Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Establishing and evaluating an irrigation decision support system in order to improve irrigation management in pilot farms south of Urmia Lake basin

Hossein Dehghanisanij [1]✉ | Sanaz Mohammadi [2] | Abdollah Amini [3] | Vahid Rezaverdinejad[4] | Amir Nourjo[5] | Somayeh Emami [6] | Seyed Hasan Tabatabaii [7] | Bahare Jamshidi [8]| Ghazal Dehghanisanij[9]

1. Corresponding Author, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj, Alborz, Iran. E-mail: Dehghanisanij@yahoo.com
2. Department of Engineering and Water Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: sanaz.mohammadi@modares.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: chiko.amini8@gmail.com
4. Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: v.verdinejad@urmia.ac.ir
5. Technical and Engineering Research, Agricultural and Natural Resources Research Center, West Azerbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran. E-mail: nourjou@yahoo.com
6. Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: somayehemami70@gmail.com
7. Department of Engineering and Water Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: Hasan.tabatabaii@gmail.com
8. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj, Alborz, Iran. E-mail: b.jamshidi@areeo.ac.ir
9. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: ghazal.sanij@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Sep. 23, 2023

Revised: Nov. 22, 2023

Accepted: Dec. 26, 2023

Published online: March. 2024

Keywords:
Agricultural Water Productivity,
Irrigation Scheduling, Mahabad Irrigation and Drainage Network,
Precision Irrigation,
Smart Agriculture.

ABSTRACT

Over the years, decision support systems (DSS) have emerged as valuable tools for optimizing irrigation scheduling by integrating various data sources, models, and decision-making algorithms. This research implemented and evaluated an irrigation decision support system (IDSS) that can be easily customized and adapted to different conditions and types of irrigation systems. The IDSS was tested in eight farms and gardens located in the Urmia Lake Basin during 1400-1401. This system provides farmers with the actual irrigation requirements of each crop, based on factors such as soil type, growth stage, climatic conditions, weather forecasts, farm or garden shape, water right, and irrigation system type. With this information, farmers can make informed decisions about irrigation. The investigation of two control (Irrigating by farmers) and treatment sections (Irrigating based on IDSS) revealed that implementing the irrigation scheduling provided by the IDSS in the treatment section increased water productivity by 87.3%, 20.7%, and 1.5% in drip, sprinkler, and basin irrigation systems, respectively. Results showed that using the IDSS system for fields and gardens under basin irrigation can lead to more efficient results, but optimizing the basin irrigation system, such as the length of the irrigation plots, should also be considered. Additionally, the research showed that providing an optimal and accurate irrigation scheduling to meet the crops water requirement is necessary to increase agricultural water productivity that using IDSS can be helpful in this regard.

Cite this article: Dehghanisanij, H., Mohammadi, S., Amini, A., Rezaverdinejad, R., Nourjo, A., Emami, S.,Tabatabaii, S. H., Jamshidi, B., & Dehghanisanij, Gh. (2024) Establishing and evaluating an irrigation decision support system in order to improve irrigation management in pilot farms south of Urmia Lake basin, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (1), 33-49. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365750.669579

© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365750.669579

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۱ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

استقرار و ارزیابی یک سامانه تصمیم‌یار به منظور ارتقاء مدیریت آبیاری در مزارع پایلوت جنوب حوضه آبریز دریاچه ارومیه

حسین دهقانی سانیج[1]✉ | ساناز محمدی[2] | عبدالله امینی[3] | وحید رضاوردی‌نژاد[4] | امیر نورجو[5] | سمیه امامی[6] | سید حسن طباطبایی[7] | بهاره جمشیدی[8] | اغزل دهقانی سانیج[9]

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران. رایانامه: dehghanisanij@yahoo.com

۲. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران رایانامه: sanaz.mohammadi@modares.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران رایانامه: chiko.amini8@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه:v.verdinejad@urmia.ac.ir

۵. بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. رایانامه: nourjou@yahoo.com

۶. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: somayehemami70@gmail.com

۷. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: Hasan.tabatabaii@gmail.com

۸. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران. رایانامه: b.jamshidi@areeo.ac.ir

۹. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا ، همدان، ایران رایانامه: ghazal.sanij@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۵

تاریخ انتشار: فروردین ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
آبیاری دقیق،
برنامه‌ریزی آبیاری،
بهره‌وری آب کشاورزی،
کشاورزی هوشمند،
شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد.

چکیده

امروزه، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم (DSS) به عنوان ابزاری ارزشمندی برای بهینه‌سازی برنامه آبیاری با استفاده از یکپارچه‌سازی منابع داده، مدل‌ها و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر یک سامانه تصمیم‌یار آبیاری (IDSS) که به راحتی قابل سفارشی‌سازی و تطبیق با شرایط و انواع مختلف سامانه‌های آبیاری می‌باشد، در ۸ مزرعه و باغ واقع در حوضه دریاچه ارومیه در طی سال زارعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ اجرا و مورد ارزیابی قرار گرفت. این سامانه نیاز آبیاری واقعی هر محصول را بر اساس نوع بافت خاک، مراحل مختلف رشد، شرایط اقلیمی، پیش بینی آب و هوا، شکل مزرعه یا باغ، وضعیت حقابه و نوع سامانه‌ی آبیاری موجود در مزرعه یا باغ برای تصمیم گیری در اختیار کشاورز قرار می‌دهد. نتایج بررسی دو بخش شاهد (آبیاری معمول کشاورز) و تیمار (برنامه‌ریزی آبیاری براساس IDSS) نشان داد که اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS در بخش تیمار به‌طور میانگین باعث افزایش ۸۷/۳، ۲۰/۷ و ۱/۵ درصدی بهره‌وری آب به‌ترتیب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، بارانی و کرتی شد. باتوجه به نتایج پژوهش حاضر، در صورت استفاده از سامانه IDSS برای مزارع و باغات تحت آبیاری سطحی جهت دستیابی به نتایج کارآمدتر، باید بهینه‌سازی سامانه آبیاری از قبیل بهینه‌سازی طول کرت‌های آبیاری مورد توجه قرار گیرد. همچنین نتایج نشان داد که ارائه برنامه بهینه و صحیح آبیاری که بتواند نیاز آبی گیاه را به‌موقع تامین کند یکی از ضروری‌ترین اقدامات در جهت افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است که استفاده از سامانه‌های IDSS می‌تواند در این زمینه بسیار مفید و کارآمد باشد.

استناد: دهقانی سانیج؛ حسین، محمدی؛ ساناز، امینی؛ عبداله، رضاوردی نژاد؛ وحید، نورجو؛ امیر، امامی؛ سمیه، طباطبایی؛ سیدحسن، جمشیدی؛ بهاره، دهقانی سانیج؛ غزل، (۱۴۰۳) استقرار و ارزیابی یک سامانه تصمیم‌یار به منظور ارتقاء مدیریت آبیاری در مزارع پایلوت جنوب حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۱)، ۴۹-۳۳. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365750.669579

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.365750.669579

مقدمه

امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز هرچه بیشتر به تولیدات کشاورزی جهت تامین غذا، نیاز به بهبود بهره‌وری آب کشاورزی بیش از پیش ضروری است. بدین منظور علاوه بر بهینه سازی مصرف کلی آب آبیاری برای به حداکثر رساندن عملکرد محصول، نیاز به ارائه اطلاعات دقیق در مورد شرایط گیاهی و نیاز آبی روزانه گیاه به ویژه در مراحل بحرانی رشد می‌باشد (Mohammadi et al., 2023). روش‌های محاسباتی مختلفی برای برآورد نیاز آبی گیاه جهت استفاده کشاورزان موجود است. اگرچه عملکرد محصول تولیدی اغلب مرتبط با آب مصرفی گیاه است، اما اغلب کشاورزان هیچ روش مشخصی را برای تعیین نیاز آبی محصولاتی که کشت می‌کنندُ بکار نمی‌برند. همچنین اکثر روش‌های مورد استفاده نیز معمولا بدون انجام واسنجی برای منطقه موردنظر اعمال می‌شوند که این امر منجر به ارائه نتایج متفاوت توسط روش‌های مختلف برای محاسبه نیاز آبی یک محصول خاص می‌گردد (Todorovic et al., 2018). باید درنظر داشت که بسیاری از این روش‌ها برای مناطقی با شرایط خاکشناسی و اقلیمی خاص طراحی شده‌اند و بنابراین کاربرد آنها محدود به شرایط خاصی است (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰).

میزان آب آبیاری مصرفی در هر سامانه کشاورزی تابعی از عوامل متعدد بیوفیزیکی (نوع گیاه، راندمان مصرف آب محصول، تخصیص آب، زیرساخت‌های آبیاری و اثرات تغییر اقلیم)، اقتصادی (هزینه‌های سرمایه‌گذاری و قیمت کالا)، محیطی (خطرات غرقابی شدن و شوری) و اجتماعی (اهداف مدیریتی و طرح‌های جایگزین) است. بنابراین کشاورزان با عوامل متعدد همزمانی مواجه هستند که در صورت نیاز گیاه به آبیاری، باید با در نظر گرفتن این عوامل در مورد زمان و مقدار آبیاری تصمیم‌گیری کنند (Hajirad et al., 2023, Ara et al., 2021; حاجی راد و همکاران، ۱۴۰۰). در راستای تسهیل این موضوع و بهبود بهره‌وری آب مصرفی در بخش کشاورزی امروزه استفاده از مدیریت آبیاری هوشمند بسیار مورد توجه قرار گرفته است. شکل (۱) عوامل مرتبط با مدیریت آبیاری هوشمند را نشان می‌دهد که شامل پایش رشد محصول، پایش خاک، پایش آب و هوا، کیفیت آب، پایش مزرعه با پهباد و برنامه‌ریزی آبیاری است (Jain and Saggi, 2022). به‌منظور برنامه‌ریزی دقیق آبیاری در راستای مدیریت هوشمند آب از روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی همچون منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] (ANN)، روش‌های رگرسیونی و مدل‌های یادگیری ماشین استفاده می‌شود (دهقانی سانیج و همرکاران، ۱۴۰۲). سامانه‌های مبتنی بر تکنیک یادگیری ماشین[2] از تجربیات مدیریت آبیاری قبلی یک متخصص انسانی برای بازتولید رفتار آن متخصص استفاده می‌کنند. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم[3] (DSS) نیز به عبارتی برنامه های کاربردی یادگیری ماشین هستند که از دانش یک متخصص کشاورزی (یا متخصص انسانی) برای یادگیری الگوهای برنامه‌ریزی آبیاری و تقلید از فعالیت‌های انسانی در تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. DSS ها در حین استفاده یک فرآیند یادگیری مداوم دارند و قادرند عملکرد خود را با تغییرات یا اهداف مختلف تطبیق دهند. بنابراین، DSS ها در کشاورزی ابزارهای مفیدی برای مدیریت بهینه آبیاری هستند و نتایج خوبی ارائه کرده‌اند. در برخی از کاربردها برای مدیریت آبیاری، مدل‌های یادگیری با استفاده از داده‌های آب و هوایی ارائه‌شده توسط شبکه‌های ایستگاه‌های هواشناسی توسعه یافته‌اند (Torres-Sanchez et al., 2020).

