد استفاده در مزارع تحت پایش ارائه شده است.

جدول ۹- مقایسهٔ میزان مصرف آب و عملکرد محصول تخمینی در برخی مزارع تحت مطالعه

Table 9- Comparison of water consumption and estimated crop yield in some farms

الگوی کشت	نوع سیستم آبیاری	تعداد آبیاری‌ها	عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر)		عملکرد محصول (تن در هکتار)	
			آب مصرفی اندازه‌گیری شده (مترمکعب بر هکتار)	آب مصرفی برآورد شده توسط IDSS (مترمکعب بر هکتار)	عملکرد اندازه‌گیری شده (تن)	عملکرد برآورد شده توسط IDSS (تن)
سیب	قطره‌ای	10	363.2	414.9	30.5	44
یونجه	بارانی	13	739.3	814.7	3.5	3.2
چغندرقند	کرتی	13	1460.2	1207.8	92.3	87
چغندرقند	بارانی	17	1064.7	866.9	92.7	90.9
سیب	کرتی	12	1057.6	1653.2	48.9	73.7

جدول ۱۰- تغییرات پارامترهای آب مصرفی و عملکرد محصول در مزارع تحت پایش

Table 10- Changes in parameters of water consumption and crop yield in monitored farms

نوع سیستم آبیاری	آب مصرفی (درصد)	عملکرد محصول (درصد)
قطره‌ی	-41.1	+10.3
بارانی	-14.2	+1.4
کرتی	-13.5	+8.6

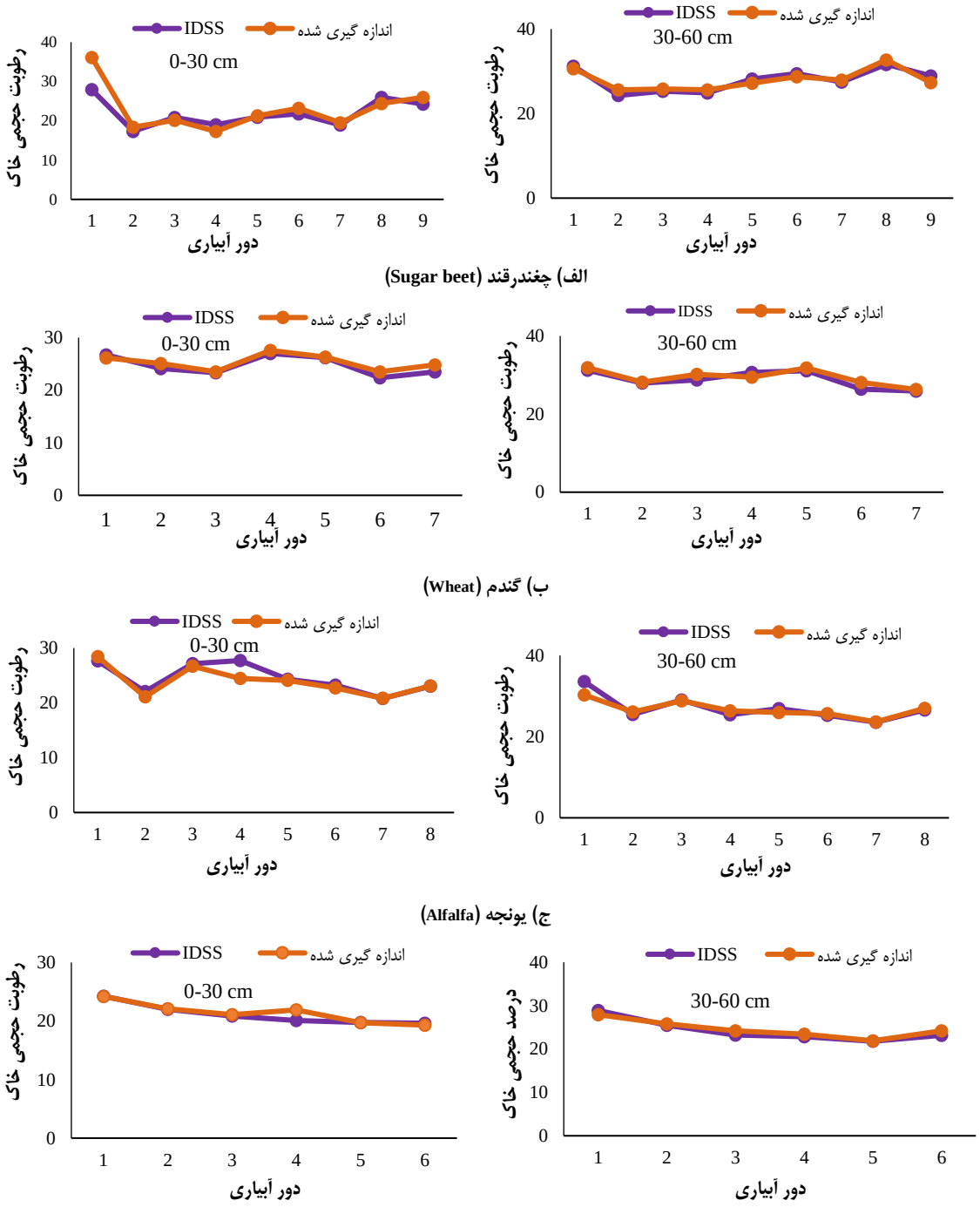
همان طورکه مشاهده می‌شود استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری ارائه شده توسط IDSS توانسته در مزارع و باغات تحت سیستم های آبیاری قطره‌ای و بارانی به‌ترتیب به‌طور میانگین موجب کاهش ۴۱ و ۱۴ درصدی آب مصرفی و افزایش حدود ۱۰/۳ و ۸/۶ درصدی عملکرد محصول شود. در مزارع یا باغاتی که تحت سیستم آبیاری کرتی می‌باشند، استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری

[1] Decision Support System for Irrigation Scheduling

ارائه شـده توسـط IDSS به‌طور میانگین موجب افزایش ۱۳/۵ درصـدی آب مصـرفی و ۸/۶ درصـدی عملکرد محصـول شـده است. دلیل افزایش آب مصرفی در سیستم‌های آبیاری کرتی بالا بودن زمان پیشـروی در مزارع و باغات تحت پایش اسـت که به منظور تأمین نیاز آبی در انتهای کرت های آبیاری، به نا چار IDSS حجم آب مصرفی را افزایش داده است.

۳-٤- تطبیق پذیری IDSS با رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف

رطوبت خاک در طول دورهٔ آبیاری در محصولات گندم، چغندرقند، یونجه و سیب درختی از دو عمق صفر تا۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری با روش نمونه‌گیری با مته و خشک کردن در آون اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- مقایسهٔ مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط IDSS (الف تا د)

Figure 12- Comparison of soil moisture values measured and simulated by IDSS (a-d)

نتایج تطبیق‌پذیری داده‌های رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط IDSS با داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ مزرعه‌ای نشان می‌دهد که عملکرد سامانه بر اساس شاخص NRMSE از نمرهٔ خوب (در عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متری) تا خیلی‌خوب (در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری) ارزیابی می‌شود. در جدول ۱۱، متوسط نتایج شاخص‌های آماری برای ارزیابی رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط IDSS و داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ مزرعه‌ای ارائه شده است. مقادیر محاسبه شده برای RMSE به‌ترتیب از ۴/۹۱ تا ۶/۰۲ درصد حجمی در داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده تغییر می‌نماید. مقادیر ضریب تبیین، شاخص توافق ویلموت و ضریب کارایی نش-ساتکلیف در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر از نمرهٔ خیلی‌خوب برخوردار است. در حالت کلی می‌توان اظهار کرد IDSS مقدار رطوبت خاک را با درجهٔ خوب شبیه‌سازی می‌کند. در پژوهش مشابهی نتیجه گرفته شد، IDSS مناسب‌ترین راه‌کار آبیاری برای حفظ رطوبت خاک است (Li et al., 2019).

