Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Field assessment and analysis of border irrigation systems with WinSRFR software (Case study: Urmia Plain wheat fields)

Hossein Zahedpour Yeganeh[1], Afshin Khorsand[2], Vahid Rezaverdinejad[3]*, Hossein Dehghanisanij[4]

[1] Expert, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), East Azerbaijan, Maragheh, Iran
[2] Researcher, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[3] Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
[4] Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Extended Abstract

Introduction

Due to the large number of parameters affecting surface irrigation and their temporal and spatial changes, surface irrigation management is very complicated in obtaining high efficiency and uniformity. Therefore, improving the irrigation performance based on variables with minimum implementation cost, ease of use, and the possibility of implementation in the field, is essential, and due to the high losses in surface irrigation, it is necessary to use tools that can maximize water efficiency with proper planning. Achievement is inevitable. Considering the current conditions of Lake Urmia due to its environmental crisis, the lack of water, and the importance of saving the lake from the current situation, one of the basic ways is to increase the efficiency of surface irrigation in fields. Therefore, the objectives of this research are a detailed examination of actual efficiency, calibration, and verification of WinSRFR software for the region, evaluation of the performance of the software in estimating the advance time parameters, and Evaluation of the software in estimating the efficiency of water use. In other words, the main goal is to evaluate the irrigation performance and achieve the appropriate performance through proper management so that we can move towards this goal with proper design. To achieve the aforementioned goals, field evaluation was done during the wheat growing season.

Materials and Methods

To collect field data, experiments were carried out in selected fields of Urmia Plain in 2015. These tests were carried out in five fall wheat fields, which were all irrigated by the closed-end strip method under the management of the farmers. In this way, one strip was selected as a test strip in each farm and the evaluation parameters were done for the desired strip. In this research, the hydrograph information of the incoming flow, the time of flow interruption, the geometric parameters of the strip, the amount of soil moisture discharge in the root zone, the progress stages, and other characteristics were measured and evaluated. The inflow hydrograph was measured by installing WSC flumes at the beginning of the strips. To measure the advance speed, the strip under test was nailed at 10 m intervals and the advance times were recorded with the movement of the water flow. The cutoff time was applied and recorded according to the opinion of the farmer. The geometric parameters of the strip, including the length, width, and slope of the strip, were obtained by mapping the tested strip. The net depth of irrigation was calculated based on the amount of soil moisture discharge in the root zone by sampling the soil just before irrigation and the gross depth of irrigation was calculated based on the amount of water given.

Results and Discussion

The model overestimated in some irrigations and underestimated in others. The maximum efficiency of irrigation application in the second farm (f2) and the third irrigation round (Irrg.3) with a value of 65.51% due to the application of irrigation management to reduce the flow and the minimum efficiency in the fourth farm (f4) and the first irrigation round (Irrg.1) with a value of zero percent due to the heavy rain a few days before irrigation (the soil was completely wet and its net water requirement was zero) and the farmer's re-irrigation, zero efficiency was achieved. Also, the WinSRFR software could not simulate the cut-back method well. The average efficiency in all tested farms was estimated at 23.58%. The reason for this is irrigation with low frequency and high depth of irrigation. Also, the non-uniform leveling and inappropriate slope of the strips can be considered as another factor in reducing the efficiency, which causes the slow movement of water along the strip and the increase of deep penetration losses at the beginning of the strip. The model has been able to correctly predict the

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

progress of water flow in all irrigations. In the second irrigation of the third field, the advance time of the model has more accurately simulated the advance time of the flow compared to other irrigations.

Conclusion

According to the results, the simulation of the progress of the water flow and the prediction of the application efficiency by the zero inertia model by WinSRFR software were close to the measured and calculated results; So, it can be said that WinSRFR software can model with ideal accuracy (NRMSE<10%) the closed strip irrigation field under farmer management. The failure to accurately estimate the parameters of the Kostiakov-Lewis infiltration equation and the Manning roughness coefficient, which is different in each irrigation cycle, is the cause of the error between the measured and predicted values. The results of this research showed that in the closed field fields under the management of farmers, excessive watering of the plants by the farmers caused deep infiltration losses from the root zone and the main factor of reducing efficiency in the mentioned fields. Also, the uneven and low slope of the fields, which the farmer is unwilling to level due to the high cost of leveling the land and causing the water to not move well in the strip, can be another reason for the decrease in efficiency in the fields. For accurate evaluation, it is suggested to use volumetric meters to measure the volume of water delivered to farms. Because the fluctuations resulting from the pump during irrigation cause errors in evaluation and modeling. On the other hand, due to the low willingness of farmers to implement irrigation systems under pressure, to reduce water losses, the efficiency of surface irrigation should be increased.

Keywords: Application efficiency, Irrigation management, Surface irrigation, Urmia Plain

Article Type: Research Article

Acknowledgment

We sincerely thank the University of Urmia and Urmia Lake Research Institute for the financial and logistical support they significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

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

Authors' contribution

Hossein Zahedpour Yeganeh: Performing software/statistical analysis, writing-original draft preparation; **Afshin Khorsand:** Resources, editing and revising the manuscript, control of results; **Vahid Rezaverdinejad:** Guidance, methodology, visualization, consultation and supervision; **Hossein Dehghanisanij:** Methodology, conceptualization, consultation and supervision.

*Corresponding Author, E-mail: v.verdinejad@urmia.ac.ir

Citation: Zahedpour Yeganeh, H., Khorsand, A., Rezaverdinejad, V., & Dehghanisanij, H. (2024). Field assessment and analysis of border irrigation systems with WinSRFR software (Case study: Urmia Plain wheat fields). *Water and Soil Management and Modeling*, *4*(3), 187-202.
DOI: 10.22098/mmws.2023.13497.1342

Received: 16 August 2023, Received in revised form: 29 September 2023, Accepted: 29 September 2023, Published online: 29 September 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 3, pp. 187-202

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سامانه‌های آبیاری نواری با نرم‌افزار WinSRFR (مطالعهٔ موردی: مزارع گندم دشت ارومیه)

حسین زاهدپور یگانه[۱]، افشین خورسند[۲]، وحید رضاوردی‌نژاد[۳*]، حسین دهقانی سانیج[۴]

[۱] کارشناس، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آذربایجان شرقی، مراغه، ایران

[۲] محقق، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[۳] استاد، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

[۴] دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

از مسألهٔ اصلی روش‌های آبیاری سطحی، پایین بودن راندمان آبیاری است که عمدتاً از ضعف مدیریت و طراحی نامناسب ناشی می‌شود. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی و تحلیل عملکرد سامانهٔ آبیاری نواری، آزمایش‌های مزرعه‌ای تحت کشت گندم انجام شد. برای به‌دست آوردن داده‌های مزرعه‌ای، پنج مزرعه تحت کشت گندم به مساحت ۳/۴ هکتار که به روش آبیاری نواری انتها بسته آبیاری می‌شدند در نظر گرفته شد. به‌طورکلی ۱۵ ارزیابی انجام شد و اکثر متغیرهای آب و خاک برای این منظور برداشت شد. نرم‌افزار آبیاری سطحی WinSRFR با استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای بر اساس روش حل اینرسی- صفر واسنجی و ارزیابی شد. نتایج نشان داد نرم‌افزار WinSRFR در شبیه‌سازی آبیاری نواری انتها بسته از کارایی خوبی برخوردار است. متوسط راندمان اندازه‌گیری شده در مزارع ۲۳/۵۸ درصد و پیش‌بینی شده توسط مدل ۲۲/۸۷ درصد برآورد شد. هم‌چنین، متوسط خطای ریشهٔ میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) برابر ۷/۰۷ درصد به‌دست آمد. نرم‌افزار WinSRFR با ضریب تبیین (R^2) ۹۹/۶ درصد، شاخص توافق ویلموت (d) ۹۹/۸۳ درصد و خطای ریشهٔ میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) کم‌تر از ۶/۴۱ درصد توانست پیشروی را به بهترین حالت شبیه‌سازی نماید. طبق نتایج به‌دست آمده، نرم‌افزار WinSRFR از توانایی کافی در شبیه‌سازی روش کاهش جریان برخوردار نیست. هم‌چنین، عدم آگاهی کشاورزان از نحوهٔ صحیح مدیریت آبیاری، بیش آبیاری با دور کم، باعث تلفات نفوذ عمقی آب از ناحیهٔ ریشه‌ها شده و اصلی‌ترین عامل کاهش راندمان آبیاری سطحی است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، بازده کاربرد، دشت ارومیه، مدیریت آبیاری

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: v.verdinejad@urmia.ac.ir

استناد: زاهدپوریگانه، حسین، خورسند، افشین، رضاوردی‌نژاد، وحید، و دهقانی سانیج، حسین (۱۴۰۳). ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سامانه‌های آبیاری نواری با نرم‌افزار WinSRFR (مطالعهٔ موردی: مزارع گندم دشت ارومیه). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۱۸۷-۲۰۲.
DOI: 10.22098/mmws.2023.13497.1342

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۷، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۷
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۳، صفحه ۱۸۷ تا ۲۰۲
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

تأمین آب و مدیریت صحیح منابع آب، یکی از چالش‌های جدی مدیران و پژوهش‌گران این زمینه است. مسألهٔ مدیریت و تلاش برای یافتن یک راه‌کار مناسب در حوضه‌های کم آب برای حل مشکل کم‌آبی، به تخصیص بهینه و اولویت‌بندی مصرف آب بین بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت منطقه بستگی دارد (Ahmadi, 2022). آزمایش‌ها و تجارب نیم قرن اخیر در علم و فن آبیاری نشان داده است که تأثیر نهاده‌های مختلف از قبیل بذور اصلاح شده، کودهای شیمیایی، عملیات مناسب کاشت، داشت و برداشت هنگامی تأثیر مثبت و مناسب در رشد گیاه دارد که مدیریت آبیاری که شامل مجموعه اقداماتی است که آب را به مقدار مشخص و در زمان مورد نیاز در اختیار گیاه قرار می‌دهد، به نحو مطلوبی انجام شده باشد. طبق اصل پارتو، مناطقی که ۸۰ درصد کشت و تولید گندم (آبی و دیم) در آن‌ها انجام می‌شود، مناطق اصلی تولید گندم هستند. بر همین اساس، ۱۳ استان گلستان، کرمانشاه، آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی، همدان، اردبیل، لرستان، مرکزی، خوزستان، فارس، خراسان رضوی، کردستان و زنجان به‌عنوان مناطق اصلی تولید گندم در ایران شناسایی شده‌اند (Pourgholam-Amiji et al., 2024).