استفاده از DSSها برای کاربردهای کشاورزی به دلیل تعامل بین فرآیندهای سیستم و عوامل مختلف مانند شرایط هواشناسی، انواع مراتع، محصول و شرایط خاک، با پیچیدگی‌های بالایی مواجه است (Tanure et al., 2013). برای مقابله با این پیچیدگی‌ها، DSS های حرفه ای مدل‌های بهینه‌سازی را به عنوان ماژول‌های اصلی خود برای تولید طرح‌های تخصیص بهینه آب آبیاری برای کاربردهای عملی توسعه داده‌اند. به عنوان مثال (Pereira and Pedras, 2009) و (Pedras et al., 2009) یک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) را برای طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای توسعه دادند و DSS توسعه‌یافته برای یک باغ مرکبات مورد استفاده قرار گرفت. Sing and Nain, 2016 یک DSS را توسعه دادند که در مناطق تپه‌ای هند برای تصمیم‌گیری مناسب در مورد انتخاب رقم، زمان کاشت، آبیاری، کوددهی و برداشت محصولات استفاده شد. در پژوهشی دیگر نیز از یک DSS برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاه کتان برمبنای بارش پیش-بینی‌شده و شاخص تنش آبی شبیه‌سازی شده توسط مدل RZWQRM2 استفاده گردید. تیمارهای مورد بررسی شامل دو فاکتور برنامه‌ریزی آبیاری براساس DSS و سنسور رطوبت خاک و فاکتور سطح آبیاری کامل و کم‌آبیاری بود. نتایج نشان داد که تیمار کم‌آبیاری برنامه‌ریزی شده براساس DSS نسبت به تیمارهای آبیاری کامل برنامه‌ریزی شده براساس DSS و سنسور رطوبت خاک به‌ترتیب کاهش ۱۰ و ۵

1 . Artificial Neural Network
2. Machine Learning
3 . Decision Support Systems

درصدی مصرف آب داشت. بیشترین بهره‌وری آب نیز در تیمار کم‌آبیاری برنامه‌ریزی شده براساس DSS مشاهده گردید (Chen et al., 2020).

شکل ۱. مدیریت هوشمند آب در کشاورزی هوشمند (Saggi and Jain, 2022)

در راستای کمک به احیای دریاچه ارومیه، با توجه به ارتباط مستقیم منابع آب سطحی و زیرزمینی، یکی از راهکارهایی که می‌تواند به کاهش خشکی دریاچه منتهی شود، کاهش برداشت از منابع تغذیه دریاچه است. در راستای کاهش مصرف آب و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی، برنامه‌ریزی آبیاری یعنی آبیاری بر اساس نیاز واقعی گیاه و در زمان و مکان مناسب از بهترین مدیریت‌هایی است که می‌تواند در بخش کشاورزی اجرا شود. سوال اصلی که در برنامه‌ریزی آبیاری مطرح می‌شود این است که ۱) چقدر آبیاری کنیم و ۲) چه زمانی آبیاری کنیم. سامانه DSS می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی در مزرعه عمل کرده و به مدیران مزرعه برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام مزرعه با چه مقدار آب آبیاری شود، کمک کند. باتوجه به این‌که در زمینه طراحی و اجرای سامانه‌های پشتیبانی تصمیم برای ارائه برنامه‌ریزی دقیق آبیاری در کشور تحقیقات زیادی انجام نشده است لذا بادرنظر گرفتن اهمیت این موضوع در پژوهش حاضر یک سامانه تصمیم‌یار آبیاری[1] (IDSS)، به‌منظور ارائه برنامه بهینه آبیاری در مزارع و باغات واقع در دشت مهاباد در حوضه دریاچه ارومیه مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

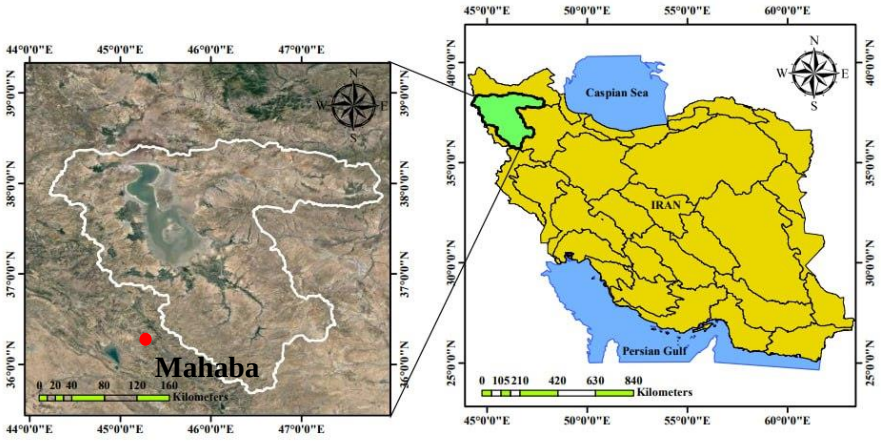
منطقه مطالعاتی

شبکه آبیاری زهکشی مهاباد در استان آذربایجان غربی در شمال شهرستان مهاباد واقع شده است. این شبکه بین ۴۵ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. شکل (۲) موقعیت کلی محدوده شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد را نشان می دهد. وسعت کل شبکه در زمان طراحی آن حدود ۱۸۲۰۰ هکتار بوده و در شرایط فعلی حدود ۱۲۰۰۰ هکتار است.

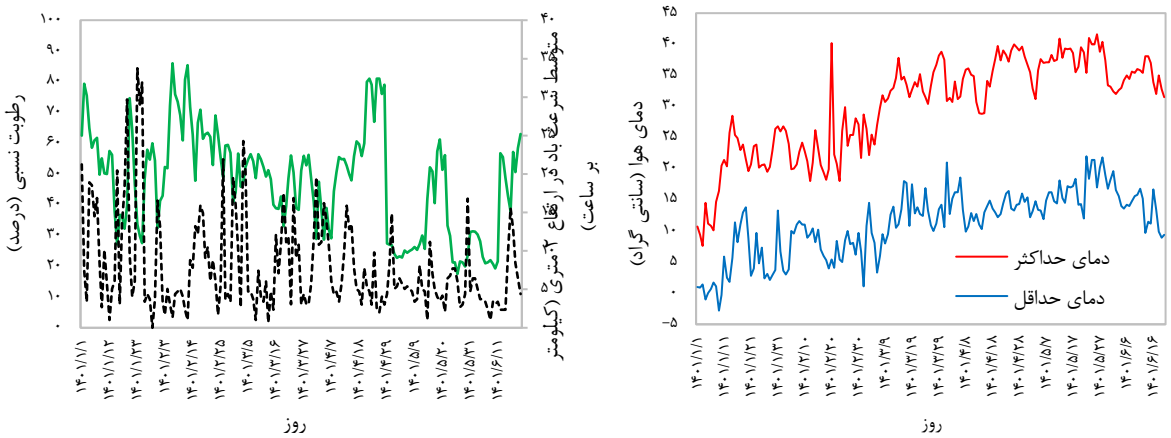
ایستگاه سینوپتیک مهاباد، نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به محدوده موردمطالعه می‌باشد. طی دوره آماری (۱۳۹۰-۱۴۰۰) میزان بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مهاباد حدود ۳۴۷میلی‌متر بوده است. درجه حرارت منطقه‌ی مطالعاتی نشانگر وجود زمستان‌های سرد و طولانی و تابستان معتدل است. متوسط درجه حرارت سالانه و متوسط رطوبت نسبی سالانه منطقه به‌ترتیب ۱۱/۶ درجه سانتی گراد و ۵۹

1 . Irrigation Decision Support System

٪ است. روند تغییرات پارامترهای هواشناسی شامل دمای هوای حداقل و حداکثر برحسب سانتی‌گراد، درصد رطوبت نسبی و متوسط سرعت باد دریافتی از ایستگاه سینوپتیک مهاباد در بازه زمانی فروردین تا شهریور ماه سال ۱۴۰۱ در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۲. موقعیت کلی شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد



شکل ۳. روند تغییرات دمای هوای حداکثر و حداقل و تغییرات درصد رطوبت نسبی و متوسط سرعت باد دریافتی از ایستگاه سینوپتیک مهاباد

مزارع و باغات انتخابی

در این پژوهش تعداد ۸۰ مزرعه یا باغ از چهار روستا در منطقه مهاباد برای اجرای طرح در نظر گرفته شد که از این بین دو مزرعه یا باغ در هر روستا به‌عنوان مزارع و باغات پایش برای ارزیابی سامانه IDSS انتخاب گردید. هر مزرعه یا باغ تحت پایش شامل دو بخش شاهد و تیمار بود که آبیاری بخش شاهد کاملا مطابق برنامه معمول آبیاری کشاورز در منطقه و آبیاری بخش تیمار مطابق برنامه‌ریزی آبیاری ارائه شده توسط سامانه تصمیم‌یار آبیاری انجام گردید. در جدول (۱) مشخصات کلی باغات و مزارع تحت مطالعه ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات کلی باغات و مزارع تحت مطالعه

