



Investigating temporal changes of infiltration in furrow irrigation of sugarcane fields

Amin Ebrahimi¹, Amir Soltani Mohammadi^{2*}, Abdolrahim Hooshmand³, AbdAli Naseri⁴

1. M.Sc. Student of irrigation and drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
4. Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*Corresponding Author: a.soltani@scu.ac.ir

Keywords:

Infiltration, Furrow irrigation, Volume balance, Sugarcane.

Extended abstract

Introduction

Numerous studies have shown that climate change affects on water resources around the world. Iran has an arid and semi-arid climate, and with about a third of the world's rainfall and three times the world's evaporation, it has more limited water resources than other countries (Abbasi, 2012). Since most water consumption in Iran is in agriculture, saving water in this field is important. To achieve this goal, it is necessary to plan and design irrigation systems precisely. This detailed planning depends on important parameters such as accurate estimation of water infiltration into the soil (Javadi et al., 2017). Since the spatial changes of infiltration between two different regions depend on the soil texture, but it is mostly overshadowed by the time changes of infiltration in the agricultural season; therefore, the temporal changes of infiltration during the cropping season should be considered in irrigation design and management. In the present research, an attempt has been made to investigate the seasonal changes in water infiltration coefficients in the soil in furrow irrigation of sugarcane fields.

Materials and methods

This research was conducted on the land of the research and training institute for sugarcane development, located 45 km from the old Ahvaz-Khorramshahr road.

Data collection was done for four irrigation events. The experiment included 6 furrows with a length of 187 m and a width of 1.83 m and there was no difference between the furrows. WSC flumes type 2 and 1 were used to control the inflow and outflow at the

Received:

Feb/14/2023

Revised:

Mar/17/2023

Accepted:

Mar/28/2023

How to cite this article:

Ebrahimi, A., Soltani Mohammadi, A., Hooshmand, A., & Naseri, A.A. (2023). Investigating temporal changes of infiltration in furrow irrigation of sugarcane fields. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(1), 71 - 82. [10.22077/JDCR.2023.6133.1014](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6133.1014).



beginning and at a distance of 100 meters from the furrows. Wooden spikes were installed along the length of the furrow every 10 meters in order to measure advance and recession times.

The frequency of irrigation was determined according to the characteristics of the plant and also the water holding capacity of the soil. The slope of the furrows was determined 0.04%. Using the measured data, the cross-section of the furrows was determined using Excel software. Due to the helling-up operation, the structure of the furrows was healthy and had a relatively smooth surface, and therefore, referring to the recommended values, $n=0.04$ was selected and considered in Manning's equation. Irrigation time was considered to be equal to the total time of water advance and time of infiltration at the end of the furrow in each round of irrigation. After obtaining the values of infiltration parameters, the infiltration opportunity was obtained at the end of the furrow.

The final soil infiltration rate parameter f_0 was measured by the input-output method:

$$f_0 = (Q_{in} - Q_{out}) / L$$

Q_{in} is the inflow and Q_{out} is the outflow in m^3/min and L is the length of the furrow in m. In each of the irrigation cycles, f_0 was measured and the results of all four irrigation cycles were analyzed separately.

In this research, the Kostiakov-Lewis infiltration equation was used. This equation is displayed as follows:

$$Z = kt^a + f_0 t$$

Where Z is the cumulative infiltration (m^3/m), t is the infiltration opportunity (min), k is the experimental coefficient ($m^3/m/min$), a is the experimental coefficient (-) and f_0 is the final infiltration rate ($m^3/m/min$).

The coefficients a and k in each irrigation round were calculated using field measured data, including advance time, inflow and outflow and finally, the cumulative infiltration rate was estimated by the volume balance method for all four irrigation rounds in six repetitions.

The collected data was stored in Excel software. For further investigation, the statistical indicators of range, mean, standard deviation (σ) and coefficient of variation (CV) were used:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - u)^2}{N}} \quad CV = \frac{\sigma}{u}$$

In these equations, σ is the standard deviation, x_i is the value of the parameter, u is the average of the data, and N is the number of data.

In the end, the Duncan test of SPSS software was used to check the significant trend of time changes of k and a parameters during the cropping season.

Results

The results of investigating the trend of changes in infiltration parameters are presented in Table 1. The coefficient of variation of parameter a was observed in the range of (0.09-0.59), the maximum value was related to the first irrigation after the helling up operation, and the minimum value was for the third irrigation. The index of the coefficient of variation in parameter k is in the range of (0.25-0.90), the highest value is in the second irrigation and the lowest is related to the fourth irrigation, which is consistent with the results of Cai et al. (2016) and in the same way in the rest of the statistical indicators, the highest standard deviation is related to the second irrigation at the rate of 0.000439 and the lowest is related to the fourth irrigation at the rate of 0.000357.

The results of analysis of variance (Table 2) showed that there was a significant difference in the parameter k due to its greater sensitivity to agricultural operations in the first irrigation compared with the second and third irrigation. The parameter a also has significant changes due to field measurements. N filtration coefficients (k and a) changed significantly in the first irrigation when compared to other irrigations (Table 3).

