Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 49, No. 2, Summer 2026, p. 105-118

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Determining The Wetted Perimeter and Water Flow Cross-Section in Furrow Irrigation Using Different Methods

A. Rahimi

Department of Water Science and Engineering,Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.(Ab.Rahimi1349@iau.ac.ir)

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 22 June 2025
Revised: 09 December 2025
Accepted: 29 December 2025
Available online: 05 August 2026

Keywords:
Evaluation, Manning's, SCS, and Parabolic Equations.

TO CITE THIS ARTICLE:

Rahimi, A. 2026. 'Determining The Wetted Perimeter and Water Flow Cross-Section in Furrow Irrigation Using Different Methods', *Irrigation Sciences and Engineering*, 49(2), pp. 105-118. doi: 10.22055/jise.2025.50008.2168.

Abstract

Most strategic crops such as sugarcane, sugar beet, and others are irrigated using the furrow method. The most important factors affecting water infiltration in the furrows include the wetted perimeter, flow cross-section, and so on. Evaluating the wetted perimeter and flow cross-section in furrow irrigation requires measuring parameters such as the cross-section, wetted perimeter, and others.At the farmlands of the Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Sanandaj, 20×20 meter grid was implemented to determine the land slope, and a topographical map was prepared. The furrows were created using a ridger with an approximately parabolic cross-section, spaced 0.75 meters apart and 80 meters long. A total of five measurement furrows and ten buffer furrows were created in one block for four consecutive irrigations, and the necessary experiments were conducted.The data were analyzed using MSTAT-C, SPSS, software.The Analysis of Variance results showed a significant difference at the one percent (1%) level between the mean wetted perimeter values in measurement furrows one to five and the cross-section meter and parabola equation. The coefficient of variation for this data was 0.03 percent. The mean wetted perimeter values for the cross-section meter and parabola equation methods were 48.36 cm and 48.31 cm, respectively.The results showed a significant difference at the one percent (1%) level between the mean flow cross-section values in furrows one to five and the two measurement methods. The coefficient of variation for this data was 2.18 percent. The mean flow cross-section values for the cross-section meter and parabola equation methods were 306.28 cm^2 and 347.43 cm^2, respectively.The fitted line equation and the correlation coefficient derived from the mean wetted perimeter values using the cross-section meter and parabola equation methods showed that the correlation coefficient for the wetted perimeter obtained equal to one and for the flow cross-section, it was approximately 0.99.

Introduction

Li et al (2023) surface irrigation is one of the most common irrigation methods in Iran and the world. Many strategic crops such as sugarcane, sugar beet, and corn are irrigated using the furrow method. The wetted perimeter, flow cross-section, infiltration opportunity time, furrow length, inflow rate, geometric shape, and furrow slope are among the most important factors affecting water infiltration in furrows. Behzad (1996) by definition, the length of the water-soil interface in the cross-section of the furrow is called the "wetted perimeter." Water infiltration in furrows is more complex due to the water-soil contact area, the effect of adjacent furrows, the geometric shape of the furrows, etc., on the amount of infiltration. Philip (1984) showed theoretically and experimentally that water infiltration from a curved surface is significantly greater than from a flat surface.

Wöhling et al. (2004) in order to study the effect of the wetted perimeter on water infiltration in furrows, performed infiltration tests using inflow and outflow methods, a circulating infiltrometer, and blocked furrows with constant and variable depths, and investigated equations. The results of the analysis of variance of the predicted infiltration values by each of the equations showed that infiltration equations that lack the effect of the wetted perimeter and flow cross-section in estimating the amount of water infiltration in the soil have the greatest error. On the contrary, equations that have wetted perimeter or flow cross-section parameters, in addition to having less error, have more flexibility to adapt to changes in hydraulic conditions in furrows compared to previous equations.

Research Methodology

The study area includes the lands of the Faculty of Agriculture of Islamic Azad University of Sanandaj, located 10 kilometers from the Sanandaj-Kermanshah road. This area has geographic coordinates of $36^{\circ}, 10', 38''$ northern latitude and $44^{\circ}, 03', 47''$ eastern longitude. There are several methods for evaluating the flow cross-section and wetted perimeter, including sectioning methods, parabolic equation, Manning's formula, and the United States Soil Conservation Service (SCS) method.

After preparing the land, 20×20 square meter grids were implemented to determine the land slope, and a topographic map of the land was prepared. Then, furrows with an approximately parabolic cross-section were created using a furrow shaper at a distance of 0.75 meters from each other and with a length of 80 meters in a block of 5 measurement furrows and 10 buffer furrows for four consecutive irrigations (first to fourth). Numerous experiments were performed, including measuring the geometric shape, inflow and outflow rate, irrigation depth, water surface width, and furrow slope. Irrigation was carried out using siphons$\frac{3}{4}$ and$1\frac{1}{4}$ inches from the earthen canal above the farm, and each furrow was irrigated with two$\frac{3}{4}$ siphons and one$1\frac{1}{4}$ inch siphon in an open-ended manner.

Results

In order to compare and evaluate the wetted perimeter and flow cross-section using the sectioning method, parabolic equation, Manning's formula, and the United States Soil Conservation Service (SCS) method in furrow irrigation, the required data including advance and recession time, inflow and outflow rate, depth and width of the water surface, and furrow slope were collected for five furrows and analyzed using MSTAT-C, SPSS, and Microsoft Office software. To compare between the sectioning method and the parabolic equation and determine the significance of the difference between the two methods in terms of the wetted perimeter and flow cross-section, and to determine the significance of the difference between the treatments, analysis of variance was performed using ANOVA through MSTAT-C software in a completely randomized design. Also, Duncan's multiple range test was used to determine the homogeneity of the difference between the treatments. The results of the analysis of variance related to the effect of the sectioning method and the parabolic equation for the wetted perimeter and flow cross-section are presented in Tables (1 and 2).

Table 1 - Results of Analysis of Variance of the Effect of Measurement Method on Wetted Perimeter

Row	Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares
1	Block	4	2.28**
2	Measurement Method	1	0.007**
3	Error	4	0.001
4	Total	9	
5	Coefficient of Variation (CV) % 0.03		

** Significant at the 1% level * Significant at the 5% level ns Non-significant

Table 2 - Results of Analysis of Variance of the Effect of Measurement Method on Flow Cross-Sectional Area

Row	Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares
1	Block	4	1817.810**
2	Measurement Method	1	4232.607**
3	Error	4	50.927
4	Total	9	
5	Coefficient of Variation (CV)	% 2.18	

** Significant at the 1% level * Significant at the 5% level ns Non-significant

The results of the analysis of variance of the experimental data showed that there is a significant difference at the 1% level between the average values of the flow cross-section in the measurement blocks (furrows 1 to 5) and the measurement methods (sectioning and parabolic equation), and the coefficient of variation of the data is 2.18%. The average values of the flow cross-section in the two sectioning and parabolic equation methods were 306.28 and 347.43 square centimeters, respectively.

