



دانشگاه گواران، تهران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## مطالعه آماری تغییرات پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف - لوئیس در آبیاری جویچه‌ای طی سه فصل زراعی

سیدمحمد کازرونیان<sup>۱</sup>، فریبرز عباسی<sup>۲</sup> و حسین صدقی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،  
استاد پژوهشی مهندسی آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج،  
<sup>۲</sup>استاد هیدرولوژی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** فاکتورهای خاکی و زیستی می‌توانند در مکان و زمان به شدت متغیر باشند. بنابراین انتظار می‌رود که نفوذ آب در خاک هم در مکان و هم در زمان متفاوت باشد. به دلیل تغییرپذیری زمانی پارامتر نفوذ، اندازه‌گیری مستقیم آن نیاز به وقت و نمونه‌برداری فراوانی دارد. به همین علت معادلات تجربی و فیزیکی برای کمی کردن فرآیند نفوذ در آبیاری سطحی وجود دارد. روش‌های متعددی برای تخمین ضرایب معادله‌های نفوذ وجود دارد که بسته به داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه متفاوت هستند. انتخاب روش مناسب بستگی به داده‌های مزرعه‌ای موجود برای تخمین ضرایب نفوذ دارد. عواملی به صورت تصادفی در نقاط مختلف مزرعه اتفاق افتاده و باعث تغییر در میزان نفوذ آب در خاک می‌شوند. در نظر گرفتن تغییرات مکانی نفوذ در آبیاری باعث افزایش دقت در تخمین مقدار آب نفوذ یافته و یکنواختی توزیع می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش شد تغییرات پارامترهای نفوذ آب در خاک در آبیاری جویچه‌ای طی سه فصل زراعی بررسی شود.

**مواد و روش‌ها:** در پژوهش حاضر از داده‌های برداشت شده از مزرعه‌ای در مشکین‌دشت کرج در فصول زراعی ۹۰، ۹۱ و ۹۲ استفاده شد. نوع کشت ذرت و بافت خاک مزرعه لومی بود. در هر فصل زراعی، ۸ آزمایش مستقل اجراء شد که هر آزمایش شامل ۴ جویچه به طول ۱۲۰ متر و فواصل جویچه‌ها ۷۵ سانتی‌متر بود. در هر فصل زراعی ۱۵ نوبت آبیاری انجام شد. آزمایش‌های هشت‌گانه در طول سه فصل زراعی در مکان‌های تقریباً مشابه اجراء شدند. در هر نوبت آبیاری، از فلوم‌های WSC تیپ ۳ برای اندازه‌گیری دبی‌های ورودی و خروجی جویچه‌ها استفاده شد. در این پژوهش از معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس استفاده گردید. برای هر آبیاری با استفاده از روش بیلان حجم، ضرایب  $a$  و  $k$  معادله کوستیاکف - لوئیس با نرم‌افزار Excel محاسبه شد. در این روش ابتدا با استفاده از هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی جویچه، سرعت نفوذ نهایی خاک محاسبه گردید. میانگین‌های تغییرات مکانی و زمانی ضرایب معادله کوستیاکف - لوئیس در سه فصل زراعی توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS مقایسه شدند.

\* مسئول مکاتبه: [fa.abbasi@areeo.ac.ir](mailto:fa.abbasi@areeo.ac.ir)