جدول ۱۱- ارزیابی شاخص‌های آماری داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شدهٔ رطوبت خاک

Table 11- Evaluation of the statistical indicators of the measured and simulated data of soil moisture

عمق	شاخص‌های آماری				
	R^2	RMSE	NRMSE	EF	d
0-30	0.82	6.02	0.83	0.61	0.64
30-60	0.85	4.91	0.75	0.67	0.72

۳-۵- تطبیق‌پذیری IDSS با شرایط اجتماعی و ساختار کشاورزی منطقه

در بررسی تطبیق‌پذیری IDSS با شرایط اجتماعی و ساختار کشاورزی منطقه، دو طبقه‌بندی اصلی در نظر گرفته شد؛ ۱) رغبت کشاورزان به استفاده از IDSS که در این حالت، اطلاعات تکمیلی شامل هدف کشاورزان از هوشمندسازی، استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری و منابع آب در اختیار کشاورز، از کشاورزان اخذ و بر اساس آن هوشمندسازی توسط IDSS شروع می‌شود. ۲) نحوهٔ تعامل با کشاورزان و چگونگی پیاده‌سازی سامانه در منطقه که در این حالت، سه مورد به شرح زیر ارزیابی می‌شود:

الف) بررسی وجود شرایط خرده مالکی در مزارع

ب) ارزیابی توانایی مالی کشاورز جهت پرداخت هزینه‌های هوشمندسازی

ج) بررسی اجرا یا عدم اجرای تکنیک‌های نوین و طراحی شدهٔ آبیاری (سطحی و تحت‌فشار). در این حالت، سه پرسش اصلی قبل از هوشمندسازی به‌صورت زیر بررسی می‌شود:

- کشاورزان از سامانهٔ آبیاری اجرا شده رضایت کافی را دارند
- بخشی از سامانهٔ آبیاری اجرا شده توسط کشاورزان استفاده می‌شود (کاهش ابعاد کرت‌ها و غیره)
- سامانهٔ آبیاری اجرا شده مورد پذیرش کشاورزان است

۳) کاربر دوستی سامانه و هماهنگی آن با سطح دانش کشاورزان منطقه

برنامه‌های آبیاری ارائه شده به کشاورزان بر اساس تاریخ، تعداد ساعت آبیاری و مشخص بودن قطعهٔ مدنظر برای آبیاری است. از این‌رو، کشاورزان به‌سادگی می‌توانند از IDSS بهره‌برداری نمایند. در پژوهشی استفاده از سیستم تصمیم‌یار مبتنی بر وب برای برنامه‌ریزی آبیاری مزارع بادام‌زمینی با استقبال خوبی از سوی تولیدکنندگان بادام‌زمینی محلی روبه‌رو شد که در تطابق با نتایج پژوهش حاضر است (Chauhan et al., 2013).

٤- نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط کشاورزی در دشت مهاباد به‌عنوان بخشی از حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، می‌توان اظهار کرد IDSS دارای شبیه‌سازی‌های به‌هنگام بوده و با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌ها و مقایسهٔ آن‌ها با عملکرد محصولات برداشتی، برای ارائهٔ برنامهٔ بهینهٔ آبیاری با منطقهٔ مورد مطالعه تطبیق‌پذیری مناسبی دارد. تعیین میزان اثربخشی IDSS در مقدار حجم آب مصرفی نشان داد که برنامهٔ آبیاری ارائه شده توسط IDSS موجب کاهش حجم آب مصرفی در منطقه شد. یکی از دلایل اصلی این است که در دشت مهاباد و بسیاری از مناطق مشابه در حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه، تولید محصولات غالب نظیر سیب درختی، چغندرقند، یونجه و گندم در شرایط تنش آبی و اعمال کم‌آبیاری انجام نمی‌شود. از این‌رو، می‌توان از کاربرد بالقوهٔ IDSS به‌عنوان مشاورهٔ آبیاری و درجه‌ای که این سامانه در بهبود مدیریت آبیاری مزارع کشاورزی دارد، در اکثر مناطق حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه استفاده کرد. هم‌چنین، IDSS از نظر استفاده توسط کاربر از سادگی و راحتی مناسب برخوردار است. این سادگی و کاربردی بودن برای سطح بهره‌بردار بخش کشاورزی با دانش و آشنایی کم‌تر با رایانه و تلفن همراه، نیاز به کار بیش‌تر در این زمینه برای استفادهٔ مطلوب‌تر از این سامانه دارد. در ادامه پیشنهاد می‌شود IDSS برای مناطق و محصولات دیگر با تأکید بر کاربرد IDSS در اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب مورد ارزیابی قرار داده شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO) کرج، البرز، ایران برای کمک در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسـندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضـاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

کلیهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

حسین دهقانی‌سانیج و سمیه امامی: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله؛ **وحید رضاوردی‌نژاد و امیر نورجو:** راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ **عبدالله امینی، ساناز محمدی، سیدحسن طباطبایی و بهاره جمشیدی:** مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری.

منابع

آرمان، نسیم (۱۳۹۴). بررسی سیستم تصمیم‌یار (DSS) در مقابله با کم آبی و بحران آب. کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. https://www.sid.ir/paper/869579/fa

اسدی، نصرت‌الله، داوری، کامران، انصاری، حسین، ضیائی، علی نقی، و فریدحسینی، علی‌رضا (۱۳۹۹). توسعه یک سامانه تصمیم‌یار چند معیاره برای تخصیص منابع آب یک حوضه آبریز (مطالعه موردی سامانه انتقال آب مازندران–گلستان). *تحقیقات آب و خاک ایران*،۵۰(۸)، ۲۰۸۵–۲۰۹۷. doi:10.22059/IJSWR.2019.277053.668146

باقری، مهرداد، محمدی، حمید، نوری، غلامرضا، و میر، بهروز (۱۳۹۲). عوامل تعیین‌کننده استفاده پایدار از منابع آب (مطالعه موردی استان کهکیلویه و بویر احمد). *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۵(۱)، ۵۱–۶۴ https://jest.srbiau.ac.ir/article_2395.html

بهرام‌زاده، خالد (۱۳۹۴). کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی تغییرات هیدرولیکی منابع آب‌های زیر زمین. کنفرانس بین‌المللی معماری، شهرسازی، عمران، هنر و محیط‌زیست؛ افق های آینده، نگاه به گذشته، تهران. https://civilica.com/doc/608128

ثروتی، مسلم، و ممتاز، حمیدرضا (۱۳۹۸). معرفی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری تناسب اراضی برای برنج. *پژوهش‌های خاک*، ۳۳ (۱)، ۸۹–۹۹. dor:20.1001.1.22287124.1398.33.1.9.5

ثروتی، مسلم، جعفرزاده، علی‌اصغر، شهبازی، فرزین، محمدی، حسن، و تیمورپور، نیلوفر (۱۳۹۴). تعیین کاربری اراضی برای اهداف کشاورزی و غیرکشاورزی با استفاده از سامانه تصمیم‌گیری میکرولیز. *مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۵(۳)، ۲۳۳–۲۴۶. dor:20.1001.1.23221267.1394.5.3.15.0

جمالی، رضا، بشارت، سینا، یاسی، مهدی، و امین‌پور دیلمی، افشین (۱۳۹۷). ارزیابی راندمان‌های آبیاری، کارآیی مصرف و بهره‌وری آب در حوضه دریاچه ارومیه (مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی زرینه‌رود). *علوم آب و خاک*، ۲۲(۳)، ۱۱۷–۱۳۰. doi:10.29252/jstnar.22.3.117

عراقی‌نژاد، شهاب، نیک فال، محمدرضا، و حیدری، حمید (۱۳۹۰)، نگرشی جدید به سامانه‌های تصمیم‌یار مکانی در مدیریت منابع آب. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. https://civilica.com/doc/117450/

