

Using the CR index in the optimal design of a row irrigation system with the SIRMOD model

Elyas Ostadi¹ , Mohammad Hossein Najafi Mood² , Abbas Khashei Siuki^{3*} , Mehdi Dastourani⁴ 

¹ Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Birjand, Birjand, Iran

³ Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Birjand, Birjand, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Birjand, Birjand, Iran

Extended Abstract

Introduction

Water scarcity is an increasingly critical global issue, causing a rise in arid lands and highlighting the need to address wasteful water usage in agriculture. Population growth, climate change, industrialization, and human conflicts have exacerbated water shortages, particularly in arid and semi-arid regions. According to the Falcon Mark index and the United Nations, Iran is experiencing water stress and a severe water crisis, threatening food security, economic development, public health, and national security. With over 92% of water consumption attributed to the agricultural sector, efficient water usage and reducing irrigation system losses are paramount. This study focuses on improving furrow irrigation efficiency by investigating surface irrigation efficiency and providing appropriate solutions.

Materials and Methods

The SIRMOD model, capable of simulating hydraulic surface irrigation, was employed to obtain the cut-off to Advance Time Ratio (CR) indicator. Diagrams based on soil texture, inflow rate, farm length, and the CR indicator were generated to enhance the design and efficiency of furrow irrigation systems. To ensure the accuracy of the simulation and results, the SIRMOD model was validated, and optimal CR indicators were determined for a furrow irrigation system with four different lengths and sandy-loam textured soils. A suitable field under the row irrigation system was selected, and the soil texture was determined using double-cylinder tests. Field operations included establishing forward and backward stations and smoothing the water path to prevent water from exiting the furrow. A pipe at the end of the furrow measured the output runoff using the volumetric method, and standard siphons were chosen to maintain the input flow rate. After turning on the siphons, advance and retreat times were recorded, and instantaneous runoff was estimated during irrigation. This process was repeated for three inflow rates: 0.5, 0.8, and 1.15 l s⁻¹, with three repetitions for each rate l s⁻¹.

Results and Discussion

The advance times in the first, second, and third furrows were 44.22, 45, and 42.88 min, respectively, while the water recession times were 293.1, 290.73, and 292.7 min, respectively. The relatively high water speed in light-textured soils and the short water recession times indicated the light texture of the farm soil and validated the test results. For an inflow rate of 0.5 l s⁻¹, measurements revealed that half of the water volume entered the furrow along its length, while the other half exited as runoff. Simulation results for an inflow rate of 0.5 l s⁻¹ yielded CR values of 8.37 for a 100 m length, 6.99 for a 120 m length, 5.41 for a 150 m length, and 3.31 for a 200 m length. For an inflow rate of 0.8 l s⁻¹, optimal CR indicators were 8.0, 7.25, 6.19, and 4.63 for lengths of 100, 120, 150, and 200 m, respectively. At an inflow rate of 1.15 l s⁻¹, the optimal CR indicators for lengths of 100, 120, 150, and 200 m were estimated to be 7.42, 6.53, 6.11, and 5.06, respectively.



Conclusion

The study's findings highlight a significant breakthrough in optimizing water usage in agriculture, a sector heavily reliant on water resources. By meticulously experimenting with different inflow rates and furrow lengths, the highest water application efficiency was attained with a specific set of parameters. An inflow rate of 0.5 l s^{-1} , coupled with a furrow length of 200 m, resulted in an impressive water application efficiency of 83%. This efficiency correlates with a cut-off to advance time ratio (CR) value of 3.31, indicating a well-balanced water distribution system. The implications of this discovery are far-reaching, especially in regions facing water scarcity and agricultural challenges. By implementing these optimized settings, farmers can maximize their water usage while minimizing waste. This not only ensures the efficient utilization of a precious resource but also contributes to sustainable agricultural practices. Furthermore, the consistency in results, achieved through the SIRMOD model's validation, underscores the reliability of these findings, providing a solid foundation for future irrigation system designs and improvements. The expanded text emphasizes the significance of the study's findings, highlighting the efficient water usage and its potential impact on sustainable agriculture, especially in water-scarce regions. It also underscores the reliability of the results through the model's validation, providing confidence in the optimized settings for furrow irrigation systems. The best water application efficiency in the farm, 83%, was associated with the inflow rate of 0.5 l s^{-1} and the length of 200 m, and the CR equaled 3.31.

Keywords: Application efficiency, Cut-off time, Flow interruption time, Furrow irrigation, Surface irrigation models, Water use efficiency

Article Type: Research Article

Acknowledgment

We would like to express our sincere gratitude to the University of Birjand for the financial and spiritual support who 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

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Elyas Ostadi: Resources, software, writing, original draft preparation; **Mohammad Hossein Najafi Mood:** Resources, software, manuscript editing; **Abbas Khashei Siuki:** Conceptualization, supervision, final editing; **Mehdi Dastourani:** Resources, software, manuscript editing.

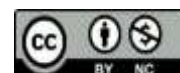
*Corresponding Author, E-mail: abbaskhashei@birjand.ac.ir

Citation: Ostadi, E., Najafi Mood, M.H., Khashei Siuki, A., & Dastourani, M. (2024). Using the CR index in the optimal design of a row irrigation system with the SIRMOD model. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(3), 39-52. DOI: 10.22098/mmws.2023.12607.1256

Received: 27 March 2023, Received in revised form: 07 June 2023, Accepted: 09 June 2023, Published online: 09 June 2023
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp. 39-52

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





استفاده از شاخص CR در طراحی بهینه سیستم آبیاری ردیفی با مدل SIRMOD

الیاس استادی^۱، محمد حسین نجفی مود^۲، عباس خاشعی سیوکی^{۳*}، مهدی دستورانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۳ استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۴ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

امروزه بحران آب از نگرانی‌های بسیار جدی در جهان به‌شمار می‌رود و به‌همین جهت صرفه‌جویی در مقدار آب مصرفی در کشاورزی که بیش‌ترین تلفات آب را می‌تواند داشته باشد، امری ضروری است. با تحقیق روی راندمان آبیاری سطحی و ارائه راه‌حل‌های مناسب می‌توان باعث کاهش تلفات ناشی از آبیاری و در پی آن افزایش راندمان آبیاری شیاری شد. به این منظور از مدل SIRMOD که توانایی شبیه‌سازی هیدرولیک آبیاری سطحی را دارد جهت به‌دست آوردن ضریبی تحت عنوان CR (نسبت زمان قطع جریان به زمان پیشروی) استفاده شد و در پی آن نمودارهایی بر اساس بافت خاک، دبی، طول مزرعه و ضریب CR به‌دست آمد که می‌توان از آن‌ها جهت بهبود و سهولت طراحی سامانه‌های آبیاری جویچه‌ای و افزایش بازده کارایی مصرف آب آبیاری، استفاده نمود. در این تحقیق ابتدا ارزیابی سیستم آبیاری ردیفی با سه نرخ جریان ورودی ۰/۵، ۰/۸ و ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند صورت پذیرفت. سپس، برای اطمینان از درست بودن عملیات شبیه‌سازی و نتایج خروجی، مدل SIRMOD مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. در ادامه با استفاده از مدل SIRMOD ضرایب CR بهینه برای سامانه آبیاری جویچه‌ای با چهار طول مختلف و خاک‌هایی با بافت لومی-شنی به‌دست آمد که نتایج حاصل از شبیه‌سازی آن‌ها برای نرخ ورودی جریان ۰/۵ لیتر بر ثانیه، شامل ضریب CR برابر ۵/۷ برای طول ۱۰۰ متر، ۴/۴۷ برای طول ۱۲۰ متر، ۳/۰۵ برای طول ۱۵۰ متر و ۱/۲۵ برای طول ۲۰۰ متر بودند. همچنین، برای نرخ ورودی جریان برابر ۰/۸ لیتر بر ثانیه ضرایب CR بهینه برابر بودند با ۵/۹۵ برای طول ۱۰۰ متر، ۵/۲۴ برای طول ۱۲۰ متر، ۴/۱۹ برای طول ۱۵۰ متر و ۲/۷۳ برای طول ۲۰۰ متر و برای نرخ ورودی جریان مساوی با ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه نیز ضرایب CR بهینه به‌ترتیب برای طول‌های ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر برابر با ۵/۹، ۵/۰۵، ۴/۵ و ۳/۵۸ بودند که در این بین بهترین راندمان کاربرد آب در مزرعه (۹۲/۵۷ درصد) مربوط به نرخ ورودی جریان ۰/۵ لیتر بر ثانیه و طول ۲۰۰ متر، زمان قطع جریان ۳۳۵ دقیقه و ضریب CR برابر ۱/۲۵ بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری شیاری، راندمان کاربرد آب، زمان قطع جریان، مدل‌های آبیاری سطحی.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: abbaskhashei@birjand.ac.ir

