Research Paper

Determination of Optimum Furrow length and Application of SIRMOD Model in Furrow Irrigation Simulation

Hamidreza. Salemi [1], Ali. Ghadami Firouzabadi [2*], Mehdi. Akbari [3]

[1] Assistant Prof, Department of Agricultural Engineering Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Isfahan, Iran.
[2] Associate Prof, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran. (Email: aghadami@gmail.com)
[3] Associate Prof, Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

10.22125/IWE.2020.241964.1398

Received:
April.29.2020
Accepted:
October.13.2020
Available online:
October.05.2022

Keywords:
Surface irrigation, Runoff, advanced time, recession time, infiltration

Abstract

Surface irrigation is the most irrigated area in the entire country. Therefore, it is necessary to evaluate this irrigation system due to improve irrigation efficiency. One of the existing software for assessing surface irrigation methods is SIRMOD model. In this study, a few models in the SIRMOD package were evaluated. In hence, three data groups of research stations of Kabutarabad (Isfahan), Hashem Abad (Mazandaran) and Zarghan (Fars) were used as local inputs. The soil texture of these fields was silty clay loam, silty clay loam and silty clay respectively. First, the length of the Furrow was investigated by using three methods: FAO, SCS and W&S. Optimum Furrow length in these areas was determined as 120, 200 and 100 meters, respectively. The results of reliability indices such as NRMSE, ME and R2 were used to compare simulated and measured values of the parameters which indicated the high accuracy of the models those have performed well in predicting advanced and recession time in furrow. The results also revealed that the hydrodynamic model was more accurate than the two zero-inertia and kinematic inertia models in predicting advanced and recession times. According to the results of this study, the highest error of these models was related to estimating the amount of runoff at 5% and the lowest was related to the infiltration depth at 2.7%. Therefore, the models in the SIRMOD package estimate the cumulative infiltration rate in the soil to be higher than the runoff rate.

* **Corresponding Author:** Ali Ghadami Firouzabadi
Address: Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran.
Email: aghadami@gmail.com
Tel: 09188147194

1. Introduction

Considering water crisis and recent droughts, the need for optimal use of water resources becomes more and more vital. Surface irrigation system is mostly used in agricultural irrigation systems. The selection of the method and approach depends on factors such as water availability, crop type, soil characteristics, topography, and associated cost. The amounts of applied water and resulting leachate vary with the type of irrigation system used, irrigation efficiency and, crop utilization of water. Efficient irrigation practices that minimize deep percolation will therefore minimize leaching of contaminants. Thus, it is important to use adequate irrigation systems and management techniques to reduce chemical leaching by decreasing deep percolation. Surface irrigation is the most irrigated area in the entire country. High irrigation time and lack of awareness of farmers about the time of irrigation, has led to high irrigation losses, especially deep-percolation in the fields. Therefore, it is necessary to evaluate this irrigation system due to improve irrigation efficiency. One of the existing software for assessing surface irrigation methods is SIRMOD model.

2. Materials and Methods

In this study, a few models in the SIRMOD package were evaluated. In hence, three data groups of research stations of Kabutarabad (Isfahan), Hashem Abad (Mazandaran) and Zarghan (Fars) were used as local inputs. The soil texture of the fields was silty clay loam, silty clay loam and silty clay respectively. First, the length of the Furrow was investigated by using three methods: FAO, SCS and W&S.

In the second stage, the capability of hydrodynamic, zero-inertia, kinematic-wave and volume-balance models to predict advance and recession phases in furrow irrigation were compared against three sets of field data, providing a wide range of soil conditions and field slopes. The input parameters required for each model were assessed, and a simple sensitivity analysis was performed for field slope, furrow geometry, roughness coefficient, infiltration constants, time step, and discharge. To evaluate of the models, indices such as NRMSE, ME, and R2 were used to compare simulated and measured values of the parameters which indicated the high accuracy of the models that have performed well in predicting advanced and recession time in- furrow.

3. Results

According to the results of this study, SCS and W&S methods for designing furrow irrigation in Kabutarabad of Isfahan and Hashemabad regions of Mazandaran were found to be suitable compare against FAO method. Optimum furrow length in these areas was determined as 120 and 200 meters, respectively.

In Zarghan Fars, FAO and W&S methods are more consistent with field data than SCS method and the appropriate furrow length in this area was determined to be 100 meters.

The results also revealed that the hydrodynamic zero-inertia and kinematic inertia models was accurate in predicting advanced and recession times. According to the results of this study, the highest error of these models was related to estimating the amount of runoff at 5% and the lowest was related to the infiltration depth at 2.7%. Therefore, the models in the SIRMOD package estimate the cumulative infiltration rate in the soil to be higher than the run off rate.

4. Discussion and Conclusion

-The results showed that the SIRMOD model with relatively good accuracy simulated the advance and recession times and infiltrated water depth which is the main factors of furrow irrigation design.

-This model predicts the amount of infiltration more accurately than the amount of runoff.

-The accuracy of this model depends on the input factors, especially the inlet flow rate, the diffusion equation coefficients and the Manning roughness coefficient.

-The results showed that SIRMOD software is a powerful tool for simulating the input data including inflow rate, furrow length and width input flow, cutoff time and furrow slope.

It is recommended to use this powerful tool to search for the optimal answer from the possible range of geometric parameters in a furrow irrigation system.

5- Six important references

1-Ebrahimian, H., and Liaghat, A. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. Soil Water Res, 6 (2), 91–101.

2-Elliot, R.L. and Walker, W.R., 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans of the ASAE, 25 (2): 396-400.

3-Esfandiari, M. and Maheshwari, B. L. 2001. Field evaluation of surface irrigation models. Journal of Agriculture Engineering Research: 459-479.

4-Heidari, M.M. and Kouchakzadeh, S. 2016. Developing semi-analytical solution for Saint-Venant equations in the uniform flow region. JOURNAL OF WATER AND SOIL (AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY), 29 (6): 1427 To 1437.