عراقی‌نژاد، شهاب (۱۳۹۰). توسعه یک سیستم تصمیم‌یار برای ارزیابی خشکسالی منطقه‌ای بر اساس سامانه اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود–قره‌سو. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه زنجان. https://civilica.com/doc/116027/

عرب‌زاده، رزگار، عراقی‌نژاد، شهاب، و ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۵). سامانه تصمیم‌یار مکانی برای مدیریت حق‌آبه‌های کشاورزی. ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه سنندج. https://civilica.com/doc/559078

عبدالله‌زاده کهریزی، رحیم، کوکبی‌نژاد مقدم، امیرحسین ، و معروفی‌نیا، ادریس (۱۴۰۲). بررسی آب مجازی و شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی دشت پلدشت. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۵۴–۶۸ dor:20.1001.1.27832546.1402.3.1.3.5

غنیان، منصور، و محمدزاده، لطیف (۱۳۹۸). تحلیل شایستگی‌های حرفه‌ای مورد نیاز کشاورزان دربرابر تغییرات اقلیمی نمونهٔ مطالعه: حوضهٔ جنوبی آبریز دریاچه ارومیه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۰(۳)، ۱۱۵–۱۳۶. doi:10.22108/GEP.2020.118923.1198

مرزبان، حسین، صدرای جواهری، احمد، زیبایی، منصور، ناظم‌السادات، سید محمدجعفر، و کریمی، لیلا (۱۳۹۸). بررسی وضعیت منابع و مصارف آب در ایران و راهکارهای بهبود وضعیت. *آب و فاضلاب*، ۳۰(۴)، ۱۶–۳۲. doi:10.22093/WWJ.2018.126649.2663

موغلی، مرضیه، خادم دقیق، امیرهوشنگ، و حسینی امینی، حسن (۱۳۹۵). نقش سامانه‌های تصمیم‌یار در مدیریت بحران آب شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار ونسیم. جغرافیای طبیعی، ۳۱، ۳۹–۴۵. https://www.sid.ir/paper/185047/fa

نادری، نادر، ضیاتباراحمدی، میرخالق، و فضل‌اولی، رامین (۱۳۹۴). ارزیابی راندمان کاربرد آبیاری و کارآیی مصرف آب در مزارع گندم. کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان. https://civilica.com/doc/471656/

همت، حمید، فرهادی، علی، و خادم دقیق، امیرهوشنگ (۱۳۹۸). نقش سامانه‌های تصمیم‌یار سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در مدیریت بحران‌های آینده. *آینده‌پژوهی دفاعی*، ۴(۱۲)، ۴۳۶۴–۱۶۴. doi:10.22034/DFSR.2019.36259

یوسف‌زاده چابک، معصومه، باقری، علی، و داوری، کامران (۱۳۹۵). ارزیابی سیستم منابع آب با رویکرد یکپارچه بر اساس چارچوب حسابداری آب در محدوده مطالعاتی مشهد. *آب و فاضلاب*، ۲۷(۵)، ۳-۱۶.

References

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.

Arman, N. (2015). Investigating decision support system (DSS) in dealing with water shortage and water crisis. National Congress of Irrigation and Drainage of Iran, . Isfahan, Iran. [In Persian]

Arabzadeh, R., Araghinejad, Sh., & Ebrahimi, K. (2016). A spatial decision support system for agricultural land management. The 6th Iranian National Water Resources Management Conference, Sanandaj, Iran, Pp. 1-10. [In Persian]

Araghinejad, Sh., Nikfal, M., & Heydari, H. (2011a). A new approach to spatial decision-making systems in water resources management. The 4th Iran Water Resources Management Conference, Theran, Iran, Pp. 1-11. [In Persian]

Araghinejad, Sh. (2011b). Development of a decision support system for regional drought assessment based on a geographic information system, case study: Gorganrood-Qarasu watershed. The 2nd Iranian National Conference on Applied Research in Ware Resources, Zanjan, Iran, Pp. 1-9. [In Persian]