مزرعه	الگوی کشت	نوع روش آبیاری	مساحت (ha)	منبع آب	دبی (l/s)
N.1	سیب	قطره‌ای	۱	شبکه آبیاری	۳/۶۴
N.2	یونجه	بارانی	۱/۷	شبکه آبیاری	۶/۲۴
N.3	چغندرقند	کرتی	۰/۸۵	شبکه و چاه	۴۰
N.4	چغندرقند	بارانی	۲	شبکه و چاه	۴۰
N.5	سیب	کرتی	۱/۵	شبکه و چاه	۱۰
N.6	سیب	کرتی	۰/۹	شبکه و چاه	۱۰
N.7	گندم	بارانی	۰/۷۳	چاه	۷
N.8	گندم	کرتی	۱/۲	شبکه و چاه	۴/۵

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باغات و مزارع انتخابی در دو عمق مختلف ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر تعیین و در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باغات و مزارع مورد مطالعه

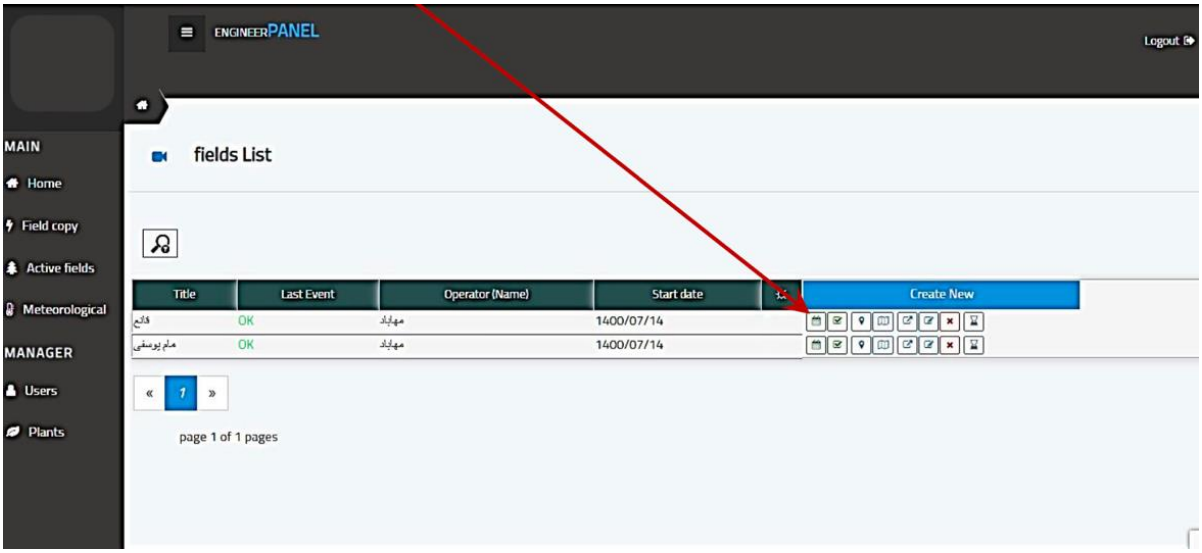
ردیف	عمق خاک (سانتی‌متر)	شوری خاک (ds/m)	اسیدیته	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت خاک	کربن آلی (٪)
N.1	۳۰-۰	۰/۳۲۸	۷/۷۳	۶	۴۹	۴۵	رسی سیلتی	۱/۵۶
	۶۰-۳۰	۰/۹۹۷	۷/۸	۴	۵۳	۴۳	رسی سیلتی	۰/۸۷
N.2	۳۰-۰	۰/۵۶	۷/۹۸	۷	۳۸	۵۵	رسی	۱/۵۳
	۶۰-۳۰	۰/۴۶۵	۷/۹۵	۲	۴۷	۵۱	رسی سیلتی	۰/۹۷
N.3	۳۰-۰	۰/۴۱۷	۷/۶۸	۶	۴۹	۳۴	رسی سیلتی	۱/۱۵
	۶۰-۳۰	۰/۴۲۱	۷/۸۵	۳/۶	۵۷	۳۰	رسی سیلتی	۱/۲۲
N.4	۳۰-۰	۰/۴۱۵	۷/۹۴	۱	۵۷	۴۲	رسی سیلتی	۲/۹۷
	۶۰-۳۰	۰/۳۳۸	۷/۶۹	۱	۶۱	۳۸	رسی سیلتی	۲/۰۶
N.5	۳۰-۰	۰/۵۸	۷/۸۸	۲۵	۳۶	۳۹	لومی رسی	۰/۹
	۶۰-۳۰	۰/۴۸	۷/۷۹	۲۵	۳۷	۳۸	لومی رسی	۱/۴۴
N.6	۳۰-۰	۰/۴۸	۷/۷۷	۱۰	۴۵	۴۵	رسی سیلتی	۰/۹۵
	۶۰-۳۰	۰/۵۴	۷/۷۳	۱۸	۴۵	۳۷	لومی رسی سیلتی	۱/۶۷
N.7	۳۰-۰	۱/۸۰۶	۷/۳۹	۲۶	۶۳	۱۱	لومی سیلتی	۲/۱
	۶۰-۳۰	۳/۲۴	۷/۵	۲۶	۶۳	۱۱	لومی سیلتی	۱/۸۳
N.8	۳۰-۰	۰/۷۷۹	۷/۶۴	۴۸	۴۵	۷	رسی سیلتی	۱/۰۸
	۶۰-۳۰	۱/۳۸۹	۷/۴۶	۴۸	۵۱	۱	رسی سیلتی	۱/۴۳

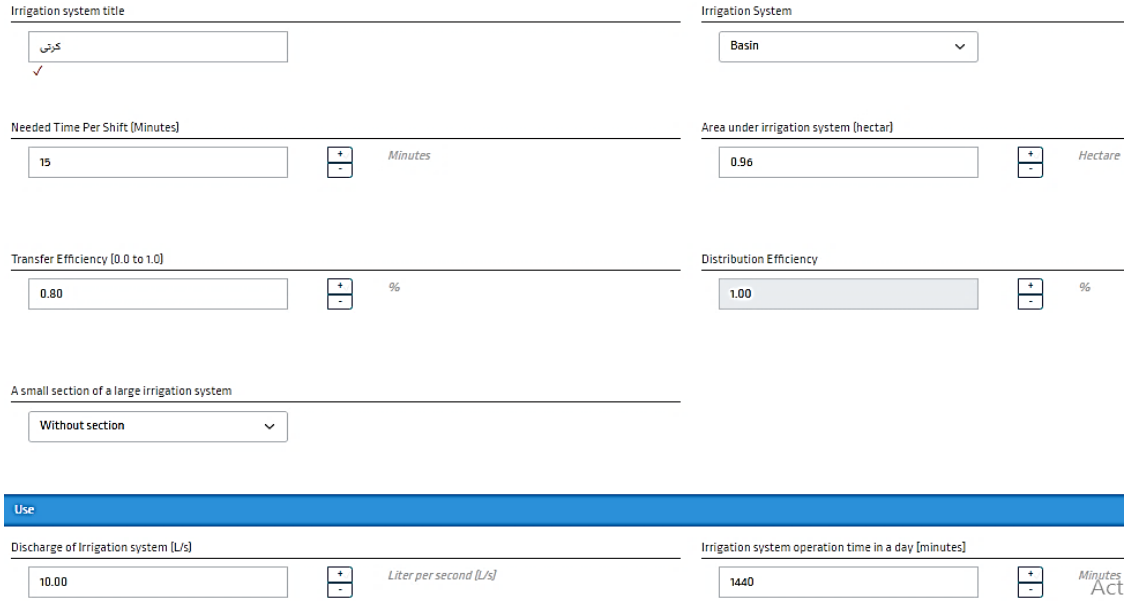
چارچوب کلی سامانه تصمیم‌یار آبیاری (IDSS)

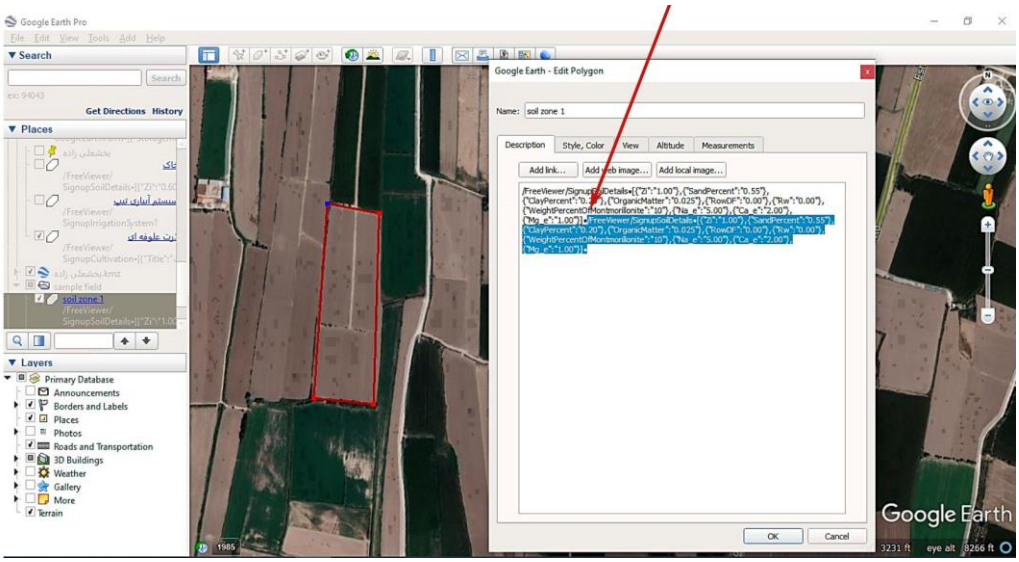
مهمترین چالش پیش روی مدیریت برنامه‌ریزی آبیاری، محدودیت در میزان آب در دسترس و زمان دسترسی به آن است که باعث پیچیدگی مدیریت بهینه مصرف آب کشاورزی در شرایط واقعی مزرعه می‌شود. سامانه IDSS مورد استفاده در این پژوهش به منظور دستیابی به هدف مدیریت بهینه مصرف آب در کشاورزی با در نظر گرفتن زمان و میزان دسترسی به آب طراحی شده است. برای بروزسانی و اصلاح برنامه آبیاری باتوجه به تغییرات روزانه شرایط آب و هوایی، این سامانه به صورت خودکار از اطلاعات آنلاین هواشناسی استفاده می‌کند. هم‌چنین برنامه آبیاری هر بخش از الگوی کشت بر اساس بازخورد ارسالی توسط کشاورز در طول فصل رشد نیز قابل اصلاح است و برنامه‌های آبیاری بعدی براساس شرایط جدید موجود در مزرعه ارائه می‌شود. به‌عنوان مثال چنانچه کشاورز در تاریخی قادر به آبیاری نباشد یا تغییری در ساعت آبیاری ایجاد شود، با اعمال بازخورد در سامانه و تعریف شرایط جدید، سامانه قادر است برنامه‌های آبیاری بعدی را براساس شرایط جدید تعریف شده ارائه نماید. بنابراین، برنامه‌های آبیاری بعدی با توجه به بازخوردهای اعلام شده توسط کشاورز، مجدداً بهینه شده و برای کشاورز ارسال می‌شود. در شکل (۴) تصاویری از محیط سامانه IDSS برای ورود اطلاعات و ساخت مزارع و باغات تحت پایش و در شکل (۵) نیز فلوچارت فرآیند پیاده‌سازی سامانه IDSS ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد ساخت مزارع و وارد کردن لایه‌های اطلاعاتی خاک، گیاه و سامانه آبیاری در محیط Google Earth انجام می‌شود (شکل ۴).