یافته‌ها: داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و به روش GLM تجزیه واریانس مرکب شدند. اثر شماره آزمایش (تغییرات مکانی) و نیز نوبت آبیاری (تغییرات زمانی) در سطح ۱٪ و اثر فصل زراعی در سطح ۵٪ بر تغییرات ضریب نفوذ  $k$  معنی‌دار شد. تفاوت بین هشت آزمایش طی سه فصل زراعی از لحاظ آزمون آماری دانکن در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. اثر هر سه منبع تغییر در سطح ۱٪ بر تغییرات ضریب نفوذ  $a$  معنی‌دار شد. اثر شماره آزمایش بر میانگین تغییرات زمانی ضریب نفوذ  $a$  در سه فصل زراعی، بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار از لحاظ آزمون آماری دانکن در سطح ۵٪ بین هشت آزمایش بود. اثر فصل زراعی بر میانگین تغییرات زمانی و مکانی ضریب نفوذ  $a$ ، نشانگر برتری معنی‌دار میانگین تغییرات ضریب مذکور در سال ۹۰- (۰/۶۱۰۸) - نسبت به دو سال دیگر، با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. در حالی‌که در سال‌های ۹۱ و ۹۲، میانگین تغییرات مذکور، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی، در سه فصل زراعی بین نوبت‌های آبیاری از لحاظ میانگین تغییرات هر یک از ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$  و همچنین بین هشت آزمایش از نظر میانگین تغییرات هر یک از ضرایب مذکور تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در نهایت با توجه به تفاوت معنی‌دار میانگین تغییرات مکانی و زمانی هر یک از ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$ ، تغییرات فصلی ضرایب نفوذ آب در خاک در سه فصل زراعی بررسی شده قابل اغماض نبود. نتایج نشان داد که ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$  معادله کوستیاکف- لوئیس از لحاظ مکانی و زمانی در فصول مختلف، تغییراتی نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی دقیق دارند.

**واژه‌های کلیدی:** ذرت، روش بیلان حجم، ضرایب نفوذ، معادله کوستیاکف- لوئیس

#### مقدمه

نفوذ آب در خاک عموماً تحت‌تأثیر شرایط سطح خاک و مشخصات منطقه انتقال قرار دارد (۹). علاوه بر آن ساختمان، بافت و درصد رطوبت خاک نیز بر قابلیت نفوذپذیری خاک تأثیرگذارند (۲۰). شدت نفوذ آب در خاک عموماً طی فصل تغییر می‌کند (۱۲) و این تغییرات باید در آبیاری در نظر گرفته شود (۸). یک روش برای طراحی مناسب هر رخداده آبیاری طی فصل مورد نیاز است که اولین گام عبارت از شناسایی موفقیت‌آمیز پارامترهای نفوذ برای هر آبیاری در طول فصل است (۴). به‌دلیل تغییرپذیری زمانی پارامتر نفوذ، اندازه‌گیری مستقیم آن نیاز به وقت و نمونه‌برداری فراوانی دارد. به همین علت معادلات تجربی و فیزیکی برای کمی کردن فرآیند نفوذ در آبیاری

سطحی وجود دارد (۱ و ۱۴). برای تخمین پارامترهای نفوذ آب در خاک، مدل‌های تجربی مانند کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس پرکاربردترین مدل‌ها هستند (۱۰ و ۱۱). از طرفی فاکتورهای خاکی و زیستی هر دو می‌توانند در مکان و زمان به‌شدت متغیر باشند. بنابراین، انتظار می‌رود که نفوذ آب در خاک هم در مکان و هم در زمان متفاوت باشد (۱۶ و ۱۷). تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌تواند به بافت خاک، تغییرات زمانی و مکانی و سایر ویژگی‌های خاک نسبت داده شود (۷). اجرای یک سامانه آبیاری سطحی به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر نفوذ آب در خاک قرار می‌گیرد (۲۱). پارامترهای نفوذ می‌توانند به‌صورت مکانی و زمانی در یک مزرعه تغییر نمایند (۵). برای تعیین دقیق‌تر بازده کاربرد

چایلدز و همکاران (۱۹۹۳) آزمایش‌های مزرعه‌ای مختلفی تحت کشت پنبه در کالیفرنیا برای بررسی تغییرات نفوذ در آبیاری جویچه‌ای انجام دادند. تغییرات نفوذ در آبیاری اول (زمین شخم‌خورده) و سه آبیاری بعد از کشت اندازه‌گیری شد. آن‌ها نشان دادند که متوسط نفوذ و تغییرات آن در آبیاری قبل از کشت نسبت به سایر آبیاری‌ها بیش‌تر بود. ولی رابطه خاصی بین نفوذ در آبیاری قبل از کشت و آبیاری بعد از کشت مشاهده نشد. دو آبیاری بعد از کشت، با ضریب همبستگی ۸۰ درصد با یکدیگر ارتباط داشتند (۴).