استناد: استادی، الیاس، نجفی مود، محمد حسین، خاشعی سیوکی، عباس، و دستورانی، مهدی (۱۴۰۳). استفاده از شاخص CR در طراحی بهینه سیستم آبیاری ردیفی با مدل SIRMOD. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۳۹-۵۲.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12607.1256

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۳، صفحه ۳۹ تا ۵۲

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

کمبود آب ناشی از رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی، توسعه صنایع و مداخلات انسانی به یک بحران جدی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک تبدیل شده است. بر اساس شاخص فالکن مارک و سازمان ملل، کشور ایران در وضعیت تنش آبی و بحران شدید آب قرار دارد و این بحران می تواند موجب اختلال در امنیت غذایی، توسعه اقتصادی، بهداشت عمومی و امنیت ملی کشور شود؛ برآوردها از میزان مصرف آب حاکی از آن است که بیش از ۹۲ درصد مصرف آب در بخش کشاورزی است (Michel, 2017; Saatsaz, 2019; Mohammadi Soleimani and Shabani Rouchi, 2014). افزایش تلفات در آبیاری سطحی استفاده از ابزارهایی را که بتوان ضمن طرح مناسب، مدیریت بهینه سامانه را با حداکثر راندمان طراحی داشته باشد اجتناب ناپذیر می کند. یکی از این ابزارها مدل آبیاری سطحی هستند که با شبیه سازی آبیاری سطحی، پدیده جریان آب و راندمان های موجود (کاربرد، توزیع و ضریب یکنواختی) را با استفاده از داده های مزرعه ای پیش بینی می کنند (Behbehani et al., 2005). مسأله اصلی روش های آبیاری سطحی پایین بودن بازده آب آبیاری است. بنابراین، برآورد دقیق و افزایش راندمان آبیاری سطحی سبب صرفه جویی به سزایی در منابع آب می شود. از آن جاکه راندمان سامانه های آبیاری سطحی به عوامل متعددی مانند خصوصیات هیدرولیکی نوار یا شیار یا کرت، دبی ورودی، زمان پیشروی، پسروی، زمان قطع جریان و خصوصیات خاک وابسته است، می توان با کمک این خصوصیات راندمان سامانه های آبیاری سطحی را پیش بینی نمود و فرآیند آبیاری سطحی را شبیه سازی کرد (Dehghanian et al., 2016).

SIRMOD یک بسته نرم افزار جامع، برای شبیه سازی هیدرولیکی سامانه های آبیاری سطحی در سطح مزرعه است. این نرم افزار برای طراحی، ترکیب بهینه ای از ابعاد (شیار، کرت یا نوار) و پارامترهای کاربردی را جهت افزایش راندمان کاربرد انتخاب می کند و با به کارگیری روش دونقطه ای و داده های پیشروی، پارامترهای نفوذ را حل می نماید. محاسبات این نرم افزار بر اساس روش های تحلیلی و عددی است. این نرم افزار با استفاده از زبان برنامه نویسی ++C نوشته شده است. مدل SIRMOD دارای سه نوع مدل شبیه سازی است: (۱) مدل موج سینماتیک (۲) مدل ایرسی صفر و (۳) مدل هیدرودینامیک که پیش فرض آن طبق مدل هیدرودینامیک است (Rahmani AliAbadi et al., 2017). در تحقیقی، (Salahou et al., 2018) در استان هبی در شمال دشت چین، برای افزایش راندمان آبیاری سطحی در سامانه آبیاری نواری برای گیاه گندم زمستانه تحقیقی انجام دادند. در این تحقیق مطالعه روی زمان قطع جریان بر اساس

طول مزرعه و سه نرخ ورودی جریان صورت گرفته بود که در نتیجه آن ضریب CR یا Cut of ratio به خصوص برای هر یک از نرخ های ورودی و بافت خاک به کشاورزان توصیه گشته و باعث بهبود عملکرد و نهایتاً افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه شده بود. در تحقیق دیگری، (Anwar et al., 2016) برای افزایش راندمان آبیاری سطحی به بهینه سازی ابعاد مرز در سامانه آبیاری نواری در پاکستان پرداختند که با تعیین عمق آبیاری حدود ۵۰ میلی متر به سادگی به راندمان ۸۰ درصد دست پیدا کردند. همچنین، با افزایش دور آبیاری از هفت روز به ۱۰ روز دریافتند که علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی، کاهش عملکرد محسوسی نیز نداشته است. همچنین، (Rahmani AliAbadi et al., 2017)، به ارزیابی راندمان آبیاری جویچه ای با مدل نرم افزار SIRMOD پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده زمان های پیشروی و پسروی در جویچه های پهن و باریک در مدل SIRMOD به ترتیب با حداکثر خطای مطلق ۴۵ و ۸ درصد پیش بینی شدند. در آبیاری مرحله دوم، جویچه های آزمایشی در حالت ضریب زبری ۰/۰۳ در نظر گرفته شدند. زمان پیشروی و پسروی با دقت بیشتری در مقایسه با داده های آبیاری اول و یا آبیاری دوم با ضریب زبری ۰/۰۴ شبیه سازی شد. در این مدل برای زمان پیشروی مقادیر کمی از یک بزرگ تر بود که این مشخص کننده بیش برآورد مدل در زمان تخمین پیشروی است.

سامانه های نوین آبیاری از جمله انواع سامانه های آبیاری تحت فشار اگر به درستی طراحی و اجرا شوند باعث مصرف بهینه آب شده و راندمان کاربرد آب در مزرعه را تا حد درخور توجهی افزایش می دهند. اما افزایش هزینه های انرژی در جهان سبب شده که کشاورزان و محققان نگاه ویژه ای به سامانه های آبیاری سطحی داشته باشند. به همین دلیل تحقیق روی راندمان آبیاری سطحی و ارائه راه حل های مناسب باعث کاهش تلفات ناشی از آبیاری و در پی آن افزایش راندمان آبیاری شیار می شود. به این منظور در تحقیق حاضر از مدل SIRMOD و ضریبی تحت عنوان CR استفاده شد که با استفاده از آن ها می توان راندمان سامانه های آبیاری را بهبود بخشید. به علت آن که در ایران درباره ضریب CR تحقیق های اندکی صورت پذیرفته و تاکنون در ایران از این شاخص جهت مدیریت آب در مزرعه استفاده نشده و آن را برای افزایش راندمان سامانه آبیاری شیار به کار نگرفته اند، اکنون هدف از انجام این تحقیق، استفاده از شاخص CR در طراحی سامانه آبیاری ردیفی با استفاده از مدل SIRMOD است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق ابتدا آزمایش‌های مربوط به شناسایی بافت خاک مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با موقعیت جغرافیایی $29^{\circ} 32' 53''$ شمالی و $59^{\circ} 36' 6''$ شرقی انجام گرفت (جدول ۱). پس از تعیین بافت خاک مزرعه، شیب و آماده‌سازی زمین که نقش بسیار مهمی در سامانه‌های آبیاری سطحی و راندمان آبیاری دارند به ارزیابی سامانه آبیاری شیاری پرداخته شد (Worqlul et al., 2019). طی آن داده‌هایی از قبیل زمان پیشروی، زمان قطع جریان، زمان پسروی، طول مزرعه و ضرایب روابط نفوذ جهت شبیه‌سازی و به‌دست آمدن راندمان کاربرد آب در مزرعه برآورد شد. برای شبیه‌سازی و تعیین راندمان از مدل آبیاری سطحی SIRMOD استفاده شد. در ابتدا مدل بر اساس داده‌ها و شرایط مزرعه (جدول‌های ۲ و ۳) واسنجی شد. سپس ضریب‌های مختلف CR که نشان‌دهنده رابطه بین زمان قطع جریان و طول مزرعه (شیار) می‌باشند در مدل SIRMOD استفاده شدند و با هر ضریب CR یک راندمان منحصربه‌فرد به‌دست آمد. برای هر طول از مزرعه بالاترین راندمان و ضریب CR استفاده شده متناسب با آن به‌عنوان ضریب CR بهینه برای بافت خاک مزرعه