The results of fitting regression lines along with the fitted line equation and correlation coefficient between the average values of the flow cross-section with the sectioning and parabolic equation methods were evaluated. The results showed that the highest correlation coefficient in the flow cross-section obtained from the two measurement methods was related to furrow number two, equal to 0.99, and the lowest correlation coefficient was related to furrow number four, equal to 0.99. The results of fitting regression lines along with the fitted line equation and correlation coefficient between the average values of the wetted perimeter with the sectioning and parabolic equation methods were evaluated in all furrows. The results showed that the correlation coefficient in the wetted perimeter obtained from the two methods is approximately equal to one for all furrows and is approximately 0.99 for the flow cross-section (Figures 1 and 2).

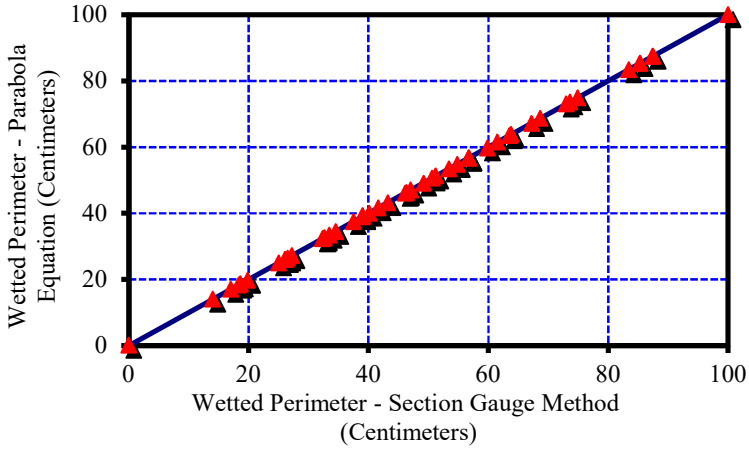


Fig. 1-Comparison of Wetted Perimeter Values Using the Section Measurement and Parabola Equation Methods in Furrows Number 1 to 5.

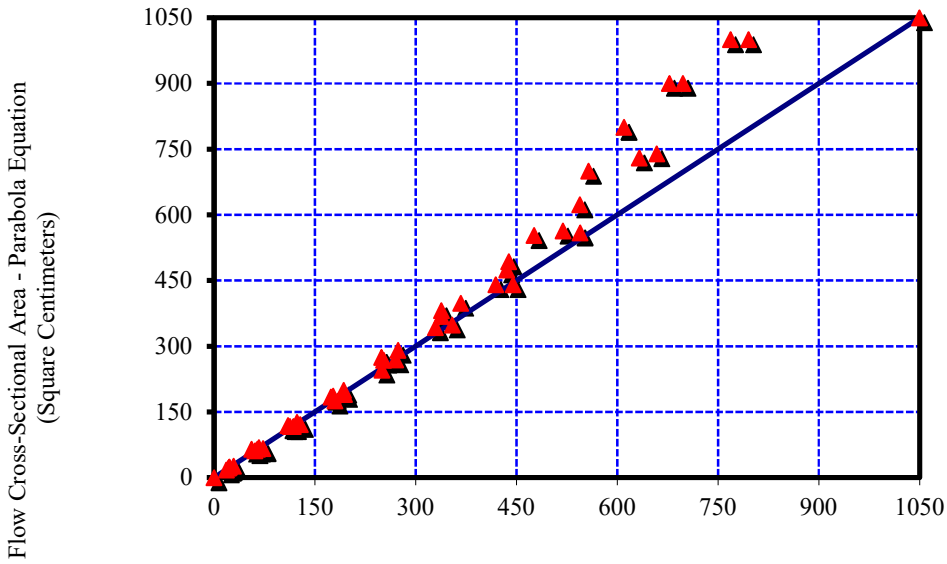


Fig. 2- Comparison of Flow Cross-Sectional Area Values Using the Section Measurement and Parabola Equation Methods in Furrows Number 1 to 5.

Conclusion

The results of the analysis of variance of the experimental data showed that there is a significant difference at the 1% level between the average values of the wetted perimeter in the measurement blocks (furrows 1 to 5) and the measurement methods (sectioning and parabolic equation), and the coefficient of variation of the data is 0.03%. The average values of the wetted perimeter in the two sectioning and parabolic equation methods were 48.361 and 48.31 cm, respectively. Also, the results of the analysis of variance of the experimental data showed that there is a significant difference at the 1% level between the average values of the flow cross-section in the measurement blocks (furrows 1 to 5) and the measurement methods (sectioning and parabolic equation), and the coefficient of variation of the data is 2.18%. The average values of the flow cross-section in the two sectioning and parabolic equation methods were 306.28 and 347.43 cm2, respectively.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article.

Funding

The financial support of this research has been provided by Islamic Azad University, Sanandaj and we hereby thank the Honorable Vice Chancellor of Research from Islamic Azad University, Sanandaj. for their support.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors state that they have not used generative AI or AI-assisted technologies in their manuscript.

Authors' contribution

Author: Abubakr Rahimi،Department of Water Science and Engineering,Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

Acknowledgments

This article is the result of research financially supported by the Islamic Azad University, Sanandaj Branch. Therefore, we would like to express our gratitude and appreciation to this university unit.

References

1-Behzad,M., 1996. Study of the effect of wetted perimeter on water penetration in furrows. PhD thesis, Faculty of Agriculture, *Tarbiat Modares University*, 218 pages.

2_Li, J., Zhu, Y., Jin, H., Zhou, B., Han, L., Wang, H. and Wei, C., 2023. Approximate water vertical infiltration extremum path in unsaturated soils. *Journal of Hydrology*, *625*, p.129989. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129989.