Table 1. Calculated statistical indices for infiltration parameters

Coefficient of variation CV	Standard deviation σ	Mean	Range	Parameter	Experiment
35	0.001442	0.0024	0.00382	K	1
59	0.15380	0.043437	0.41325	a	
90	0.00439	0.00046	0.00132	K	2
21	0.03900	0.18359	0.09300	a	
86	0.00086	0.00930	0.00190	K	3
9	0.00736	0.07907	0.09400	a	
25	0.00035	0.00139	0.09400	K	4
14	0.03547	0.24000	0.00085	a	

Table 2. Analysis variance of time changes of the calculated parameters

	Sum squares	df	Mean squares	F	Sig.
k	1.25×10^{-5}	3	4.7	5.376	0.007**
a	0.401	3	0.134	20.163	0.00**
f_0	4.105×10^{-9}	3	1.368×10^{-9}	2.173	0.123 ^{ns}

Table 3. Mean comparison results

Irrigation number	1	2	3	4
k	0.00240939 ^b	^a 0.00045917	^a 0.00092888	^{ab} 0.00139155
a	0.4343 ^c	0.183585 ^b	0.079065 ^a	0.247683 ^b
f_0	0.000075275 ^{ab}	0.000069977 ^a	0.000103374 ^b	0.000075594 ^{ab}

Discussion

The results showed that the changes in the coefficients of the Kościakov-Lewis equation were different in different irrigations and these changes did not follow a specific trend. In addition, the changes in k were greater than those of the other coefficients of the infiltration equation (f_0 and a) in all four irrigations.



بررسی تغییرات زمانی نفوذ در آبیاری جویچه‌ای مزارع نیشکر

امین ابراهیمی^۱، امیر سلطانی محمدی^{۲*}، عبدالرحیم هوشمند^۳، عبد علی ناصری^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. دانشیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۴. استاد، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: a.soltani@scu.ac.ir

چکیده:

واژه‌های کلیدی:

نفوذ- آبیاری جویچه‌ای- بیلان حجم- نیشکر

پدیده‌ی تغییر اقلیم و شدت و استمرار دوره‌های خشک‌سالی، فراوانی رخداد آن را در دهه‌های آینده تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایران یکی از کشورهای است که بیش‌ترین خسارت را از خشک‌سالی متحمل شده است. امروزه مشکل کاهش آب موجود نه تنها چالشی برای ایران بلکه تهدیدی برای کل جهان است. نفوذپذیری خاک که اهمیت زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری جویچه‌ای دارد نسبت به زمان تغییر می‌کند. این مسئله بر یکنواختی توزیع آب نفوذ یافته در مزرعه، مدت‌زمان آبیاری و در نتیجه بر راندمان آبیاری جویچه‌ای تأثیر زیادی خواهد گذاشت. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تغییرات زمانی پارامترهای معادله‌ی نفوذ کوستیاکوف-لویس در آبیاری جویچه‌ای در نوبت‌های مختلف آبیاری گیاه نیشکر می‌باشد. در این پژوهش مقادیر دبی ورودی، دبی خروجی و زمان پیشروی طی چهار نوبت آبیاری در یک فصل زراعی در ۶ تکرار اندازه‌گیری شد. پارامترهای نفوذ با استفاده از داده‌های زمان پیشروی و هیدروگراف دبی ورودی و خروجی در تکرارهای مختلف به روش معادله بیلان حجم بر آورد گردید. نتایج نشان داد که تغییرات زمانی معنی‌داری بین مقادیر متوسط و مقادیر ضرایب معادله‌ی نفوذ کوستیاکوف-لویس در هر نوبت آبیاری در طول فصل زراعی وجود دارد. بیش‌ترین تغییر مربوط به آبیاری اول می‌باشد، به طوری که دامنه‌ی تغییرات پارامتر a در محدوده‌ی ۰/۵۹-۰/۰۹ قرار گرفته است و حداکثر این مقدار مربوط آبیاری اول (آبان ماه) و حداقل این مقدار برای آبیاری سوم (اردیبهشت‌ماه) می‌باشد. همچنین دامنه‌ی تغییرات در پارامتر k در محدوده‌ی ۰/۹۰-۰/۲۵ مشاهده شد که بیش‌ترین آن در آبیاری دوم (اسفندماه) و کم‌ترین آن در آبیاری سوم (اردیبهشت‌ماه) می‌باشد. مقادیر متوسط پارامتر سرعت نفوذ نهایی برابر $10^{-5} \times 7/333 \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$ با ضریب تغییرات ۱۶ درصد بر آورد گردید. نتایج نشان داد که روند تغییرات زمانی پارامترهای نفوذ ثابت نبوده و به عوامل مختلفی از جمله دبی ورودی بستگی دارد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۱۱/۲۵

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۱/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۱/۰۸

مقدمه

مطالعات متعدد نشان داده‌اند تغییرات آب‌وهوایی تأثیرات شدیدی بر منابع آب موجود در سراسر جهان خواهد گذاشت. با توجه به تأثیر تغییرات پدیده تغییر اقلیم، شدت و استمرار دوره‌های خشکسالی، اوج، بزرگی و فراوانی رخ داد آن را در دهه‌های آینده تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایران دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و با بارندگی در حدود یک‌سوم جهان و تبخیر سه برابری مقدار جهانی دارای محدودیت منابع آب بیشتری نسبت به سایر کشورها می‌باشد (Abbasi, 2012). بر اساس شاخص‌های مختلف بحران آب از جمله: شاخص فالد مارک، شاخص سازمان ملل و شاخص مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، کشور با بحران آب مواجه است و از آنجایی که بیش‌ترین مصرف آب در ایران در بخش کشاورزی است، صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی اهمیت می‌یابد. شرط لازم برای این کار طراحی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری است که حداقل هدر رفت آب را داشته باشد که به پارامترهای مهمی از جمله تخمین دقیق نفوذ آب به خاک بستگی دارد (Javadi et al., 2017). معادله نفوذ از مهم‌ترین پارامترهای موردنیاز برای طراحی سامانه آبیاری سطحی است. با توجه به نقش مهم و حساس ضرایب نفوذ در طراحی سامانه‌های آبیاری و بالا بردن راندمان مصرف آب ضروری است که این ضرایب با دقت بالا اندازه‌گیری شوند. روش‌هایی که در حال حاضر برای محاسبه‌ی ضرایب نفوذ استفاده می‌شود را می‌توان به دو بخش کلی تقسیم نمود: بخش اول که در آن حل به صورت مستقیم است و از معادله بیلان حجمی استفاده می‌شود و در قسمت دوم نیز از مدل‌سازی معکوس از جمله SIPAR-ID و IPARM استفاده می‌شود و با سعی و خطا و شبیه‌سازی حالات مختلف و مقایسه نتایج، معادلات نفوذ برآورد می‌شوند (Strelkoff et al., 2009). تأثیر رطوبت اولیه خاک بر پارامترهای معادله‌ی تجربی کاستیاکوف-لوییس در دوستون خاک ماسه‌ای و سه رطوبت متفاوت بررسی و نتایج به دست آمده نشان داد که مقدار ضرایب این معادله به شدت تحت تأثیر رطوبت اولیه می‌باشد (Moham-