معرفی گشت. در نتیجه این عملیات نموداری استخراج شد که با توجه به بافت خاک و طول‌های مختلف شیار، تولید شده و ضرایب CR متناسب با هر یک توصیه شده است و می‌تواند برای کشاورزان و سازمان‌ها استفاده شود. پس از انتخاب مزرعه مناسب تحت سامانه آبیاری ردیفی، تعیین بافت خاک و آزمایش استوانه‌های مضاعف، جهت ارزیابی سامانه آبیاری، عملیات صحرائی از قبیل تعیین ایستگاه‌های پیشروی و پسروی، یک‌دست‌سازی مسیر آب در جویچه برای جلوگیری از خارج شدن آب از جویچه، کار گذاشتن لوله در انتهای جویچه جهت تعیین رواناب خروجی به روش حجمی، انتخاب سیفون‌های استاندارد و سالم جهت برآورده کردن دبی ورودی و تعیین دبی ورودی به روش حجمی با ظرف مدرج انجام پذیرفت. پس از روشن شدن سیفون‌ها توسط کارگر مزرعه زمان پیشروی آب تا هر ایستگاه یادداشت شد و پس از اتمام آبیاری زمان‌های پسروی نیز ثبت شدند (شکل ۱). همچنین، در مدت زمان آبیاری میزان رواناب خروجی لحظه‌ای در انتهای جویچه با مدل برآورد شد. این عملیات برای ورودی جریان ۰/۵، ۰/۸ و ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه و سه تکرار برای هر دبی ورودی صورت گرفت.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایشات بافت خاک مزرعه

Table 1- The results of farm soil texture tests

عمق (سانتی‌متر)	بافت خاک	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	Ca-Mg (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	Na (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	SAR (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	Cl (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر لیتر)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر لیتر)	کربن آلی (درصد)
0-35	لومی شنی	6.1	7.8	13	26	10.2	39	138	4.2	0.92
35-70	لومی شنی	4.5	7.9	8	36	18	30	141	4.4	1.17
70-100	لومی شنی	4.7	7.8	11	34	14.5	31	124	3.9	0.89

جدول ۲- مشخصات ثابت حاکم بر مزرعه مورد مطالعه

Table 2- Fixed characteristics governing the studied farm

منطقه	محل مزرعه	نوع سامانه آبیاری	گیاه	بافت خاک	FC درصد (وزنی)	PWP درصد (وزنی)
بیرجند-امیرآباد	مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند	ردیفی	ذرت علوفه‌ای	Silty loam (SL)	29	14
طول نوار	عرض نوار	مساحت مزرعه	مساحت زیرکشت	شیب طولی	دور آبیاری	ضریب‌زبری مانینگ
متر	متر	هکتار	هکتار	متر بر متر	روز	n
120	0.5	105	8	0.015	7-10	0.03

جدول ۳- مقادیر میانگین مقاطع هندسی جویچه‌ها

Table 3- The average values of the geometric sections of the grooves

عرض بالایی (سانتی‌متر)	عرض میانی (سانتی‌متر)	عرض کف (سانتی‌متر)	بیشینه عمق (سانتی‌متر)	طول جویچه (متر)	فاصله جویچه‌ها (متر)	شیب زمین (متر بر متر)
36	27	12	15	120	0.5	0.015

۲-۲- استخراج پارامترهای رابطه نفوذ

پارامترهای رابطه نفوذ از سطح مقطع هندسی شیار، دبی ورودی و خروجی، ارقام پیشروی آب در شیار و غیره، یا از داده‌های حاصل از آزمایش استوانه‌های مضاعف استفاده می‌کنند. رابطه نفوذ به دست آمده نشان‌دهنده میانگین خصوصیات نفوذپذیری شیار است. ضرایب رابطه نفوذ به صورت رابطه (۱) است که ضرایب a ، f_0 و k با توجه به بافت خاک از پردازش داده‌های آزمایش استوانه‌های مضاعف استخراج می‌شوند و به ترتیب از طریق رابطه‌های (۲)، (۳) و (۴) به دست می‌آیند (Walker and Skogerboe, 1987). در این روابط، a و k ضرایب تجربی رابطه نفوذ، Z مقدار نفوذ تجمعی (مترمکعب بر متر)، f_0 نفوذ نهایی (مترمکعب بر متر بر دقیقه)، t زمان (دقیقه)، t_L زمان پیشروی آب تا انتهای جویچه (دقیقه)، $t_{0.5L}$ زمان پیشروی آب تا نصف جویچه (دقیقه)، V_L و $V_{0.5L}$ سرعت آب در انتها و وسط جویچه، Q_{in} و Q_{out} نیز دبی ورودی و دبی خروجی به شیار (متر مکعب بر دقیقه) می‌باشند و مقادیر اولیه ضرایب نفوذ در جدول ۴ ارائه شده است.

$$Z = k(t)^a + f_0t \quad (1)$$

$$a = \frac{\log(V_L/V_{0.5L})}{\log(t_L/t_{0.5L})} \quad (2)$$

$$k = \frac{V_L}{\sigma_2 t_L^a} \quad (3)$$

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad (4)$$

جدول ۴- ضرایب رابطه کاستیاکوف لویس جهت استفاده در

مدل SIRMOD

Table 4- Coefficients of Kastyakov-Lewis equation for use in SIRMOD model

ضرایب نفوذ		
f_0	k	a
0.0001321	0.001789	0.452

۲-۳- ارزیابی فرصت زمان نفوذ برای هر نقطه (T_n)

مدت زمانی است که آب در خاک نفوذ می‌کند و با کاهش زمان پیشروی از زمان پسروی در هر نقطه از شیار حساب می‌شود (رابطه ۵). در رابطه بالا، T_a زمان پیشروی آب تا هر ایستگاه و T_r زمان پسروی آب تا هر ایستگاه بر حسب دقیقه هستند.

$$T_n = T_r - T_a \quad (5)$$

۲-۴- محاسبه مقدار عمق آبیاری مورد نیاز (Z_{req})

بر اساس شاخص مقدار عمق مورد نیاز آبیاری می‌توان مقدار آب نفوذ یافته در طول شیار را اندازه گرفت و طبق آن بیش آبیاری یا کم آبیاری زمین مشخص می‌شود. اندازه عمق مورد نیاز آبیاری

به عواملی چون رطوبت خاک؛ عمق ریشه و غیره ارتباط دارد (رابطه ۶).

$$Z_{req} = (f_c - pwp) \times MAD \times D_{rz} \quad (6)$$

در این رابطه f_c بیان‌گر رطوبت در محل ظرفیت زراعی و pwp رطوبت در محل پژمردگی دائم است و MAD نشان‌دهنده درصد تخلیه مجاز رطوبتی و D_{rz} عمق توسعه ریشه است.