3- Philip, J.R., 1984. Steady infiltration from circular cylindrical cavities. *Soil Science Society of America Journal*, *48*(2), pp.270-278. https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800020008x

4- Wöhling, T., Schmitz, G.H. and Mailhol, J.C., 2004. Modeling two-dimensional infiltration from irrigation furrows. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 130(4), pp.296-303. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:4(296).

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۹، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۵، مقاله پژوهشی، ص. ۱۱۸-۱۰۵

تعیین محیط خیس شده و سطح مقطع جریان آب در آبیاری جویچه‌ای با استفاده اززروش‌های مختلف

ابوبکر رحیمی

گروه علوم ومهندسی آب، واحد سنندج،دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج،ایران.Ab.Rahimi1349@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸ انتشار: ۱۴۰۵/۵/۱۵

چکیده

اغلب محصولات استراتژیک مثل نیشکر، چغندرقند و ... به روش جویچه‌ای آبیاری می‌شوند. از مهمترین عوامل مؤثر بر نفوذ آب در جویچه‌ها می‌توان به محیط خیس شده، سطح مقطع جریان و ... اشاره نمود. ارزیابی محیط خیس شده و سطح مقطع جریان در آبیاری جویچه‌ای نیاز به اندازه‌گیری پارامترهایی مانند شکل سطح مقطع جریان، محیط خیس شده و... می‌باشد. در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی سنندج برای تعیین شیب زمین، شبکه‌های ۲۰×۲۰ متر مربع اجرا و نقشه توپوگرافی زمین تهیه گردید. جویچه‌ها به‌وسیله جوی پشته‌بند با مقطعی تقریباً سهمی شکل به فاصله ۰/۷۵ متر از یکدیگر و به طول ۸۰ متر در یک بلوک مجموعاً پنج جویچه لندازه‌گیری و ده جویچه حایل برای انجام چهار آبیاری متوالی ایجاد و آزمایش‌های لازم انجام گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهایMSTAT-C ، SPSS و ... مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مورد آزمایش بین مقادیر متوسط محیط خیس شده در جویچه‌های یک تا پنج و روش‌های مقطع سنج ومعادله سهمی تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد را نشان داد و ضریب تغییرات داده‌ها برابر۰/۰۳ درصد می‌باشد. مقادیر متوسط محیط خیس شده در دو روش مقطع سنج ومعادله سهمی به‌ترتیب برابر ٤٨/٣٦ و ٤٨/٣١ سانتی‌متر بوده است. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مورد آزمایش بین مقادیر متوسط سطح مقطع جریان در جویچه‌های یک تا پنج وروش‌های مقطع سنج و معادله سهمی تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد داشتند وضریب تغییرات داده‌ها برابر۲/۱۸ درصد می‌باشد. مقادیر متوسط سطح مقطع جریان در دو روش مقطع سنج و معادله سهمی به‌ترتیب برابر ۳۰٦/۲۸و۳٤۷/٤۳ سانتی‌متر مربع بوده است. معادله خط برازش یافته و ضریب همبستگی، حاصل از مقادیر متوسط محیط خیس شده با روش‌های مقطع سنج و معادله سهمی حاصل از دو روش اندازه‌گیری برای تمامی جویچه‌ها تقریباً برابر یک و برای سطح مقطع جریان حدود ۰/۹۹ می‌باشد.

کلیدواژه ها: ارزیابی، معادله های مانینگ ،SCS وسهمی.

مقدمه

آبیاری سطحی یکی از متداولترین روش‌های آبیاری در ایران و جهان است. علی‌رغم پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای که در سایر روش‌های آبیاری به‌وجود آمده آبیاری سطحی در اغلب کشورها از جمله ایران همچنان با روش‌های سنتی اجرا می‌گردد و تاکنون تغییر قابل توجهی در این روش مهم آبیاری داده نشده است. بدیهی است که با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت منابع آب و خاک نمی‌توان برای همیشه با بازده‌های موجود آبیاری سطحی را ادامه داد و لازم است که بازده‌های آبیاری افزایش داده شود. برای افزایش بازده‌های آبیاری به‌خصوص آبیاری سطحی قبل از هر چیز شناخت مسئله و مطالعه پدیده پیچیده نفوذ آب در خاک لازم است. آبیاری سطحی به روش‌های آبیاری کرتی، نواری و جویچه‌ای اجرا می‌شود. نفوذ آب در کرت‌ها و نوارها عمدتاً یک بعدی است که به‌طور عمودی و در جهت نیروی ثقل صورت می‌گیرد. در جویچه‌ها نفوذ آب دو بعدی بوده و در جهت عمودی و افقی به‌وسیله نیروی ثقل و موئینگی انجام می‌شود (Li et al., 2023). به‌علت اینکه اغلب محصولات استراتژیک مثل نیشکر، چغندرقند، ذرت و ... به روش جویچه‌ای آبیاری می‌شوند و از مهمترین عوامل مؤثر بر نفوذ آب در جویچه‌ها می‌توان به محیط خیس شده ، سطح مقطع جریان ،فرصت زمان نفوذ ، طول جویچه، شدت جریان ورودی، شکل هندسی و شیب جویچه‌ها اشاره نمود. با توجه به اینکه در اکثر معادله‌های نفوذ آب در جویچه‌ها پارمترهای شکل هندسی جویچه، محیط خیس شده و سطح مقطع جریان نقش اساسی در مقدار نفوذ آب در خاک را دارند از این جهت به ارزیابی این مهم پرداخته خواهد شد. بنا به تعریف طول فصل مشترک آب با خاک را در مقطع عرضی جویچه «محیط خیس شده» گویند Behzad (1996).