Assadi, N., Davary, K., Ansari, H., Ziaei, A. N., & Faridhosseini, A. (2019). Development of a multi-criteria decision support system for water resources allocation in a basin (Case Study: Mazandaran-Golestan water conveyance system). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(8), 2085-2097. doi: 10.22059/ijswr.2019.277053.668146. [In Persian]

Abdollahzadeh Kahrizi, R., Kokabinezhad Moghaddam, A. H., & Merufinia, E. (2023). Investigating virtual water and agricultural water productivity index in crops of Poldasht plain. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(1), 54-68. doi: 10.22098/mmws.2022.11090.1100. [In Persian]

Bagheri, M., Mohammadi, H., Nouri, Gh., Mir, B., (2013). Determinants of sustainable use of water resources: The Case of Kohkilouye and Boyerahmad Province. *Environmental Science and Technology*, *15*(1), 51-64. [In Persian]

Bahramzadeh, Kh. (2015). Application of neural network in predicting hydraulic changes of underground water resources. International Conference on Architecture, Urban Planning, Civil Engineering, Art and Environment; Future horizons, look to the past, Theran, Iran, Pp. 1-5. [In Persian]

Chauhan, Y.S., Wright, G.C., Holzworth, D., Rachaputi, R.C. & Payero, J.O. (2013). Aquaman: a web-based decision support system for irrigation scheduling in peanuts. *Irrigation Science*, *31*, 271-283. doi:10.1007/s00271-011-0296-y

Chen, X., Qi, Z., Gui, D., Gu, Z., Ma, L., Zeng, F. & Sima, M.W. (2019). A model-based real-time decision support system for irrigation scheduling to improve water productivity. *Agronomy*, *9*(11), 686. doi:10.3390/agronomy9110686

Ge, Y., Li, X., Huang, C. & Nan, Z. (2013). A Decision Support System for irrigation water allocation along the middle reaches of the Heihe River Basin, Northwest China. *Environmental Modelling & Software*, *47*, 182-192. doi:10.1016/j.envsoft.2013.05.010

Giusti, E. & Marsili-Libelli, S. (2015). A fuzzy decision support system for irrigation and water conservation in agriculture. *Environmental Modelling & Software*, *63*, 73-86. doi:10.1016/j.envsoft.2014.09.020

Ghanian, M., & Mohammadzadeh, L. (2019). Analyzing the farmers' professional competencies needed against climate change; The Case Study of Southern Basin of Urmia Lake. *Journal of Geography and Environmental Planning*, *30*(3), 115- 136. doi:10.22108/gep.2020.118923.1198. [In Persian]

Hemmat, H., Farhadi, A., & Khademdaghigh, A.H. (2019). The role of decision making systems (GIS) in managing future crises. *Defensive Future Studies*, *4*(12), 143-164. doi: 10.22034/dfsr.2019.36259. [In Persian]

Jewpanya, P., German, J.D., Nuangpirom, P., Maghfiroh, M.F.N. & Redi, A.A.N.P. (2022). A decision support system for irrigation management in thailand: case study of Tak City agricultural production. *Applied Sciences*, *12*(20), 10508. doi:10.3390/app122010508

Jamali, R., Besharat, S., Yasi, M., & Amirpour Deylami, A. (2018). Assessment of the application efficiency, water use efficiency and productivity of irrigated water in the Urmia Lake Basin (Case Study: Zarineh Rood irrigation and Drainage Network). *Journal of Water and Soil Science*, *22*(3), 117-130. doi:10.29252/jstnar.22.3.117 [In Persian]

Kukar, M., Vračar, P., Košir, D., Pevec, D. & Bosnić, Z. (2019). AgroDSS: A decision support system for agriculture and farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, *161*, 260-271. doi:10.1016/j.compag.2018.04.001