۲-۵- بررسی راندمان آبیاری جویچه‌ای

شایستگی و مناسب بودن یک سامانه آبیاری به یک سری شاخص‌ها در عملکرد سامانه آبیاری از جمله مقدار تلفات مرتبط به عمق و توزیع آب و غیره بستگی دارد.

۲-۶- راندمان ذخیره (E_r)

این مقدار به نسبت (عمق) ذخیره رطوبتی منطقه ریشه به عمق پتانسیل ذخیره رطوبتی خاک بیان می‌شود و با Re هم نشان داده می‌شود (رابطه ۷) (Abbasi, 2016).

$$E_a = \frac{V_{rz}}{V_{RZ}} = \frac{V_{rz}}{V_{rz} + V_{di}} \quad (7)$$

در رابطه فوق، V_{rz} حجم آب ذخیره شده در منطقه ریشه گیاه، V_{RZ} حجم کل آب جایگزین کمبود رطوبت خاک، V_{di} حجم آب بیان‌کننده آبیاری ناقص هستند. با استفاده از این پارامترها می‌توان مشخص کرد که با آبیاری تا چه اندازه آب در اختیار منطقه ریشه قرار داده شود و چون ارتباط مستقیمی تنش رطوبتی خاک دارد در میزان محصول تأثیر مستقیمی می‌گذارد. مقدار راندمان آب مورد نیاز، زمانی که آبیاری در مزرعه تمام می‌شود یا در حین آبیاری بارندگی رخ می‌دهد، دارای اهمیت است.

۲-۷- راندمان کاربرد آب (E_a)

راندمان کاربرد آب (E_a) عبارت از نسبت عمق متوسط آب آبیاری ذخیره شده در ناحیه ریشه گیاه به متوسط عمق آب کاربردی در مزرعه است (رابطه ۸).

$$E_a = \frac{V_{rz}}{V_{in}} = \frac{V_{rz}}{V_{rz} + V_{dp} + V_{di}} \quad (8)$$

۲-۸- نسبت نفوذ عمقی (DPR)

میزان آب متوسط که در عمق زمین نفوذ کرده و از منطقه ریشه پایین‌تر می‌رود (رابطه ۹).

$$E_a = \frac{V_{dp}}{V_{in}} = \frac{V_{dp}}{V_{rz} + V_{dp} + V_{tw}} \quad (9)$$

در آن، V_{dp} حجم آب نفوذ یافته در منطقه زیر ریشه، V_{in} حجم کل به جای آب مصرف شده در مزرعه، V_{rz} حجم آب

WinSRFR از جمله ضرایب رابطه نفوذ و ضریب زبری را حساس‌ترین پارامترها برای واسنجی مشخص کردند. همچنین، پس از واسنجی پارامترهای مذکور از چهار شاخص مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب جرم مانده (CRM) و کارایی مدل‌سازی (ME) استفاده کردند. در تحقیق دیگری، Ghavamsaeidi Noghabi et al. (2020) نیز جهت ارزیابی نتایج مدل گیاهی DSSAT از سنج‌های آماری همچون، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (R^2) و شاخص توافق ویلموت، d استفاده کرده‌اند. از آنجایی که در یک مزرعه نمی‌توان به‌طور حتمی درباره مقدار دقیق ضرایب روابط نفوذ اظهار نظر کرد، در این تحقیق با استفاده از استوانه‌های مضاعف در نه نقطه اصلی مزرعه جهت به‌دست آوردن ضرایب رابطه کاستیاکوف لویس آزمایش صورت گرفت که نتایج اولیه آن در جدول ۴ بیان شده است اما این نه نقطه نیز نمی‌توانند گویای بافت خاک تمام مزرعه باشند پس با ورود داده‌های پیشروی و پسروی به‌دست آمده از ارزیابی مزرعه‌ای به مدل SIRMOD ضرایب جدید به‌دست آمدند (جدول ۵).

جدول ۵- ضرایب رابطه کاستیاکوف لویس جهت استفاده در

مدل SIRMOD

Table 5- Coefficients of Kastyakov-Lewis equation for use in SIRMOD model

ضرایب جدید رابطه نفوذ		
f_0	k	a
0.000109	0.00150	0.420

۳- نتایج و بحث

قبل از انجام عملیات آبیاری و برداشت داده‌های مربوط به آن تعداد ۲۷ نمونه خاک از نه نقطه اصلی واقع در ابتدا، وسط و انتهای زمین و از اعماق صفر تا ۳۵، ۷۰-۳۵، ۱۰۰-۷۰ سانتی‌متری خاک برداشت شده، ترکیب شدند و تحت انجام آزمایش‌های لازم برای تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک قرار گرفتند (جدول ۱).

۳-۱- صحت‌سنجی مدل SIRMOD با استفاده از نمودارهای

پیشروی و پسروی و هیدروگراف‌های رواناب خروجی

در این بخش جهت صحت‌سنجی مدل SIRMOD از خروجی‌های آماری این مدل یعنی زمان‌های پیشروی و پسروی و مقایسه آن‌ها با نتایج آماری حاصل از ارزیابی مزرعه‌ای استفاده شد. به‌همین منظور ابتدا داده‌های آماری خروجی از SIRMOD، با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert Pro درون‌یابی شدند. این عمل به علت متناظر نبودن فواصل

ذخیره شده در منطقه ریشه گیاه و V_{tw} حجم رواناب جریان در مزرعه در واحد عرض.

۲-۹- یکنواختی توزیع آب (DU)

یکنواختی توزیع آب به شکل نسبت میانگین متوسط عمق نفوذ در یک چهارم پایین مزرعه به میانگین عمقی نفوذ در کل مزرعه بیان می‌شود (رابطه ۱۰).

$$DU = \frac{V_{Iq}}{V_{rz} + V_{dp}} \quad (10)$$

در رابطه بالا، V_{rz} حجم آب ذخیره شده در ریشه گیاه، V_{dp} حجم آب نفوذ کرده در زیر منطقه ریشه گیاه، V_{Iq} میانگین حجم آب نفوذ یافته در ۲۵ درصد از مزرعه‌ای که کم‌تر آبیاری شده است.

۲-۱۰- نسبت رواناب پایاب (TWR)

نسبت رواناب پایاب به‌صورت رابطه (۱۱) بیان می‌شود.

$$E_a = \frac{V_{tw}}{V_{in}} = \frac{V_{tw}}{V_{rz} + V_{dp} + V_{tw}} \quad (11)$$

در آن، V_{tw} حجم رواناب جریان در مزرعه در واحد عرض، V_{rz} حجم کل به‌جای آب مصرف شده در مزرعه، V_{dp} حجم آب ذخیره شده در ریشه گیاه، V_{in} حجم آب نفوذ کرده در زیر منطقه ریشه گیاه هستند.