madzadeh Habili et al., 2019). با بررسی تغییرات ضرایب نفوذ کاستیاکوف-لویس در بافت ورطوبت‌های متفاوت خاک مشخص شد که ضرایب معادله دارای روند تغییرات ثابتی نمی‌باشند (Barideh and Na- simi, 2021). بررسی تغییرات زمانی نفوذ نهایی و تجمعی خاک در آبیاری جویچه‌ای نشان داد که نفوذ نهایی خاک در انتهای فصل کشت، نسبت به ابتدای دوره به میزان ۳۴ درصد کاهش یافت که بیانگر تغییرات کاهشی نفوذ در طول فصل و حاکی افزایش زمان آبیاری به منظور نفوذ عمق مشخص آب جهت حصول به راندمان کاربرد بالا می‌باشد (Emdad et al., 2007). در تحقیق طباطبایی و همکاران (Tabata bae et al., 2006) تغییرات زمانی ضرایب نفوذ معادله کوستیاکوف-لوییس را با دو مدیریت زراعی در خاک‌های درز و ترک‌دار بررسی و بیان گردید، ضرایب k و a طی فصل رشد تغییرات معنی‌داری نداشته ولی ضریب f_0 تغییرات معنی‌داری نشان داد. زبردست و همکاران (Zebardast et al, 2013) تغییرات زمانی نفوذ را در دو خاک لوم رسی در کرج و اصفهان در دو مدیریت متفاوت آبیاری جویچه‌ای بررسی کردند. تیمارهای مدیریتی این تحقیق شامل خاک بدون کاه و کلش و خاک با کاه و کلش، فاصله جویچه‌ها ۷۵ سانتی‌متر و طول آن‌ها ۶۰ متر بود طبق نتایج این تحقیق تغییرات زمانی نفوذ تجمعی در تمامی تیمارها مشاهده شد مقادیر نفوذ تجمعی در طول فصل روند نزولی داشته و نفوذ نهایی و راندمان کاربرد آب در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای دوره به ترتیب ۳۴ و ۱۰ درصد کاهش یافت. ضیایی و همکاران (Ziaei et al., 2016) تغییرات زمانی ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف-لوییس در طی یک فصل زراعی محصول ذرت را در شرایط آبیاری کامل در مشکین‌دشت کرج بررسی کردند و اعلام کردند به جز آبیاری اول، تغییرات زمانی معنی‌داری بین مقادیر ضرایب معادله نفوذ در هر نوبت آبیاری در طول فصل رشد وجود نداشت، چرا که پس از آبیاری اول خاک به حالت تثبیت و تراکم رسیده و زبری کاهش چشمگیری داشته است. کازرونیان و همکاران (Kazeronian et al., 2017) به منظور بررسی تغییرات زمانی ضرایب

فصل زراعی قرار می‌گیرد؛ لذا تغییرات زمانی نفوذ در طی فصل زراعی، باید در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی مدنظر قرار گیرد. در پژوهش حاضر تلاش شده است تا چگونگی تغییرات فصلی ضرایب نفوذ آب در خاک در آبیاری جویچه‌ای مزارع نیشکر بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اراضی مؤسسه‌ی تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان که واقع در ۴۵ کیلومتری جاده‌ی قدیم اهواز-خرمشهر، است انجام شد. اراضی کشاورزی مؤسسه در قالب ایستگاه شماره ۱ در حدود ۱۸۲ هکتار می‌باشند. مزرعه مورد نظر W2-1 نام دارد و به صورت کشت جدید (پلنت) می‌باشد. بافت خاک مزرعه تا عمق ۹۰ سانتی‌متری لوم رسی است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۱) آمده است.

دوره کشت نیشکر از شهریور شروع و تا آبان سال بعد ادامه دارد. داده برداری صحرائی مورد نظر برای این مطالعه برای چهار رویداد آبیاری (دوم، چهارم، هفتم و نهم از تاریخ ۲۲ آبان ۱۴۰۰ تا اردیبهشت سال ۱۴۰۱) صورت گرفت. آزمایش شامل ۶ جویچه به طول ۱۸۷ متر و عرض ۱/۸۳ سانتی‌متر بود و تفاوتی بین جویچه‌ها وجود نداشت. برای کنترل جریان ورودی و خروجی در ابتدا و در فاصله‌ی ۱۰۰ متری جویچه‌ها از فلوم‌های WSC تیپ ۲ و ۱ استفاده شد. میخ‌های چوبی در طول جویچه در هر ۱۰ متر به منظور اندازه‌گیری زمان‌های پیشروی و پس‌روی نصب شدند. دور آبیاری با توجه به مشخصات گیاه و همچنین ظرفیت نگهداری آب در خاک تعیین شد (آبیاری در زمانی که رطوبت خاک در محدوده بین رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی موقت قرار داشت انجام گرفته است). در هر فصل زراعی دور آبیاری در ماه‌های مختلف متفاوت و بین (۲۵-۶) روز متغیر می‌باشد که در این تحقیق آبان ماه دارای بیش‌ترین دوره آبیاری معادل ۲۵ روز و در اردیبهشت و خرداد دارای دور آبیاری هفت روز بود. شیب جویچه‌های مورد آزمایش توسط دوربین تراز یاب برابر ۰/۰۴ درصد تعیین شد. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری

نفوذ کوستیاکوف-لویس در آبیاری جویچه‌ای طی سه فصل زراعی محصول ذرت گزارش کردند که تغییرات زمانی ضرایب k و a در هر سه فصل زراعی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و قابل اغماض نیست. در آزمایشی کای و همکاران (Cai et al., 2016) پارامترهای نفوذ آب در خاک را در دوره‌های مختلف آبیاری طی چهار سال در مزرعه‌های واقع در چین که تحت کشت تناوبی ذرت و گندم بود، مطالعه کردند. نتایج نشان داد که ضرایب نفوذ معادله کوستیاکوف به طور معنی‌داری در دوره‌های مختلف آبیاری تغییر کرد. ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimi et al., 2020) تأثیر کم آبیاری بر تغییرات زمانی نفوذپذیری در آبیاری جویچه‌ای ذرت را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند بیش‌ترین و کمترین تغییرپذیری پارامترهای a ، k و I_0 برای تیمارهای کم آبیاری (۲۵٪ و ۷۵٪) به دست آمد، و با افزایش کم آبیاری تغییرپذیری پارامترهای نفوذ در طول فصل رشد گیاه ذرت افزایش داشت. حق‌نظری و همکاران (Haghnazari et al., 2021) به بررسی تغییرات زمانی نفوذ تجمعی در مزارع نیشکر پرداختند که نتیجه گرفتند که میانگین تغییرات زمانی نفوذ تجمعی دارای روند کاهشی است. کاهش زمانی نفوذ تجمعی برای مقطع اول از آبیاری اول تا آبیاری چهارم ۲۷ درصد، برای مقطع دوم ۳۰ درصد و برای مقاطع سوم و چهارم، ۲۶ درصد است. مزارعی و همکاران (Mazarei et al., 2021) تغییرات زمانی پارامترهای نفوذ را در طی سه دور آبیاری محصول نیشکر در کشت و صنعت سلمان فارسی را بررسی کردند و گزارش دادند که مقادیر پارامترهای نفوذ در طول فصل رشد به دلیل شرایط مختلف مزرعه و رشد نیشکر متغیر بوده و تفاوت معنی‌داری بین مقادیر پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لویس در طول فصل رشد وجود داشت. تحقیقات بسیاری به منظور تعیین دقیق‌تر پارامترهای نفوذ انجام شده است اما پیچیدگی تخمین آن به واسطه تغییرات مکانی و زمانی ناشی از تأثیر عوامل گوناگون، انجام تحقیقات بیش‌تر را ضروری ساخته است. از آنجایی که تغییرات مکانی نفوذ بین دو منطقه متفاوت، به بافت خاک بستگی دارد؛ اما بیش‌تر تحت‌الشعاع تغییرات زمانی نفوذ در

گرفته شد. پس از به دست آوردن مقادیر پارامترهای نفوذ، فرصت نفوذ لازم در انتهای جویچه‌ها به دست آمد.

با توجه به تغییرات دبی در هر آبیاری، مقادیر دبی ورودی و زمان قطع جریان برای تمامی آزمایش‌ها در طول فصل زراعی محاسبه شد (جدول ۲). اعداد آورده شده در جدول (۲) میانگین هر دور آبیاری می‌باشند.

شده، سطح مقطع جویچه‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار Excel تعیین شد. به دلیل انجام عملیات هیلینگ آپ (Hilling up) ساختار جویچه‌ها سالم و از سطح نسبتاً صاف برخوردار بودند و لذا با رجوع به مقادیر توصیه شده‌ی سازمان حفاظت خاک آمریکا، $n=0/04$ انتخاب و در رابطه مانینگ لحاظ گردید. زمان آبیاری برابر با مجموع زمان پیشروی آب و زمان فرصت نفوذ در انتهای جویچه در هر دور آبیاری در نظر

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Soil Physical and chemical properties of experimental field

عمق Depth	pH	قابلیت هدایت الکتریکی ECe	کلسیم Ca ⁺²	منیزیم Mg ²⁺	سدیم Na ⁺	پتاسیم K ⁺	کلر Cl	بی کربنات HCO ₃	آمونیم NH ₄	کلسیم کربنات Ca CO ₃	نیتروژن N
Cm 0-90	7.42	dS.m	mEq.l ⁻¹	mEq.l ⁻¹	mEq.l ⁻¹	mEq.l ⁻¹	mEq.l ⁻¹	mEq.l ⁻¹	mEq.l ⁻¹	%	%
		0.185	4.80	2.82	10.2	198	11	3.06	13.44	4.8	0.04

جدول ۲. مقادیر دبی جریان (لیتر بر ثانیه) و مدت زمان آبیاری (دقیقه) برای تمامی نوبت‌های آبیاری

Table 2. Flow rate values (L/s) and irrigation duration (minutes) for irrigation shifts

آبیاری	1	2	3	4	میانگین avg	ضریب تغییرات Cv
دبی ورودی (L/s)	1.79	1.43	2.059	1.59	1.699	17
دبی خروجی (L/s)	1.3	1.22	1.26	1.17	1.23	4
مدت آبیاری (min)	292	300	200	275	266.75	17

استفاده شد (Kazeronian et al., 2016):

$$V_{in} = V_{ss} + V_{inf} + V_{out} \quad (2)$$

که در آن V_{in} ، V_{inf} ، V_{ss} و V_{out} به ترتیب حجم آب ورودی، حجم ذخیره سطحی، حجم آب نفوذ کرده و حجم آب خروجی می‌باشد.