اطلاعات ورودی موردنیاز در سامانه تصمیم‌یار آبیاری

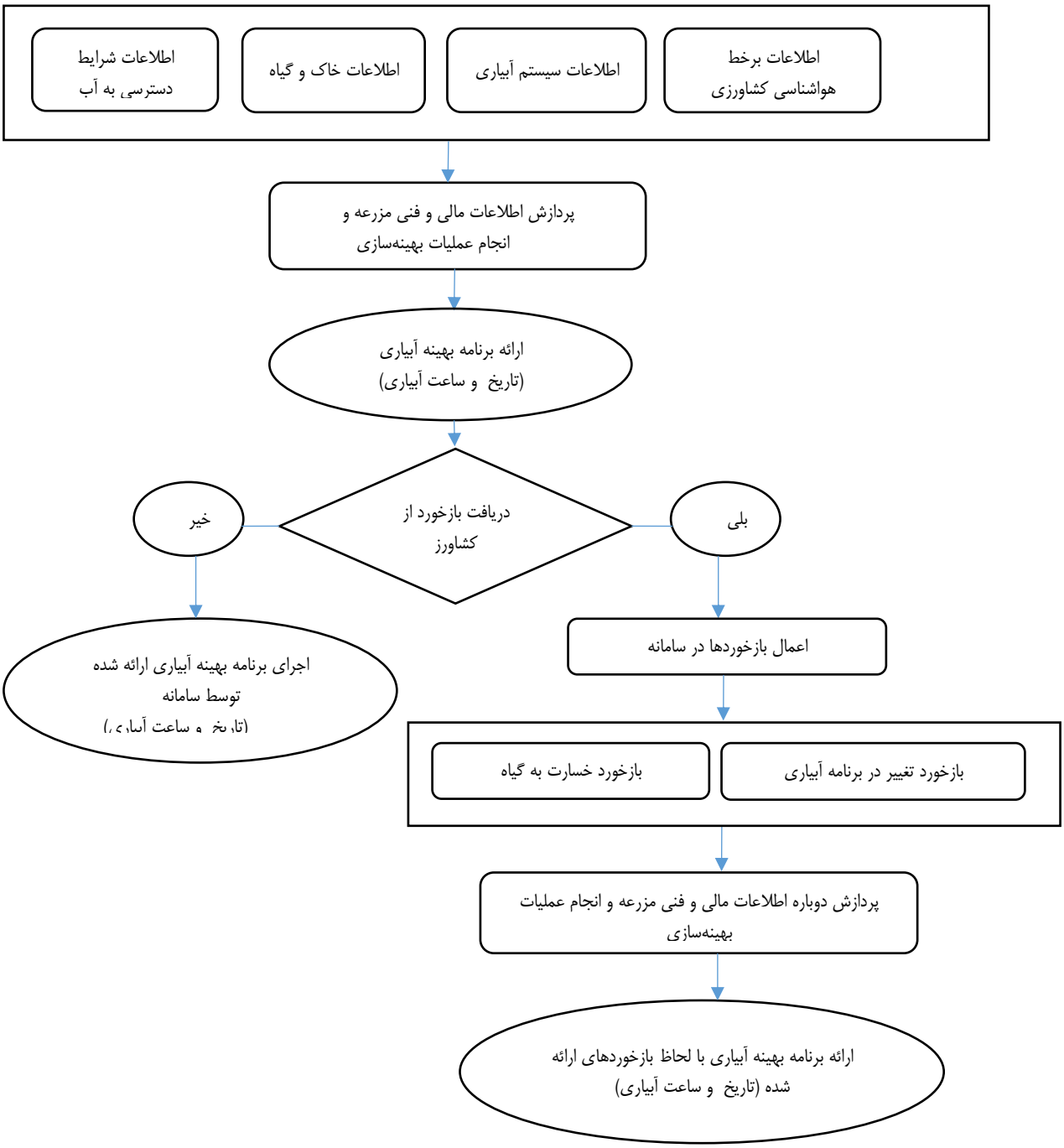
سامانه IDSS با استفاده از اطلاعات ورودی موردنیاز شامل اطلاعات برخط هواشناسی کشاورزی، اطلاعات مربوط به شرایط دسترسی مزرعه به آب، اطلاعات مربوط به ویژگی های خاک و گیاه، اطلاعات مربوط به منبع ذخیره آب در صورت وجود در مزرعه و اطلاعات مربوط به نوع سیستم آبیاری مورد استفاده در مزرعه، برنامه بهینه آبیاری را برای الگوی کشت موجود در مزرعه ارائه می‌کند (جدول ۳). در طی دوره رشد گیاه این امکان وجود دارد که کشاورز بتواند رخدادهای داخل مزرعه از قبیل تغییر در ساعت یا تاریخ آبیاری و خسارت وارده به گیاهان را به‌صورت بازخورد به سامانه معرفی کند. در این شرایط سامانه طبق وضعیت موجود در مزرعه سناریوهای جدید را شبیه‌سازی کرده و برنامه بهینه آبیاری جدید را مجددا برای روزهای بعدی ارائه می‌دهد. داده‌های ورودی مورد نیاز براساس جدول (۳) پس از اندازه‌گیری و جمع‌آوری برای باغات و مزارع تحت پایش در سامانه معرفی گردید.







شکل ٤. تصاویری از محیط سامانه تصمیم‌یار آبیاری (IDSS) برای ورود اطلاعات و ساخت باغات و مزارع تحت پایش



شکل ۵. فلوچارت نحوه پیاده‌سازی سامانه تصمیم‌یار آبیاری (IDSS)

جدول ۳. اطلاعات ورودی موردنیاز سامانه تصمیم‌یار آبیاری (IDSS)

اطلاعات برخط هواشناسی کشاورزی	اطلاعات شرایط دسترسی مزرعه به آب	اطلاعات خاک و گیاه	اطلاعات منبع ذخیره آب (درصورت وجود)	اطلاعات سیستم‌های آبیاری
دما	زمان دسترسی	نوع گیاه و ویژگی‌های فنولوژیکی آن و تاریخ کاشت و برداشت	حجم منبع ذخیر	نوع سیستم آبیاری
رطوبت	دبی منبع آب	بافت، درصد مواد آلی و تراکم لایه‌های خاک	مشخصات ایستگاه پمپاژ	دبی سیستم‌های آبیاری
باد	کیفیت آب	اطلاعات شیمیایی لایه‌های خاک	مقدار حجم آب اولیه	مشخصات فنی و عملکردی
بارش	–	لایه‌های نفوذناپذیر	–	–
ساعت آفتابی	–	–	–	–

شبیه سازی بیلان آب خاک در سامانه تصمیم‌یار آبیاری

سامانه قادر است بیلان آب خاک را در اعماق مختلف خاک و هم‌چنین در خاک‌های لایه‌بندی شده شبیه‌سازی کند. روش کار مورد استفاده در این بخش از IDSS کاملا مشابه روش به‌کار رفته در نرم‌افزار Aquacrop (Raes *et al.*, 2018) است. برای شبیه‌سازی بیلان آب خاک در منطقه توسعه ریشه گیاه نیاز است که بدانیم چه مقدار از بارندگی و آب آبیاری به‌صورت برگاب و رواناب تلف شده است (R) (ASAE, 1996)، چه‌مقدار از بارندگی یا آبیاری از پروفیل خاک در محدوده توسعه ریشه به‌صورت نفوذ عمقی زهکشی‌شده است (Dp)، چه‌مقدار از آن در پروفیل خاک ذخیره شده و رطوبت خاک را تغییر داده است (ΔS) و نهایتا چه‌مقدار صرف تبخیر–تعرق گیاه شده است. محاسبات مربوط به هریک از اجزای بیلان آب خاک در سامانه IDSS لحاظ شده است.

تنش‌های گیاهی لحاظ شده در سامانه تصمیم‌یار آبیاری

تنش های محیطی مهمترین عامل کاهش دهنده عملکرد محصولات کشاورزی در سطح جهان هستند. چنانچه تنش های محیطی حادث نمی شدند، عملکردهای واقعی باید برابر با عملکردهای پتانسیل گیاهان می‌بود. در حالی که در بسیاری از گیاهان زراعی متوسط عملکرد واقعی گیاهان ۱۰–۲۰ درصد عملکرد پتانسیل آنان است. گیاهان همانند سایر موجودات زنده تحت تنش‌های مختلف از جمله تنش شوری، تنش آبی، سرما، یخ زدگی، دمای بالا، فلزات سنگین، تنش غرقابی، تابش پرتوهای فرابنفش و آسیب های ناشی از کمبود و یا افزایش برخی از عناصر خاک قرار می‌گیرند. تنش‌های مختلف وارده به گیاهان باتوجه به این‌که تاثیر مستقیم بر عملکرد محصول دارد در سامانه IDSS گنجانده شده و در طی دوره شبیه‌سازی تمامی تنش‌های گیاهی محاسبه شده و برنامه‌ریزی آبیاری بهینه براساس حداکثر تنش محاسبه شده انجام می‌شود.