در دنیا بیش از ۹۰ درصد اراضی فاریاب با روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند که پایین بودن راندمان آب آبیاری، مشکل عمدهٔ روش‌های آبیاری سطحی است که به‌طور عمده از ضعف مدیریت و طراحی نامناسب ناشی می‌شود (Abbasi, 2012). با وجود ابداع روش‌های نوین آبیاری تحت‌فشار، آبیاری سطحی رایج‌ترین شیوهٔ آبیاری در کشور است و هنوز حدود ۹۰ درصد از کل اراضی فاریاب به این طریق آبیاری می‌شوند (Esfandiari, 2008). اگرچه در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار راندمان آبیاری بالاست، ولی افزایش روزافزون هزینهٔ انرژی سبب شده که بسیاری از پژوهش‌گران مطالعات قابل‌توجهی را در زمینهٔ افزایش راندمان آبیاری سطحی انجام دهند و این روش آبیاری را به‌عنوان جایگزین مناسبی برای روش‌های آبیاری تحت‌فشار پیشنهاد نمایند (Rahimi and Sepaskhah, 2004). براساس مطالعات صورت گرفته در ایران بخش وسیعی از سامانه‌های آبیاری سطحی به روش نواری، آبیاری می‌شوند که بازده آن‌ها مانند سایر روش‌های آبیاری سطحی، پایین است (Abbasi, 2012). در این راستا، Manuchehri (1993) متوسط راندمان کاربرد آب مزرعه‌ای را در اروپا ۶۰، آمریکا ۴۵، فلسطین اشغالی ۷۵ و کشورهای جهان سوم ۲۵ تا ۳۵ درصد گزارش نموده است. هم‌چنین، Abbasi et al. (2000) از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۷ در استان‌های خراسان، گلستان و اصفهان ارزیابی راندمان روش‌های آبیاری سطحی را انجام دادند. آن‌ها اعلام کردند که روش آبیاری تأثیر به‌سزایی در افزایش راندمان آبیاری دارد. به‌طوری‌که حداقل آن در روش آبیاری نواری و کرتی و حداکثر آن در روش آبیاری جویچه‌ای با کاهش جریان تعلق دارد.

به‌دلیل زیاد بودن متغیرهای مؤثر بر آبیاری سطحی و نیز تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها، مدیریت آبیاری سطحی برای به‌دست آوردن بازده و یکنواختی بالا، بسیار پیچیده است. از این‌رو، بهبود عملکرد آبیاری براساس متغیرهایی با حداقل هزینهٔ اجرایی، سهولت کاربرد و امکان اجرا در مزرعه، امری ضروری بوده و به خاطر زیاد بودن تلفات در آبیاری سطحی، لزوم استفاده از ابزارهایی که بتوان ضمن طرح مناسب به حداکثر بازده آب دست یافت، اجتناب‌ناپذیر است. یکی از این ابزارها، مدل‌های آبیاری سطحی هستند که با شبیه‌سازی آبیاری سطحی، پدیدهٔ جریان آب و بازده‌های آبیاری و یکنواختی توزیع را با توجه به شرایط مزرعه‌ای پیش‌بینی می‌کنند. با استفاده از مدل‌ها می‌توان یک آبیاری کامل را شبیه‌سازی و طراحی نموده و با تغییر عوامل ورودی آن که در حقیقت عوامل طراحی نیز هستند به بازده و یکنواختی بالایی در امر آبیاری دست یافت (Bautista et al., 2009a; Taghizadeh et al., 2013).

مدل‌های هیدرودینامیک کامل، اینرسی صفر و موج کینماتیک از رایج‌ترین مدل‌های ریاضی در آبیاری سطحی است. مدل اینرسی صفر به سبب سادگی، دقت و دامنهٔ کاربرد زیاد، مدل برتر در مدل‌سازی هیدرولیک جریان آب روی سطح خاک است و در شرایط مزرعه‌ای دقت مدل هیدرودینامیک کامل را دارد (Abbasi, 2012). نتایج مدل ریاضی آبیاری سطحی همان اندازهٔ دقیق است که اطلاعات اولیهٔ مورد نیاز آن‌ها باید دقیق باشد. در عمل، اندازه‌گیری جریان ورودی و مشخصات هندسی مزرعه با دقت نسبتاً خوبی امکان‌پذیر است و بیش‌ترین منبع خطا به تعیین ویژگی‌های نفوذ از سطح خاک و ضریب زبری سطح خاک مربوط می‌شود (Abbasi, 2012; Walker, 2005). نرم‌افزار WinSRFR مدل ریاضی یک بعدی برای تحلیل و شبیه‌سازی آبیاری سطحی است که سال ۲۰۰۶ توسعه یافت و از مدل‌هایی است که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی دارد. این نرم‌افزار برای تحلیل هیدرولیک آبیاری سطحی دارای چهار بخش شبیه‌سازی[1]، تحلیل رویداد[2] (ارزیابی مزرعه‌ای)، طراحی فیزیکی[3] و تحلیل عملیات[4] است و با دو مدل ریاضی اینرسی صفر و موج کینماتیکی محاسبات را انجام می‌دهد. در WinSRFR امکان برآورد میزان آب نفوذ یافته

[1] Simulation
[2] Event analysis
[3] Physical design
[4] Operations analysis

توسط معادلات مختلف از جمله کوستیاکف[1]، کوستیاکف-لوئیس[2]، گرین- آمپت[3] و خانواده نفوذ NRCS[4] وجود دارد (Bautista et al., 2009a; Bautista et al., 2009b).

در پژوهشی، Mokari Gahroodi et al. (2013) از نرم‌افزار WinSRFR3.1 برای ارزیابی و شبیه‌سازی مراحل مختلف آبیاری در سه مزرعهٔ آزمایشی گلمکان مشهد، توتون ارومیه و مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول استفاده کردند. مقایسهٔ نتایج مدل و داده‌های صحرایی نشان داد که مدل با دقت خوبی زمان‌های پیشروی و پسروی، فرصت عمق نفوذ و بیلان حجمی را در جویچه‌های نسبتاً کوتاه تا نسبتاً طولانی شبیه‌سازی نموده است. بر اساس این پژوهش، بیش‌ترین میانگین خطای مدل مربوط به برآورد حجم رواناب سطحی (۶/۲ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به حجم آب ورودی (۳/۳۲ درصد) بود. در پژوهش دیگری، Bautista et al. (2009a) نرم‌افزار WinSRFR3.1 را به‌منظور ارزیابی عملکرد سامانهٔ آبیاری و تخمین خصوصیات نفوذ و زبری هیدرولیکی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل تحلیلی قادر است تا دامنهٔ راه‌حل‌هایی را که منجر به عملکرد تقریباً بهینه می‌شود را تجسم و راه‌حلی که هم‌خوانی بیش‌تری با محدودیت‌های اجرایی دارد را برگزینند. هم‌چنین، Morris et al. (2015) اثر مقدار و مدت زمان دبی ورودی بر شاخص‌های عملکرد آبیاری نواری (بازده کاربرد و نفوذ عمقی) را با مدل WinSRFR تحلیل کردند. آن‌ها در دامنهٔ دبی وروردی دو تا هفت لیتر بر ثانیه بر متر و مدت آبیاری ۵۰ تا ۳۰۰ دقیقه و مطابق خطوط هم‌تراز بازده کاربرد و نفوذ عمقی، دبی ورودی و مدت آبیاری را بهینه نمودند. در ادامه، Chen et al. (2010) و Chen et al. (2012) به ارزیابی و بهبود عملکرد آبیاری با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR در شمال چین پرداختند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که نرم‌افزار در ارزیابی عملکرد آبیاری نواری، توانایی مناسبی دارد. در مطلعهٔ دیگری، Chen et al. (2013) طول و عرض نوار را در آبیاری نواری براساس مدل اینرسی-صفر و متغیرهای هندسی بهینه کردند. ایشان برای متغیرهای جریان اعم از دبی ورودی و زمان آبیاری ابعاد نوار را براساس خطوط هم‌تراز بازده کاربرد آب بهینه کردند. پژوهش‌گران در مطالعه‌ای براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR3.1 اظهار داشتند که نوارهایی که دارای ابعاد بیش‌تری هستند، شیب کمی داشته و دبی کم‌تری وارد آن‌ها می‌شود، راندمان توزیع یکنواختی آب و راندمان کاربرد آب در آن‌ها بیش‌تر است. افزایش طول تا حدی در افزایش راندمان مؤثر است و پس از آن دیگر تأثیری در افزایش راندمان ندارد و سپس باعث پایین آمدن راندمان می‌شود (Karami and Panahandeh, 2009 Goghari). به‌عنوان مثال، Rezaverdinejad et al. (2016) با استفاده از منحنی‌های هم‌تراز بازده کاربرد و یکنواختی توزیع ایجاد شده توسط WinSRFR، عملکرد سامانه‌های آبیاری نواری را بهینه کردند. براساس مدیریت متغیرهای جریان دبی ورودی و زمان قطع جریان، بازده کاربرد به‌طور متوسط ۱۲ درصد (با فرض کفایت ۱۰۰ درصد) برای هشت سری آزمایش نسبت به شرایط موجود قابل افزایش بود. هم‌چنین، نتایج آن‌ها نشان داد با در نظر گرفتن متغیرهای هندسی نوار (شیب و طول نوار) به همراه متغیرهای جریان، تأثیر کم بر عملکرد بهینه داشته و مطابق تمام متغیرهای جریان و هندسی نوار به‌عنوان متغیرهای تصمیم، بازده کاربرد به‌طور متوسط ۱۳/۳۵ درصد نسبت به شرایط موجود قابل افزایش است. در مطالعهٔ دیگری، Raja et al. (2021) اذعان داشتند به‌طور کلی مدیریت مقدار و مدت آبیاری براساس شکل و مشخصات اراضی مناسب نبوده و این موضوع به‌دلیل عدم آگاهی آبیاران از مقدار آب مورد نیاز و عدم قطع جریان ورودی در زمان مناسب است.