۲-۱۱- محاسبه ضریب CR (Cut of Ratio)

ضریب CR که محاسبه آن بسیار ساده است، حاصل نسبت زمان قطع جریان آب به زمان پیشروی آب تا انتهای زمین است که به‌دلیل یکسان بودن واحدهای صورت و مخرج کسر، ضریبی بدون بعد است (رابطه ۱۲).

$$CR = \frac{\text{زمان قطع جریان آب}}{\text{زمان آب تا انتهای زمین}} \quad (12)$$

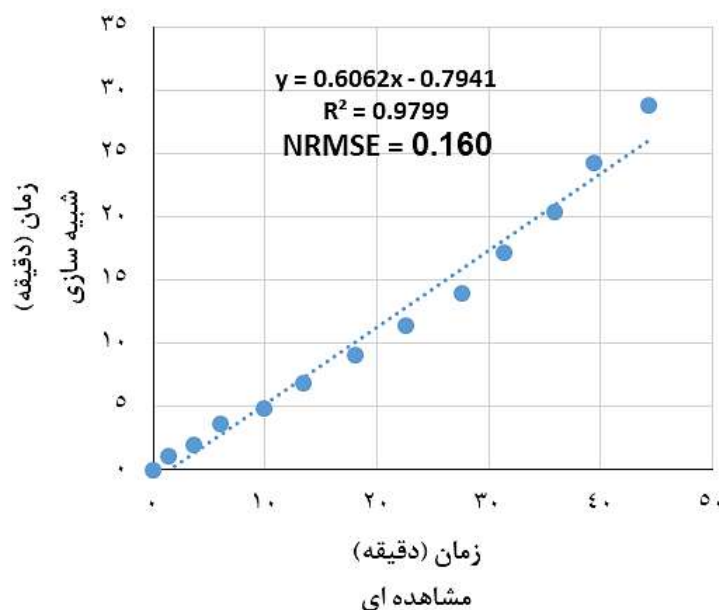
۲-۱۲- نحوه واسنجی مدل SIRMOD

واسنجی مدل SIRMOD نیاز به متغیری دارد که با تغییرات جزئی آن، مدل بتواند شرایط مزرعه و هیدرولیک جریان و نفوذ آب به داخل خاک را با خطای کم‌تری محاسبه نماید. به همین منظور باید از متغیرهای ورودی که مدل نسبت به آن‌ها حساسیت بالاتری دارد و متغیرهایی که احتمال برآورد دقیق آن‌ها در منطقه مورد مطالعه کم‌تر است، استفاده کرد. به‌همین جهت در این مطالعه از ضرایب رابطه کاستیاکوف لویس جهت واسنجی مدل SIRMOD استفاده شد (Azad et al., 2017). در تحقیقی، Gharemoahlou et al. (2018) به‌منظور واسنجی و انجام تحلیل حساسیت، پارامترهای مدل

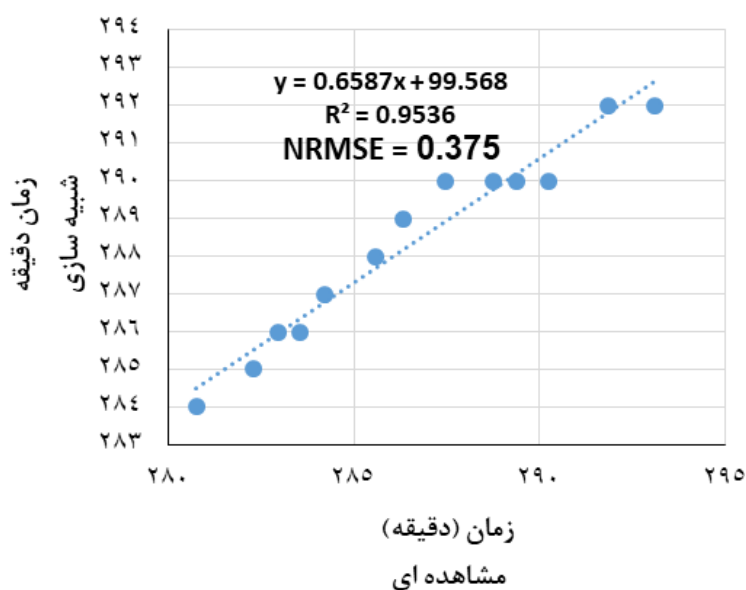
برای نرخ ورودی جریان ۰/۵ لیتر برثانیه در (شکل ۱) مورد بررسی قرار گرفته و ارائه شده است. البته لازم به ذکر است که مقادیر R^2 و NRMSE به دست آمده برای دبی های ۰/۸ و ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه نیز در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به شکل ۱ و جدول ۶ و ضرایب تبیین به دست آمده که بالای ۰/۹۰ هستند، می توان به توانایی بالای مدل SIRMOD جهت شبیه سازی هیدرولیک جریان پس از عملیات واسنجی پی برد.

ایستگاه های اندازه گیری در مزرعه و مدل صورت گرفت. سپس جهت واسنجی و صحت سنجی مدل SIRMOD از نمودارهای زمان پیشروی و زمان پسروی حاصل از شبیه سازی مدل و نمودارهای زمان پیشروی و زمان پسروی مشاهداتی در مزرعه استفاده شد و ضرایب R^2 و RMSE هر یک جداگانه به دست آمده و مورد تحلیل قرار گرفتند (Azad et al., 2017). جهت شبیه سازی بهتر مدل نیز با تعدیل ضرایب نفوذ معادله کاستیاکوف لوئیس، مدل به طور کامل واسنجی و مورد استفاده قرار گرفت. نمودارهای مقایسه ای زمان پیشروی و زمان پسروی

زمان پیشروی دبی ۰/۵



زمان پسروی دبی ۰/۵



شکل ۱- نمودار مقایسه ای زمان پیشروی در مزرعه و شبیه سازی مدل (بالا)، نمودار مقایسه ای زمان پسروی در مزرعه و شبیه سازی مدل (پایین)
Figure 1- Comparison diagram of advance time in the field and model simulation (top), comparison diagram of regression time in the field and model simulation (bottom)

جدول ۶- مقادیر RMSE قبل و بعد از واسنجی مدل و ضرایب تبیین نمودارهای پیشروی و پسروی برای دبی‌های ۰/۸ و ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه

Table 6- RMSE values before and after recalibration of the model and coefficients of determination of advance and regression graphs for flow rates of 0.8 and 1.15 l s⁻¹

شاخص ارزیابی	دبی 0.8 (لیتر بر ثانیه)	دبی 1.15 (لیتر بر ثانیه)
NRMSE قبل از واسنجی	0.20	0.21
NRMSE بعد از واسنجی	0.12	0.19
R ² نمودار پیشروی	0.98	0.99
R ² نمودار پسروی	0.96	0.98

درست تخمین بزند اما در این تحقیق مدل SIRMOD در تخمین زمان پیشروی آب به خوبی عمل کرد که احتمالاً علت آن واسنجی دقیق مدل است.

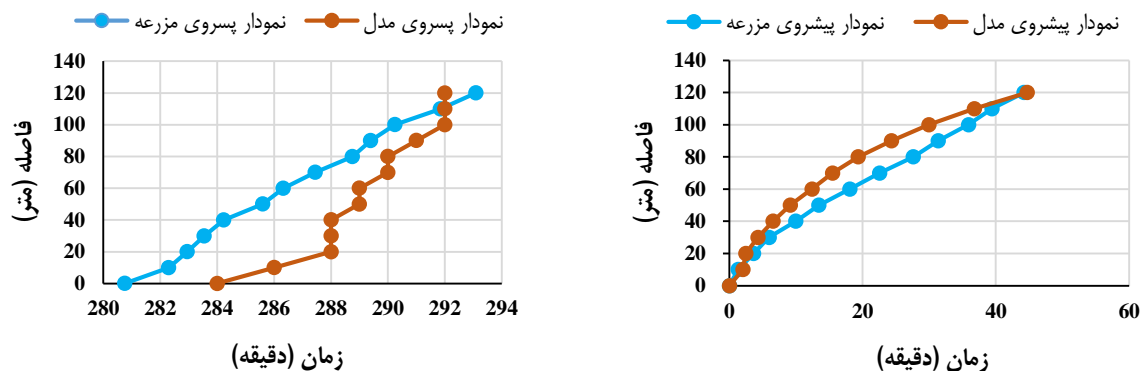
۳-۳- زمان پسروی

از دیگر پارامترهای مقایسه شده جهت نشان دادن میزان توانایی نرم‌افزار در شبیه‌سازی زمان پسروی یا زمان ناپدید شدن آب از نقاط مختلف زمین می‌باشد (شکل ۲). شکل ۲ مقایسه بین مقادیر مزرعه‌ای و شبیه‌سازی شده این پارامتر را نشان می‌دهد. از این شکل مشخص است که مدل ناپدید شدن ناگهانی آب از سطح بزرگی از زمین در یک لحظه خاص را شبیه‌سازی کرده است. در حالی که در واقعیت، آب به تدریج و از ابتدای مزرعه شروع به ناپدید شدن از سطح زمین کرده است و در فاصله‌ای هم که آب زودتر از قسمت‌های ابتدایی مزرعه ناپدید شده است احتمالاً بلندی وجود داشته است. بنابراین، یکی از معایب این مدل را می‌توان عدم تشخیص صحیح پستی و بلندی‌های مزرعه دانست. هم‌چنین، Paziresh Qahfarkhi (2012) نیز با تحقیقی به منظور ارزیابی مدل SIRMOD در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای به نتایجی دست یافت که در ارتباط با شبیه‌سازی زمان پسروی توسط مدل SIRMOD مطابقت دارند.