محاسبه ذخیره سطحی

حجم ذخیره سطحی براساس رابطه زیر تعیین گردید (Kazeronian et al., 2016):

$$V_s = L_i \times \sigma_s \times A_0 \quad (3)$$

A_0 سطح مقطع، L_i فاصله‌ی پیشروی (m)، σ_s فاکتور شکلی سطحی می‌باشد.

در فاز پیشروی $\sigma_s = 0/77$ و فاز ذخیره $\sigma_s = 0/91$

پارامتر سرعت نفوذ نهایی خاک به روش ورودی-خروجی طبق دستورالعمل Walker و Skogerboe (1987) اندازه‌گیری شد:

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad (1)$$

Q_{in} دبی ورودی و Q_{out} خروجی بر حسب m^3/min و L که طول جویچه مورد آزمایش که بر حسب متر می‌باشد. در هر کدام از دوره‌های آبیاری f_0 اندازه‌گیری و نتایج حاصل از هر چهار نوبت آبیاری به صورت مجزا مورد تحلیل قرار گرفت.

معادله بیلان حجم

در این پژوهش از معادله کلی بی‌لان حجم برای آبیاری سطحی که دارای رواناب است به صورت زیر

لحاظ شد.

در این تحقیق از معادله کوستیاکف-لوئیس که یکی از مرسوم‌ترین مدل‌های تجربی برآورد نفوذ است، استفاده گردید. این معادله به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$Z = k * t^a + f_0 t \quad (4)$$

که در آن Z مقدار نفوذ تجمعی (m^3/m)، t فرصت نفوذ (min)، k ضریب تجربی ($m^3/m/min^a$)، a ضریب تجربی (-) و f_0 سرعت نفوذ پایه ($m^3/m/min$) می‌باشد.

ضرایب a و k در هر نوبت آبیاری با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده صحرائی از جمله: زمان پیشروی، دبی ورودی، خروجی و در نهایت برآورد میزان نفوذ تجمعی به روش بیلان حجم برای تمامی چهار نوبت آبیاری در شش تکرار، محاسبه شد. در این روش برای اندازه‌گیری ذخیره سطحی نیاز به ضرایب هیدرولیکی مقطع جویچه‌ها است که با استفاده از نرم‌افزار SIPAR_ID سطح مقطع استخراج و مقادیر ضرایب هیدرولیکی (p_1 و p_2) برآورد گردید. به دلیل نوسانات دبی ورودی و خروجی هرگونه تغییر در دبی ثبت و در محاسبات در نظر گرفته شد. در روش بیلان حجم، به دلیل اینکه از همه نقاط پیشروی در محاسبه ضرایب نفوذ استفاده می‌شود نتایج دقیق‌تر از روش‌های یک و دو نقطه‌ای و یا سایر روش‌های محاسباتی ضرایب نفوذ حاصل می‌گردد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل به عنوان بانک اطلاعاتی ذخیره شد. برای بررسی بیش‌تر از شاخص‌های آماری دامنه تغییرات ($range$)، میانگین ($Mean$)، انحراف معیار (σ) و ضریب تغییرات (CV) استفاده شده است.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - u)^2}{N}} \quad (5)$$

$$CV = \frac{\sigma}{u} \quad (6)$$

که در معادله‌های (۵-۶) انحراف معیار، X_i مقدار در پارامتر، u میانگین داده‌ها، N تعداد داده‌ها می‌باشد. در پایان برای بررسی روند معنی‌داری تغییرات زمانی پارامترهای k و a در هر طول فصل زراعی در تکرار از

آزمون دانکن نرم افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

با استفاده از روش بیلان حجم برای هر یک از آبیاری‌ها به صورت مجزا پارامترهای نفوذ محاسبه گردید (جدول ۳). متوسط پارامتر سرعت نفوذ در مزرعه $m^3/m/min$ $10^{-5} \times 7/333$ و ضریب تغییرات آن ۱۶ درصد در نظر گرفته شد. در یک آزمایش (Milhole et al., 1999) نتایج نشان داد که تغییرات f_0 در مزرعه کم و مقدار آن از آبیاری تا آبیاری دیگر چندان تغییر نمی‌کند؛ ولی مقدار آن به دبی ورودی و محیط خیس شده وابسته است.

مقادیر محاسبه‌شده برای پارامترهای a و k در جدول ۳ ارائه شده‌اند. این مقادیر در طول فصل زراعی برای بیش‌تر تکرارها دارای تفاوت بوده و مقادیر بیشینه و کمینه هم دارای تفاوت‌های قابل توجهی بودند. در شکل‌های (۱-۲) تغییرات زمانی پارامترها برای تمام آبیاری‌ها آورده شده است. برای بررسی دقیق‌تر روند تغییرات از شاخص‌های آماری دامنه تغییرات، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات استفاده شده است (جدول ۴).