اجرای نتایج بهینه‌سازی متغیرهای طراحی در زمین بدون شک اختلافاتی را بین نتایج شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، نشان خواهد داد که این اختلافات می‌تواند به عوامل مختلفی بستگی داشته باشد. برای مثال، شیب در مزارع ثابت نیست و در طول جویچه نسبتاً متغیر است. این در حالی است که در مدل، میانگین شیب جویچه در نظر گرفته می‌شود. نتایج پژوهش Seifi et al. (2023) بر اهمیت نظارت دقیق و تعیین متغیرهای ورودی مدل برای دسترسی به سطح مناسبی از عدم قطعیت WinSRFR تاکید می‌کند. در نتیجه، در نظر گرفتن و تحلیل عدم قطعیت متغیرهای ورودی مدل‌های WinSRFR بسیار مهم است و می‌تواند مرجعی برای به‌دست آوردن شبیه‌سازی‌های واقعی و پایدار آبیاری جویچه‌ای باشد. در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه رازی نیز Farasati et al. (2018) طی ارزیابی و تحلیل سامانهٔ آبیاری جویچه‌ای با مدل‌های SIRMOD و WinSRFR اعلام داشتند مدل WinSRFR با خطای سه درصدی و با دقت بالاتری نسبت به مدل SIRMOD راندمان کاربرد را شبیه‌سازی نمود. نتایج نشان داد مدل WinSRFR مدلی کاربردی و با دقت بالاتر نسبت به مدل SIRMOD است. طبق نتایج Radmanesh et al. (2023) هر دو مدل SIRMOD و WinSRFR ابزارهای تحلیلی قابل اعتمادی برای ارزیابی راهبردهای آبیاری جویچه‌ای در جهت بهبود مدیریت آبیاری هستند. با این حال، از آن‌جایی که WinSRFR از رویکردهای مبتنی بر فیزیک بیش‌تری برای متغیرسازی روابط نفوذ بهره می‌برد، دقت مدل WinSRFR بیش‌تر از SIRMOD

[1] Kostiakov
[2] Kostiakov-Lewis
[3] Green-Ampt
[4] Natural resources conservation service

است. در مطالعات پژوهش‌گران مختلفی، نرم‌افزار WinSRFR مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته است. هم‌چنین به توانایی و کارکرد قابل‌قبول نرم‌افزار جهت دست‌یابی به راندمان کاربرد آب مطلوب با ارزیابی سناریوهای مختلف (تغییرات شیب مزرعه، دبی ورودی، ابعاد مزرعه) در آبیاری‌های نواری، کرتی و شیاری (جویچه‌ای) اشاره شده است (Taghizadeh et al., 2013; Rezaverdinejad et al., 2016; Lalehzari and Boroomand-Nasab 2017).

در استان آذربایجان‌غربی حدود ۱۲ درصد مزارع فاریاب با روش‌های مختلف تحت‌فشار و ۸۸ درصد با روش‌های سطحی، آبیاری می‌شوند که بازده آن‌ها به مانند بقیهٔ نقاط کشور در حد مطلوب است. با توجه به شرایط فعلی دریاچه ارومیه و به‌دلیل بحران محیط زیستی آن و کمبود آب در آن و نجات دریاچه از بحران فعلی، یکی از روش‌های اساسی در صرفه‌جویی منابع آب، افزایش بازده آبیاری سطحی در مزارع است. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر عبارتند از: (۱) بررسی دقیق راندمان واقعی، (۲) واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار WinSRFR برای منطقه، (۳) ارزیابی عملکرد نرم‌افزار در برآورد متغیرهای زمان پیشروی و (۴) ارزیابی نرم‌افزار در برآورد بازده کاربرد آب. به‌عبارتی هدف اصلی، ارزیابی عملکرد آبیاری نواری در منطقه و دست‌یابی به عملکرد مناسب به‌وسیلهٔ مدیریت مناسب است تا با طراحی مناسب بتوان به سوی این هدف حرکت کرد. برای دست‌یابی به اهداف مذکور، ارزیابی مزرعه‌ای طی فصل رشد گندم انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱۲- منطقهٔ مورد مطالعه

برای جمع‌آوری داده‌های میدانی، آزمایش‌های مزرعه‌ای در مزراع انتخابی دشت ارومیه در سال ۱۳۹۵ انجام شد. این آزمایشات در پنج مزرعهٔ گندم پائیزه که تماماً به روش نواری انتها بسته تحت مدیریت زارعین آبیاری شدند، صورت گرفت. سپس در هر مزرعه یک نوار به‌عنوان نوار آزمایشی انتخاب و متغیرهای ارزیابی برای نوار مورد نظر انجام پذیرفت. آزمایش‌ها از زمان کاشت تا زمان برداشت در هر نوبت آبیاری تکرار شد که در جدول ۱ ارائه شده است. هم‌چنین، مشخصات کلی مزارع در جدول ۲ و تاریخ‌های آبیاری در جدول ۳ ارائه شده‌اند. آزمایش‌ها در دامنه‌ای از خاک‌های رسی و نوارها با هندسه‌های مختلف انجام پذیرفت. در ادامه، موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در شکل ۱ نشان شده است.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به مزارع و نوبت‌های آبیاری

Table 1- Information about farms and irrigation schedules

متغیر آبیاری	واحد	سری آزمایش مزرعه‌ای گندم پائیزه														
		f*1			f2			f3			f4			f5		
		Irrg*.1	Irrg.2	Irrg.3	Irrg.1	Irrg.2	Irrg.3	Irrg.1	Irrg.2	Irrg.3	Irrg.1	Irrg.2	Irrg.3	Irrg.1	Irrg.2	Irrg.3
دبی ورودی (q)	لیتر بر ثانیه	18.01	17.78	14.5	9.54	10.65	10.8	11.97	8.76	4.73	8.64	7.54	5.76	10.89	9.213	8.22
زمان قطع جریان (t_{co})	دقیقه	95.83	106.76	113.5	64	48.5	60	39.4	52.5	92	104.5	47.5	124	54.17	47.41	80
طول نوار (L)	متر	137	126	110	57	57	57	54.5	54.5	54.5	48.2	48.2	48.2	40	40	40
عرض نوار (w)	متر	3.85	4.6	4.75	4.4	4.4	4.4	3.2	3.2	3.2	3.95	3.95	3.95	4.7	4.7	4.7
شیب طولی نوار (S)	درصد	0.16	0.18	0.20	0.15	0.15	0.15	0.67	0.67	0.67	0.22	0.22	0.22	0.08	0.08	0.08
بافت خاک (۵۰-۰)	سانتی‌متر		رسی			رسی			رسی			رسی			رسی	
ضریب زبری مانینگ (n)	-	0.10	0.15	0.15	0.10	0.15	0.15	0.10	0.15	0.15	0.10	0.15	0.15	0.10	0.15	0.15
سرعت نفوذ پایه (f_0)	میلی‌متر بر ساعت	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
عمق خالص آبیاری (di)	میلی‌متر	17.47	27.8	33.86	50.17	33.19	76.42	22	43	34.87	0	37.82	56.24	21.97	27	60.77
عمق ناخالص آبیاری (dg)	میلی‌متر	223.8	196.6	189.08	146.1	123.6	116.6	139.73	158.2	149.8	284.66	112.9	225.26	179.3	132.77	209.85

* f و Irrg* به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ مزرعه و آبیاری هستند.