محیط خیس شده در مراحل مختلف آبیاری جویچه‌ای نسبت به زمان و مکان متغیر می‌باشد و لازم است اثر آن بر مقدار نفوذ مورد بررسی قرار گرفته تا در صورت لازم برای بالا بردن کیفیت طراحی، مدیریت و اجرا در مدل‌های آبیاری سطحی منظور گردد. روند تغییرات محیط خیس شده در طول جویچه بستگی به نوع خاک، زبری جویچه، کمبود رطوبت خاک، شیب جویچه و مقدار جریان ورودی دارد لذا تعیین اثر محیط خیس شده بر مقدار نفوذ به منزله تعیین غیر مستقیم اثر عوامل مذکور نیز می باشد. نفوذ آب در کرت‌ها و نوارها پدیده پیچیده‌ای است که به نوع خاک و شرایط

سطح آن بستگی دارد و نفوذ آب در جویچه‌ها به‌علت سطح تماس آب با خاک، اثر جویچه‌های مجاور شکل هندسی جویچه‌ها و ... بر مقدار نفوذ پیچیده‌تر است بدیهی است وارد کردن اثر همه عوامل در معادله‌های نفوذ بررسی مسئله را پیچیده‌تر می‌کند و لذا معمولاً سعی می‌شود اثر عوامل مختلف بررسی و عوامل مؤثرتر را انتخاب و وارد معادله‌های نفوذ نمود. علاوه بر نوع خاک و شرایط سطح آن عمده‌ترین عوامل مؤثر بر نفوذ آب در جویچه‌ها می‌توان به فرصت نفوذ ، فاصله جویچه‌ها، شکل هندسی، سرعت جریان سطحی، شدت جریان ورودی، شیب زمین، محیط خیس شده، هوا و شکاف‌های موجود در خاک و غیره اشاره نمود. شکل هندسی جویچه‌ها بر مقدار نفوذ مؤثر می‌باشد.

Philip et al.(1984) با تئوری و تجربه نشان داد که نفوذ آب از یک سطح منحنی شکل به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از یک سطح مسطح است.

Gillies et al., (2005) تأثیر شکل مقطع جویچه (ذوزنقه‌ای و مثلثی) و رطوبت اولیه خاک بر میزان نفوذ در آبیاری سطحی را مورد مطالعه قرار دادند و معادله‌های دو بعدی نفوذ را به‌دست آوردند. Martin (2002) فرض کرد که شکل هندسی تأثیر چندانی بر مقدار نفوذ نداشته وآن را مستطیلی در نظر گرفته ومعادله های نفوذ دو بعدی آب در جویچه ها را ارائه کردند. Dibal et al.(2014) تأثیر سرعت جریان سطحی بر مقدار نفوذ آب در جویچه‌ها را فرسایش، حمل ذرات، رسوب‌گذاری مجدد و مسدود شدن خلل و فرج سطح نفوذپذیر و یا تشکیل سله توسط سرعت جریان سطحی و یا تنش بررشی حاصل از آن می‌داند.

De Queiroz et al. (2020)دسترسی به یک رابطه نفوذ شدت جریان ورودی به‌منظور پیش بینی تغییرات نفوذ با شدت جریان ورودی درجویچه‌ها راضروری می‌دانند، آن‌ها به‌علت عدم دسترسی به چنین رابطه‌ای از یک روش ساختگی برای منظور کردن اثر این پدیده استفاده کرده‌اند. بدین ترتیب که مقدار نفوذ آب درجویچه‌ها رلباتوجه به محیط خیس شده و شدت جریان نرمال محاسبه نموده وسپس برای محاسبه مقدار نفوذ با شدت جریان مورد نظر آن را در نسبت محیط خیس شده شدت جریان مورد نظر به محیط خیس شده شدت جریان نرمال ضرب نموده اند.

Wöhling et al., (2004) به‌منظور مطالعه اثر محیط خیس شده بر نفوذ آب درجویچه‌ها به روش‌های ورودی وخروجی، نفوذسنج گردشی، و جویچه‌های مسدود با عمق ثابت و متغیر آزمایش‌های نفوذپذیری را انجام و معادله‌ها را مورد بررسی قرار داد، نتایج تجزیه واریانس مقادیر پیش‌بینی نفوذ به‌وسیله هر یک از معادله‌های نشان داد که معادله‌های نفوذی که فاقد اثر محیط خیس شده و سطح مقطع جریان در برآورد میزان نفوذ آب در خاک می‌باشند دارای بیشترین خطا هستند ولی برعکس معادله‌های که دارای پارامترهای محیط خیس شده یا سطح مقطع جریان هستند علاوه بر خطای کمتر دارای انعطاف‌پذیری بیشتری برای تطابق با تغییرات شرایط هیدرولیکی در جویچه‌ها نسبت به معادله‌های قبلی می‌باشند. در نهایت استفاده از معادله‌های که دارای پارامترهای محیط خیس شده یا سطح مقطع جریان هستند برای برآورد میزان نفوذ آب در جویچه‌ها را توصیه نمود زیرا دقت محاسبات و بازده آبیاری را بالا می‌برد. به‌منظور مطالعه اثر محیط خیس شده و سطح مقطع جریان بر میزان نفوذ آب در جویچه‌ها و تعیین این دو پارامتر با استفاده از روش‌های مقطع سنج، معادله‌های سهمی، مانینگ و سازمان حفاظت خاک امریکا بایستی آزمایش‌های نفوذپذیری به روش ورودی وخروجی انجام و داده‌های مورد نیاز شامل زمان پیشروی و پسروی، شدت جریان ورودی وخروجی، عمق و عرض سطح آب و شیب جویچه‌ها برای جویچه‌ها جمع‌آوری و سپس از طریق فرمول‌های زیر ضرایب شکل جویچه‌ها تعیین تا در نهایت به کمک روش‌های فوق‌الذکر بتوان به ارزیابی محیط خیس شده و سطح مقطع جریان پرداخت.

$$T_W = a_1 Y^{a_2} \quad (۱)$$

$$A = \delta_1 Y^{\delta_2} \quad (۲)$$

$$W_P = \gamma_1 Y^{\gamma_2} \quad (۳)$$

$$A = \rho_1 {W_P}^{\rho_2} \quad (۴)$$

که درآن:

T_W ،A،Y و W_P به‌ترتیب عرض سطح آب، سطح مقطع جویچه، عمق جریان و محیط خیس شده جویچه می‌باشند و a_1،a_2،δ_1،δ_2،γ_1،γ_2،ρ_1وρ_2= پارامترهای معادل یا ضرایب شکل هندسی جویچه‌ها با توجه به عمق و عرض سطح آب در جویچه‌ها و با فرض شکل سهمی برای جویچه‌ها می‌توان از معادله‌های سهمی به شکل زیر محیط خیس شده و سطح مقطع جریان را تعیین نمود:

$$W_P = \left(\frac{T_{op}}{2}\right)\left[\sqrt{1+X^2} + \frac{1}{X} Ln\left(X + \sqrt{1+X^2}\right)\right] \quad (۵)$$

$$X = \frac{4Y}{T_{op}} \quad (۶)$$

$$\mathrm{A} = \frac{2}{3}\left(\mathrm{Y}.\mathrm{T_{op}}\right) \quad (۷)$$

که درآن Y،T_{op}،AوW_P به‌ترتیب عمق جریان، عرض سطح آب، سطح مقطع جریان و محیط خیس شده می‌باشند. Manineg نیز با فرض جریان یکنواخت معادله‌های زیر را برای برآورد محیط خیس شده پیشنهاد نمود:

DOI: 10.22055/jise.2025.50008.2168

$$W_P = a_P \left[\frac{n' Q_{in}}{\sqrt{S}}\right]^{\frac{3}{(5\rho_2 - 2)}} \quad (۸)$$

$$a_P = \rho_1^{\frac{-5}{(5\rho_2 - 2)}} \quad (۹)$$

که در آن Q_{in}،Sوn' به‌ترتیب شدت جریان ورودی، شیب جویچه‌ها و ضریب زبری مانینگ می‌باشند. برای تعیین ضرایب شکل جویچه‌ها باید از داده‌های حاصل از روش مقطع سنج استفاده نمود. Mazarei et al., (2021) با معلوم بودن ضریب مانینگ، شیب کف جویچه‌ها و شدت جریان ورودی می‌توان محیط خیس شده برای ابتدای جویچه‌ها محاسبه نمود. سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS) نیز با استفاده از معادله (۹) معادله زیر را جهت تعیین محیط خیس شده پیشنهاد نمود:

$$W_P = 0.265 \left[\frac{n' Q_{in}}{\sqrt{S}}\right]^{0.4247} + 0.227 \quad (۱۰)$$

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق شامل اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی سنندج واقع در ده کیلومتری جاده سنندج- کرمانشاه می‌باشد. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه،۱۰ دقیقه و ۳۸ ثانیه عرض شمالی و۴۴ درجه، ۳ دقیقه و۴۷ ثانیه طول شرقی می‌باشد (شکل۱).

به‌منظور ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی یک سیستم آبیاری جویچه‌ای و به خصوص تعیین معادله نفوذ آب به جویچه که بیانگر وضعیت طبیعی جویچه‌های تحت مطالعه می‌باشد ارزیابی محیط خیس شده و سطح مقطع جریان ضروری است، هر قدر این ارزیابی دقیق‌تر باشد بهتر می‌توان سیستم‌های مورد نظر را ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی نمود.

روش‌های متعددی برای ارزیابی سطح مقطع جریان و محیط خیس شده وجود دارند که از آن جمله می‌توان به روش‌های مقطع سنج، معادله سهمی، فرمول مانینگ و سازمان حفاظت خاک آمریکا اشاره نمود .برای ارزیابی محیط خیس شده و سطح مقطع جریان و تأثیر آن بر میزان نفوذپذیری انجام آزمایش‌های نفوذ پذیری به یکی ازروش‌های ورودی-خروجی، جویچه مسدود شده و نفوذسنج گردشی (بازگردلندن رولناب انتهای جویچه) الزامی است، که در این تحقیق با توجه به اینکه روش ورودی-خروجی در آبیاری مزارع کشاورزی بیشتر قابل توجه و کاربردی است استفاده گردید.

پس از آماده سازی زمین برای تعیین شیب زمین، شبکه‌های ۲۰×۲۰ مترمربع اجرا و نقشه توپوگرافی زمین تهیه می‌گردد سپس جویچه‌ها به‌وسیله جوی و پشته بند با مقطعی تقریباً سهمی شکل به فاصله ۰/۷۵ متر از یکدیگر و به طول ۸۰ متر در یک بلوک مجموعاً پنج جویچه اندازه گیری و ده جویچه حایل برای انجام چهار آبیاری متوالی (اول تا چهارم) وآزمایش‌های متعدد از جمله اندازه‌گیری شکل هندسی، شدت جریان ورودی وخروجی، عمق آبیاری، عرض سطح آب، شیب جویچه‌ها و غیره انجام شد. آبیاری به‌وسیله سیفون‌های سه چهارم و یک و یک چهارم اینچ از نهر خاکی بالای مزرعه انجام گردید. هر جویچه با دوسیفون سه چهارم و یک سیفون یک و یک چهارم اینچ آبیاری و تمام جویچه‌ها به‌صورت انتها باز آبیاری شدند.



Fig. 1- Study Area
شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

برای دستیابی به اطلاعات لازم جهت تحقق اهداف طرح شده و پاسخ مناسب برای سئوالات تحقیق، و به‌منظور مطالعه اثر محیط خیس شده و سطح مقطع جریان برمیزان نفوذ آب در جویچه‌ها آزمایش‌های نفوذ پذیری با اثر محیط خیس شده و شدت جریان ورودی به روش ورودی و خروجی انجام شد. به‌منظور مقایسه وارزیابی محیط خیس شده وسطح مقطع جریان با استفاده ازروش‌های مقطع سنج، معادله معادله‌های سهمی، فرمول مانینگ وسازمان حفاظت خاک آمریکا در آبیاری جویچه‌ای، داده‌های مورد نیاز شامل زمان پیشروی و پسروی، شدت جریان ورودی و خروجی، عمق و عرض سطح آب و شیب جویچه‌ها برای پنج جویچه جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزارهایMSTAT-C ، SPSS و Microsoft Office مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

برای مقایسه بین روش مقطع سنج و معادله سهمی و تعیین معنی‌دار بودن اختلاف بین دو روش در مورد محیط خیس شده و سطح مقطع جریان و تعیین معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارها، در قالب طرح کاملاً تصادفی، تجزیه واریانس از طریق آزمون ANOVA با استفاده از نرم افزار MSTAT-C صورت گرفت. همچنین آزمون چند دامنه‌ای دانکن به‌منظور تعیین همگن بودن اختلاف بین تیمارها به‌کارگرفته شد. نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک و تجزیه واریانس مربوط به اثر روش مقطع سنج و معادله سهمی برای محیط خیس شده و سطح مقطع جریان در جداول (۱) تا (۳) ارائه شده است. همچنین برای تعیین دقت آزمایش‌ها از ضریب تغییرات که مبین خطا بر حسب درصد میانگین آزمایش‌ها است استفاده شد و مقدار ضریب تغییرات بر حسب درصد به‌دست آمد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مورد آزمایش نشان داد که بین مقادیر متوسط محیط خیس شده در بلوک‌های اندازه گیری (جویچه‌های یک تا پنج) و روش‌های اندازه گیری (مقطع سنج و معادله سهمی) تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد وضریب تغییرات داده‌ها برابر۰/۰۳ درصد می‌باشد . مقادیر متوسط محیط خیس شده در دو روش مقطع سنج و معادله سهمی به ترتیب برابر ۴۸/۳۶ و۴۸/۳۱ سانتی‌متر بوده است (شکل۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌های مورد آزمایش نشان داد که بین مقادیر متوسط سطح مقطع جریان در بلوک‌های اندازه‌گیری (جویچه‌های یک تا پنج) و روش‌های اندازه‌گیری (مقطع سنج ومعادله سهمی) تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد وضریب تغییرات داده‌ها برابر۲/۱۸ درصد می‌باشد. مقادیر متوسط سطح مقطع جریان در دو روش مقطع سنج و معادله سهمی به‌ترتیب برابر ۳۰۶/۲۸و۳۴۷/۴۳ سانتی‌متر مربع بوده است (شکل۳).