5-Hornbuckle, J.W, Christenl, E.W and Faulkner, R.D. 1999. Improving the Efficiency and Performance of Furrow Irrigation Using Simulation Modeling in South-Eastern Australia. CSIRO Land and Water, PMB No. 3, Griffith, New South Wales, Australia, 2680.

6-Walker W.R. 2007. SIRMOD III- Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design. Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University. 163 paper.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The present study was funded by the Agricultural Engineering Research Institute. The support of the Agricultural Research Education and Extension Organization (Areeo) (Projects 78/78-134 and 58886) is also acknowledged.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره چهل و نه . پاییز۱۴۰۱

تعیین طول بهینه شیار و کاربرد مدل SIRMOD در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای

حمیدرضا سالمی[۱]، علی قدمی فیروزآبادی[۲]*، مهدی اکبری[۳]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۲/۱۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۷/۲۲

پژوهشی

چکیده

آبیاری سطحی بیشترین سطح آبیاری کل کشور را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین ارزیابی و مطالعه این سامانه آبیاری به‌منظور بررسی و ارتقای راندمان آبیاری ضروری است. یکی از نرم‌افزارهای موجود برای طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری سطحی مدل SIRMOD است. در این تحقیق مدل‌های موجود در بسته SIRMOD مورد ارزیابی قرار گرفت بدین منظور، از ۳ سری داده مزرعه‌ای ایستگاه‌های تحقیقاتی کبوترآباد (اصفهان)، هاشم آباد (مازندران) و زرقان (فارس) به‌ترتیب با بافت لوم رسی سیلتی، لوم رسی سیلتی و رس سیلتی استفاده شد. ابتدا طول شیار با استفاده از سه روش طراحی فائو، حفاظت خاک آمریکا و واکر - اسکوگربو در مناطق مذکور بررسی و طول مناسب در این مناطق به‌ترتیب ۱۲۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ متر تعیین شد. نتایج بررسی شاخص‌های آماری نظیر NRMSE، ME و R^2 بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های موجود در SIRMOD حاکی از دقت بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی پیشروی و پسروی آب در جویچه بود. همچنین نتایج نشان داد که مدل هیدرودینامیک نسبت به دو مدل اینرسی صفر و موج سینماتیک در پیش‌بینی زمان‌های پیشروی و پسروی دارای دقت بالاتری است. براساس نتایج این پژوهش، بیشترین خطای این مدل‌ها مربوط به تخمین میزان رواناب به‌میزان ۵ درصد و کمترین آن مربوط به مقدار نفوذ به میزان ۲/۷ درصد تعیین شد. بنابراین مدل‌های موجود در بسته‌ی SIRMOD میزان نفوذ تجمعی در خاک را با دقت بالاتری نسبت به میزان رواناب برآورد می‌کنند. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که نرم افزار SIRMOD در شرایط آبیاری جویچه‌ای از کارآیی مناسبی برخوردار است و استفاده این ابزار قدرتمند توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، رواناب، زمان پسروی، زمان پیشروی، نفوذ.

[۱] - استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

[۲] دانشیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. تلفن همراه: ۰۹۱۸۸۱۴۷۱۹۴ (* نویسنده مسئول Email: aghadami@gmail.com)

[۳] دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران .

مقدمه

با توجه به بحران آب و خشک‌سالی‌های اخیر، لزوم استفاده بهینه از منابع آب بیش‌از پیش ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار با توجه به راندمان بالای آنها در کشور توسعه یافته‌اند. ولی افزایش روز افزون هزینه‌های انرژی سبب گردیده است که بسیاری از محققین مطالعات قابل‌توجهی را در زمینه افزایش بازده آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی انجام دهند از سوی دیگر بررسی وضعیت اجرای سامانه‌های آبیاری نشان‌دهنده آن است که حدود ۸۵ درصد اراضی کشور به روش آبیاری سطحی آبیاری می‌شوند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). هورن باکل و همکاران بیان داشتند که اکثر سامانه‌های آبیاری که دارای طراحی و مدیریت خوبی هستند از پتانسیل بازده کاربرد نزدیک ۹۰ درصد برخوردارند، ولی اکثر آبیاری‌های جویچه‌ای دارای راندمان کاربرد پایین‌تری هستند، آنها به‌طور کلی میانگین خطای مطلق بین حجم نفوذی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده را ۲۰ درصد بیان داشتند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در بیشتر موارد مدل SIRMOD عملیات آبیاری را به‌خوبی در سیستم‌های آبیاری شیاری شبیه‌سازی می‌کند (Hornbuckle et al., 1999). لی با بررسی متغییرهای موثر بر آبیاری شیاری نشان داد که در ۸۵ درصد موارد به دلیل مدیریت نادرست آبیاری (نامناسب بودن دبی ورودی به شیار، بسترسازی نامناسب و عدم قطع جریان در زمان مناسب) بازدهی آبیاری پایین است(Ley, 1978) .

سازمان حفاظت خاک آمریکا با استفاده از معادله نفوذ کوستیاکف، روش جدیدی برای طراحی آبیاری شیاری پیشنهاد نموده است (Hart, 1979). الیوت و همکاران برای تعیین معادله پیشروی آب در شیار روش دو نقطه را توصیه نمودند معادله پیشروی مورد استفاده در این پژوهش بصورت نمائی بوده و منحنی پیشروی بدست آمده از آن با دقت بسیار خوبی با نتایج آزمایشهای صحرایی مطابقت داشت (Elliot & Walker, 1982). سلطان زاده و همکاران (۱۳۷۱) در خاکی با بافت لوم رس سیلتی و شیب ۰/۰۰۷ و گروه نفوذ ۱/۵بیان داشتند که روش واکر- اسکوگربو نسبت به دو روش فائو و SCS انطباق بهتری با مقادیر اندازه -گیری شده در مرحله آزمایش را داشت. در این پژوهش روش فائو بیشترین اختلاف را نسبت به داده‌های واقعی نشان داده و روش SCS نسبت به آن جواب خوبی داده است. تحقیقات انجام شده توسط سهرابی (۱۳۷۱) در ایستگاه تجرک همدان به‌منظور تعیین مناسبترین طول شیار نشان دهنده برتری روش SCS نسبت به دو روش فائو و واکر- اسکوگربو بود.