جدول ۲- مشخصات کلی مزارع

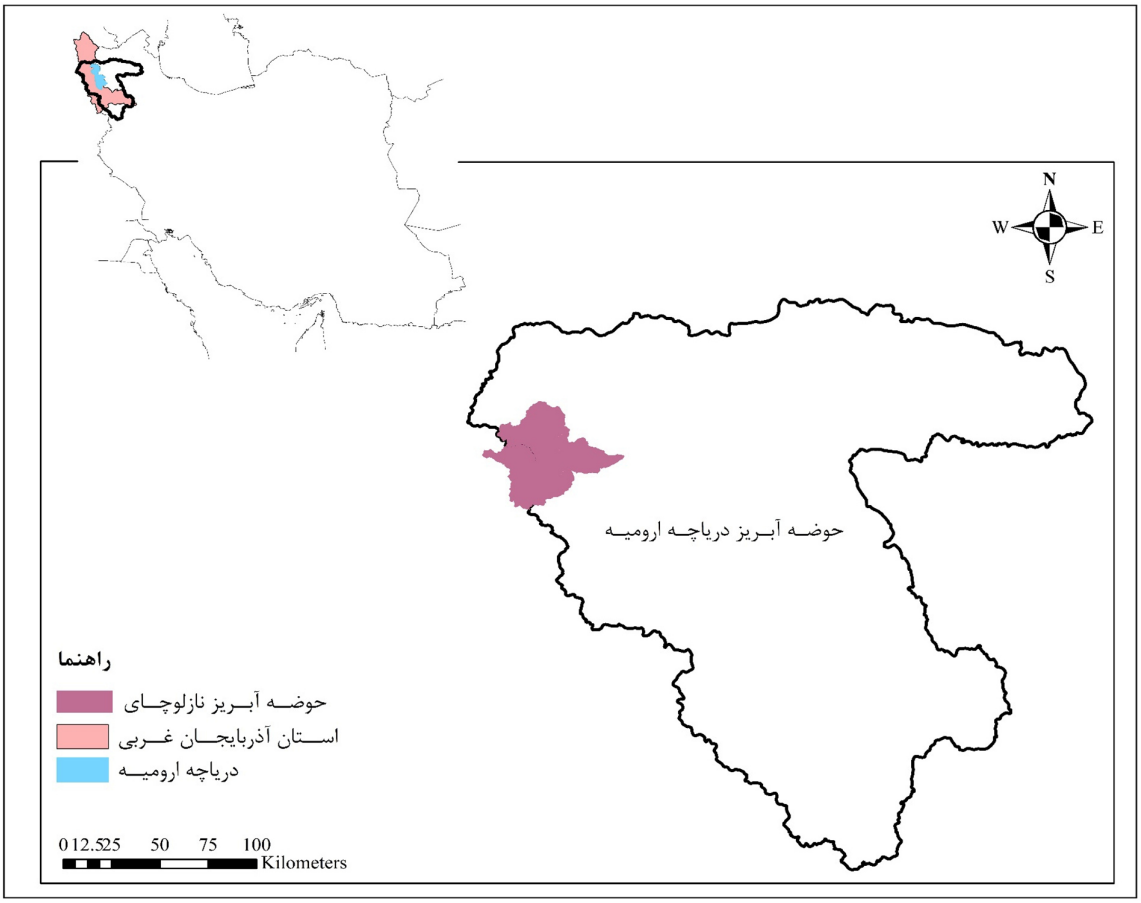
Table 2- General characteristics of farms

نام مزرعه	مساحت (هکتار)	مختصات مزرعه	
f1	1.07	416387728	51076113
f2	0.4	416418555	51080975
f3	1.3	416344662	51135003
f4	0.39	416424693	51061358
f5	0.24	416427767	51056451

جدول ۳- تاریخ‌های آبیاری در هر مزرعه

Table 3- Irrigation dates in each farm

نام مزرعه	Irrg.1	Irrg.2	Irrg.3
f1	95.02.12	95.03.09	95.03.21
f2	95.02.15	95.03.01	95.03.17
f3	95.02.16	95.03.05	95.03.17
f4	95.02.16	95.03.01	95.03.18
f5	95.02.20	95.03.01	95.03.21



شکل ۱- نقشهٔ منطقهٔ مورد مطالعه

Figure 1- The map of the study area

۲-۲- متغیرهای اندازه‌گیری شده

در پژوهش حاضر، اطلاعات هیدروگراف جریان ورودی، زمان قطع جریان، متغیرهای هندسی نوار، مقدار تخلیهٔ رطوبت خاک در ناحیهٔ ریشه، مراحل پیشروی و سایر مشخصات اندازه‌گیری و ارزیابی شد. هیدروگراف جریان ورودی با نصب فلومهای WSC در ابتدای نوارها اندازه‌گیری شد. برای برآورد سرعت پیشروی، نوار مورد آزمایش به فواصل ۱۰ متر میخ‌کوبی شد و با حرکت جریان آب، زمان‌های پیشروی یادداشت شد. زمان قطع جریان با نظر کشاورز اعمال و یادداشت شد. متغیرهای هندسی نوار شامل طول، عرض و شیب نوار با نقشه‌برداری از نوار مورد آزمایش به‌دست آمد. عمق خالص آبیاری براساس مقدار تخلیهٔ رطوبت خاک در ناحیهٔ ریشه به روش نمونه‌برداری از خاک دقیقاً قبل از آبیاری و عمق ناخالص آبیاری براساس مقدار آب داده شده محاسبه شد. طول ریشهٔ گیاه در هر آبیاری با خارج کردن چند نمونه ریشه اندازه‌گیری شد. همچنین، تخمین اولیهٔ ضریب زبری مانینگ براساس جدول توصیهٔ SCS صورت گرفت. برای تعیین سرعت نفوذ نهایی از روش استوانه‌های مضاعف و برای تعیین ضریب‌های a و k از روش دو نقطه‌ای Elliott and Walker (1982) با در نظر گرفتن داده‌های پیشروی جریان، استفاده شد.

۲-۳- تخمین متغیرهای نفوذ

به‌منظور تخمین متغیرهای رابطهٔ نفوذ کوستیاکف–لوئیس، از روش استوانه‌های مضاعف برای تعیین سرعت نفوذ نهایی و روش دو نقطه‌ای Elliott and Walker (1982) برای تعیین ضریب‌های a و k با استفاده از داده‌های پیشروی جریان به‌کار گرفته شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. در بررسی تغییرات زمانی و مکانی نفوذ آب بر عملکرد آبیاری محصول گندم تحت آبیاری نواری، تغییرات زمانی و مکانی نفوذ، تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی بازده کاربرد و نفوذ آب در خاک داشته، اما تغییرات نفوذ آب با گذشت زمان، کاهش یافت (Bavi et al., 2012). در نرم‌افزار WinSRFR میزان آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای توسط روابط نفوذ از جمله کوستیاکف، روابط SCS، کوستیاکف اصلاح شدهٔ شاخه‌ای و کوستیاکف–لوئیس برآورد می‌شود؛ که در پژوهش حاضر، رابطهٔ کوستیاکف–لوئیس مد نظر قرار گرفت که برای گسترهٔ وسیعی از خاک‌ها مناسب است (Hanson et al., 1993):

$$I = Kt^a + f_0 t \qquad (۱)$$

در رابطهٔ بالا، I حجم نفوذ تجمعی در واحد طول (مترمکعب بر متر)، f_0 سرعت نفوذ نهایی (مترمکعب بر متر بر دقیقه)، t زمان (دقیقه) و a (–) و k (مترمکعب بر متر بر دقیقه) متغیرهای تجربی رابطهٔ نفوذ کوستیاکف–لوئیس هستند. در پژوهشی، Hooshmand et al. (2019) بیان کردند که با توجه به پیش‌بینی مشابه دو نرم‌افزار SIRMOD و WinSRFR، استفاده از آن‌ها جهت شبیه‌سازی، طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری در صورت برآورد دقیق ضریب‌های نفوذ توصیه می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که دقت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی آبیاری سطحی به شدت وابسته به دقت تخمین ضریب‌های رابطهٔ نفوذ است. بنابراین، در کاربرد این نرم‌افزارها در طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی شناسایی بهترین روش تخمین ضریب‌های نفوذ و شرایط مختلف مزرعه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است. هم‌چنین، Ojaghlou et al. (2009) در بررسی روش‌های مختلف تخمین متغیرهای a و k در آبیاری جویچه‌ای، روش دو نقطه‌ای Elliott and Walker (1982) و روش بهینه‌سازی McClymont and Smith (1996) را پیشنهاد کردند، اما روش‌های مبتنی بر رابطهٔ بیلان حجم مانند روش‌های دو نقطه‌ای و یک نقطه‌ای (استفاده از یک نقطهٔ داده‌های پیشروی)، دارای این ضعف هستند که فقط از داده‌های مرحلهٔ پیشروی استفاده کرده و بخشی از فرآیند جریان در تخمین متغیرها نادیده گرفته می‌شود (Walker, 2005; Rezaverdinejad et al., 2016). برای تخمین دقیق‌تر متغیرهای نفوذ، به‌جای مرحلهٔ پیشروی، باید از اطلاعات کل مراحل آبیاری استفاده نمود (Walker, 2005; Bautista et al., 2008).

۲-٤- محاسبهٔ بازده کاربرد آب

در هر یک از مزارع قبل از هر نوبت آبیاری، رطوبت خاک نوارها به روش وزنی بسته به طول نوار حداقل در سه نقطه و در عمق توسعهٔ ریشهٔ گیاه اندازه‌گیری شد. بازده کاربرد آب آبیاری با استفاده از رابطهٔ (۲) محاسبه شده است (Gasemzahehmojaveri, 1991):

$$E_A = \frac{d_1}{d_2} \qquad (۲)$$

در این رابطه، d_1 مقدار آب ذخیره شده در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه و آب مصرفی گیاه و d_2 مقدار آب داده شده به مزرعه بر حسب سانتی‌متر است. مقدار d_1 از رابطهٔ (۳) به‌دست می‌آید:

$$d_1 = (\theta_2 - \theta_1) \times \rho \times R_Z \qquad (۳)$$

در رابطه بالا، θ_1 و θ_2 رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری و رطوبت حد ظرفیت زراعی مزرعه (درصد)، ρ وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و R_z عمق توسعهٔ ریشه (سانتی‌متر) است (Gasemzahehmojaveri, 1991).