کم‌آبیاری در سامانه تصمیم‌یار آبیاری

بهینه‌سازی برنامه آبیاری در سامانه تصمیم‌یار براساس اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده است. در طی دوره رشد بر اساس الگوی کشت موجود در مزرعه سامانه منابع آب محدود را بر اساس دوره‌های فنولوژیکی رشد گیاه تخصیص می‌دهد. در هر سناریو، کم‌آبیاری در دوره‌هایی از رشد گیاه که حساس به کم‌آبی نیست اعمال می‌شود و در نهایت سناریویی که بیش‌ترین درآمدزایی را برای کشاورز داشته باشد به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب و معرفی می‌شود. اعمال کم‌آبیاری در سامانه بر اساس روش استوارت ارائه شده در نشریه فائو–۵۶ است که از فرم تصحیح‌شده معادله استوارت به‌شکل زیر استفاده شده است (Pereira *et al.*, 2020):

$$Y_a = Y_m - \frac{Y_m K_y (T_c - T_{c\,act})}{T_c} \qquad \text{رابطه ۱)}$$

در این رابطه K_y ضریب واکنش محصول، Y_m و Y_a به‌ترتیب 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 معادله قبلی استوارت شده است.

در نشریه فائو برای هر یک از دوره‌های رشد گیاه یک ضریب واکنش محصول (K_y) ارائه شده است. در این نشریه ضریب واکنش محصول برای گیاهان محدودی موجود است ضمن اینکه برای برخی گیاهان در برخی از مراحل رشد عددی گزارش نشده است. باتوجه به این‌که مقدار ضریب واکنش بر اساس رقم کشت شده، بافت خاک و شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی متفاوت است، بنابراین استفاده از مقادیر گزارش شده در نشریه فائو–۵۶ باعث افزایش عدم قطعیت در محاسبات می‌شود. لذا برای حل این چالش در سامانه IDSS از الگوریتم ماشین‌های یادگیری استفاده شده است (Grag and Dadhich, 2014). در این روش از چندین کشاورز در مناطق مختلف برای یک رقم خاص از زراعت مثلا گندم رقم پیشتاز، تاریخ‌های آبیاری و عملکرد محصول برای سال‌های گذشته دریافت شد. سپس با استفاده از روش بیلان آب خاک مقدار تبخیر–تعرق واقعی را به‌دست آورده و با داشتن مقدار پتانسیل تبخیر–تعرق و جایگذاری در رابطه زیر و با تغییر مقدار پارامتر برای دوره‌های مختلف رشد رابطه زیر حداقل گردید (Grag and Dadhich, 2014):

$$\text{Minimize} \sum_{J=1}^{ND} \left[\left\{ 1 - \prod_{i=1}^{n} \left\{ 1 \text{mod_k}_{y-MULTI_i} \left(1 - \frac{ET_{aJdi}}{ET_{mi}} \right) \right\} \right\} - \left(1 - \frac{y_{aJ}}{y_m} \right) \right]^2 \qquad \text{رابطه ۲)}$$

در این معادله J ایندیکس مربوط به دسته‌های مختلف سطوح کم‌آبیاری و ND کل تعداد دسته‌های مختلف سطوح کم‌آبیاری، $\text{mod_k}_{y-MULTI_i}$ فاکتور کاهش عملکرد تصحیح شده برای iامین دوره از رشد گیاه در رویکرد ضربی، Jdi ایندیکس سطوح کم‌آبیاری در *i*امین دوره از Jامین دسته و y_{aJ} عملکرد واقعی در J امین *دسته* از سطوح کم‌آبیاری است.

بدین ترتیب مقدار بهینه ضریب واکنش عملکرد برای منطقه موردنظر و رقم کشت شده مورد نظر در سامانه تصمیم‌یار به دست می‌آید. ماشین‌های یادگیر پس از هربار اجرا دقیق‌تر شده و در سالیان بعدی اطلاعات دقیق‌تری از پارامتر موردنظر در اختیارمان قرار

می‌دهند.

فیزیولوژی رشد محصول در سامانه تصمیم‌یار آبیاری

برای اعمال کم‌آبیاری سامانه تصمیم‌یار دوره‌های مختلف رشد گیاه را در نظر گرفته و سعی می‌کند در صورت امکان کم‌آبیاری را در دوره‌ای از رشد گیاه که حساسیت کم‌تری به تنش آبی دارد اعمال کند. بنابراین نیاز است دوره‌های فنولوژیکی رشد گیاه تعیین گردد تا مشخص شود در روزهای مختلف کشت، گیاه در چه مرحله‌ای از رشد خود قرار دارد. بدین منظور سامانه پارامتر درجه-روز-رشد مورد نیاز برای تکمیل دوره‌های فنولوژیکی رشد گیاه را با استفاده از داده‌های هواشناسی برخط دریافتی از ایستگاه‌های مجازی محاسبه کرده و بدین صورت دوره‌های رشد گیاه تعیین می‌شود.

فرآیند مالی و اقتصادی مهندسی

سامانه تصمیم‌یار سناریوهای مختلفی را برای برنامه‌ریزی آبیاری الگوهای کشت در نظر می‌گیرد که هر سناریو منجربه درآمدی برای کشاورز می‌شود. از بین سناریوهای پیشنهادی گزینه‌ای به‌عنوان برنامه بهینه آبیاری انتخاب می‌شود که در درجه اول برای کشاورز سودآورد باشد و در درجه بعدی نرخ بازگشت داخلی آن بیش‌تر از سود تضمین‌شده بانکی باشد.

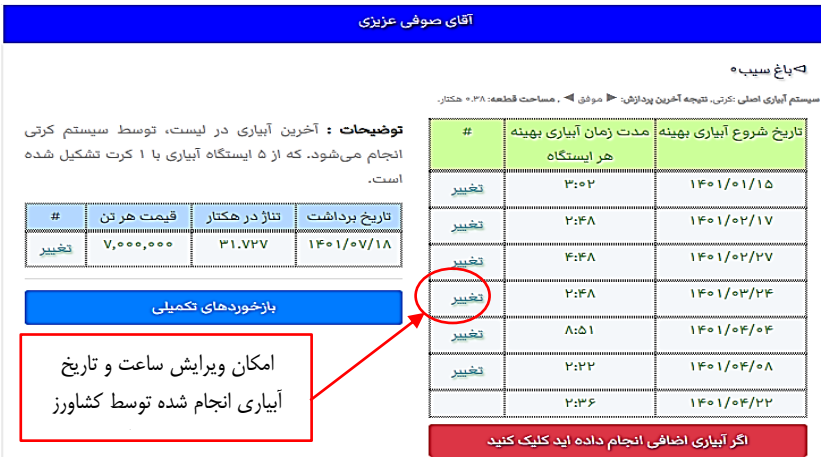
داده‌های اندازه‌گیری‌شده در مزرعه

به‌منظور بررسی عملکرد سامانه IDSS به‌کار گرفته شده در این پژوهش، مقدار رطوبت خاک در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری محدوده توسعه ریشه گیاه برای مزارع تحت پایش به روش وزنی در دو نقطه از مزرعه قبل و بعد از هر آبیاری اندازه‌گیری شد. میزان عمق آبیاری با استفاده از اندازه‌گیری دبی و زمان آبیاری برای بخش تیمار و شاهد محاسبه شد. هم‌چنین میزان عملکرد محصول نیز در پایان فصل کشت در باغات و مزارع تحت پایش به تفکیک در بخش تیمار و شاهد اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی سامانه IDSS، مقدار بهره‌وری آب کشاورزی در انتهای دوره رشد برای باغات و مزارع مورد بررسی در دو بخش تیمار و شاهد به‌صورت نسبت عملکرد محصول تولیدی (Yeild) به مقدار آب مصرفی (Irrg) برحسب کیلوگرم بر مترمکعب با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

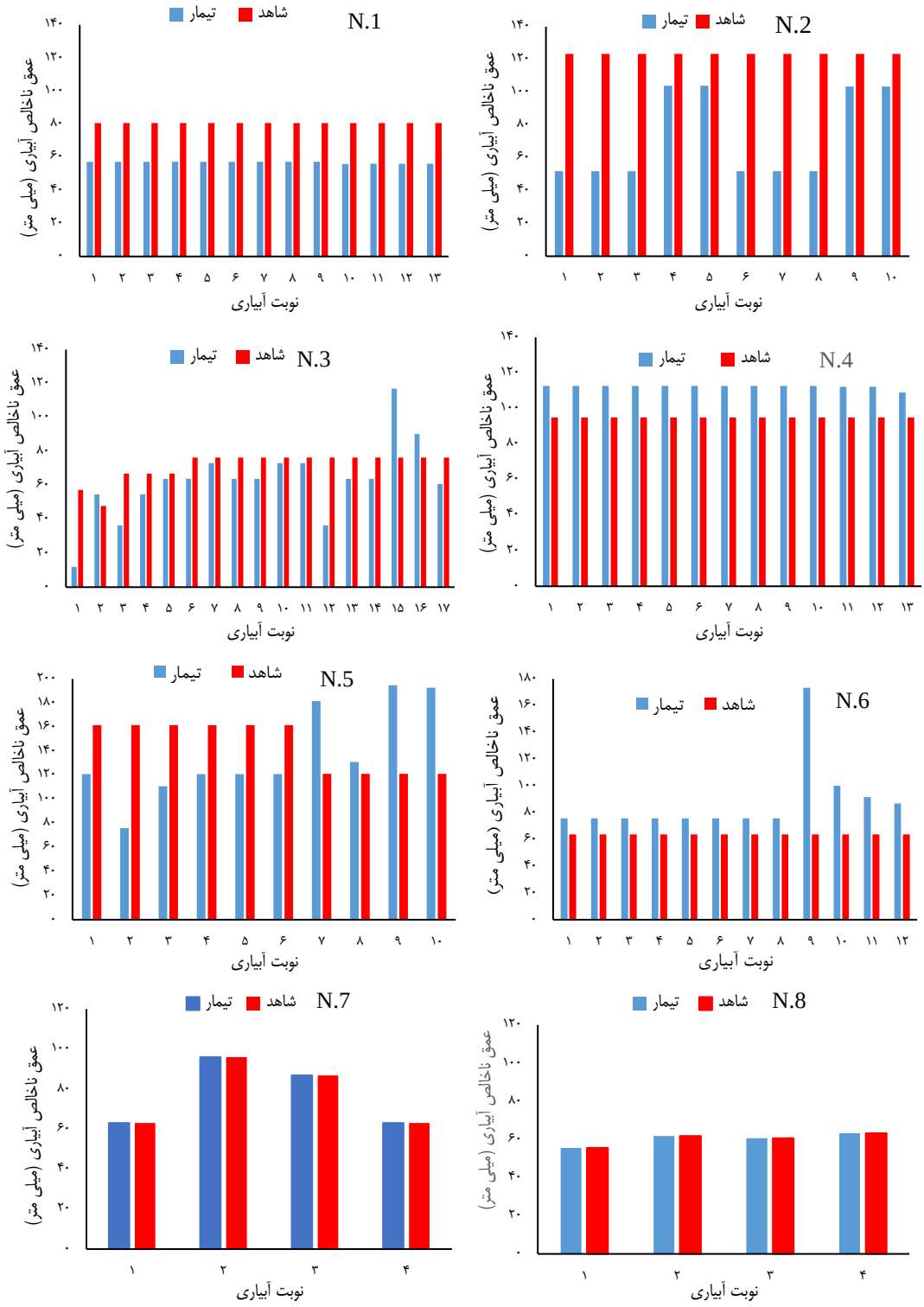
$$WP = \frac{Yield\ (kg/ha)}{Irrg\ (m^3/ha)}$$ رابطه ۳)