یکی از راه‌های ارتقاء بازده و عملکرد آبیاری جویچه-ای، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است. اساس کار مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری سطحی بر اساس معادلات سنت و نانت است که شامل معادله پیوستگی و حرکت است (Heidari. & Kouchakzadeh. 2016.). شبیه‌سازی در این مدل‌ها با روش‌های مختلفی از جمله مدل اینرسی صفر، هیدرودینامیک و سینماتیکی انجام می‌شود. تفاوت آنها در فرم بکارگیری معادله‌ی مومنتوم است. این معادلات به فرم زیر هستند.

$$\frac{\partial Q}{\partial X}+\frac{\partial A}{\partial T}+I_X=0 \quad (۱)$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial T}+\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial X}=S_V-S_F+\frac{I_X*V}{gA} \quad (۲)$$

در این معادلات، Y: عمق جریان (متر)، Q شدت جریان (متر مکعب در ثانیه)، Ix شدت جریان (متر مکعب بر ثانیه بر متر)، S0: شیب کف (متر بر متر)، Sf: شیب اصطکاکی (متر بر متر)، g : شتاب ثقل (متر مربع بر ثانیه) T: زمان (ثانیه) و V: سرعت جریان (متر بر ثانیه)

در مدل SIRMOD برای برآورد حجم آب نفوذ یافته در آبیاری شیاری از معادله کوستیاکوف لوئیس استفاده می‌شود (رابطه ۳).

$$z = k * t^a + f_0 * t \qquad (۳)$$

ماهشواری و مک ماهان در مقایسه‌ای که بین مدلSIRMOD با سایر مدل‌ها انجام دادند اعلام داشتند که با وجود اینکه این مدل‌ها بسیار دقیق نیستند اما حل هیدرودینامیکی و اینرسی صفر مدل SIRMOD برآورد دقیقی از زمان پیشروی و عملکرد سامانه ارائه می‌دهد (Maheshwari and McMahan, 1993).

تحقیقات اسفندیاری و ماهشواری در مزارع استرالیا و در آبیاری سطحی نشان داد که مدل هیدرودینامیک و اینرسی صفر ارائه شده توسط واکر (۱۹۸۷) مدل‌های بسیار مناسبی در شرایط آبیاری شیاری هستند (Esfandiari and Maheshwari, 2001).

پیلار و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی الگوریتم ژنتیک و بر مبنای ۳ مدل ترکیبی شامل رطوبت خاک، هیدرولیک آبیاری و عملکرد محصول نسبت به توسعه یک مدل بهینه‌سازی سامانه آبیاری جویچه‌ای اقدام کردند. آنها با درنظر گرفتن پارامترهای اقلیمی، خاک، خصوصیات هندسی شیار و داده‌های گیاهی به یک طراحی مناسب شیب شیار و میزان رواناب خروجی دست یافتند. در بستر این مدل، امکان تعیین تاریخ آبیاری، زمان قطع جریان آب و دبی ورودی به شیار در قالب یک ترکیب بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان کاربرد آب در مزرعه حاصل شد (Pilar et al., 2001).

واکر با استفاده از مدل SIRMOD و انجام یکسری آنالیز توانست طول مناسب جویچه و بهترین زمان قطع جریان و اثر این دو را بر هم تحلیل نماید Walker (,2007).

ابراهیمیان و لیاقت عملکرد نرم افزار SIRMOD را در روش آبیاری جویچه‌ای و نواری مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد که تفاوت زیادی بین مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی صفر در هر دو روش آبیاری وجود ندارد و عملکرد مدل‌ها در شبیه‌سازی جریان سطحی آب در آبیاری شیاری و نواری مناسب است (Ebrahimian and Liaghat, 2011).

بالا بودن مدت زمان آبیاری، بسترسازی نامناسب و عدم آگاهی کشاورزان از زمان قطع جریان، سبب شده تلفات آبیاری مخصوصاً تلفات نفوذ عمقی در مزارع بالا باشد. حمدی احمدآباد و همکاران (۱۳۹۶) پارامترهایی نظیر دبی ورودی، زمان قطع جریان، پیشروی و پسروی جریان آب، مشخصات نفوذ، مشخصات شکل هندسی جویچه، طول زمین، شیب زمین و رطوبت خاک مزارع مورد مطالعه در شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان را برای شبیه‌سازی یک سامانه آبیاری جویچه‌ای وارد نرم‌افزار SIRMOD نمودند. براساس نتایج، میانگین بازده کاربرد آب در شرایط قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه از ۳۵ درصد به ۶۱ درصد و در شرایط قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه از ۳۵ درصد به ۷۵ درصد ارتقاء پیدا کرد. بنابراین مدل SIRMOD با شبیه‌سازی زمان قطع، منجر به بهبود عملکرد آبیاری سطحی و ارایه بهترین زمان قطع جریان سبب افزایش بازده کاربرد آب گردید.

بهرامی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی برای طراحی آبیاری جویچه‌ای، مدل هیدرولوژیکی ماسکینگام کونژ و نرم افزار SIRMOD را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که در تمامی مدل‌ها، مقادیر زمان برآورد شده در مرحله پیشروی از مقادیر اندازه-گیری شده بیشتر بود ولی زمان برآورد شده در مرحله پسروی از مقادیر انداه‌گیری شده کمتر بود.

بهبهانی و بابازده (۱۳۸۴) در تحقیقی عملکرد نرم افزار SIRMOD را در مزرعه‌ای با خاک رس در روش آبیاری شیاری مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج مطالعه آنها نشان داد که سه مدل هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج سینماتیک میزان سرعت پیشروی و مقدار نفوذ را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. همچنین آنها میزان خطای مدل را جزئی و قابل صرف‌نظر گزارش نمودند.