طباطبائی و همکاران (۲۰۰۶) تغییرات زمانی ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف- لوئیس را با دو مدیریت زراعی در خاک‌های درز و ترک‌دار بررسی نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها، ضرایب  $k$  و  $a$  طی فصل رشد تغییرات معنی‌داری نداشته ولی ضریب  $f_0$  و  $z$  تغییرات معنی‌داری نشان داد. اگرچه کاه و کلش باعث اختلاف در مقادیر  $f_0$  و  $z$  در دو تیمار مورد مطالعه شده است، ولی کاه و کلش تأثیری در روند تغییرات زمانی این پارامترها نداشته و این روند مستقل از حضور یا عدم حضور بقایای گیاهی است که احتمالاً به افزایش چگالی ظاهری خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها طی فصل رشد مربوط است (۱۸).

ضیایی و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات زمانی دو ثابت  $k$  و  $a$  معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس را در آبیاری‌های متوالی در یک دوره کشت ذرت دانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. معنی‌داری تغییرات این دو پارامتر نسبت به مقدار میانگین در آبیاری جویچه‌ای و حداکثر خطای حاصل در این روش بررسی شد. نتایج نشان داد که به‌جزء در آبیاری اول، تغییرات زمانی مقادیر پارامترهای نفوذ در طول دوره کشت دارای تغییر معنی‌داری نیستند و استفاده از میانگین این ضرایب

آبیاری جویچه‌ای نسبت به روش‌های متداول، لحاظ کردن تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات نفوذ ضروری می‌باشد (۱۸). در مدیریت آبیاری سطحی تابع نفوذ از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۳). روش‌های متعددی برای تخمین ضرایب معادله‌های نفوذ وجود دارد که بسته به داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه و فرضیات موجود، متفاوت هستند. انتخاب روش مناسب بستگی به داده‌های مزرعه‌ای موجود برای تخمین ضرایب نفوذ دارد (۱). تخمین دقیق ضرایب معادله‌های نفوذ، تأثیر زیادی در طراحی و ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری سطحی دارد (۱). عواملی به‌صورت تصادفی در نقاط مختلف مزرعه اتفاق افتاده و باعث تغییر در میزان نفوذ آب در خاک می‌شوند. از جمله این عوامل تغییر ذاتی ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل بافت، ساختمان و تراکم خاک است. در نظر گرفتن تغییرات مکانی نفوذ در آبیاری باعث افزایش دقت در تخمین مقدار آب نفوذ یافته و یکنواختی توزیع می‌شود. اگر تغییرات مکانی نفوذ آب در خاک به‌صورت تصادفی باشد؛ خطای ناشی از فرض همگن بودن ویژگی‌های خاک اندک خواهد بود. ولی در صورت وجود یک روند خاص در تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، خطای ناشی از فرض همگن بودن زیاد خواهد بود (۱).

امداد (۲۰۰۹) تغییرات نفوذ نهایی در آبیاری جویچه‌ای را با دفعات آبیاری در زراعت ذرت علوفه‌ای بررسی کرد. با استفاده از مدل بیلان حجمی، ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس را تعیین کرد و تغییرات این ضرایب را در طول فصل مورد بررسی قرار داد. نفوذ نهایی خاک تغییرات معنی‌داری را با دفعات آبیاری از خود نشان داد، در حالی که دو ضریب  $k$  و  $a$  کوستیاکف- لوئیس تغییرات معنی‌داری را از خود نشان ندادند (۶).