۲-۵- بررسی کارایی نرم‌افزار

برای بررسی کارایی نرم‌افزار WinSRFR از معیارهای خطا و همبستگی شامل ریشهٔ میانگین مربعات خطا[1] (RMSE)، ریشهٔ میانگین مربعات خطای نرمال[2] (NRMSE)، خطای نسبی[3] (RE)، ضریب تبیین[4] (R^2) و شاخص تطابق[5] (d) استفاده شد (رابطه‌های ۴ تا ۸) (Singh et al., 2008; Dai et al., 2009; Soler et al., 2007):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2} \qquad (۴)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \qquad (۵)$$

$$RE = ave\left[\frac{|P_i - O_i|}{O_i}\right] \times 100 \qquad (۶)$$

$$r^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|O_i - \bar{O}|)}\right] \qquad (۷)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)}\right] \qquad (۸)$$

در روابط مذکور، P_i مقادیر شبیه‌سازی، O_i مقادیر مشاهده شده، n تعداد مشاهده‌ها و $\bar{O}$ مقدار میانگین مشاهده‌ها است. مقادیر NRMSE در بازه‌های صفر تا ۱۰، ۱۰–۲۰ و ۲۰–۳۰ درصد به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ وضعیت ایده‌آل، مناسب و متوسط مدل در پیش‌بینی و بیش‌تر از ۳۰ درصد نشان‌دهندهٔ عدم کارا بودن مدل است (Singh et al., 2008). شاخص آماری توافق ویلموت دارای مقداری بین صفر تا یک است که مقدار یک بیان‌گر بهترین برازش

[1] Root mean square error
[2] Normal root mean square error
[3] Relative error
[4] Coefficient of determination
[5] Compatibility

است (Soler et al., 2007). عملاً اندازه‌گیری جریان ورودی و مشخصات هندسی مزرعه با دقت نسبتاً خوبی امکان‌پذیر است و بیش‌ترین منبع خطا به تعیین ویژگی‌های نفوذ از سطح خاک و ضریب زبری سطح خاک مربوط می شود؛ زیرا این عوامل طی عملیات آبیاری، با زمان و مکان متغیر هستند (Behbehani and Babazadeh, 2005; Abbasi, 2012).

۳- نتایج و بحث

با توجه به برتری مدل اینرسی–صفر در مدل‌سازی هیدرولیک جریان آب روی سطح خاک، این مدل مبنای مدل‌سازی سامانهٔ آبیاری نواری در این پژوهش قرار گرفت. پس از وارد کردن داده‌های مورد نیاز به نرم‌افزار WinSRFR و اجرا کردن آن، نتایج شبیه‌سازی استخراج شد. در جدول ۴ متغیرهای تخمینی معادلهٔ نفوذ کوستیاکف–لوئیس به روش دو نقطه‌ای Elliott and Walker (1982) آورده شد.

جدول ٤- متغیرهای رابطهٔ نفوذ کوستیاکف–لوئیس به روش دو نقطه‌ای

Table 4- Parameters of Kostiakov-Lewis infiltration equation by two-point method

مزرعهٔ آزمایشی	نوبت آبیاری	f_0	K	a
		میلی‌متر بر ساعت		
f1	Irrg.1	7	167.469	0.308
	Irrg.2	7	132.17	0.14
	Irrg.3	7	105.064	0.188
f2	Irrg.1	7	139.437	0.781
	Irrg.2	7	119.185	0.859
	Irrg.3	7	89.259	0.021
f3	Irrg.1	7	215.735	0.598
	Irrg.2	7	175.728	0.56
	Irrg.3	7	115.929	0.752
f4	Irrg.1	7	239.435	0.373
	Irrg.2	7	79.79	0.394
	Irrg.3	7	176.56	0.177
f5	Irrg.1	7	199.104	0.498
	Irrg.2	7	123.683	0.362
	Irrg.3	7	181.019	0.51

۳-۱- بازده کاربرد آب

با استفاده از روابط ارائه شده راندمان‌های هر نوبت آبیاری محاسبه شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR راندمان‌های پیش‌بینی شده توسط مدل استخراج و نتایج در جدول ۵ ارائه شد. طبق جدول ۵، مدل در برخی آبیاری‌ها دارای بیش‌برآورد و در برخی‌ها کم‌برآورد داشته است. اختلاف جزئی، ناشی از رند کردن مدل و اختلاف‌های زیاد (آبیاری سوم (Irrg.3) در مزرعهٔ اول (f1) و مزرعهٔ دوم (f2)) ناشی از عدم توانایی نرم‌افزار در مدل کردن روش کاهش جریان (Cut Back) است؛ زیرا نرم‌افزار WinSRFR حساسیت زیادی به متغیرهای جریان (دبی و زمان قطع جریان) داشته و متأسفانه در این پژوهش، کشاورزان روش کاهش جریان را به‌درستی اجرا نکردند؛ لذا، این عامل باعث ایجاد خطا در بررسی روند پیشروی و تخمین ضریب‌های نفوذ می‌شود. حداکثر راندمان کاربرد آبیاری در مزرعهٔ دوم (f2) و نوبت آبیاری سوم (Irrg.3) با مقدار ۶۵/۵۱ درصد به‌دلیل اعمال مدیریت آبیاری کاهش جریان و حداقل راندمان در مزرعهٔ چهار (f4) و نوبت آبیاری اول (Irrg.1) با مقدار صفر درصد به‌دلیل بارش سنگین باران چند روز قبل از آبیاری (خاک کاملاً خیس بوده و نیاز آبی خالص آن صفر بود) و آبیاری مجدد کشاورز، راندمان صفر حاصل شد. میانگین راندمان در کل مزارع مورد آزمایش برابر ۲۳/۵۸ درصد برآورد شد که نسبت به میانگین ارقام گزارش شده برای کشور (۳۷ درصد) کم‌تر است (Abbasi et al., 2000). دلیل این امر آبیاری با دور کم و عمق زیاد آبیاری است. هم‌چنین، می‌توان عدم تسطیح یکنواخت و شیب نامناسب نوارها را عامل دیگر کاهش راندمان دانست که موجب حرکت کند آب در طول نوار و افزایش تلفات نفوذ عمقی در ابتدای نوار می‌شود.

جدول ٥- راندمان‌های محاسبه شده و پیش‌بینی شده

Table 5- The calculated and predicted efficiencies

نام مزرعه	راندمان محاسبه شده			راندمان پیش‌بینی شده		
	Irrg.1	Irrg.2	Irrg.3	Irrg.1	Irrg.2	Irrg.3
f1	6.91	14.14	17.91	7	14	21
f2	34.3	26.7	65.51	34	27	57
f3	15.75	27.2	23.28	14	27	23
f4	0	33.5	24.97	0	34	25
f5	12.25	20.3	28.95	12	19	29

با توجه به جدول ۶، ضریب R^2 و شاخص d نزدیک به یک به‌دست آمد که نشان از برآورد بسیار خوب مدل در برآورد راندمان دارد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین خطای NRMSE در پیش‌بینی راندمان کاربرد آب به‌ترتیب برابر ۱۳/۷۵ و ۱/۴۸

حاصل شد و متوسط خطای مذکور برای کل آبیاری‌ها برابر ۷/۰۷ درصد به‌دست آمد که بیان‌گر وضعیت ایده‌آل در پیش‌بینی راندمان توسط مدل است. در این راستا، Tafteh and Emdad (2020) کارایی مدل‌های WinSRFR و SURFACE در شبیه‌سازی راندمان کاربرد آب در آبیاری نواری در مزارع گندم را بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که این مدل‌ها در شبیه‌سازی آبیاری نواری بسیار قدرتمند بوده و می‌وانند با دقت پنج تا ۱۲ درصد خطا، نتایج مناسبی را ارائه نمایند. نتایج ایشان برای گندم با آبیاری نواری نشان داد که با نتایج پژوهش حاضر تطابق بالایی دارد و این حاکی از آن است که نرم‌افزار WinSRFR دقت بالایی در پیش‌بینی راندمان کاربرد آب دارد.