جدول۱- خصوصیات فیزیکی خاک در عمق‌های مختلف

Table 1 - Physical characteristics of soil at different depths

Deep Soil (cm)	Percentage of Soil Particles clay (%)	silt (%)	Sand (%)	Soil Texture	Bulk Density (gr/cm^3)	Particle Density (gr/cm^3)
0-30	33	34	33	Clay Loam	1.37	2.60
30-60	37	32	31	Loam	1.35	2.61
60-90	21	24	55	Clay Loam	1.68	2.53

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس اثر روش اندازه گیری بر محیط خیس شده

Table 2 - Results of Analysis of Variance of the Effect of Measurement Method on Wetted Perimeter

Row	Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares
1	Block	4	2.28**
2	Measurement Method	1	0.007**
3	Error	4	0.001
4	Total	9	
5	Coefficient of Variation (CV) %	0.03	

** Significant at the 1% level * Significant at the 5% level ns Non-significant

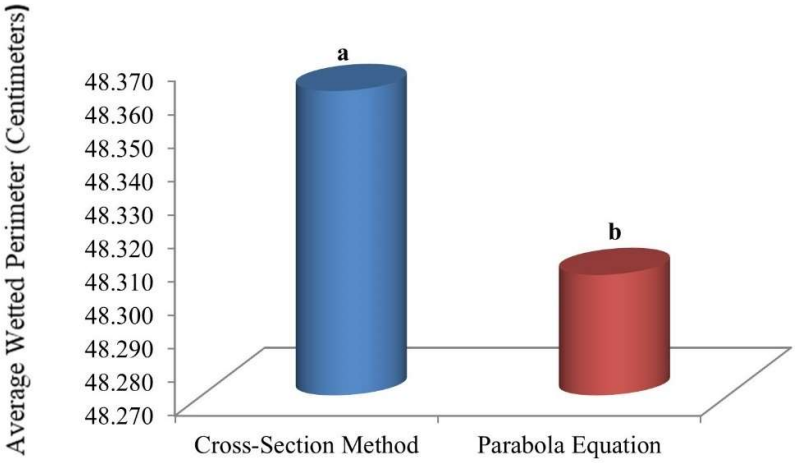
DOI: 10.22055/jise.2025.50008.2168

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس اثر روش اندازه گیری بر سطح مقطع جریان

Table 3 - Results of Analysis of Variance of the Effect of Measurement Method on Flow Cross-Sectional Area

Row	Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares
1	Block	4	1817.810**
2	Measurement Method	1	4232.61**
3	Error	4	50.93
4	Total	9	
5	Coefficient of Variation (CV) % 2.18		

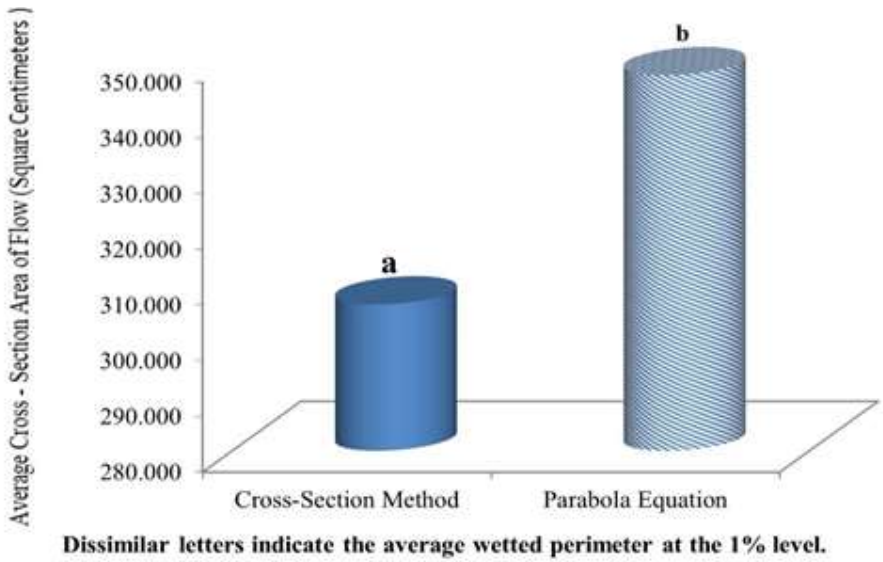
** Significant at the 1% level * Significant at the 5% level ns Non-significant



Dissimilar letters indicate the average wetted perimeter at the 1% level.

Fig. 2- Comparison of Mean Values of Wetted Perimeter Using Different Measurement Methods with Duncan's test

شکل۲- مقایسه میانگین های محیط خیس شده درروش های مختلف اندازه گیری با آزمون دانکن



Dissimilar letters indicate the average wetted perimeter at the 1% level.

Fig. 3- Comparison of Mean Flow Cross-Sectional Areas Using Different Measurement Methods with Duncan's test

شکل۳- مقایسه میانگین های سطح مقطع جریان درروش های مختلف اندازه گیری با آزمون دانکن

همچنین نتایج برازش خطوط رگرسیون همراه با معادله خط برازش یافته و ضریب همبستگی بین مقادیر متوسط سطح مقطع جریان و محیط خیس شده با روش‌های مقطع سنج و معادله سهمی به تفکیک مورد ارزیابی قرار گرفت (جداول ۴ و ۵ و شکل‌های ۴ و ۵). نتایج نشان داد که ضریب همبستگی در محیط خیس شده حاصل از دو روش اندازه‌گیری برای تمامی جویچه‌ها تقریباً برابر یک و برای سطح مقطع جریان حدود ۰/۹۹می‌باشد. نتایج نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی در سطح مقطع جریان حاصل از دو روش اندازه‌گیری مربوط به جویچه شماره دو برابر ۰/۹۹ و کمترین مقدار ضریب همبستگی مربوط به جویچه شماره چهار برابر ۰/۹۹ است.