اهمیت نفوذ و حرکت آب در خاک و از طرفی شناخت تغییرات احتمالی پارامترهای نفوذ، این آزمایش در طی سه فصل زراعی اجرا شد. همچنین، اثر هر یک از عوامل آزمایشی بر تغییرات ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$  انجام شد.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های برداشت شده از مزرعه ۵۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در مشکین‌دشت کرج در فصول زراعی ۹۰، ۹۱ و ۹۲ انجام شد. قبل از اجرای آزمایش از خاک نمونه‌برداری انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی آن تعیین گردید (جدول ۱).

منجر به وقوع حداکثر ۵٪ خطا خواهد شد. همچنین پارامترهای نفوذ نسبت به تغییرات دبی حساس بوده و تأثیر دبی بر آن‌ها غیرخطی است (۲۲).

در آزمایشی کای و همکاران (۲۰۱۶) پارامترهای نفوذ آب در خاک را در دوره‌های مختلف آبیاری طی چهار سال در مزرعه‌ای واقع در منطقه گوانژونگ چین که تحت کشت تناوبی ذرت و گندم بود، مطالعه کردند. نتایج نشان داد که ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف به‌طور معنی‌داری در دوره‌های مختلف آبیاری تغییر کردند (۳).

در پژوهش حاضر تلاش شده است تا چگونگی تغییرات فصلی و تحلیل‌های آماری ضرایب نفوذ آب در خاک در آبیاری جویچه‌ای بررسی شود. با توجه به

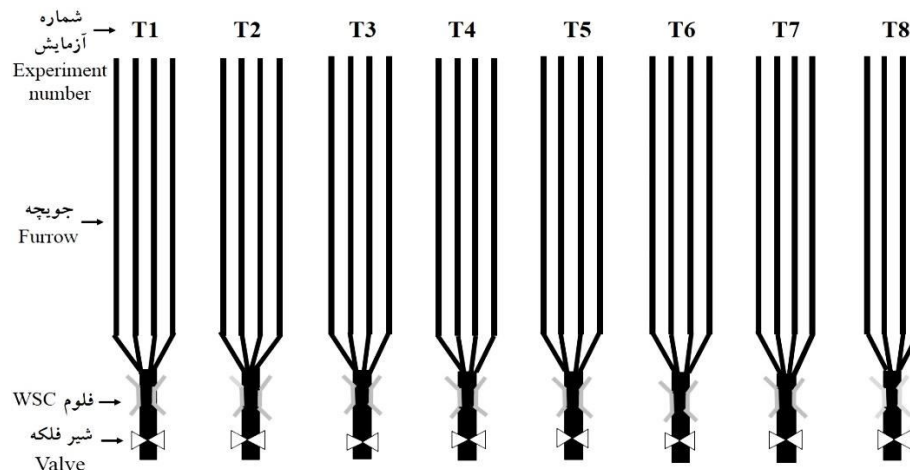
جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک در مزرعه مورد مطالعه.

Table 1. Soil physical properties of the studied field.

چگالی ظاهری Bulk density ( $g^F/cm^3$ )	بافت خاک Soil Texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	عمق خاک Soil depth (cm)
1.32	لوم (loam)	36	41	23	0-20
1.58	لوم (loam)	34	41	25	20-40
1.58	لوم (loam)	38	39	23	40-60

۷۵ سانتی‌متر بود. فواصل آبیاری‌ها در طول هر فصل زراعی از ۶ تا ۱۰ روز متغیر بود. آب از یک حلقه چاه واقع در مزرعه پمپاژ و سپس توسط لوله به ابتدای مزرعه منتقل شد. در ابتدای هر آزمایش، شیرفلکه‌ای تعبیه شد که با باز شدن آن، آب از فلوم‌های واقع در ابتدای هر آزمایش گذر کرده و سپس وارد جویچه‌ها شد (شکل ۱).