جدول ٦- شاخص‌های ارزیابی نرم‌افزار در پیش‌بینی راندمان آبیاری

Table 6- Software evaluation indicators in irrigation efficiency prediction

نام مزرعه	شاخص‌های آماری				
	RE (درصد)	RMSE (درصد)	NRMSE (درصد)	R^2 (-)	d (-)
f1	6.51	1.79	13.75	0.95	0.97
f2	6.70	5.02	11.72	0.97	0.97
f3	4.35	1.03	4.66	0.97	0.98
f4	0.81	0.29	1.48	0.99	0.99
f5	2.87	0.76	3.73	0.99	0.99

۳-۲- زمان پیشروی

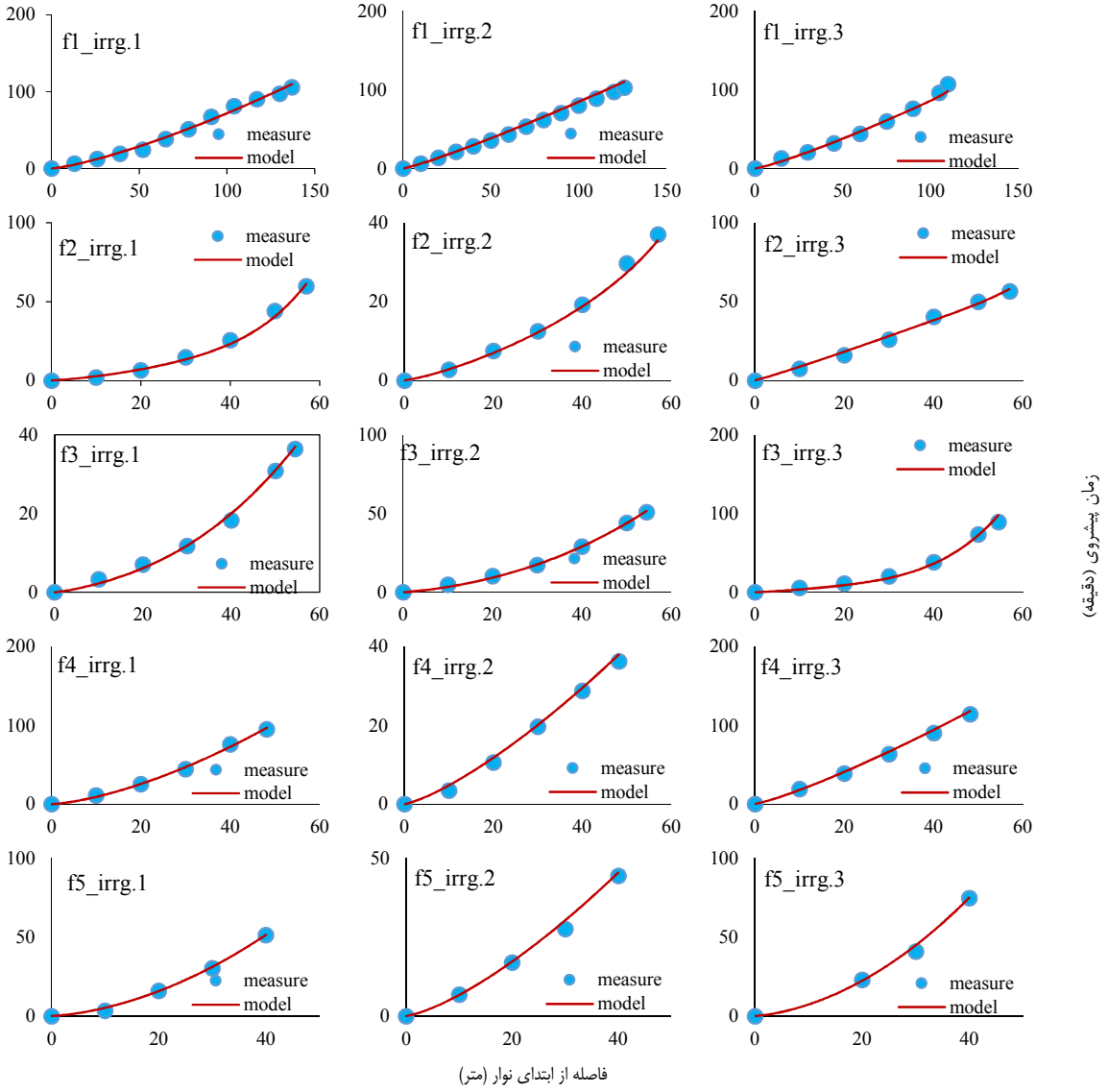
در شکل ۲ نتایج زمان پیشروی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار WinSRFR مقایسه شد. با توجه به شکل ۲ مدل توانسته است روند پیشروی جریان آب را در تمام آبیاری‌ها به‌درستی پیش‌بینی کند. در آبیاری دوم مزرعهٔ سوم، زمان پیشروی مدل با دقت بیش‌تری زمان پیشروی جریان را در مقایسه با سایر آبیاری‌ها شبیه‌سازی کرده است.

با توجه به جدول ۷، R^2 و شاخص d نزدیک به یک بوده که نشان‌دهندهٔ بهترین برازش مدل در پیش‌بینی زمان پیشروی است. هم‌چنین، بیش‌ترین و کم‌ترین خطای NRMSE در شبیه‌سازی زمان پیشروی به‌ترتیب برابر ۱۰/۷۲ و ۳/۷۷ بوده و متوسط خطای مذکور برای کل آبیاری‌ها برابر ۶/۴۱ درصد حاصل شد که بیان‌گر وضعیت ایده‌آل در پیش‌بینی زمان پیشروی توسط مدل است.

دلایل مختلفی نظیر تغییرات نامنظم شیب، عدم پیش‌بینی دقیق ضریب زبری مانینگ و متغیرهای نفوذپذیری در طول نوار و خطای اندازه‌گیری در مزرعه می‌توانند در خطای ایجاد شده در مدل دخالت داشته باشند. در این پژوهش براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام شده توسط Esfandiari and Maheshwari (2001) و Jalili (2006)، مقدار حد آستانهٔ خطای نسبی مجاز برای مرحلهٔ پیشروی ۲۰ درصد در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل حساسیت پژوهش Farasati et al., (2018) نشان داد که بیش‌ترین حساسیت مدل نسبت به دبی ورودی، زمان قطع جریان و متغیرهای رابطهٔ نفوذ است. در پژوهشی، Mehri et al. (2023) اذعان داشتند که نرم‌افزار WinSRFR بیش‌ترین حساسیت را به‌ترتیب متغیرهای سرعت ورودی، زمان قطع جریان و متغیرهای نفوذ دارد. هم‌چنین، اعلام کردند بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شدهٔ رواناب، نفوذ و زمان پیشروی همبستگی بالایی وجود دارد (R^2 به‌ترتیب ۱/۰، ۰/۹۴ و ۰/۹۷). مقادیر RE در تخمین رواناب، نفوذ و زمان پیشروی به‌ترتیب ۵/۶۰، ۵/۰۹ و ۲/۱۴ درصد به‌دست آمدند. مقدار متوسط آماری RE برای مزارع گندم و کل آبیاری‌های پژوهش حاضر در پیش‌بینی زمان پیشروی، ۷/۹۴ درصد حاصل شد که اختلاف خیلی زیادی با نتایج پژوهش Mehri et al. (2023) نداشت و این نشان‌دهندهٔ دقت بالای نرم‌افزار WinSRFR در شبیه‌سازی زمان پیشروی است. نتایج پژوهش Rezaei Rad et al. (2021) نشان داد که مدل WinSRFR با دقت بسیار بالا زمان پیشروی، زمان پسروی و حجم آب نفوذ یافته را برآورد کرده است. شاخص آماری NRMSE هم نشان داد که تخمین زمان پیشروی، زمان پسروی و حجم آب نفوذ یافته به‌ترتیب با ۰/۸۷، ۰/۹ و ۰/۵۴ درصد خطا همراه بود. مقدار متوسط NRMSE برای زمان پیشروی در پژوهش حاضر برای پنج مزرعهٔ گندم و کل آبیاری‌ها، ۶/۴۱ درصد محاسبه شد که با نتایج مطالعهٔ Rezaei Rad et al. (2021) اختلاف پنج درصدی داشت، ولی به‌طورکلی مقدار این شاخص آماری در هر دو پژوهش زیر ۱۰ درصد به‌دست آمد که نشان از وضعیت عالی نرم‌افزار WinSRFR در پیش‌بینی زمان پیشروی است. در پژوهش Hooshmand et al. (2019) مقدار شاخص آماری RMSE برابر با ۱/۲۴ دقیقه به‌دست آمد و مقدار متوسط این شاخص برای پژوهش حاضر، ۲/۰۵ دقیقه حاصل شد که اختلاف خیلی کم (۰/۵ دقیقه) با یکدیگر داشتند. البته لازم به ذکر است که مقدار آمارهٔ RMSE برای برخی آبیاری‌های مزارع گندم (مزرعهٔ سوم (f3) و مزرعهٔ پنجم (f5)) زیر یک دقیقه هم محاسبه شد.

علاوه‌بر هزینه‌بر بودن حامل‌های انرژی، در برخی مناطق برق به سهولت در دسترس نبوده و کشاورزان در اغلب موارد از موتور

ژنراتورهای دیزلی جهت راه‌اندازی پمپ‌های آب استفاده می‌کردند و منطقهٔ مورد مطالعه نیز از این قاعده مستثنی نبود. از طرفی با توجه به هزینهٔ زیاد اجرای سامانه‌های تحت‌فشار و متوسط بودن راندمان حقیقی آن‌ها، کشاورزان رغبت زیادی به سامانه‌های تحت فشار ندارند. از این‌رو، سعی بر این است که با راه‌کارهایی، راندمان و بهره‌وری آبیاری سطحی افزایش یابد. رغبت نه چندان زیاد کشاورزان به سامانه‌های تحت‌فشار، مسئله‌ای است که نمی‌توان اجرای سامانه‌های مذکور را به اجبار عملی کرد. لذا، در راستای فرهنگ‌سازی و کسب اعتماد کشاورزان نسبت به سامانه‌های تحت‌فشار و از طرفی برای جلوگیری از تلفات آب، به موازات بایستی راندمان آبیاری سطحی ارتقاء یابد. لازم به ذکر است هم‌اکنون در شهرستان ارومیه باغات نیز به روش آبیاری سطحی جویچه‌ای آبیاری می‌شوند.