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر، ارزیابی سه مدل هیدرودینامیک کامل، اینرسی صفر و موج سینماتیک در برآورد پارامترهای پیشروی و پسروی، میزان نفوذ و بیلان آب در آبیاری شیاری و همچنین تعیین طول بهینه شیار در مناطق مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های آزمایشات صحرایی سه ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد اصفهان، هاشم آباد مازندران و زرقان فارس استفاده شد (سالمی، ۱۳۷۸). در مرحله اول با توجه به اطلاعات مزرعه‌ای به مقایسه سه روش طراحی آبیاری شیاری شامل: سازمان خواروبار کشاورزی جهانی (FAO)، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و واکر- اسکوگربوا (W&S) در مناطق مورد مطالعه پرداخته شد و روش طراحی مناسب برای هر منطقه مشخص و طول مناسب شیار به روش‌های فوق تعیین شد (علیزاده، ۱۳۸۸).

در مرحله دوم به ارزیابی مدل‌های موجود در بسته نرم‌افزاری SIRMOD پرداخته شد. برای ارزیابی سه مدل هیدرودینامیک کامل، اینرسی صفر و موج سینماتیک در برآورد مراحل پیشروی و پسروی، میزان نفوذ و رواناب در آبیاری شیاری تعیین شد، هم‌چنین تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی انجام شد.

اثر تغییر پارامترهای آبیاری جویچه‌ای بر روی زمان پیشروی، پسروی و رواناب با استفاده از مدل ریاضی SIRMOD بررسی شد. این مدل نیازمند یکسری پارامترهای ورودی برای انجام شبیه‌سازی است. اطلاعات ورودی به مدل شامل دبی ورودی به شیار، زمان قطع جریان، پارامترهای هندسی شیار، طول جویچه، پارامترهای نفوذ و پارامترهای مقاومت در مسیر جریان است. خروجی مدل نیز شامل زمان پیشروی، زمان پسروی، میزان رواناب از انتهای جویچه و عمق آب نفوذ یافته در طول شیار خواهد بود. با استفاده از این مدل شاخص‌های عملکرد سامانه (راندمان کاربرد)، توزیع و ذخیره آب در منطقه ریشه نیز تعیین شد. در این پژوهش از داده‌های آزمایشات مزرعه‌ای سه ایستگاه زرقان (فارس)، کبوترآباد (اصفهان) و هاشم‌آباد مازندران استفاده شد. که مشخصات این مزارع در جدول ۱ آمده است

جدول (۱):مشخصات فیزیکی خاک مزارع آزمایشی در این پژوهش

مزرعه	عمق خاک (سانتی‌متر)	وزن مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر متر مکعب)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت در نقطه پژمردگی (درصد حجمی)	بافت خاک
۱- کبوترآباد	۰-۲۰	۱/۳۴	۳۶	۱۹	Silty clay loam
	۲۰-۴۰	۱/۳۷	۳۴/۵	۱۸/۵	Silty clay loam
	۴۰-۶۰	۱/۴۱	۳۵	۱۹/۱	Silty clay loam
۲- زرقان	۰-۲۰	۱/۴۵	۳۴/۵	۱۸/۵	Silty clay loam
	۲۰-۴۰	۱/۴۷	۳۳/۵	۱۹	Sandy clay loam
	۴۰-۶۰	۱/۴۷	۳۰/۵	۱۷/۵	Sandy clay loam
۳- هاشم‌آباد	۰-۲۰	۱/۵۴	۳۹/۵	۱۹/۸	clay loam
	۲۰-۴۰	۱/۵۸	۳۳/۵	۱۸/۴	Silty clay loam
	۴۰-۶۰	۱/۶	۳۲/۵	۱۸	Silty clay loam

جدول (۲): مشخصات هندسی، هیدرولیکی مزارع مورد مطالعه

شماره مزرعه	مزرعه ۱	۲	۳
عرض جویچه (متر)	۰/۶	۰/۷۵	۰/۸
طول جویچه (متر)	۱۲۰	۷۵	۲۰۰
شیب	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۶۲
جریان ورودی (لیتر برثانیه)	۱/۵	۰/۵	۱/۱
a	۰/۲۹۷	۰/۰۱۶	۰/۴۴۲
K (m^2.min-a)	۰/۰۰۶۵۲	۰/۰۰۳۵۹	۰/۰۰۱۲۲
fo (m^3/min/m)	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۷۸
n: ضریب مانینگ	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
زمان قطع جریان(دقیقه)	۲۲۲	۱۵۹	۲۶۰

سپس با استفاده از سه مدل اینرسی صفر، هیدرودینامیک، موج سینماتیک نسبت به شبیه‌سازی جریان در شرایط مزرعه اقدام و با داده‌های مشاهده‌ای از مزارع مورد مقایسه قرار گرفت. برای واسنجی مدل، داده‌های پیشروی و پسروی جبهه آب در جویچه‌ها برای هر یک از مزارع اندازه‌گیری شد و وارد مدل شد. سایر پارامترهای مورد نیاز مدل (دبی ورودی، زمان قطع جریان، طول زمین، نوع آبیاری، شیب طولی زمین، مشخصات سطح مقطع جریان و مشخصات نفوذ) نیز برای مدل تعریف شد. سپس در هر مزرعه، پارامترهای نفوذ (ضرایب a و k) واسنجی شد تا بهترین انطباق بین منحنی‌های پیشروی و پسروی و دبی خروجی حاصل از پیش‌بینی مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه حاصل شد.