شاخص ضریب تغییرات پارامتر a در محدوده‌ی $0/59$ - $0/09$ مشاهده شد که حداکثر این مقدار مربوط آبیاری اول (آبان ماه) بعد عملیات هلینگ‌آپ بوده و حداقل این مقدار برای آبیاری سوم (اردیبهشت‌ماه) می‌باشد. محمدزاده هابیلی و همکاران (Mohammadzadeh-Habili et al., 2019) در پژوهشی در خاک‌های رسی بیان کردند که ضرایب نفوذ معادله‌ی کوستیاکوف-لوئیس تحت تأثیر رطوبت اولیه می‌باشد با توجه با این موضوع کم‌ترین مقدار a در حالتی رخ می‌دهد که رطوبت در بیش‌ترین مقدار خود باشد. همچنین در بقیه شاخص‌های آماری ملاحظه گردید که بیش‌ترین انحراف معیار مربوط به آبیاری اول به میزان $0/15$ و کم‌ترین آن مربوط به آبیاری سوم در اردیبهشت‌ماه به میزان $0/0736$ ، بزرگ‌ترین دامنه تغییرات مربوط به آبیاری اول و کم‌ترین دامنه تغییرات مربوط آبیاری چهارم می‌باشد. با توجه به شکل (۱) مشخص می‌شود که تغییرات دبی بر مقدار پارامتر a بصورت غیرخطی اثرگذار است.

جدول ۳. شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای پارامترهای نفوذ در تکرارهای مختلف

Table3. Statistical indices calculated for infiltration parameters in different iterations

4	3	2	1	شماره آبیاری‌ها Number of irrigations	شماره فارو Furrow number
0.0018747	0.0025596	0.0017940	0.0015851	Q (m ³ /s)	1
0.256114	0.067026	0.151980	0.133399	a	
0.001804	0.000447	0.000226	0.000587	k(m ³ /m/min ^a)	
0.009376	0.0015838	0.0010560	0.0015430	Q (m ³ /s)	2
0.262536	0.826116	0.180779	0.526675	a	
0.000951	0.000892	0.000116	0.002063	k(m ³ /m/min ^a)	
0.0019066	0.0018570	0.0017733	0.0017550	Q (m ³ /s)	3
0.229685	0.760620	0.223634	0.496670	a	
0.001739	0.001749	0.000331	0.002819	k(m ³ /m/min ^a)	
0.0021129	0.0024711	0.0021273	0.0016427	Q (m ³ /s)	4
0.184501	0.086508	0.238959	0.546652	a	
0.001143	0.002065	0.001438	0.003467	k(m ³ /m/min ^a)	
0.009783	0.0017545	0.007781	0.0020579	Q (m ³ /s)	5
0.278757	0.084961	0.141630	0.483887	a	
0.001148	0.000124	0.000198	0.004408	k(m ³ /m/min ^a)	
0.0013339	0.0020997	0.0010555	0.0020058	Q (m ³ /s)	6
0.274505	0.20997	0.164529	0.418951	a	
0.001565	0.000295	0.000447	0.001112	k(m ³ /m/min ^a)	

جدول ۴. شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای پارامترهای نفوذ در آزمایش

Table4. Calculated statistical indices for infiltration parameter of experiment

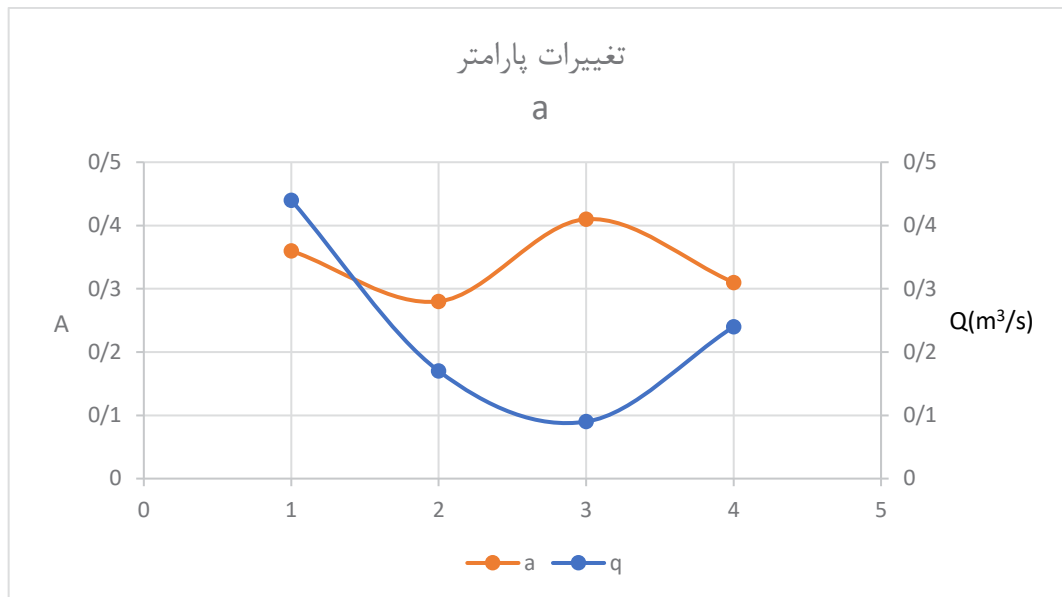
ضریب تغییرات CV	انحراف معیار σ	میانگین Mean	دامنه تغییرات Range	Parameter	Experiment
35	0/001442	0/0024	0/00382	K	1
59	0/15380	0/43437	0/41325	a	
90	0/00439	0/00046	0/00132	K	2
21	0/03900	0/18359	0/09300	a	
86	0/00086	0/00930	0/00190	K	3
9	0/00736	0/07907	0/01900	a	
25	0/00035	0/00139	0/09400	K	4
14	0/03547	0/24000	0/00085	a	