شکل ۲- مقایسهٔ زمان پیشروی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار WinSRFR

Figure 2- Comparison of measured and simulated advance time with WinSRFR software

جدول ۷- شاخص‌های ارزیابی نرم‌افزار در پیش‌بینی زمان پیشروی

Table 7- Software evaluation indicators in predicting advance time

نام مزرعه	نوبت آبیاری	شاخص‌های آماری				
		RE (درصد)	RMSE (دقیقه)	NRMSE (درصد)	R^2 (-)	d (-)
f1	irrg.2	7.81	3.31	6.68	0.992	0.998
	irrg.3	5.67	4.09	8.17	0.999	0.996
	irrg.4	7.16	3.75	7.53	0.992	0.997
f2	irrg.2	11.84	1.83	8.35	0.994	0.998
	irrg.3	4.54	1.12	7.23	0.998	0.998
	irrg.4	7.67	1.59	5.67	0.994	0.998
f3	irrg.2	9.44	0.86	5.63	0.996	0.999
	irrg.3	7.17	0.73	3.27	0.999	0.999
	irrg.4	13.34	3.63	10.72	0.992	0.997
f4	irrg.2	5.66	2.04	4.85	0.996	0.999
	irrg.3	11.23	1.04	6.32	0.998	0.998
	irrg.4	4.59	2.67	4.90	0.999	0.999
f5	irrg.2	14.80	0.93	4.60	0.998	0.999
	irrg.3	4.10	1.27	6.23	0.997	0.998
	irrg.4	4.11	1.94	5.60	0.996	0.999

٤- نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به پژوهش حاضر نتایج زیر به‌دست آمد:

۱- شبیه‌سازی پیشروی جریان آب و پیش‌بینی راندمان کاربرد توسط مدل اینرسی صفر به‌وسیلهٔ نرم‌افزار WinSRFR به نتایج اندازه‌گیری و محاسبه شده نزدیک بود. به‌طوری‌که می‌توان گفت نرم‌افزار WinSRFR قادر است با دقت ایده‌آل (NRMSE<10%) مزراع آبیاری نواری انتها بسته تحت مدیریت زارعین را مدل‌سازی نماید.

۲- عدم تخمین دقیق متغیرهای رابطهٔ نفوذ کوستیاکف-لوئیس و ضریب زبری مانینگ که در هر نوبت آبیاری متفاوت هستند عامل خطای به‌وجود آمده بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده هستند.

۳- نتایج این پژوهش نشان داد در مزارع نواری انتها بسته تحت مدیریت زارعین، به‌دلیل آبیاری بیش از حد نیاز آبی گیاه توسط کشاورزان، موجب ایجاد تلفات نفوذ عمقی از ناحیهٔ ریشه گشته و عامل اصلی کاهش راندمان در مزارع ذکر شده است.

۴- شیب نامتوازن و کم مزارع که به‌دلیل پرهزینه بودن تسطیح اراضی، کشاورز مایل به تسطیح نبوده و باعث عدم پیش‌روی خوب آب در نوار می‌شود، می‌تواند دلیل دیگری بر کاهش راندمان در مزارع باشد.

۵- با در نظر گرفتن عدم رغبت فعلی کشاورزان به سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، برای جلوگیری از تلفات آب باید طی راه‌کارهای مناسب و کاربردی، راندمان آبیاری سطحی افزایش یابد.

برای ارزیابی دقیق پیشنهاد می‌شود از کنتورهای حجمی جهت اندازه‌گیری حجم تحویلی آب به مزارع استفاده شود. زیرا نوسانات حاصله از پمپ حین آبیاری موجب ایجاد خطا در ارزیابی و مدل‌سازی می‌شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه ارومیه و پژوهشکدهٔ دریاچهٔ ارومیه برای حمایت‌های مالی و تدارکاتی در طول پروژه، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

حسین زاهدپور یگانه: مفهوم‌سازی، تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله؛ **افشین خورسند:** ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج و نظارت؛ **وحید رضاوردی‌نژاد:** راهنمایی، روش‌شناسی، مفهوم‌سازی، مشاوره؛ **حسین دهقانی سانیج:** روش‌شناسی، مفهوم‌سازی، مشاوره و نظارت.

منابع

اجاقلو، حسن، قبادی‌نیا، مهدی، مجدزاده، بیژن، سهرابی، تیمور، و عباسی، فریبرز (۱۳۸۷). برآورد پارامترهای نفوذ برای شبیه‌سازی جریان پیشروی آب در جویچه. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، کرج.

احمدی، علیرضا (۱۴۰۱). اثر افزایش راندمان کاربردی آب بر بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل WEAP در دشت قزوین. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۱)، ۵۳-۶۲. doi: 10.22098/MMWS.2022.9333.1034

اسفندیاری، منصور (۱۳۸۷). بهبود راندمان‌های آبیاری با تسطیح لیزری اراضی زراعی. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، کرج.

بهبهانی، محمودرضا، و بابازاده، حسین (۱۳۸۴). ارزیابی مزرعه‌ای مدل آبیاری سطحی (SIRMOD) (مطالعه موردی در آبیاری شیاری). *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۲(۲)، ۱-۱۰.

پورغلام آمیجی، مسعود، حاجی راد، ایمان، نایبی، جاوید، علوی، سید راشد، نوذری، فرناز و اکبرپور، منصوره (۱۴۰۳). ارتقاء بهره‌وری آبیاری گندم در ایران (بخش اول: از دیدگاه سامانهٔ آبیاری و مدیریت آب). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۱۷۱-۱۹۳. doi:10.22098/MMWS.2023.11037.1189

تافته، آرش، و امداد، محمدرضا (۱۳۹۸). بررسی کارایی مدل Surface و SRFR در شبیه‌سازی راندمان کاربرد آب در آبیاری نواری در مزارع گندم. *آب و توسعه پایدار*، ۶(۳)، ۷۹-۸۷. doi:10.22067/jwsd.v6i3.79289

تقی‌زاده، زهرا، رضاوردی‌نژاد، وحید، ابراهیمیان، حامد، و خان‌محمدی، ندا (۱۳۹۱). ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای). *آب و خاک*، ۲۶(۶)، ۱۴۵۰-۱۴۵۹. doi:10.22067/jsw.v0i0.19282

جلیلی، سعید (۱۳۸۵). ارزیابی مدل‌های آبیاری سطحی در آبیاری نواری مزرعه یونجه در همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران.

رجا، امید، رضایی راد، هادی، و ابراهیمیان، حامد (۱۳۹۹). ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد آبیاری جویچه‌ای در مزارع ذرت و ارائه راهکارهای مدیریتی با استفاده از مدل WinSRFR (مطالعه موردی: دزفول). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱(۱۱)، ۲۷۶۱-۲۷۷۲. doi:10.22059/ijswr.2020.309311.668724

رحیمی، مرتضی، و سپاسخواه، علیرضا (۱۳۸۳). تعیین معادلات نفوذ و پیشروی آب در آبیاری جویچه‌ها در مزارع نیشکر هفت تپه. دومین کنفرانس ملی دانشجویی، دانشگاه شیراز.

رضاوردی‌نژاد، وحید، جنوبی، رزا، بشارت، سینا، و عباسی، فریبرز (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل متغیرهای جریان و هندسی بر عملکرد بهینه آبیاری نواری با استفاده از مدل WinSRFR. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۶(۴)، ۶۹۵-۷۰۶. doi:10.22059/ijswr.2015.56793

رضایی راد، هادی، ابراهیمیان، حامد، و لیاقت، عبدالمجید (۱۴۰۰). تخمین معکوس ضریب زبری مانینگ با استفاده از مدل WinSRFR و بررسی تغییرات آن در رخدادهای مختلف آبیاری. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۳(۱۵)، ۵۹۸-۶۱۰. dor:20.1001.1.20087942.1400.15.3.10.4

عباسی، فریبرز، مامن‌پوش، علیرضا، باغاتی، جواد، و کیانی، علیرضا (۱۳۷۸). ارزیابی بازدهی روش‌های آبیاری سطحی و نحوه کار آن‌ها در سطح کشور. گزارش پژوهش نهایی به شماره ثبت ۸۸/۴۹ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.

عباسی، فریبرز (۱۳۹۱). اصول جریان در آبیاری سطحی (جلد اول). چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۳۲ صفحه.

فراستی، معصومه، فرزی، سهیلا، و پورمحمد، پژمان (۱۳۹۷). ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری جویچه‌ای با مدل‌های SIRMOD و WinSRFR. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۴(۳)، ۲۰۷-۲۱۵. doi:10.22034/jewe.2018.129534.1259

قاسم‌زاده مجاوری، فرهاد (۱۳۶۹). ارزیابی سیستم‌های آبیاری مزارع (جلد اول). چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۳۶ صفحه.

کریمی گوغری، شهرام، و پناهنده، عباس (۱۳۸۸). ارزیابی راندمان آبیاری نواری با توجه به شیب و ابعاد نوار و شبیه‌سازی جریان با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR 3.1. دهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

مکاری قهرودی، اسماعیل، لیاقت، عبدالمجید، و نحوی‌نیا، محمدجواد (۱۳۹۲). کاربرد مدل WinSRFR3.1 در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱(۷)، ۵۹-۶۷.

منوچهری، غلامرضا (۱۳۷۲). مسائل مربوط به الگوی مصرف آب. بولتن کمیسیون آب شورای پژوهش‌های علمی کشور، شماره ۶.

هوشمند، محمد، رجا، امید، پورغلام آمیجی، مسعود، و ابراهیمیان، حامد. (۱۳۹۸). مقایسه دو نرم‌افزار SIRMOD و WinSRFR با روش‌های مختلف تخمین نفوذپذیری به‌منظور طراحی و مدیریت آبیاری جویچه‌ای. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۶(۲)، ۹۱-۱۰۲.