Nasseri et al. (2004) با ایجاد همبستگی ساده و جزئی بین نفوذ تجمعی و متغیرهای مستقل نفوذ دریافتند که اثر سطح مقطع جریان و محیط خیس شده بر نفوذ تجمعی معنی‌دار می‌باشد. به‌منظور بررسی بیشتر نتایج برازش خطوط رگرسیون همراه با معادله خط برازش یافته و ضریب همبستگی بین مقادیر متوسط محیط خیس شده با روش‌های مقطع سنج و معادله سهمی در تمامی جویچه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی در محیط خیس شده حاصل از دو روش برای تمامی جویچه‌ها تقریباً برابر یک و برای سطح مقطع جریان حدود ۰/۹۹ می‌باشد. رابطه بین مقادیر محیط خیس شده و سطح مقطع جریان در دو روش اندازه‌گیری مقطع سنج و معادله سهمی در جدول (۶) ارائه شده است.

Wöhling et al.(2004) به این نتیجه رسیدندکه بهترین متغیر برای محاسبه نفوذ دوبعدی آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای محیط خیس شده می‌باشد. رابطه سرعت نفوذ آب در جویچه با محیط خیس شده جویچه همبستگی مثبتی وجود دارد. تعدادی از محققین براین باورند که تغییرات محیط خیس شده جویچه یک سوم تغییرات نفوذ را تشکیل می دهد.

جدول٤- معادله خط برازش یافته وضریب همبستگی برای محیط خیس شده

Table 4 – Linear Regression Equation and Correlation Coefficient for Wetted Perimeter

Furrow Number	Measured Parameter	Measurement Method	Fitted Line Equation	Correlation Coefficient
1	Wetted Perimeter	Cross-section & Parabolic	$W_P = 1.0013W_P' - 0.1449$	1
2	Wetted Perimeter	Cross-section & Parabolic	$W_P = 1.0007W_P' - 0.0835$	1
3	Wetted Perimeter	Cross-section & Parabolic	$W_P = 0.9989W_P' - 0.0103$	1
4	Wetted Perimeter	Cross-section & Parabolic	$W_P = 1.0023W_P' - 0.1652$	1
5	Wetted Perimeter	Cross-section & Parabolic	$W_P = 0.999W_P' - 0.0235$	1

W_P= Wetted Perimeter (Parabolic Equation) W_P' = Wetted Perimeter (Cross-section Method)

جدول٥- معادله خط برازش یافته وضریب همبستگی برای سطح مقطع جریان

Table 5 — Fitted Line Equation and Correlation Coefficient for Flow Cross-section

Furrow Number	Measured Parameter	Measurement Method	Fitted Line Equation	Correlation Coefficient
1	Flow Cross-ection	Cross-section and parabolic	$A = 1.2501A' - 43.073$	0.992
2	Flow Cross-section	Cross-section and parabolic	$A = 1.2818A' - 27.978$	0.9965
3	Flow Cross-section	Cross-section and parabolic	$A = 1.2789A' - 33.642$	0.9932
4	Flow Cross-section	Cross-section and parabolic	$A = 1.2064A' - 45.529$	0.9909
5	Flow Cross-section	Cross-section and parabolic	$A = 1.269A' - 34.418$	0.9918

A = Flow Cross-section (Parabolic Equation) A'= Flow Cross-section (Cross-section Method)

DOI: 10.22055/jise.2025.50008.2168

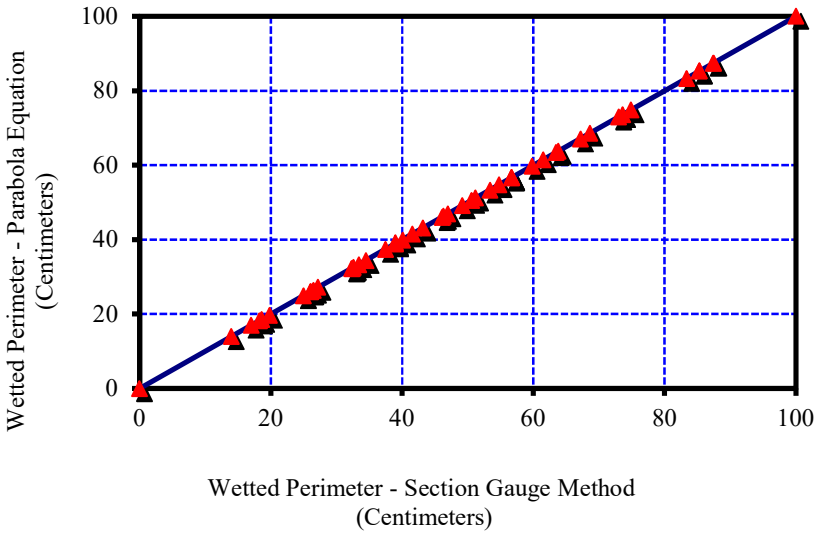


Fig. 4- Comparison of Wetted Perimeter Values Using the Section Measurement and Parabola Equation Methods in Furrows Number 1 to 5.

شکل٤- مقایسه مقادیر محیط خیس شده به دو روش مقطع سنج ومعادله سهمی در جویچه های شماره یک تا پنج

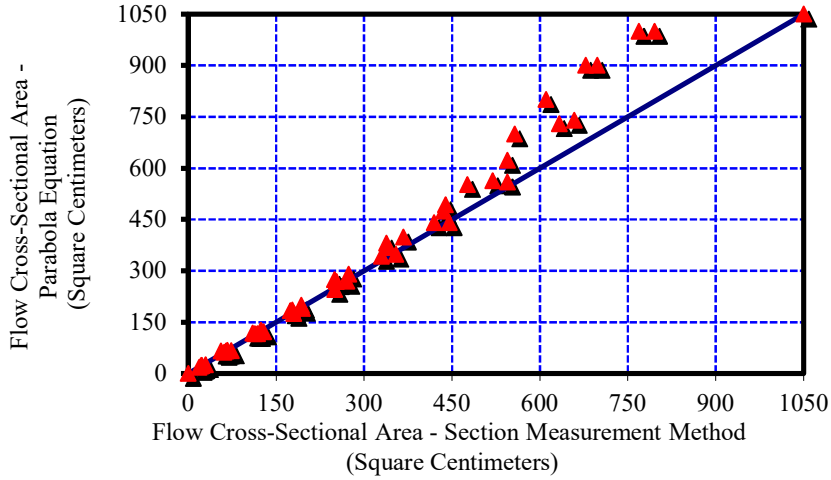


Fig. 5- Comparison of Flow Cross-Sectional Area Values Using the Section Measurement and Parabola Equation Methods in Furrows Number 1 to 5