آماري، بیش‌ترین انحراف معیار مربوط به آبیاری دوم به میزان ۰/۰۰۰۴۳۹ و کم‌ترین آن مربوط به آبیاری چهارم به میزان ۰/۰۰۰۳۵۷، بیش‌ترین دامنه تغییرات مربوط به آبیاری چهارم (اردیبهشت) و کم‌ترین تغییرات مرتبط با آبیاری دوم (اسفندماه) است. بررسی روند تغییرات دبی در طول دوره آبیاری و مقایسه آن با روند تغییرات پارامتر k (شکل ۲) در همین مدت

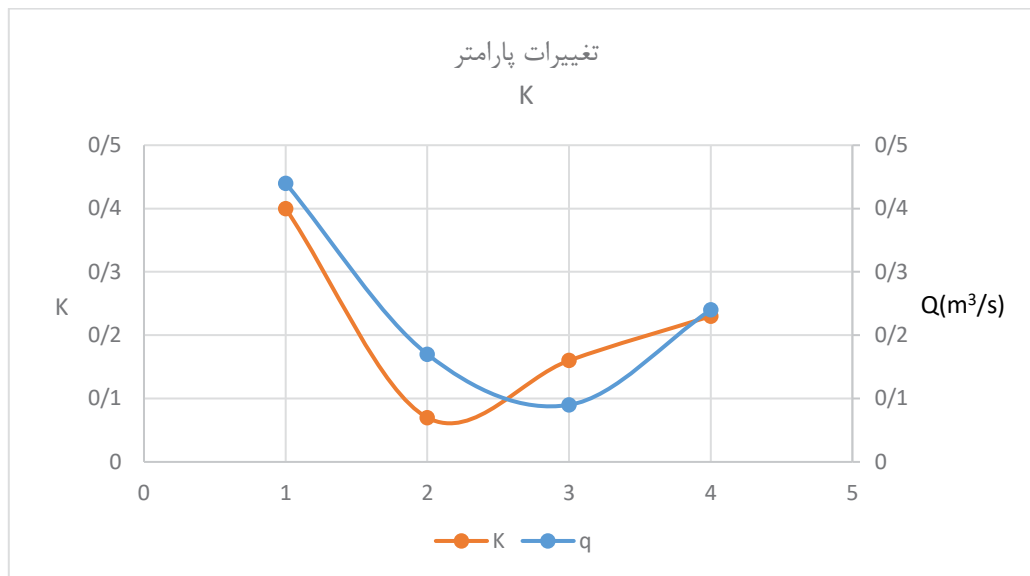
شاخص ضریب تغییرات در پارامتر k در محدوده (۰/۹۰-۰/۲۵) قرار می‌گیرد که بیش‌ترین مقدار آن در آبیاری دوم (اسفندماه) و کم‌ترین آن مربوط به آبیاری چهارم (اردیبهشت‌ماه) می‌باشد که با نتایج کای و همکاران (Cai et al., 2016) که نشان دادند k یک پارامتر ثابت نبوده و در آبیاری‌ها و فصل‌های مختلف متفاوت است هم‌خوانی دارد و به همین ترتیب در بقیه شاخص‌های

بر پارامترهای نفوذ انجام شده که برخی کاهش نفوذ (Rodriguez, 2003) و برخی افزایش نفوذ را گزارش کرده‌اند (Playán et al., 2004). در هر صورت برای مشخص شدن تأثیر دبی بر میزان نفوذ و پارامترهای آن نیاز به بررسی‌های بیشتر است.

نشان می‌دهد که بین مقادیر دبی و پارامتر k رابطه قابل توجهی وجود ندارد. رضایی پور و همکاران (Re- zaepour et al., 2012) عنوان کردند که ضریب نفوذ k به خصوصیات فیزیکی خاک وابسته است ولی برای نتیجه‌گیری قطعی در این مورد نیاز به تحقیقات بیشتر است. تحقیقات دیگری در زمینه‌ی تأثیر دبی



شکل ۱- بررسی تغییرات پارامتر a
Figure 1- Changes in parameter a



شکل ۲- بررسی تغییرات پارامتر k.
Figure 2- Changes in parameter k

در آبیاری اول با آبیاری دوم و سوم اختلاف معنی‌داری دارد. پارامتر a هم به دلیل اندازه‌گیری‌های صحرائی دارای تغییرات معنی‌داری می‌باشد.

در جداول ۵ و ۶ نتایج تجزیه واریانس تغییرات زمانی پارامترهای محاسبه شده نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد پارامتر k به دلیل حساسیت بیش‌تر نسبت به عملیات کشاورزی

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس تغییرات زمانی پارامترهای محاسبه شده

Table5. Analysis variance of time changes of the calculated parameters

	مجموع مربعات sum of squares	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات mean squares	F	Sig.
k	1.25×10^{-5}	3	4.7	5.376	0.007**
a	0.401	3	0.134	20.163	0.00**
f_0	4.105×10^{-9}	3	1.368×10^{-9}	2.173	0.123 ^{ns}

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین

Table6. Mean comparison results

شماره آبیاری Number of irrigations	1	2	3	4
k	0.00240939 ^b	0.00045917 ^a	0.00092888 ^a	0.00139155 ^{ab}
a	0.4343 ^c	0.183585 ^b	0.079065 ^a	0.247683 ^b
f_0	0.000075275 ^{ab}	0.000069977 ^a	0.000103374 ^b	0.000075594 ^{ab}

changes of coefficients of infiltration equations and their functional evaluation under various soil moisture and bulk densities. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 15(30), 521-530. [In Persian].

Cai, H., Xu, J., Wang, J., Chen, X., Zhu, D., & Xie, F. (2016). Yearly variation of soil infiltration parameters in irrigated field based on WinSRFR4.1. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 32(2), 92-98.