سپس مدل واسنجی شده برای مرحله شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. صحت‌سنجی مدل با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده توسط مدل‌ها انجام شد. برای ارزیابی مدل‌ها از شاخص‌های ضریب برازش(R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، nRMSE، خطای مطلق (MAE)، انحراف معیار (Sd)، ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) و

کارایی مدل (EF) به شرح زیر استفاده شد. بر طبق دسته‌بندی صورت گرفته توسط جامیسون و همکاران (۱۹۹۱) NRMSE کمتر از ۱۰ درصد در رده عالی و nRMSE بین ۱۰ تا ۲۰ درصد، در رده خوب قرار می‌گیرد

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Yobs_i - Ysim_i)^2}{n}} \quad (۴)$$

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\overline{Yobs}} \quad (۵)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(|Yobs_i - Ysim_i|)}{n} \quad (۶)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Yobs_i - \overline{Yobs})^2}{n}} \quad (۷)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}Yobs_i - \sum_{i=1}^{n}Ysim_i}{\sum_{i=1}^{n}Yobs_i} \quad (۸)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Yobs_i - \overline{Yobs})^2 - \sum_{i=1}^{n}(Ysim_i - Yobs_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Yobs_i - \overline{Yobs})^2} \quad (۹)$$

که در این روابط Yobs میزان پارامتر اندازه‌گیری شده، Ysim میزان پارامتر شبیه‌سازی‌شده و n تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

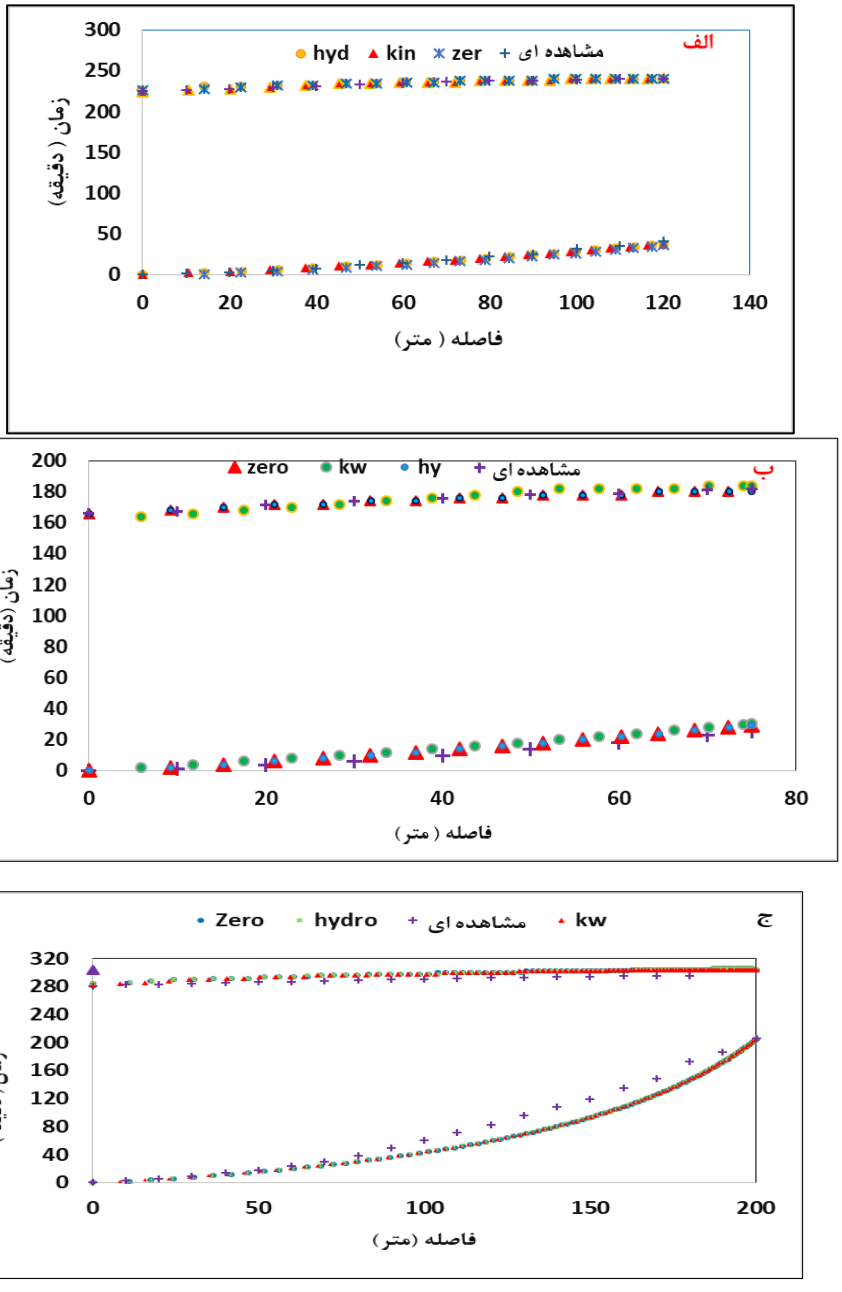
با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش روش‌های SCS و W&S برای طراحی آبیاری شیاری در منطقه کبوترآباد اصفهان و هاشم آباد مازندران نسبت به روش FAO مناسب تشخیص داده شد و طول مناسب شیار در این مناطق با استفاده از این دو روش، به‌ترتیب ۱۲۰ و ۲۰۰ متر تشخیص داده شد. ولی در زرقان فارس دو روش FAO و W&S نسبت به روش SCS تطابق بیشتری به داده‌های صحرایی داشتند و طول مناسب شیار در این منطقه ۱۰۰ متر تعیین شد (جدول۳).

جدول ۳: روش طراحی و طول مناسب شیار در مناطق مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه	روش طراحی مناسب آبیاری شیاری	طول مناسب شیار با توجه به خصوصیات خاک منطقه
کبوترآباد اصفهان	SCS و W&S	۱۲۰
هاشم آباد مازندران	SCS و W&S	۲۰۰
زرقان فارس	FAO و W&S	۱۰۰

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و سینماتیک در مزارع مورد بررسی به‌خوبی توانسته‌اند منحنی پیشروی و پسروی را شبیه‌سازی نمایند و تفاوت چندانی بین این سه مدل در پیش‌بینی و پسروی جریان آب در جویچه وجود ندارد، ابراهیمیان و لیاقت (۲۰۱۲) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

مقدار ضریب تبیین (r^2) بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده از ۰/۹۷۵ تا ۰/۹۹۵ متغیر و بطور میانگین ۰/۹۹ بود. که حاکی از برازش مناسب مدل در حالت پیشروی و پسروی بود. همچنین میزان شاخص NRMSE کمتر از ۱۰ است، بنابراین این مدل کارایی خوبی در تخمین میزان پیشروی و پسروی جریان آب در جویچه را دارد (جامیسون و همکاران، ۱۹۹۱).