Li, H., Li, J., Shen, Y., Zhang, X., & Lei, Y. (2018). Web-based irrigation decision support system

with limited inputs for farmers. *Agricultural Water Management*, 210, 279-285. doi:10.1016/j.agwat.2018.08.025

Li, M., Sui, R., Meng, Y. & Yan, H. (2019). A real-time fuzzy decision support system for alfalfa irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, *163*, 104870. doi:10.1016/j.compag.2019.104870

Marzban, H., Sadraei Javaheri, A., Zibaei, M., Nazemosadat, S.M.J., & Karimi, L. (2019). Study of the status of resources and water consumption in Iran and improving the situation. *Journal of Water and Wastewater*, *30*(4), 16-32. doi: 10.22093/wwj.2018.126649.2663. [In Persian]

Moghali, M., Khademdaghigh, A., & Amini, H.H. (2016). The role of decision support systems in managing water crisis in tehran through vensim saftware. *Journal Of Physical Geography*, *9*(1(31)), 39-54. https://sid.ir/paper/185047/en [In Persian]

Naderi, N., Ziyatabarahmadi, M., & Fazl Avali, R. (2015). Water, irrigation, and productivity: evaluation of irrigation application efficiency and water consumption efficiency in wheat fields. National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. Isfahan, Iran. [In Persian]

Nain, A.S. & Singh, K.K. (2016). Conceptualization of a framework of decision support system for agriculture in hilly region. *Mausam*, *67*(1), 195-204. doi:10.54302/mausam.v67i1.1178

Navarro-Hellín, H., Martinez-del-Rincon, J., Domingo-Miguel, R., Soto-Valles, F. & Torres-Sánchez, R. (2016). A decision support system for managing irrigation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, *124*, 121-131. doi:10.1016/j.compag.2016.04.003

Pereira, L.S., Paredes, P. & Jovanovic, N. (2020). Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural Water Management*, *241*, 106357. doi:10.1016/j.agwat.2020.106357

Polinova, M., Salinas, K., Bonfante, A. & Brook, A. (2019). Irrigation optimization under a limited water supply by the integration of modern approaches into traditional water management on the cotton fields. *Remote Sensing*, *11*(18), 2127. doi:10.3390/rs11182127

Rinaldi, M. & He, Z. (2014). Decision support systems to manage irrigation in agriculture. *Advances in agronomy*, *123*, 229-279. doi:10.1016/B978-0-12-420225-2.00006-6

Simionesei, L., Ramos, T.B., Palma, J., Oliveira, A. R. & Neves, R. (2020). IrrigaSys: A web-based irrigation decision support system based on open source data and technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, *178*, 105822. doi:10.1016/j.compag.2020.105822

Servati, M., & Momtaz, H. (2019). Developing a Land suitability decision support tool for rice. *Iranian Journal of Soil Research*, *33*(1), 89-99. doi: 10.22092/ijsr.2019.119058 [In Persian]

Servati, M., Jafarzadeh, A. A., Shahbazi, F., Mohammadi, H., & Teimourpour, N. (2016). Land use designation for agricultural and non-agricultural purposes by microleis dss. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *5*(3), 233-246. [In Persian]

Tsegay, A., Raes, D., Geerts, S., Vanuytrecht, E., Abraha, B., Deckers, J. & Gebrehiwot, K. (2012). Unravelling crop water productivity of tef (Eragrostis Tef (Zucc.) Trotter) through AquaCrop in northern Ethiopia. *Experimental Agriculture*, *48*(2), 222-237. doi:10.1017/S0014479711001153

Yang, G., Liu, L., Guo, P. & Li, M. (2017). A flexible decision support system for irrigation scheduling in an irrigation district in China. *Agricultural Water Management*, *179*, 378-389. doi:10.1016/j.agwat.2016.07.019

Yousefzadeh Chabok, M., Bagheri, A., & Davari, K. (2016). Water resources assessment using an integrated approach based on water accounting, A Case Study of Mashhad Plain. *Journal of Water and Wastewater*, *27*(5), 3-16. [In Persian]