نتایج و بحث

در باغات و مزارع تحت پایش، آبیاری در بخش شاهد به‌طور کامل توسط کشاورز مدیریت گردید و در بخش تیمار برنامه بهینه آبیاری ارائه شده توسط سامانه IDSS تا حدامکان (با لحاظ کردن بازخوردهایی از طرف کشاورز در مورد تغییر تاریخ‌ها و ساعات آبیاری باتوجه به شرایط موجود در محل از نظر دسترسی به آب یا وجود مسائل دیگر) در طول دوره رشد اجرا شد. منظور از برنامه بهینه آبیاری ارائه شده توسط سامانه درواقع برنامه‌ریزی آبیاری پیش‌بینی‌شده توسط سامانه IDSS برای دوره رشد گیاه است. لذا باتوجه به اعمال بازخوردهایی از طرف کشاورز در برنامه بهینه ارائه شده توسط سامانه، باید در نظر داشت که برنامه آبیاری اجرا شده در باغات و مزارع بخش تیمار می‌تواند متفاوت از برنامه بهینه اولیه ارائه شده توسط سامانه باشد. برنامه بهینه آبیاری ارائه شده توسط سامانه IDSS (خروجی سامانه) شامل تاریخ و مدت زمان انجام آبیاری است که نمونه‌ای از آن در شکل (۶) ارائه شده است.



شکل ٦: نمونه خروجی ارائه شده توسط IDSS شامل تاریخ و مدت زمان آبیاری



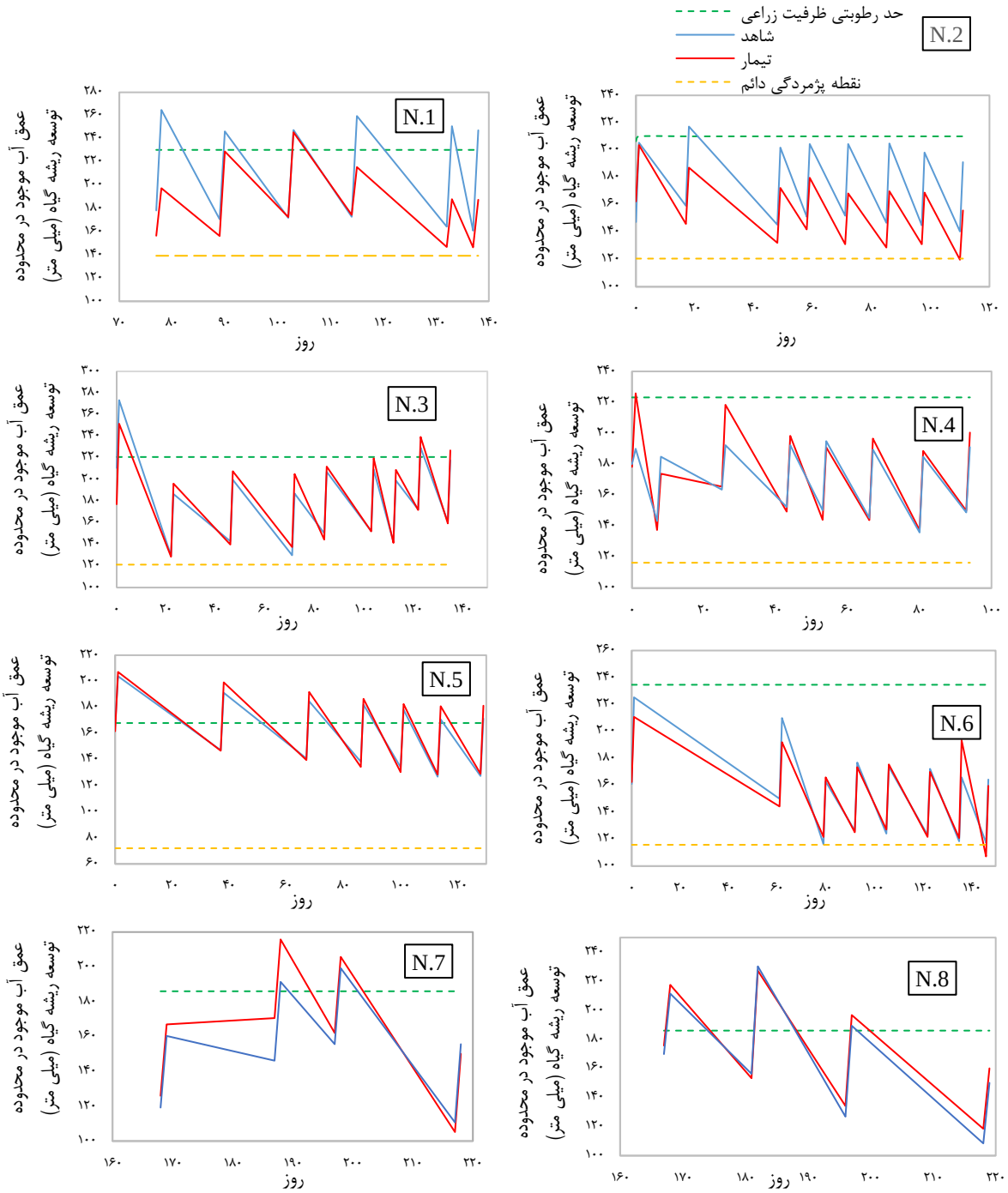
شکل ۷. مقایسه مقادیر عمق ناخالص آبیاری در بخش شاهد و تیمار در باغات و مزارع تحت پایش

طبق بررسی به عمل آمده دلیل افزایش عمق آب آبیاری در این دو تیمار را می‌توان طولانی بودن مدت زمان پیشروی آب در کرت‌های آبیاری دانست که باعث گردید سامانه IDSS برای تامین نیاز آبی درختان و گیاهان انتهای کرت، عمق آب آبیاری را افزایش دهد چرا که در غیر این صورت کفایت آبیاری در انتهای کرت یا باغ تامین نمی‌شد. بنابراین بهینه نبودن سیستم آبیاری اجرا شده در این باغات و مزارع باعث افزایش عمق آب مصرفی گردیده که در صورت اجرای تکنیک‌های مناسبی هم‌چون Cut-Back در این موارد می‌توان به بهبود شرایط سیستم آبیاری کمک کرد، ضمن این‌که سامانه IDSS قابلیت اجرای برنامه آبیاری در شرایط Cut-Back را نیز دارا است.

در دو مزرعه گندم مورد بررسی نیز باتوجه به نبود اختلاف چندان بین بخش شاهد و تیمار می‌توان نتیجه گرفت که برنامه آبیاری انجام شده توسط کشاورز با برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS مطابقت داشته و بهینه است.

تغییرات رطوبتی خاک

در طی فصل رشد نمونه‌های رطوبتی خاک چندین مرحله قبل از آبیاری درنقاط مختلف بخش شاهد و تیمار تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک برداشت و مقادیر رطوبت به روش وزنی اندازه‌گیری شد. تغییرات رطوبتی خاک در بخش شاهد و تیمار برای تعدادی از آبیاری‌ها در باغات و مزارع تحت پایش در شکل (۸) ارائه شده است.



شکل۸. تغییرات رطوبتی خاک در بخش شاهد و تیمار باغات و مزارع تحت پایش

همان‌طور که مشاهده می‌شود در باغ سیب N.1 تحت سامانه آبیاری قطره‌ای مقدار رطوبت خاک پس از آبیاری در بخش شاهد بیش از حد ظرفیت زراعی خاک بوده و درنتیجه مقداری بیش‌آبیاری در بخش شاهد توسط کشاورز اعمال شده است. در مزرعه یونجه N.2 نیز

استفاده از سامانه IDSS در بخش تیمار ضمن کاهش عمق آب آبیاری (۲۹/۵٪) تغییر محسوسی در عملکرد محصول ایجاد نکرد چراکه با توجه به نمودار رطوبتی آن در بخش تیمار رطوبت منطقه توسعه ریشه گیاه، به کمتر از حد نقطه پژمردگی دائم نرسید و گیاه تحت شرایط تنش آبی که باعث تاثیر منفی بر عملکرد محصول می‌شود، قرار نگرفت. در باغات و مزارع دیگر نیز سعی بر این بوده است که رطوبت منطقه توسعه ریشه گیاه به کمتر از حد نقطه پژمردگی دائم که باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود، کاهش نیابد.