شکل (۱): منحنی پیشروی و پسروی مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل‌ها (الف: مزرعه کبوترآباد ب: مزرعه زرقان ج: مزرعه هاشم‌آباد)

بررسی کارایی این مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری حاکی از دقت قابل قبول این مدل‌ها در برآورد منحنی پیشروی و پسروی بود (جداول ۴ و ۵).

کمتر بودن میزان شاخص RMSE نسبت به میزان Sd در وضعیت پیشروی در سه مزرعه مورد مطالعه، نشان‌دهنده کارایی مطلوب این مدل‌ها در وضعیت پیشروی است. در مدت زمان پسروی در مزرعه ۳ این شرایط اتفاق نیفتاده است (میزان شاخص RMSE نسبت به میزان Sd بیشتر بوده است) که می‌تواند نشان‌دهنده عدم پیش‌بینی مدل در وضعیت پسروی نسبت به حالت پیشروی باشد (جدول ۴و ۵).

شاخص CRM تمایل مدل در برآورد بالاتر یا پایین‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد، هرگاه CRM منفی باشد نشان می‌دهد که مدل تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را دارد هرچه این شاخص نزدیک به صفر شود مناسب‌تر است. میزان این شاخص در حالت پیشروی از ۰/۳۵- تا ۰/۰۵۸ و در حالت پسروی از ۰/۰۰۱۵- تا ۰/۰۰۳۸ متغیر بود. بر اساس این پارامتر می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های موجود در نرم افزار در برخی مزارع مقادیر را بیشتر و در برخی موارد کمتر از مقادیر مشاهده‌ای گزارش کرده‌اند. هر چند تفات چندانی با عدد صفر ندارند و مقدار این شاخص نزدیک به صفر است که نشان از دقت مدل‌ها در پیش بینی مقادیر پیشروی و پسروی است. که با نتایج شاکر و همکاران ۱۳۹۲، کریمی کوغری و همکاران ۱۳۸۹ و قدمی فیروزآبادی، ۱۳۹۳ همخوانی دارد.

مقدار کارایی مدل (EF) نیز نشان‌دهنده‌ی صحت برازش داده‌ها است و از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک، در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند، که در این تحقیق بین ۱/۱- تا ۰/۲۲ متغیر بود. این شاخص نیز مقادیر قابل قبولی را به خود اختصاص داده است.

نتایج مطالعات اسفندیاری و ماهشواری (۲۰۰۱) ، ابراهیمیان و لیاقت (۲۰۱۱) و بهبهانی و بابازده (۱۳۸۴) نیز نشان از کارایی بسیار مناسب نرم افزار SIRMOD در شرایط آبیاری جویچه‌ای و نواری داشته که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. علاوه بر نتایج حاصله از این تحقیق نتایج مطالعه غلامی سفیدکوهی و کولائیان (۱۳۹۳) حاکی از همبستگی خوب مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل SIRMOD با داده‌های مشاهداتی پیشروی و پسروی آبیاری جویچه‌ای است.

جدول (۴): محاسبه شاخص های آماری در هر یک از مدل‌های هیدرو دینامیک، اینرسی صفر و موج سینماتیک در حالت پیشروی

شماره مزرعه	N	مدل	R^2	RMSE	NRMSE	MAE	SD	CRM	EF
	۱۳	HD	۰/۹۹۵	۱/۸۵	۰/۱۲	۱/۴۱	۲۰/۹	۰/۰۵۸	۰/۱۹۷
۱	۱۳	ZI	۰/۹۹۵	۱/۷۴	۰/۱۱۳	۱/۳۸	۱۳	۰/۰۵۶	۰/۱۸
	۱۳	KW	۰/۹۹۳	۱/۶۹	۰/۱۱	۱/۲۷	۱۳	۰/۰۱۲	۰/۱۹۶
	۹	HD	۰/۹۹۳	۳/۱۵	۰/۲۳	۲/۸۳	۸/۹	-۰/۲۶	-۰/۲۷
۲	۹	ZI	۰/۹۸۹	۳/۳۷	۰/۲۴	۳	۸/۹	-۰/۲۷	-۰/۲۵
	۹	KW	۰/۹۸۷	۴/۲۸	۰/۲۸	۳/۹۴	۸/۹	-۰/۳۵	-۰/۳۱
	۲۱	HD	۰/۹۷۴	۱۶/۷۵	۰/۲۶۹	۱۲/۸۴	۶۳/۸	۰/۱۷۱	۰/۱۷۳
۳	۲۱	ZI	۰/۹۷۸	۱۶/۸۴	۰/۲۷۱	۱۳	۶۳/۸	۰/۱۷۳	۰/۱۷۲
	۲۱	KW	۰/۹۷۵	۱۷/۵	۰/۲۸۲	۱۳/۱	۶۳/۸	۰/۱۷۵	۰/۱۸۹

جدول (۵): محاسبه شاخص های آماری در هر یک از مدل‌های هیدرو دینامیک، اینرسی صفر و موج سینماتیک در حالت پسروی