References

Abbasi, F., Mamanpoush, A., Baghati, J., & Kiani, A. (2000). Evaluating the efficiency of surface irrigation methods and how they work in the country. Final research report under registration number 88.49. Center for Information and scientific Documents of Agriculture. [In Persian]

Abbasi, F. (2012). *Principles of flow in surface irrigation*. 1st Edition: Publications of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 232 pages. [In Persian]

Ahmadi, A. (2022). The effect of increasing water use efficiency on improving the status of groundwater resources using WEAP model in Qazvin Plain. *Water and Soil Management*

and Modeling, 2(1), 53-62. doi: 10.22098/MMWS.2022.9333.1034

Bautista, E., Strelkoff, T.S., Clemmens, A.J., & Zerihun, D.A.W.I.T. (2008). Surface volume estimates for infiltration parameter estimation. *World Environmental and Water Resources Congress, Ahupua'A*, 1-10. doi;10.1061/40976(316)84

Bautista, E., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., & Schlegel, J. (2009a). Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agricultural Water Management, 96*(7), 1146-1154. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.007

Bautista, E., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., & Niblack, M. (2009b). Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR-Example application. *Agricultural Water Management, 96*(7), 1162-1169. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.009

Bavi, A., Boroomand-Nasab, S., Naseri, A., Naser, G.h., & Meskarbashi, M. (2012). Effects of infiltration variability on furrow irrigation performances. *New York Science Journal, 5*(6), 12-19.

Behbehani, M.R., & Babazadeh, H. (2005). Field evaluation of surface irrigation model (SIRMOD) (Case study in furrow irrigation). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 12*(2), 1-10. [In Persian]

Chen, B., Ouyang, Z., Liu, E., Zhang, Y., & Chen, J. (2010). Comparison of border irrigation practices in different morphologic fields. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 26*(11), 30-36.

Chen, B., Ouyang, Z., & Zhang, S.h. (2012). Evaluation of hydraulic process and performance of border irrigation with different regular bottom configurations. *Journal of Resources and Ecology, 3*(2), 151-160. doi:10.5814/j.issn.1674-764x.2012.02.007

Chen, B., Ouyang, Z., Sun, Z., Wu, L. & Li, F. (2013). Evaluation on the potential of improving border irrigation performance through border dimensions optimization: a case study on the irrigation districts along the lower Yellow River. *Irrigation science*, *31*(4), 715-728. doi:10.1007/s00271-012-0338-0

Dai, X., Shi, H., Li, Y., Ouyang, Z., & Huo, Z. (2009). Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factors. *Hydrological Processes: An International Journal, 23*(3), 442-450. doi:10.1002/hyp.7153

Elliott R.L., & Walker W.R. (1982). Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transaction ASAE, 25*, 396-400. doi: 10.13031/2013.33542

Esfandiari, M., & Maheshwari, B.L. (2001). SW-Soil and Water: Field Evaluation of Furrow Irrigation Models. *Journal of Agricultural Engineering Research, 79*(4), 459-479. doi:10.1006/jaer.2001.0717

Esfandiari, M. (2008). Improving irrigation efficiency with laser leveling of agricultural lands. Proceedings of the Second Seminar on Improving and Rehabilitation of Surface Irrigation Systems. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Karaj, Iran, Pp. 207-220. [In Persian]

Farasati, M., Farzi, S., & Pourmohammad, P. (2018). Field evaluation and analysis of furrow irrigation by SIRMOD and WinSRFR models. *Environment and Water Engineering*, *4*(3), 207-215. doi:10.22034/jewe.2018.129534.1259. [In Persian]

Gasemzahehmojaveri, F. (1990). *Evaluation of farm irrigation systems.* 2th Edition: Astan Quds Razavi Publishing, 336 pages. [In Persian]

Hanson, B.R., Prichard, T.L., & Schulbach, H. (1993). Estimating furrow infiltration. *Agricultural Water Management, 24*(4), 281-298. doi:10.1016/0378-3774(93)90008-X

Hooshmand, M., Raja, O., Pourgholam Amiji, M., & Ebrahimian, H. (2019). Comparison of two SIRMOD and WinSRFR software with different permeability estimation methods for furrow irrigation design and management. *Water Management in Agriculture, 6*(2), 91-102. [In Persian]

Jalili S. (2006). Evaluation the models of surface irrigation in border irrigation of alfalfa field in Hamadan. Master Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. [In Persian]

Karami Goghari, S.h., & Panahandeh, A. (2009). Evaluation the efficiency of border irrigation according to slope and dimensions of border and simulation of flow with WinSRFR 3.1. 10th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman Shahid Bahonar University, Kerman, Iran, Pp.20-28. [In Persian]

Lalehzari, R., & Boroomand-Nasab, S. (2017). Improved volume balance using upstream flow depth for advance time estimation. *Agricultural Water Management*, *186*, 120-126. doi:10.1016/j.agwat.2017.03.005

Manuchehri, g. (1993). Issues related to water consumption patterns. Bulletin of the Water Commission of the Scientific Research Council of the country, No 6 [In Persian].

McClymont, D., & Smith, R. (1996). Infiltration parameters from optimization on furrow irrigation advance data. *Irrigation Science, 17*, 15-22. doi:10.1007/s002710050017

Mehri, A., Soltani Mohammadi, A., Ebrahimian, H., & Boroomandnasab, S. (2023). Evaluation and optimization of surge and alternate furrow irrigation performance in maize fields using the WinSRFR software. *Agricultural Water Management*, *276*, 1-10. doi:10.1016/j.agwat.2022.108052

Mokari Gahroodi, E., Liaghat, A.M., & Nahvinia, M.J. (2013). Application of WinSRFR3.1 Model in Furrow Irrigation Simulation. *Iranian Iranian Journal of lrrigation and Drainage, 1*(7), 59-67. [In Persian]

Morris, M.R., Hussain, A., Gillies, M.H., & O'Halloran, N.J. (2015). Inflow rate and border irrigation performance. *Agricultural Water Management, 155*, 76-86. doi:10.1016/j.agwat.2015.03.017

Ojaghlou, H., Gobadinia, M., Majdzadeh, B., Sohrabi, T., & Abbasi, F. (2008). Estimation of infiltration parameters for simulating the advancing flow of water in the furrow. Proceedings of the Second Seminar on Improving and Rehabilitation of Surface Irrigation Systems. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Karaj, Iran, Pp. 310-320. [In Persian].

Pourgholam-Amiji, M., Hajirad, I., Nayebi, J., Alavi, S.R., Nozari, F., & Akbarpour, M. (2024). Improving wheat irrigation productivity in Iran (Part one: from the viewpoint of irrigation system and water management). *Water and Soil Management and Modeling, 4*(1), 171-193. doi:10.22098/MMWS.2023.11037.1189.[In Persian]

Radmanesh, M., Ahmadi, S.H., & Sepaskhah, A.R. (2023). Measurement and simulation of irrigation performance in continuous and surge furrow irrigation using WinSRFR and SIRMOD models. *Scientific Reports*, *13*(1), 5768. doi:10.1038/s41598-023-32842-8

Rahimi, M., & Sepaskhah, A.R. (2004). Determining water penetration equations in furrow irrigation in Haft Tepe sugarcane fields. Proceedings of the Second National Student Conference on Water and Soil Resources. Faculty of Soil and Water Resources, Shiraz University, Shiraz, Iran, Pp. 49-55 [In Persian].

Raja,O., Rezaei Rad, H., & Ebrahimian, H. (2021). Field evaluation of furrow irrigation performance in corn fields and presentation of management solutions using WinSRFR model (Case Study: Dezful). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51* (11), 2761-2772. doi:10.22059/ijswr.2020.309311.668724. [In Persian]

Rezaei Rad, H., Ebrahimian, H., & Liaghat, A. (2021). Inverse estimation of Manning roughness coefficient using WinSRFR model and investigating its variations in different irrigation events. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *3*(15), 598-610. dor:20.1001.1.20087942.1400.15.3.10.4. [In Persian].

Rezaverdinejad, V., Jonoobi, R., Besharat, S., & Abbasi, F. (2016). Investigation and analysis of flow and geometrical variables on optimal border irrigation performance using WinSRFR model. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 46*(4), 695-706. doi:10.22059/ijswr.2015.56793. [In Persian]

Seifi, A., Golestani Kermani, S., Mosavi, A., & Soroush, F. (2023). Uncertainty Assessment of WinSRFR furrow irrigation simulation model using the GLUE framework under variability in geometry cross section, infiltration, and roughness parameters. *Water*, *15*(6), 1250. doi:10.3390/w15061250.

Singh, A.K., Tripathy, R., & Chopra, U.K. (2008). Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management, 95*(7), 776-786. doi:10.1016/j.agwat.2008.02.006

Soler, C.M.T., Sentelhas, P.C., & Hoogenboom, G. (2007). Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy, 27*(2-4), 165-177. doi:10.1016/j.eja.2007.03.002

Tafteh, A., & Emdad, M.R. (2020). Evaluating the efficiency of surface and SRFR models in simulation of application efficiency of border irrigation in wheat farms. *Water and Sustainable Development*, *6*(3), 79-87. doi:10.22067/jwsd.v6i3.79289. [In Persian]

Taghizadeh, Z., Rezaverdinejad, V., Ebrahimian, H., & Khanmohammadi, N. (2013). Field evaluation and analysis of surface irrigation system with WinSRFR (Case study furrow

irrigation). *Journal of Water and Soil, 26*(6), 1450-1459. doi:10.22067/jsw.v0i0.19282. [In Persian].

Walker, W.R. (2005). Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of Irrigation Drainage Engineering, 131*(2), 129-136. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:2(129)