شکل٥- مقایسه مقادیر سطح مقطع جریان به دو روش مقطع سنج ومعادله سهمی در جویچه های شماره یک تا پنج

جدول٦- معادله خط برازش یافته وضریب همبستگی برای محیط خیس شده وسطح مقطع جریان

Table 6 — Fitted Line Equation and Correlation Coefficient for Wetted Perimeter and Flow Cross-Section

Row	Measured Parameter	Measurement Method	Fitted Line Equation	Correlation Coefficient
1	Wetted Perimeter	Cross-section & Parabolic	$W_P = 1.0006W_P' - 0.0796$	1
2	Flow Cross-Section	Cross-section & Parabolic	$A = 1.1912A' - 21.439$	0.9879

W_P= Wetted Perimeter (Parabolic Equation) W_P' = Wetted Perimeter (Cross-section Method)
A = Flow Cross-section (Parabolic Equation) A'= Flow Cross-section (Cross-section Method)

نتیجه گیری

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مورد آزمایش نشان داد که بین مقادیر متوسط محیط خیس شده در بلوک‌های اندازه‌گیری (جویچه‌های یک تا پنج) و روش‌های لندازه‌گیری (مقطع سنج و معادله سهمی) تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد و ضریب تغییرات داده‌ها برابر ۰/۰۳ درصد می‌باشد . مقادیر متوسط محیط خیس شده در دو روش مقطع سنج و معادله سهمی به‌ترتیب برابر ۴۸/۳۶ و ۴۸/۳۱ سانتی‌متر بوده است. همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌های مورد آزمایش نشان داد که بین مقادیر متوسط سطح مقطع جریان در بلوک‌های اندازه‌گیری (جویچه‌های یک تا پنج) و روش‌های اندازه‌گیری (مقطع سنج و معادله سهمی) تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد و ضریب تغییرات داده‌ها برابر ۲/۱۸ درصد می‌باشد. مقادیر متوسط سطح مقطع جریان در دو روش مقطع سنج و معادله سهمی به‌ترتیب برابر ۳۰۶/۲۸ و ۳۴۷/۴۳ سانتی‌متر مربع بوده است. به‌منظور بررسی بیشتر نتایج برازش خطوط رگرسیون همراه با معادله خط برازش یافته و ضریب همبستگی آن‌ها بین مقادیر متوسط محیط خیس شده با روش‌های مقطع سنج ومعادله سهمی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی در محیط خیس شده حاصل از دو روش لندازه‌گیری برای تمامی جویچه‌ها تقریباً برابر یک و برای سطح مقطع جریان حدود ۰/۹۹ می‌باشد.

در این تحقیق تفاوت‌های بارزی بین نتایج محیط خیس شده و سطح مقطع جریان در جویچه‌ها با روش‌های مقطع سنج، معادله سهمی، معادله مانینگ و معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا مشاهده شدکه نتایج محیط خیس شده و سطح مقطع جریان می‌تولند اثر قابل ملاحظه‌ای در برآورد میزان نفوذ آب در خاک در روش‌های آبیاری سطحی به‌ویژه آبیاری جویچه‌ای و در نهایت تلفات آب ومقدار بازده آبیاری داشته باشد

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

حمایت های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج صورت گرفته است.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان در مقاله خود از هوش مصنوعی مولد و فناوریهای کمکی هوش مصنوعی استفاده نکرده اند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده: ابوبکر رحیمی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

تشکر وقدردانی

این مقاله حاصل تحقیقی بوده که دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج از آن حمایت مالی نموده است. لذا بدینوسیله از این واحد دانشگاهی تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1- Behzad,M., 1996. Study of the effect of wetted perimeter on water penetration in furrows. PhD thesis, Faculty of Agriculture, *Tarbiat Modares University*, 218 pages.

2- De Queiroz, M.G., Da Silva, T.G.F., Zolnier, S., Jardim, A.M.D.R.F., de Souza, C.A.A., Júnior, G.D.N.A., de Morais, J.E.F. and de Souza, L.S.B., 2020. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. *Catena*, *188*, p.104457. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457

3- Dibal, J.M., Ramalan, A.A., Mudiare, O.J. and Igbadun, H.E., 2014. Scenario Studies on Effects of Soil Infiltration Rates, Land Slope, and Furrow Irrigation Characteristics on Furrow Irrigation-Induced Erosion. *International Scholarly Research Notices*, *2014*(1), p.942732.doi: 10.1155/2014/942732.

4- Gillies, M.H. and Smith, R.J., 2005. Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. *Irrigation Science*, *24*(1), pp.25-35.

5- Li, J., Zhu, Y., Jin, H., Zhou, B., Han, L., Wang, H. and Wei, C., 2023. Approximate water vertical infiltration extremum path in unsaturated soils. *Journal of Hydrology*, *625*, p.129989. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129989.

6- Martin, C.J.S.L., 2002. A Physically Based Two-Dimensional Infiltration Model for Furrow Irrigation. In *2002 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. doi: 10.13031/2013.11688.

7- Mazarei, R., Mohammadi, A.S., Ebrahimian, H. and Naseri, A.A., 2021. Temporal variability of infiltration and roughness coefficients and furrow irrigation performance under different inflow rates. *Agricultural Water Management*, *245*, p.106465. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106465

8- Nasseri, A., Neyshabori, M.R., Fard, A.F., Mogaddam, M. and Nazemi, A.H., 2004. Field-measured furrow infiltration functions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *28*(2), pp.93-99.

9- Philip, J.R., 1984. Steady infiltration from circular cylindrical cavities. *Soil Science Society of America Journal*, *48*(2), pp.270-278. https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800020008x

10- Wöhling, T., Schmitz, G.H. and Mailhol, J.C., 2004. Modeling two-dimensional infiltration from irrigation furrows. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *130*(4), pp.296-303. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:4(296).