عملکرد محصول و بهره‌وری آب

نتایج مربوط به مقادیر پارامترهای مورد بررسی در باغات و مزارع تحت پایش در جدول (۴) ارائه شده است. باتوجه به اطلاعات جدول، اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط سامانه IDSS در بخش تیمار باغ N.1 باعث کاهش ۲۵۳/۶ میلی‌متر عمق آب مصرفی در طی دوره رشد و افزایش ۲/۳ تن در هکتار عملکرد نسبت به بخش شاهد گردید که در نهایت منجربه افزایش ۳/۸ کیلوگرم بر مترمکعب بهره‌وری مصرف آب در باغ سیب تحت سامانه آبیاری قطره‌ای شده است. هم‌چنین در بخش تیمار مزرعه N.2 اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط سامانه باعث کاهش ۳۰۹ میلی‌متر عمق آب مصرفی در طی دوره رشد و افزایش ۸۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد نسبت به بخش شاهد شده است که در نهایت منجربه افزایش ۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب بهره‌وری مصرف آب در مزرعه یونجه تحت سامانه آبیاری بارانی شده است.

جدول ٤. مقادیر پارامترهای مورد بررسی در باغات و مزارع تحت پایش

شماره مزرعه	تعداد آبیاری‌ها	عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر)			عملکرد محصول (تن در هکتار)			بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)		
		شاهد	تیمار	درصد تغییرات	شاهد	تیمار	درصد تغییرات	شاهد	تیمار	درصد تغییرات
N.1	۱۰	۶۱۶/۸	۳۶۳/۲	−۴۱/۱	۲۸/۲	۳۰/۵	+۱۰/۳	۴/۶	۸/۴	+۸۷/۳
N.2	۱۳	۱۰۴۸/۳	۷۳۹/۳	−۲۹/۵	۳/۵	۳/۵	+۲/۳	۰/۳	۰/۵	+۴۵/۱
N.3	۱۳	۱۲۳۴/۴	۱۴۶۰/۲	+۱۸/۳	۸۰/۶	۹۲/۳	+۱۴/۵	۶/۵	۶/۳	−۳/۲
N.4	۱۷	۱۲۲۳/۱	۱۰۶۴/۷	−۱۳	۹۱	۹۲/۷	+۱/۹	۷/۴	۸/۷	+۱۷/۱
N.5	۱۲	۷۶۴/۹	۱۰۵۷/۶	+۳۸/۳	۴۵/۶	۴۸/۹	+۷/۴	۶	۴/۶	−۲۲/۳
N.6	۱۰	۱۴۵۵	۱۴۱۳/۸	−۲/۸	۹/۲	۱۰/۳	+۱۲/۶	۰/۶	۰/۷	+۱۵/۹
N.7	۴	۳۰۶/۹	۳۰۶/۹	صفر	۹/۶	۹/۶	صفر	۳/۱	۳/۱	صفر
N.8	۴	۷۲۱/۵	۷۲۱/۵	صفر	۶	۶	صفر	۰/۸	۰/۸	صفر

اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط سامانه در بخش تیمار مزرعه N.3 تحت آبیاری کرتی باعث افزایش ۲۲۵/۸ میلی‌متر عمق آب مصرفی در طی دوره رشد و افزایش ۱۱/۷ تن در هکتار عملکرد تولیدی نسبت به بخش شاهد گردیده است که در نهایت منجر به کاهش ۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بهره‌وری مصرف آب در مزرعه مذکور گردیده است. در بخش تیمار مزرعه N.4 نیز اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS باعث کاهش ۱۵۸/۴ میلی‌متر عمق آب مصرفی در طی دوره رشد و افزایش ۱/۸ تن در هکتار عملکرد تولیدی نسبت به بخش شاهد گردیده است که در نهایت منجربه افزایش ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بهره‌وری مصرف آب در این مزرعه تحت سیستم آبیاری بارانی شده است. اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط سامانه در بخش تیمار باغ N.5 باعث افزایش ۲۹۲/۷ میلی‌متر عمق آب مصرفی در طی دوره رشد و افزایش ۳/۴ تن در هکتار عملکرد تولیدی نسبت به بخش شاهد گردیده است که در نهایت منجربه کاهش ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بهره‌وری مصرف آب در باغ سیب تحت سامانه آبیاری کرتی شده است. در بخش تیمار باغ N.6 نیز اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط سامانه باعث کاهش ۴۱/۲ میلی‌متر عمق ناخالص آبیاری در طی دوره رشد و افزایش ۱/۲ تن در هکتار عملکرد تولیدی نسبت به بخش شاهد شده است که در نهایت منجربه افزایش ۰/۱ کیلوگرم بر مترمکعب بهره‌وری مصرف آب در باغ سیب تحت سامانه آبیاری قطره‌ای گردیده است. در دو مزرعه گندم N.7 و N.8 اعمال برنامه آبیاری ارائه شده توسط سامانه تغییری در عمق آب مصرفی، عملکرد و بهره‌وری آب ایجاد نکرده است.

در جدول (۴) درصد تغییرات مقادیر آب مصرفی، عملکرد محصول و بهره‌وری آب در بخش تیمار و شاهد مزارع و باغات تحت پایش نیز ارائه گردیده است. بیشترین مقدار کاهش عمق ناخالص آبیاری مربوط به باغ سیب تحت سیستم آبیاری قطره‌ای (N.1) است که اجرای برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS در بخش تیمار باعث کاهش حدود ۴۱ درصدی عمق ناخالص آبیاری و افزایش ۸۷/۳ درصدی

بهره‌وری آب شده است. بیش‌ترین اثربخشی استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری ارائه شده توسط سامانه IDSS مربوط به مزرعه یونجه تحت سامانه آبیاری بارانی (N.2) بوده است که با کاهش ۲۹/۵ درصدی عمق آبیاری میزان بهره‌وری آب در این مزرعه حدود ۴۵ درصد افزایش داشته است. کم‌ترین اثربخشی استفاده از سامانه IDSS نیز مربوط به باغ سیب تحت سامانه آبیاری کرتی (N.5) است که اجرای برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS باعث افزایش حدود ۳۸ درصدی مصرف آب در بخش تیمار نسبت به بخش شاهد و کاهش ۲۲/۳ درصدی بهره‌وری آب گردیده است. همان‌طور که قبلا ذکر گردید بهینه نبودن کرت‌های آبیاری و بالا بودن زمان پیشروی و سعی برای تامین نیاز آبی درختان انتهای باغ دلیل افزایش عمق آبیاری در بخش تیمار نسبت به شاهد توسط سامانه IDSS است.

در زمینه استفاده از سامانه‌های تصمیم‌یار آبیاری در خارج از کشور نیز مطالعات مختلفی توسط پژوهشگران انجام شده است (Recio et al., 2003; Bazzani, 2005a; khan et al., 2008; Oad et al., 2009; Navarro-Hellin et al., 2016; Giusti and Marsili-Libelli, 2015). بررسی مطالعات انجام شده نشان داده است که ۱۵ عامل بر متقاعد کردن کشاورزان و مشاوران برای استفاده از سامانه‌های تصمیم‌یار موثر هستند که باید در طراحی سامانه‌های تصمیم‌یار آبیاری توسط توسعه‌دهندگان این سامانه‌ها در نظر گرفته شود: قابلیت استفاده، مقرون به‌صرفه بودن، رابط کاربری و عملکرد مناسب و قابلیت انطباق‌پذیری با نیازهای کشاورزان (Rose et al., 2016).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به اجرا و بررسی یک سامانه تصمیم‌یار آبیاری (IDSS) به‌منظور ارائه برنامه‌ریزی آبیاری بهینه باغات و مزارع واقع در دشت مهاباد پرداخته شد. باتوجه به لزوم اجرای کشاورزی پایدار در حوضه دریاچه ارومیه، هدف این مطالعه ارائه برنامه بهینه آبیاری متناسب با نیاز واقعی گیاه برای ارتقا بهره‌وری آب کشاورزی در باغات و مزارع مورد بررسی بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین درصد تغییرات عمق آبیاری مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای بود که اجرای برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS در بخش تیمار باعث کاهش حدود ۴۱ درصدی عمق آب آبیاری گردید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مزارع و باغاتی که دارای سامانه‌های آبیاری تحت فشار قطره‌ای می‌باشند نیز اجرای برنامه‌ریزی صحیح آبیاری به‌منظور افزایش کارایی سیستم ضروری است و صرفا پیاده‌سازی یک سیستم آبیاری تحت فشار بدون ارائه برنامه‌ریزی صحیح آبیاری نمی‌تواند باعث کاهش آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب گردد. هم‌چنین مطابق با نتایج به‌دست آمده در سامانه آبیاری کرتی اجرای برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS در بخش تیمار باعث افزایش آب مصرفی نسبت به بخش شاهد شد. دلیل این امر بالا بودن زمان پیشروی در این باغات و مزارع است .در سامانه‌های آبیاری بارانی نیز اجرای برنامه آبیاری ارائه شده توسط IDSS باعث کاهش عمق آب آبیاری گردید. هم‌چنین بررسی عملکرد محصول در بخش شاهد و تیمار باغات و مزارع تحت پایش حاکی از افزایش عملکرد محصول در بخش تیمار نسبت به بخش شاهد در تمامی سامانه‌های آبیاری مورد بررسی بود که بیشترین درصد افزایش مربوط به سامانه آبیاری کرتی با افزایش حدود ۱۴/۵ درصدی عملکرد محصول تولیدی چغندرقند است. بیشترین درصد تغییرات بهره‌وری آب مصرفی نیز مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای با افزایش ۸۷/۳ درصدی است. کمترین میزان تغییرات بهره‌وری آب نیز مربوط به باغ سیب تحت سامانه آبیاری کرتی است که کاهش ۲۲/۳ درصدی بهره‌وری آب در آن مشاهده می‌شود که دلیل آن افزایش عمق آب آبیاری ب تامین نیاز آبی گیاهان در انتهای کرت‌های آبیاری بود. باتوجه به نتایج به‌دست آمده در سامانه‌های آبیاری کرتی به‌منظور افزایش بهره‌وری آب نیاز به اجرای تکنیک‌های بهینه‌سازی سامانه آبیاری مانند اجرای روش Cut-Back است. بنابراین به‌منظور افزایش کارایی استفاده از سامانه‌های پشتیبانی تصمیم در ارائه برنامه‌ریزی آبیاری بهینه باید سامانه آبیاری موجود مطلوب بوده و یا در صورت نیاز بهینه‌سازی شود. باتوجه به نتایج کلی به‌دست آمده در این پژوهش که نشان دهنده کاهش عمق آب آبیاری بدون کاهش عملکرد محصول درصورت استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری بهینه ارائه شده توسط IDSS می‌باشد، لذا در راستای توسعه پایدار کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه کاربرد سامانه‌های پشتیبانی تصمیم برای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی توصیه می‌گردد. هم‌چنین در بحث استفاده از DSS ها در بخش کشاورزی مسئله ترویج، پذیرش و آگاهی‌بخشی کشاورزان در این زمینه باید بسیار مورد توجه قرار گیرد.