Ebrahimian, H., Vatankhah, E., Khedmati, S., & Dialameh, B. (2020). The effect of deficit irrigation on temporal changes of infiltration in furrow irrigation. Irrigation Sciences and Engineering, 43(2), 149-162. [In Persian].

Elliott, R. L., Walker, W. R., & Skogerboe, G. V. (1982). Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transactions of the ASAE. 25(2), 396-400.

Elliott, R. L., Walker, W. R., & Skogerboe, G.V. (1983). Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. Transactions of the ASAE, 26(6), 1726-1731.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد دامنه‌ی تغییرات پارامتر a در محدوده‌ی (۰/۰۹-۰/۵۹) قرار دارد که بیش‌ترین مقدار این پارامتر مربوط به آبیاری اول بعد عملیات هلینگ‌آپ بود. دامنه‌ی تغییرات در پارامتر k در محدوده‌ی (۰/۹۰-۰/۲۵) قرار می‌گیرد، و ضریب تغییرات k در مقایسه با دیگر ضرایب معادله نفوذ (a و f_0) در هر چهار نوبت آبیاری تغییرات بیش‌تری داشته است. میانگین سرعت نفوذ نهایی در مزرعه $7/333 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$ و ضریب تغییرات ۱۶ درصد می‌باشد.

به طور کلی، بین نوبت‌های آبیاری از لحاظ میانگین تغییرات هر یک از ضرایب نفوذ (k و a) در هر چهار نوبت آبیاری نتایج نشان داد که در آبیاری اول نسبت سایر آبیاری‌ها تغییرات معنی‌داری وجود دارد. تغییرات زمانی بر ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف-لوتیس مؤثر بوده، ولی دارای رابطه‌ی ثابتی نیست.

منابع

- Abbasi, F. (2013). Principle of Flow in Surface Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). IRAN. [In Persian].
- Barideh, R., & Nasimi, F. (2021). Investigating the

- al Water Management, 42(1), 65-80.
- Mohammadzadeh-Habili, J., & Heidarpour, M. (2019). Modification of Kościakov infiltration equation based on influence of initial soil water content. *Iranian Water Research Journal*, 32, 157-163. [In Persian].
- Muneeraa, A. S., Naba Sayelba, K., & Hatem Kamalca, A. (2020). A comparative study to assess the suitable the infiltration rate in an arid region. *Iraqi Journal of Civil Engineering*, 14(1), 29-38.
- Playán, E., Rodríguez, J. A., & García-Navarro, P. (2004). Simulation model for level furrows. I: Analysis of field experiments. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(2), 106–112.
- Rezaeipour, S., Ghobadina, M., & Tabatabae, S.H. (2012). The effect of changes in input measurement parameters on the coefficients of the infiltration equation in furrow irrigation. The third national conference on comprehensive management of water resources, Sari. [In Persian].
- Rodríguez, J.A. (2003). Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. *Agricultural Water Management*, 60(3), 227–239.
- Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J., & Bautista, E. (2009). Estimation of soil and crop hydraulic properties. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(5), 537-555.
- Tabatabaei, S. H., Fardad, H., Neyshabory, M. R., & Liaghat, A. (2006). Simulation Model for Seasonal Variation of Kościakov-Louise Infiltration Equation in Two Different Farm Managements in Cracking Soil. *Journal of Water and Soil Science*, 10(1), 55-69. [In Persian].
- Zebardast, S., Tabatabae, S.H., & Ghorbani, B. (2013). Simulation of the advance curve in furrow irrigation with continuous input flows and cut-back. *Journal of Water Research in Agriculture*, 27(3), 369-378. [In Persian].
- Ziaei, Gh., Abbasi, F., Babazadeh, H., & Kaveh, F. (2016). Evaluation of temporal variation of soil water infiltration coefficients in furrow irrigation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2), 229-236. [In Persian].
- Emdad, M. R., Shahabifar, M., & Fardad, H. (2007). Effect of temporal infiltration variation on furrow irrigation management. *Iranian Journal of soil and water sciences*, 21(2), 315-322. [In Persian].
- Haghnazari, F., Ghanbarian Alavijeh, M., Sheini Dashtegol, A., & Boroomand Nasab, S. (2021). The analysis of the indexes of furrow irrigation efficiency evaluation for the condition of uniform and variable infiltration. *Journal of Water and Soil Science*, 25(1), 63-74. [In Persian].
- Javadi, A., Mostafazadeh, B., Shayan Nejad, M., & Mosaddeghi, M. R. (2017). Evaluation of the equations of water infiltration into the soil in the conditions of integration of irrigation water quality, initial soil moisture and constant water load. *journal of water research in agriculture*, 31(3), 469-482. [In Persian].
- Kazeronian, S. M., Abbasi, F., & Sedghi, H. (2016). Investigation of spatial and temporal changes of water infiltration coefficients in soil. Second National Congress of Irrigation and Drainage of Iran, Isfahan. [In Persian].
- Kazeronian, S. M., Abbasi, F., & Sedghi, H. (2017). Statistical study of infiltration parameters variations of Kościakov-Lewis equation in furrow irrigation during three farming seasons. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), 83-101. [In Persian].
- Kościakov, A.N. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from the dynamic point of view for the purposes of amelioration. *Transaction of the Sixth Congress of International Society of Soil Science, Russian Part A*.
- Mazarei, R., Mohammadi, A. S., Ebrahimian, H., & Naseri, A. A. (2021). Temporal variability of infiltration and roughness coefficients and furrow irrigation performance under different inflow rates. *Agricultural Water Management*, 245, 106465.
- Milhole, J.C., Pirol, M., & Benali, M. (1999). A furrow irrigation model to improve irrigation practices in the Ghrab valley of Morocco. *Agricultur-*