ذرت در هر سه فصل زراعی در اوایل اردیبهشت‌ماه کشت و در اواخر شهریورماه برداشت شد. در هر فصل زراعی، ۱۵ نوبت آبیاری برای ۳۲ جویچه صورت گرفت. در این پژوهش، به هر ۴ جویچه عنوان یک شماره آزمایش داده شد؛ بنابراین مجموعاً ۸ شماره آزمایش ( $T_1$  تا  $T_8$ ) مورد بررسی قرار گرفت. طول هر جویچه ۱۲۰ متر و فواصل آن‌ها

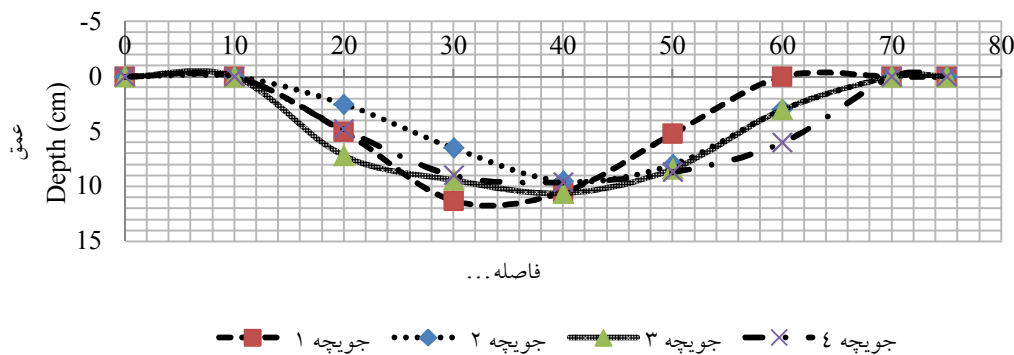


شکل ۱- تصویر شماتیک جویچه‌ها در هشت شماره آزمایش.

Figure 1. Schematic picture of furrows in the eight experiment numbers.

استفاده شد. در فواصل ۱۰ سانتی‌متری در عرض جویچه، عمق جویچه با توجه به اشل یادداشت گردید. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده، سطح مقطع جویچه‌های آزمایشی تعیین شد (شکل ۲).

آزمایش‌های هشت‌گانه در سه فصل زراعی در مکان‌های تقریباً مشابه اجرا شدند. شیب جویچه‌ها ۰/۰۱ با دوربین نقشه‌برداری تعیین شد. از مقطع سنج برای اندازه‌گیری مشخصات سطح مقطع هر جویچه



شکل ۲- سطح مقطع چهار جویچه آزمایشی.

Figure 2. Cross section of four experimental furrows.

زمان‌های پیشروی و پسروی جریان نیز در فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری شد. اطلاعات مربوط به مقادیر دبی و مدت آبیاری تا زمان قطع جریان برای هر آزمایش در هر نوبت آبیاری در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ آورده شده است که هر یک از این جدول‌ها مربوط به یکی از فصول زراعی است.

مزرعه آزمایشی از سطح نسبتاً صاف برخوردار بود و در کشت ذرت که یک محصول ردیفی است، با علف‌های هرز به خوبی مبارزه شد. با رجوع به مقادیر توصیه شده سازمان حفاظت خاک آمریکا،  $n=0/04$  انتخاب و در رابطه مانینگ لحاظ گردید. در هر نوبت آبیاری، از فلوم‌های WSC تیپ ۳ برای اندازه‌گیری دبی‌های ورودی و خروجی جویچه‌ها استفاده شد.

جدول ۲- دبی (لیتر بر ثانیه) و مدت زمان آبیاری (دقیقه) در هر شماره آزمایش در فصل زراعی ۹۰.

Table 2. Irrigation discharge (lit/sec) and duration (min) in each of the experiment numbers in the farming season 2011.