منابع

حاجی راد, ایمان, میرلطیفی, سید مجید, دهقانی سانیج, حسین, و محمدی, ساناز. (۱۴۰۰). تعیین تبخیر–تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای به روش بیلان آب خاک تحت سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای با مدیریت پالسی و پیوسته (مطالعه موردی: دشت ورامین). تحقیقات آب و خاک ایران, ۵۲(۷), ۱۸۶۹–۱۸۸۰.

دهقانی سانیج, حسین, امامی, سمیه, امینی, عبدالله, رضاوردی‌نژاد, وحید, نورجو, امیر, محمدی, ساناز, طباطبایی, حسن, و جمشیدی, بهاره. (۱۴۰۲). توسعه یک سیستم تصمیم‌یار آبیاری و بررسی انطباق‌پذیری آن با شرایط شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد. مدل سازی و مدیریت آب و خاک (انتشار آنلاین).

محمدی, ساناز, میرلطیفی, سید مجید, همایی, مهدی, دهقانی سانیج, حسین, و حاجی راد, ایمان. (۱۴۰۰). تعیین ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای در سیستم آبیاری قطره‌ای پالسی به‌روش بیلان آب خاک در منطقه ورامین. تحقیقات آب و خاک ایران, ۵۲(۵), ۱۲۲۳-۱۲۳۷.

REFERENCES

Ara, I., Turner, L., Harrison, M. T., Monjardino, M., DeVoil, P., & Rodriguez, D. (2021). Application, adoption and opportunities for improving decision support systems in irrigated agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, *257*, 107161.

Bazzani, G. M. (2005). A decision support for an integrated multi-scale analysis of irrigation: DSIRR. *Journal of Environmental Management*, *77*(4), 301-314.

Chen, X., Qi, Z., Gui, D., Sima, M. W., Zeng, F., Li, L., ... & Gu, Z. (2020). Evaluation of a new irrigation decision support system in improving cotton yield and water productivity in an arid climate. *Agricultural Water Management*, *234*, 106139.

Dehghanisanij, H., Emami, S., Amini, A., Rezaverdinejad, V., Nourjou, A., Mohammadi, S., Tabatabaii, H., & Jamshidi, B. (2023). Development of an irrigation decision support system and investigating its compatibility with the conditions of Mahabad irrigation and drainage network. Water and Soil Management and Modelling, (), -. doi: 10.22098/mmws.2023.12456.1243. (In Persian).

Ferrández-Pastor, F. J., García-Chamizo, J. M., Nieto-Hidalgo, M., Mora-Pascual, J., & Mora-Martínez, J. (2016). Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. *Sensors*, *16*(7), 1141.

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

Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, C. R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and electronics in agriculture*, *155*, 41-49.

Goldstein, A., Fink, L., Meitin, A., Bohadana, S., Lutenberg, O., & Ravid, G. (2018). Applying machine learning on sensor data for irrigation recommendations: revealing the agronomist's tacit knowledge. *Precision agriculture*, *19*, 421-444.

Hajirad, I., Mohammadi, S., & Dehghanisanij, H. (2023). Determining the critical points of a basin from the point of view of water productivity and water consumption using the wapor database. *Environmental Sciences Proceedings*, *25*(1), 86.

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehghanisanij, H., & Mohammadi, S. (2021). Determining Actual Evapotranspiration of Silage Maize using Soil Water Balance Method under Different Drip Irrigation Levels with Pulsed and Continuous Management (Case Study: Varamin Region). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(7), 1869-1880. (In Persian).

Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issues. *Information systems*, *47*, 98-115.

Khan, S., Chen, C., & Mushtaq, S. (2008, July). WaterWorks: a decision support tool for irrigation infrastructure decisions at farm level. In *2008 Western Pacific Geophysics Meeting* (Vol. 29).

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

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.

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Dehghanisanij, H., & Hajirad, I. (2021). Determination of Silage Maize Crop Coefficient under Pulsed Drip Irrigation using Water Balance Method in Varamin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(5), 1223-1237. (In Persian).

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Dehghanisanij, H., & Hajirad, I. (2023). Evaluation of silage maize production under pulsed drip irrigation in a semi-arid region. *Irrigation Science*, 1-15.

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.

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.
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.
Oad, R., Garcia, L., Kinzli, K. D., Patterson, D., & Shafike, N. (2009). Decision support systems for efficient irrigation in the Middle Rio Grande Valley. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *135*(2), 177-185.
Pedras, C. M., & Pereira, L. S. (2009). Multicriteria analysis for design of microirrigation systems. Application and sensitivity analysis. *agricultural water management*, *96*(4), 702-710.
Pedras, C. M., Pereira, L. S., & Gonçalves, J. M. (2009). MIRRIG: A decision support system for design and evaluation of microirrigation systems. *Agricultural water management*, *96*(4), 691-701.
Pluchinotta, I., Pagano, A., Giordano, R., & Tsoukiàs, A. (2018). A system dynamics model for supporting decision-makers in irrigation water management. *Journal of environmental management*, *223*, 815-824.
Rose, D. C., Sutherland, W. J., Parker, C., Lobley, M., Winter, M., Morris, C., ... & Dicks, L. V. (2016). Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery. *Agricultural systems*, *149*, 165-174.
Saggi, M. K., & Jain, S. (2022). A Survey Towards Decision Support System on Smart Irrigation Scheduling Using Machine Learning approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *29*(6), 4455-4478.
Todorović, N., Ivković, V., Kordić, S., Dimitrieski, V., & Luković, I. (2018). IrrigIDSS–Decision Support System for Irrigation Scheduling.
Torres-Sanchez, R., Navarro-Hellin, H., Guillamon-Frutos, A., San-Segundo, R., Ruiz-Abellón, M. C., & Domingo-Miguel, R. (2020). A decision support system for irrigation management: Analysis and implementation of different learning techniques. *Water*, *12*(2), 548.

Establishing and evaluating an irrigation decision support system to improve irrigation management in pilot farms south of Urmia Lake Basin

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

To help restore Lake Urmia, one solution is to reduce the consumption of its water sources by considering the direct connection of surface and groundwater resources. Implementing irrigation scheduling, which involves irrigating based on the actual crop water requirement at the right time and place, is one of the best management practices to reduce water consumption and improve agricultural water productivity. The main questions that arise in irrigation scheduling are how much to irrigate and when to irrigate. In the present study, an irrigation decision support system was used and evaluated to provide an optimal irrigation schedule for the fields and orchards located in the Mahabad Plain in the Urmia Lake basin during 1400-1401.

Materials and Methods

The developed irrigation decision support system (IDSS) used in this research is designed to achieve the goal of optimal management of water consumption in agriculture, taking into account the time and amount of water availability. In order to update and modify the irrigation schedule due to daily changes in weather conditions, this system automatically uses online weather information. Additionally, the irrigation schedule of each part of the cropping pattern could be modified based on the feedback sent by the farmer during the growing season, and subsequent irrigation schedules were presented based on the updated conditions in the field. For example, if the farmer was unable to irrigate previously or made a change in the irrigation time, by applying feedback in the system and defining revised conditions, the system was able to provide the next irrigation schedule based on the updated conditions. Therefore, the next irrigation schedules were re-optimized and sent to the farmer according to the feedback given by the farmer. The irrigation decision support system utilizes necessary input information, including information related to real-time agricultural meteorological data, the farm's access to water, soil and plant characteristics, the availability of water storage sources, the type of irrigation system, to provide the optimal irrigation scheduling for the cropping pattern on the farm.

Results and Discussion

The results showed that the drip irrigation system had the highest percentage of changes in the irrigation depth, and implementing the irrigation scheduling provided by the IDSS in the treatment section reduced irrigation water depth by about 41%. Therefore, it can be concluded that correct irrigation scheduling is necessary to increase the efficiency of drip irrigation systems. Implementing a pressurized irrigation system without proper irrigation scheduling cannot reduce water consumption or increase water productivity. The results obtained in the basin irrigation system showed that implementing the irrigation scheduling provided by the IDSS in the treatment section increased water consumption compared to the control section. This was due to the long advance time in these gardens and fields, which required an increase in irrigation depth to meet the crops water requirements at the end of the garden or irrigation field.

In sprinkler irrigation systems, implementing the irrigation scheduling provided by the IDSS decreased irrigation water depth. The examination of crop yield in the control section and treatment sections of the monitored gardens and farms indicated an increase in crop yield in the treatment section compared to the control section in all investigated irrigation systems. The highest percentage increase was related to the basin irrigation system, with a 5.14% increase in sugar beet yield. The drip irrigation system had the highest percentage of changes in water productivity, with an increase of 87.3%.

Conclusion

Results showed that using the developed IDSS system in this research for fields and gardens under basin irrigation can lead to more efficient results, but optimizing the basin irrigation system, such as the length of the irrigation plots, should also be considered. Additionally, the research showed that providing an optimal and timely irrigation scheduling to meet the crop's water requirement is necessary to increase agricultural water productivity.

Keywords: Agricultural Water Productivity, Irrigation Scheduling, Mahabad Irrigation and Drainage Network, Precision Irrigation, Smart Agriculture.