۳-۲- زمان پیشروی

زمان پیشروی اندازه‌گیری شده مزرعه و مقادیر شبیه‌سازی شده متناظر آن برای دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه با مدل SIRMOD در یک نمودار ترسیم شد که در شکل ۲ ارائه شده است. از این شکل مشخص است که در اوایل آبیاری دقت مدل در شبیه‌سازی این پارامتر قابل قبول بوده است اما به تدریج و با افزایش مدت زمان آبیاری، کمی از دقت مدل در شبیه‌سازی زمان پیشروی کاسته شده است و دوباره در انتهای عملیات شبیه‌سازی زمان پیشروی، آب به انتهای مزرعه خیلی نزدیک به مقدار واقعی خود تخمین زده شده است. این بیان‌گر واسنجی صحیح مدل است. اما درباره قسمت میانی عملیات شبیه‌سازی احتمالاً یکی از علل این وضعیت عدم تخمین مناسب ضریب زبری رابطه مانینگ و پیرو آن عدم تخمین مناسب سرعت جریان آب است. در کل مدل SIRMOD شبیه‌سازی خوبی را در مورد فرآیند پیشروی انجام داده است. مدل هیدرودینامیک نسبت به دو مدل اینرسی صفر و موج سینماتیک شبیه‌سازی بهتری را می‌تواند انجام دهد و دلیل این امر را می‌توان وجود پارامتر سرعت V در روابط پیش‌فرض این مدل یعنی روابط سنت‌ونانت دانست که در مورد مدل‌های دیگر این پارامتر از معادلات حذف شده است (Paziresh Qahfarkhi, 2012).

در تحقیقی، Paziresh Qahfarkhi (2012) بیان کرد که مدل SIRMOD نتوانسته زمان پیشروی آب به انتهای مزرعه را



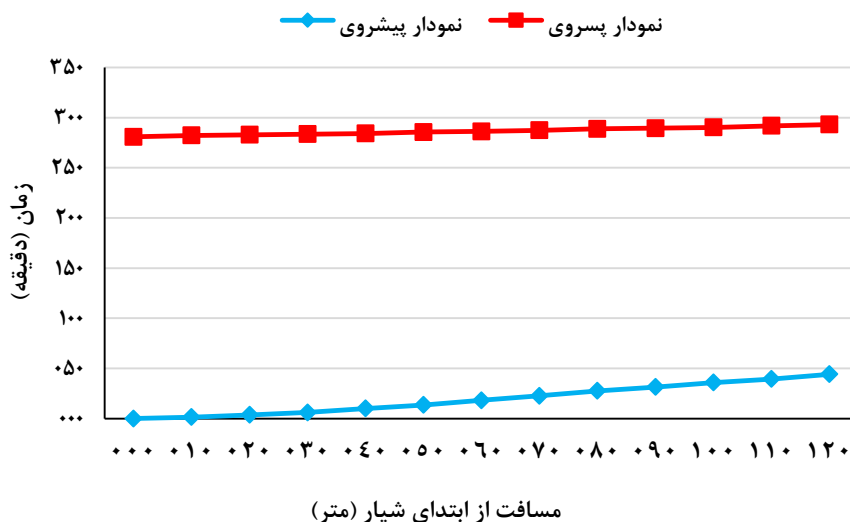
شکل ۲- نمودار مقایسه‌ای زمان‌های پیشروی در مزرعه و مدل برای دبی ۰/۵ (راست)، نمودار مقایسه‌ای زمان‌های پسروی در مزرعه و مدل برای دبی ۰/۵ (چپ)

Figure 2- The comparison chart of advance times in the field and the model for a flow rate of 0.5 (right), the comparison chart of regression times in the field and the model for a flow rate of 0.5 (left)

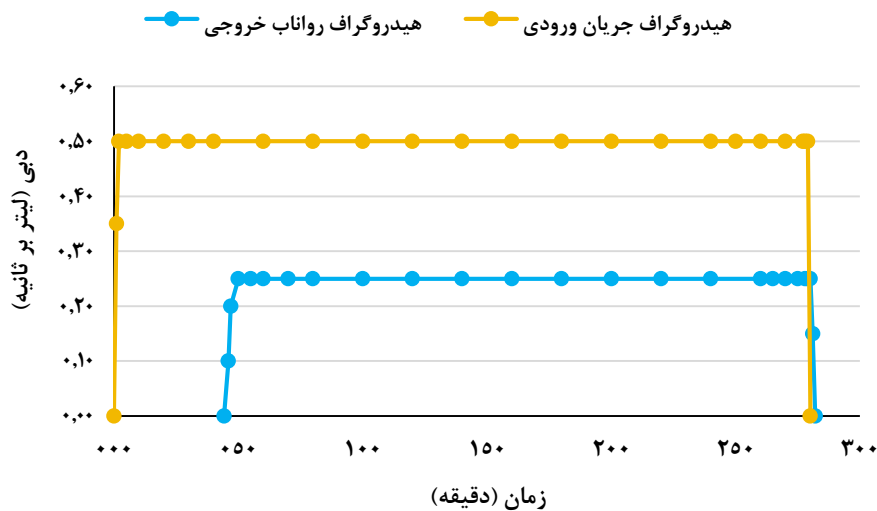
۳-۴- نتایج آماری و گرافیکی حاصل از ارزیابی سامانه آبیاری ردیفی در مزرعه

در این مرحله ابتدا مشخصات سامانه آبیاری ردیفی مزرعه دانشگاه بیرجند از قبیل عرض بالایی، متوسط و پایینی جویچه، عمق بیشینه جویچه و غیره به صورت میانگین محاسبه شده و در جدول ۳ قبلاً ذکر شدند. همچنین، نتایجی از قبیل داده‌های پیشروی، پسروی، هیدروگراف‌های جریان ورودی و هیدروگراف‌های رواناب خروجی جهت ارزیابی راندمان آبیاری به دست آمدند. لازم به ذکر است که از داده‌های پیشروی و پسروی سه تکرار مربوط به جریان ورودی، میانگین‌گیری به عمل آمده و هیدروگراف‌های رواناب خروجی و جریان ورودی برای جویچه‌های اصلی (تکرار ۱) محاسبه شدند. در ادامه نتایج حاصل از آبیاری جویچه‌ای با دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با طول ۱۲۰ متر و زمان قطع جریان ۲۸۰ دقیقه بررسی می‌شود. نتایج نشان داده شده در شکل ۳ که شامل زمان پیشروی و زمان پسروی اندازه‌گیری شده در سه جویچه (تکرارها) بر حسب دقیقه هستند. زمان پیشروی در جویچه اول برابر با ۴۴/۲۲ دقیقه، در جویچه دوم

۴۵ دقیقه و در جویچه سوم ۴۲/۸۸ دقیقه بوده و زمان‌های پسروی آب در سه جویچه به ترتیب برابر با ۲۹۳/۱، ۲۹۰/۷۳ و ۲۹۲/۷ دقیقه بودند. با توجه به سرعت نسبتاً بالای آب در خاک‌های با بافت سبک و مقادیر زمان پسروی آب در هر سه جویچه در بازه زمانی حداکثر ۱۵ دقیقه، به سبک بودن بافت خاک مزرعه و صحیح بودن نتایج آزمایش بافت خاک مزرعه پی می‌بریم. همچنین، نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری دبی ورودی به جویچه و دبی خروجی از جویچه در هنگام آبیاری برای دبی جریان ۰/۵ لیتر بر ثانیه در (شکل ۴) بیان شده است. با توجه به مشاهدات عینی در مزرعه ابتدا ثابت شدن دبی سیفون‌ها حدود یک الی سه دقیقه به طول انجامید و پس از تثبیت دبی در طول مدت آبیاری (از دقیقه دو تا دقیقه ۲۷۹)، با توجه به اندازه‌گیری‌ها مشخص شد که نیمی از حجم آب وارد شده به جویچه در طول جویچه نفوذ و نیمه دیگر حجم آن به صورت رواناب از مزرعه خارج شده است. لازم به ذکر است که جریان‌های ورودی و خروجی به روش حجمی اندازه‌گیری شدند.