مزرعه	N	مدل	R^2	RMSE	NRMSE	MAE	SD	CRM	EF
	۱۳	HD	۰/۹۸۵	۱/۲	۰/۰۰۵	۰/۸۶۳	۵/۲۵	-۰/۰۰۴	۰/۲۲
۱	۱۳	ZI	۰/۹۸۴۸	۱/۷۴	۰/۰۰۴۸	۰/۸۹۶	۵/۲۵	-۰/۰۰۳۲	۰/۲۰۵
	۱۳	KW	۰/۹۷۵۵	۰/۹۸	۰/۰۰۴۲	۰/۷۵۷	۵/۲۵	-۰/۰۰۱۹	-۰/۱۰۱
	۹	HD	۰/۹۹۴۶	۰/۸۵	۰/۰۰۵	۰/۷۴۷	۵/۴۱	۰/۰۰۳۸	۰/۱۲۴
۲	۹	ZI	۰/۹۷۷۷	۰/۹۳	۰/۰۰۵۳	۰/۸۱۱	۵/۳۴	۰/۰۰۰۰۶	۰/۱۹
	۹	KW	۰/۹۷۳۱	۲/۲۹	۰/۰۱۳	۲/۲۱	۵/۴۱	-۰/۰۰۱۵	-۰/۸۹
	۲۱	HD	۰/۹۷۹	۷/۵۲	۰/۰۲۵	۷/۱۶	۴/۲	-۰/۰۲۵	-۱/۱
۳	۲۱	ZI	۰/۹۸۱۹	۷/۳۷	۰/۰۲۵	۷/۱۹	۴/۲	-۰/۰۲۵	-۰/۷۴
	۲۱	KW	۰/۹۷۹	۷/۳۴	۰/۰۲۵	۶/۹۹	۴/۱۹	-۰/۰۲۴	-۱/۱

در این پژوهش همچنین میزان حجم آب نفوذ یافته و میزان حجم رواناب در مزارع مورد مطالعه به روش ورودی و خروجی تعیین (سالمی، ۱۳۷۸) و با مقادیر محاسبه شده توسط مدل، با استفاده از سه روش هیدرودینامیک، اینرسی صفر و مدل سیستماتیک مقایسه شد (جدول ۶). خطای نسبی در محاسبه میزان آب نفوذ یافته به مزرعه و میزان رواناب با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و مدل سیستماتیک محاسبه شد (جدول ۷). میزان خطای نسبی مدل‌ها در محاسبه حجم رواناب نسبت به محاسبه حجم آب نفوذ یافته بیشتر است. که این امر می‌تواند به دلیل خطا در اندازه‌گیری میزان رواناب از انتهای جویچه باشد. میزان خطای نسبی، در محاسبه میزان حجم رواناب به سه روش هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج سیستماتیک به‌ترتیب ۵، ۵ و ۲/۷ درصد محاسبه شد. بنابراین مدل موج سینماتیک خطای کمتری در برآورد حجم رواناب دارد. در صورتیکه میزان خطای نسبی، در تخمین میزان حجم آب نفوذ یافته به سه روش هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج سیستماتیک برابر ۲/۵ درصد است. بنابراین سه مدل موجود در برنامه SIRMOD با خطای کمتری میزان آب نفوذیافته در طول شیار را تخمین می‌زنند.

جدول (۶): مقایسه مقادیر اندازه گیری و محاسبه شده میزان نفوذ توسط مدل (مترمکعب در هکتار)

مزرعه	حجم آب ورودی	اندازه گیری شده		هیدرودینامیک		اینرسی صفر		موج سیستماتیک	
		حجم رواناب	حجم نفوذیافته	حجم رواناب	حجم نفوذیافته	حجم رواناب	حجم نفوذیافته	حجم رواناب	حجم نفوذیافته
۱	۲۰	۶/۵	۱۳/۵	۶/۲	۱۳/۷	۶/۲	۱۳/۷	۶/۳	۱۳/۷
۲	۴/۷	۱/۵۱	۳/۱۹	۱/۴	۳/۳	۱/۴	۳/۳	۱/۵	۳/۳
۳	۱۷/۲	۹/۵	۷/۵	۹/۸	۷/۳	۹/۸	۷/۳	۹/۹	۷/۳

جدول (۷): خطای نسبی مدل‌ها (درصد)

مزرعه	هیدرودینامیک		اینرسی صفر		موج سینماتیک	
	حجم رواناب	حجم نفوذیافته	حجم رواناب	حجم نفوذیافته	حجم رواناب	حجم نفوذیافته
۱	۴/۶	۱/۵	۴/۶	۱/۵	۳/۱	۱/۵
۲	۷/۳	۳/۴	۷/۳	۳/۴	۰/۷	۳/۴
۳	۳/۲	۲/۷	۳/۲	۲/۷	۴/۲	۲/۷
میانگین	۵/۰۳	۲/۵	۵/۰۳	۲/۵	۲/۷	۲/۵

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای شبیه‌سازی و ارزیابی آبیاری جویچه‌ای از مدل‌های موجود در بسته نرم افزار SIRMOD استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل با دقت نسبتا خوبی زمان‌های پیشروی و پسروی، فرصت نفوذ و عمق آب نفوذ یافته که از عوامل اصلی طراحی آبیاری جویچه‌ای هستند را شبیه‌سازی نموده است. این مدل مقدار نفوذ را با دقت بالاتری نسبت به میزان رواناب پیش‌بینی می‌کند. دقت این مدل به عوامل ورودی به خصوص میزان جریان ورودی، ضرایب معادله‌ی نفوذ و ضریب زبری مانینگ بستگی دارد. اگر چه برای اخذ جواب دقیق بایستی اندازه‌گیری داده های ورودی شامل طول و عرض نوار، دبی ورودی، زمان قطع جریان و شیب نوار از دقت بالایی برخوردار باشند، ولی نتایج این تحقیق نشان داد که نرم- افزار SIRMOD در شرایط آبیاری جویچه‌ای از کارآیی مناسبی برخوردار است و لذا استفاده از این ابزار قدرتمند برای جستجوی پاسخ بهینه از دامنه امکان‌پذیر پارامترهای هندسی در یک سامانه آبیاری جویچه‌ای توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح‌های تحقیقاتی "ارزیابی فنی و اقتصادی سامانه آبیاری کم فشار خودکار و مقایسه آن با سامانه آبیاری سطحی" و "بررسی و مقایسه روش‌های مختلف تعیین طول شیار و انتخاب روش بهینه" است که بدینوسیله از مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (کرج) و مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان که هزینه‌های اجرایی این طرح‌ها را عهده‌دار شدند تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

بهبهانی، م. و بابازاده، ح .۱۳۸۴. ارزیابی مدل آبیاری سطحی SIRMOD (مطالعه موردی در آبیاری شیاری). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۲): ۱-۱۰.