شکل ۳- نمودارهای پسروی و پیشروی حاصل از ارزیابی سامانه آبیاری ردیفی برای دبی جریان ۰/۵ لیتر بر ثانیه
Figure 3- Regression and progress graphs obtained from the evaluation of the row irrigation system for the flow rate of 0.5



شکل ۴- هیدروگراف جریان‌های ورودی و خروجی برای دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه
Figure 4- Hydrograph of incoming and outgoing flows for a flow rate of 0.5

طول مزرعه (در صورت امکان)، طراحی سامانه آبیاری جویچه‌ی با انتهای بسته، کاهش نرخ ورودی جریان متناسب با سرعت نفوذ آب در خاک و کاهش شیب مزرعه و عملیات تسطیح دقیق قبل از کاشت محصول می‌توان باعث افزایش راندمان‌ها شد. همین راه‌کارها برای طول‌های ۱۲۰ و ۱۵۰ متر نیز پیشنهاد می‌شود. در رابطه با شرایط دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه و طول ۲۰۰ متر که راندمان‌های کاربرد آب و ذخیره شبیه‌سازی شده توسط مدل SIRMOM در حالت بهینه به ترتیب برابر ۹۲/۷۳ و ۹۲/۵۷ درصد بودند، می‌توان گفت که شیب نسبتاً زیاد مزرعه باعث کافی بودن نرخ ورودی جریان ۰/۵ لیتر بر ثانیه برای طول ۲۰۰ متر شده است. این بدین معنی است که نرخ ورودی جریان ۰/۵ لیتر بر ثانیه به شرط آن که شیب مزرعه برابر یا بیش‌تر از ۰/۱۵ متر بر متر باشد، می‌تواند نیاز آبی گیاه را تا ۹۲ درصد در جویچه‌هایی به طول ۲۰۰ متر تأمین کند. لازم به ذکر است که جهت برآورد ضریب CRهای بهینه برای دبی‌های ۰/۸ و ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه نیز همین‌گونه عمل شد و نتایج آن در (جدول ۷) نمایش داده شده است. پس از اجرای مدل SIRMOM برای ۱۲ حالت بهینه از مجموع ۱۲۰ حالت بررسی شده مشاهده شد که طول‌های ۱۰۰ متر از بالاترین ضرایب CR برخوردارند که علت آن زمان پیشروی کوتاه و کوچک بودن مخرج کسر در رابطه (۱۲) است و طول‌های ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر به ترتیب از ضرایب CR پایین‌تری برخوردار بودند. همچنین، ضریب CR با راندمان ذخیره نسبت مستقیم و با راندمان کاربرد آب در مزرعه نسبت معکوس دارد. در جدول ۷ زمان پیشروی، زمان قطع جریان و ضرایب CR مربوط به هر دبی و طول مزرعه مشخص شده است.

۳-۵- ارزیابی و تعیین ضریب CR بهینه

در این بخش برای شرایط دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه و چهار طول مختلف ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر، مدل SIRMOM اجرا شد و زمان‌های قطع جریانی که از بالاترین راندمان‌ها برخوردار بودند به دست آمد سپس، از رابطه (۱۲) ضریب CR متناظر با هر مقدار زمان قطع جریان برای هر طول از مزرعه به دست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر زمان قطع جریان و ضریب CR برای طول ۱۰۰ متر جهت اجرای اول مدل که به ترتیب برابر ۳۰۰ دقیقه و ۱۰/۰۶ بودند، طوری اتخاذ شدند تا راندمان ذخیره به حداکثر مقدار خود برسد و در اجرای سوم مدل با زمان قطع جریان ۸۰ دقیقه و ضریب CR ۶/۶۸ سعی بر آن شد تا راندمان کاربرد آب در مزرعه به حالت بیشینه خود برسد و در نهایت زمان قطع جریان ۱۷۰ دقیقه و ضریب CR ۵/۷ اتخاذ شد تا تعادل میان راندمان‌های ذخیره و راندمان کاربرد آب در مزرعه برقرار شود و این ضریب CR به عنوان ضریب CR بهینه معرفی گشت. همین مراحل برای طول‌های ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ نیز تکرار شدند که در نهایت امر با توجه به (جدول ۷) ضریب CR، ۵/۷ برای طول ۱۰۰ متر، ضریب CR ۴/۴۷ برای طول ۱۲۰ متر، ضریب CR ۳/۰۵ برای طول ۱۵۰ متر و ضریب CR ۱/۲۵ برای طول ۲۰۰ متر از بهترین راندمان‌ها برخوردار بودند. در ابتدا با مشاهده به جدول ۷ مشخص می‌شود که با افزایش طول مزرعه و افزایش زمان پیشروی آب به انتهای مزرعه مقدار ضریب CR کاهش می‌یابد. راندمان کاربرد و راندمان ذخیره در حالت بهینه برای شرایط دبی ۰/۵ و طول ۱۰۰ متر به ترتیب ۵۰ و ۵۱ درصد به دست آمدند که پایین بودن آن‌ها به دلیل بالا بودن درصد رواناب خروجی است که با راه‌کارهایی از قبیل افزایش

جدول ۷- زمان قطع جریان، زمان پیشروی و تعیین ضرایب CR متناسب با آن‌ها برای هر طول و دبی مشخص
Table 7- Flow cut-off time (T_{CO}), advance time (T_a), and determination of CR coefficients corresponding to them for each specific length and flow rate

	200	150	120	100	طول (متر) دبی (لیتر بر ثانیه)
$T_{CO}(\text{min})$	335	250	200	170	0.5
$T_a(\text{min})$	266	81.7	44.7	29.8	
CR	1.25	3.05	4.47	5.7	
Ea(%)	92.57	84.19	72.27	63.28	
$T_{CO}(\text{min})$	210	158	127	105	0.8
$T_a(\text{min})$	76.7	37.7	24.2	17.6	
CR	2.73	4.19	5.24	5.95	
Ea(%)	84.44	69.66	59.94	52.98	
$T_{CO}(\text{min})$	145	110	85	75	1.15
$T_a(\text{min})$	42.9	24.4	16.8	12.7	
CR	3.58	4.5	5.05	5.9	
Ea(%)	73.84	60.74	52.96	46.26	

۴- نتیجه گیری

طبق نتایج ارزیابی مزرعه‌ای متوسط راندمان کاربرد آب در مزرعه در این طرح برای دبی ۰/۵، ۵۸/۴ درصد، تلفات رواناب ۴۴/۱ درصد، راندمان ذخیره ۹۲ و راندمان یکنواختی ۹۸/۳۴ درصد برای دبی ۰/۸، راندمان کاربرد آب ۲۸/۲۳ درصد، میزان تلفات رواناب ۷۱/۷۶ درصد، راندمان ذخیره ۹۶/۰۴ درصد و راندمان یکنواختی ۹۹/۱۴ درصد و برای دبی ۱/۱۵، راندمان کاربرد آب ۱۹/۶۵ درصد، میزان تلفات رواناب ۸۰/۳۴ درصد، راندمان ذخیره ۹۹/۶۷ درصد و راندمان یکنواختی ۹۹/۳۹ درصد به دست آمد. این مؤید ادعای پایین بودن راندمان کاربرد آب در سامانه‌های آبیاری سطحی در ایران است و لزوم بررسی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد این سامانه‌ها را نشان داد بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق دقت مدل در شبیه‌سازی زمان‌های پیشروی و پسروی که جهت به دست آوردن ضریب CR دقیق بسیار حائز اهمیت بود بالا بوده است و در تعیین شاخص CR به خوبی عمل کرد.

لازم به تذکر است که جهت استفاده از مدل SIRMOD برای تحقیقات، مطالعات، طراحی و شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در سامانه‌های آبیاری سطحی نیاز مبرم به واسنجی و صحت‌سنجی نسبت به شرایط منطقه مورد مطالعه به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. شاخص‌های CR به دست آمده برای بافت خاک لومی-شنی و دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه و طول‌های ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر به ترتیب ۵/۷، ۴/۴۷، ۳/۰۵ و ۱/۲۵، برای دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه و طول‌های ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر به ترتیب ۵/۹۵، ۵/۲۴، ۴/۱۹ و ۲/۷۳ و برای دبی ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه و طول‌های ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر به ترتیب برابر مقادیر ۵/۹، ۵/۰۵، ۴/۵ و ۳/۵۸ بودند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه بیرجند به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی که در طول پروژه تحقیقاتی کمک قابل توجهی کردند، قدرانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این تحقیق وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این تحقیق از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

الیاس استادی: تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ محمدحسین نجفی مود: تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، ویرایش مقاله؛ عباس خاشعی سیوکی: راهنمایی، مفهوم‌سازی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ مهدی دستورانی: تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، ویرایش مقاله.

منابع

- آزاد، نسربین، وردی‌نژاد، وحیدرضا، بشارت، سینا، بهمنش، جواد، و صدرالدینی، علی اشرف (۱۳۹۶). بهینه‌سازی سیستم آبیاری موجی بر اساس متغیرهای آبیاری و هندسی جویچه با مدل SIRMOD. مدیریت آب و آبیاری دانشگاه تهران، ۱۷(۱)، ۱۵۱-۱۶۶. doi:10.22059/jwim.2018.65500
- بهبهانی، سید محمود رضا، و بابازاده، حسین (۱۳۸۴). ارزیابی مزرعه-ای مدل آبیاری سطحی SIRMOD مطالعه موردی در آبیاری شیاری. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۲)، ۱-۱۰.

پذیرش قهفرخی، رسول (۱۳۹۲). ارزیابی نرم‌افزار SIRMOD در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای تحت کشت ذرت (مطالعه موردی: منطقه شاه‌نشین هرچگان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دهقانیان، مهرنوش، فروغی، ایمان، و بافکار، علی (۱۳۹۵). مقایسه شبیه‌سازی و ارزیابی آبیاری سطحی با نرم‌افزار WinSRFR و نرم‌افزار SIRMOD. سومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران.

رحمانی علی آبادی، ساناز، طاووسی، مجتبی، و گلکار حمزی یزد، حمیدرضا (۱۳۹۶). ارزیابی بازده آبیاری جویچه‌ای با نرم‌افزار SIRMOD و WinSRFR. همایش جامع کشاورزی منابع طبیعی و محیط زیست پایدار، تهران.

عباسی، فریبرز، سهراب، فرحناز، و عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۱۷(۶۷)، ۱۱۳-۱۲۸. doi:10.22092/aridse.2017.109617

قره محمدلو، حمیدرضا، رضوردی نژاد، وحید، لاله زاری، رضا، و آزاد، نسرين. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی چندهدفه عملکرد آبیاری نواری انتها بسته با مدل WinSRFR و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر). *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۱۷(۲)، ۴۲۷-۴۴۰. doi:10.22059/ijswr.2019.288589.668311

قوام سعیدی نوقایی، سعید، یعقوب‌زاده، مصطفی، شهیدی، علی، حمامی، حسین، و کلانکی، مهدی (۱۳۹۹). ارزیابی مدل DSSATv4.7 در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و عملکرد گندم رقم آنفارم ۴ تحت سطوح مختلف آبیاری. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۲(۱۴)، ۵۴۸-۵۵۸. doi:20.1001.1.20087942.558-548.1399.14.2.16.1

محمدی سلیمانی، ابراهیم، و شعبانی روچی، زهره (۱۳۹۳). بحران آب در ایران. دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.

References

Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. (2016). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67), 113-120. doi:10.22092/aridse.2017.109617. [In Persian]

Anwar, A.A., Ahmad, W., Bhatti, M.T., & Haq, Z.U. (2016). The potential of precision surface irrigation in the Indus Basin irrigation system. *Irrigation Science*, 34, 379-396. doi:10.1007/s00271-016-0509-5

Azad, N., Rezaerdinejad, V., Besharat, S., Behmanesh, J., & Sadraddini, A.A. (2017). Optimization of surge irrigation system based on irrigation and furrow geometric variables using SIRMOD model. *Water and Irrigation Management*, 7(1), 151-166. doi:10.22059/jwim.2018.65500. [In Persian]

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].

Dehghanian, M., Foroghi, I., & Bafkar, A. (2015). Comparison of surface irrigation simulation and evaluation with WinSRFR software and SIRMOD software. The third Scientific Research Congress for the Development and Promotion of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran, Association for the Development and Promotion of Basic Sciences and Techniques, Tehran. [In Persian]

Gharemoahadlou, H., Rezaverdinejad, V., Lalezari, R., & Azad, N. (2020). Multiobjective Optimization of Closed-End Border Irrigation Performance Using WinSRFR and Genetic Algorithm (Case Study: Ramshir Irrigation and Drainage Network). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(2), 427-440. doi:10.22059/ijswr.2019.288589.668311. [In Persian].

Ghavamsaeidi Noghbi, S., Yaghoobzadeh, M., Shahidi, A., Hammami, H., & Kalanaki, M. (2020). Evaluation of DSSAT v4.7 model in simulation of phenological stages and wheat yield of anfarm 4 under different irrigation levels. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(2), 548-558. doi:20.1001.1.20087942.1399.14.2.16.1. [In Persian]

Michel, D. (2017). Iran's Impending Water Crisis. *Water, Security and US Foreign Policy*. Pp. 168. doi:10.4324/9781315168272-10

Mohammadi Soleimani, E., & Shabani Rouchi, Z. (2014). The water crisis in Iran. The second National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran. [In Persian]

Pazireh Qahfarkhi, R. (2012). Evaluation of SIRMOD software in the simulation of furrow irrigation under corn cultivation (case study: Shahneshin Harchagan region), master's thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. [In Persian]

Rahmani Aliabadi, S., Tavousi, M., & Golkar Hamzai, Yazd, H.R. (2016). Evaluation of

- furrow irrigation efficiency with SIRMOD and WinSRFR software. Comprehensive conference on agriculture of natural resources and sustainable environment, Tehran. [In Persian].
- Saatsaz, M., (2019). A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-37. doi:10.1007/s10668-018-00307
- Salahou, M.K., Jiao, X., & Lü, H. (2018). Border irrigation performance with distance-based cut-off. *Agricultural Water Management*, 201, 27-37. doi:10.1016/j.agwat.2018.01.014
- Walker, W.R., & Skogerboe, G.V. (1987). *Surface irrigation: Theory and practice*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall Inc. xiii, 386p.
- Worqlul, A. W., Dile, Y. T., Jeong, J., Adimassu, Z., Lefore, N., Gerik, T., Srinivasan, R., & Clarke, N. 2019. Effect of climate change on land suitability for surface irrigation and irrigation potential of the shallow groundwater in Ghana. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 110-125. doi:10.1016/j.compag.2018.12.040