بهرامی، م.، برومندنسب، س و ناصری، ع. ۱۳۸۸. مقایسه مدل هیدرولوژیکی ماسکینگام – کونژ با مدل‌های هیدرولیکی آبیاری در برآورد مرحله پیشروی آبیاری جویچه‌ای. مجله آبیاری و زهکشی. ۳ (۲):۴۰- ۴۹.

احمدی احمدآباد، ی.، لیاقت، ع.، سهرابی، ت.، رسول‌زاده، ع. و نظری، ب. ۱۳۹۶. بهبود عملکرد آبیاری سطحی با مدیریت زمان قطع جریان در مدل SIRMOD (مطالعه موردی: کشت و صنعت و دامپروری مغان). تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸ (۴): ۸۱۱-۸۲۲.

سالمی، ح. ا. ۱۳۷۸. بررسی و مقایسه روش‌های مختلف تعیین طول شیار و انتخاب روش بهینه. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. نشریه شماره ۱۳۴- ۷۸/۷۸.

سلطانزاده، ح . ۱۳۷۲. ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف طراحی آبیاری جویچه‌ای و انتخاب روش بهینه. پایان- نامه کارشناسی ارشد، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۸۱ صفحه.

سهرابی مشک آبادی، ب. ۱۳۷۱. بررسی و مقایسه روشهای مختلف تعیین طول بهینه شیار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی تجرک - همدان. گزارش پژوهشی، نشریه شماره ۶. مؤسسه تحقیقات مهندسی زراعی. ۷۲ صفحه

عباسی، ف.، فرحناز، س. و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب و آبیاری در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی. ۱۷(۶۷): ۱۲۸- ۱۱۳.

علیزاده، ا. ۱۳۸۸. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۵۲ صفحه.

غلامی سفیدکوهی، م. ع. و کولائیان، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی مزرعه‌ای و آنالیز حساسیت مدل SIRMOD در آبیاری شیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۳ (۸): ۴۷۳-۴۸۳.

قدمی فیروزآبادی، ع. ۱۳۹۴. بررسی مدیریت مصرف آب و تغییرات رطوبت خاک در آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ناحیه ریشه (PRD) در گیاه آفتابگردان. رساله دکتری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۱۵۲ صفحه.

Ebrahimian, H., and Liaghat, A. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. Soil Water Res, 6 (2), 91–101.

Elliot, R.L. and Walker, W.R., 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions.Trans of the ASAE, 25 (2): 396-400.

Esfandiari, M. and Maheshwari, B. L. 2001. Field evaluation of surface irrigation models. Journal of Agriculture Engineering Research: 459-479.

Hart, W. E.1979. Design and operation of gravity on surface system. SCS. Chapter 13.

Heidari, M.M. and Kouchakzadeh, S. 2016. Developing semi-analytical solution for Saint-Venant equations in the uniform flow region. JOURNAL OF WATER AND SOIL (AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY), 29 (6): 1427 To 1437.

Hornbuckle, J.W, Christenl, E.W and Faulkner, R.D. 1999. Improving the Efficiency and Performance of Furrow Irrigation Using Simulation Modeling in South-Eastern Australia. CSIRO Land and Water, PMB No. 3, Griffith, New South Wales, Australia, 2680.

Ley, T.W. 1981. Sensivity of furrow irrigation performance to field and operation variables. M.Sc. Thesis, colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Maheshwari, B.L. and McMahan, T. A. 1993. Performance evaluation of border irrigation model for southeast Australia. Part 2. Journal of Agriculture Engineering Research. 54: 127-139.

Pilar, M., Emilio, C. and Serafin, A. 2001. Seasonal furrow irrigation model with genetic algorithms (OPTIMEC). Agricultural water management, 52: 1-16.

Walker W.R. 2007. SIRMOD III- Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design. Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University. 163 paper.

Determination of optimum furrow length and Application of SIRMOD Model in Furrow Irrigation Simulation.

Hamidreza. Salemi [1]. Ali. Ghadami Firouzabadi[2*]. Mehdi. Akbari[3]

Abstract

Surface irrigation is the most irrigated area in the entire country. Therefore, it is necessary to evaluate this irrigation system due to improve irrigation efficiency. One of the existing software for assessing surface irrigation methods is SIRMOD model. In this study, a few models in the SIRMOD package were evaluated. In hence, three data groups of research stations of Kabutarabad (Isfahan), Hashem Abad (Mazandaran) and Zarghan (Fars) were used as local inputs. The soil texture of these fields was silty clay loam, silty clay loam and silty clay respectively. First, the length of the Furrow was investigated by using three methods: FAO, SCS and W&S. Optimum Furrow length in these areas was determined as 120, 200 and 100 meters, respectively. The results of reliability indices such as NRMSE, ME and R2 were used to compare simulated and measured values of the parameters which indicated the high accuracy of the models those have performed well in predicting advanced and recession time in furrow. The results also revealed that the hydrodynamic model was more accurate than the two zero-inertia and kinematic inertia models in predicting advanced and recession times. According to the results of this study, the highest error of these models was related to estimating the amount of runoff at 5% and the lowest was related to the infiltration depth parameter at 2.7%. Therefore, the models in the SIRMOD package estimate the cumulative infiltration rate in the soil to be higher than the runoff rate.

Key words: Surface irrigation, Runoff, advanced time, recession time, infiltration

[1]- Assistant Prof, Department of Agricultural Engineering Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Isfahan, Iran.
[2]- Associate Prof, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran. (Email: aghadami@gmail.com)
[3] - Associate Prof, Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.