مدت (T)	T <sub>8</sub>		T <sub>7</sub>		T <sub>6</sub>		T <sub>5</sub>		T <sub>4</sub>		T <sub>3</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>1</sub>		آزمایش (Exp.)
	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	
790	1.46	780	1.61	780	2.14	780	2.22	780	1.50	780	2.06	566	759	2.59	782	2.22	1
778	1.57	778	1.45	778	1.74	778	1.33	778	1.68	778	1.71	780	780	1.57	780	1.34	2
660	1.43	660	1.30	660	1.69	660	1.46	660	1.57	660	1.79	660	660	1.39	660	1.35	3
532	1.39	526	1.22	500	1.31	514	1.26	546	1.63	546	1.87	576	611	1.33	610	1.11	4
488	1.28	491	1.14	572	1.44	567	1.26	613	1.98	613	1.98	613	490	1.62	671	1.54	5
429	1.94	360	1.90	345	2.14	359	1.93	343	2.53	343	2.42	386	381	2.42	262	1.96	6
277	1.52	268	1.43	232	1.73	209	1.87	194	1.52	194	1.51	236	242	1.60	267	1.53	7
231	1.37	249	1.55	208	1.71	241	1.65	196	1.79	196	1.78	196	184	1.76	219	1.46	8
239	1.79	261	1.51	235	1.77	218	1.90	220	1.39	220	1.59	237	210	1.89	241	1.86	9
242	1.25	242	1.56	242	1.72	242	1.84	222	1.83	222	1.98	223	240	1.94	242	1.70	10
234	1.47	234	1.70	234	1.66	223	1.87	223	1.84	223	1.86	223	236	1.65	234	1.49	11
210	1.60	210	1.89	210	1.98	211	2.00	211	2.05	211	1.92	211	210	1.97	210	1.69	12
180	1.58	180	1.77	178	1.91	178	1.93	178	1.85	178	1.71	178	178	1.85	180	1.85	13
178	1.98	180	1.94	182	2.02	182	2.16	182	1.95	182	1.82	182	182	2.02	178	1.96	14
183	1.73	182	1.69	192	1.88	181	1.90	180	2.01	180	1.69	178	176	1.94	176	1.72	15
377	1.56	373	1.58	370	1.79	370	1.77	368	1.81	368	1.85	363	369	1.84	381	1.65	میانگین

جدول ۳- دبی (لیتر بر ثانیه) و مدت زمان آبیاری (دقیقه) در هر شماره آزمایش در فصل زراعی ۹۱.

Table 3. Irrigation discharge (lit/sec) and duration (min) in each of the experiment numbers in the farming season 2012.

آزمایش (Exp.)	T <sub>8</sub>		T <sub>7</sub>		T <sub>6</sub>		T <sub>5</sub>		T <sub>4</sub>		T <sub>3</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>1</sub>	
	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)
1	505	1.80	605	1.77	606	1.54	604	1.69	503	1.56	580	1.45	582	1.47	602	1.28
2	417	1.51	489	1.52	535	1.46	491	1.54	505	1.59	441	1.11	435	1.24	260	1.29
3	407	1.57	369	1.73	233	1.60	303	1.59	303	1.45	336	1.42	356	1.67	348	1.72
4	310	1.78	310	2.09	267	1.53	255	1.78	260	1.61	261	1.64	267	1.72	255	1.55
5	324	1.61	297	1.99	308	1.65	239	1.78	179	1.28	274	1.99	247	2.13	310	1.69
6	268	1.50	243	1.64	268	1.68	227	1.64	214	1.64	224	1.73	230	1.78	268	1.74
7	349	1.64	302	1.75	290	1.86	277	1.98	276	1.44	328	1.80	301	1.85	335	1.85
8	230	1.70	230	1.90	231	1.88	188	1.96	209	1.99	221	1.86	219	1.93	208	2.04
9	318	1.48	302	1.55	315	1.55	192	1.98	287	1.45	274	1.70	243	1.83	260	1.53
10	280	1.72	280	1.77	311	1.76	212	1.96	254	2.05	228	1.97	240	2.06	243	1.74
11	291	1.64	339	1.64	355	1.66	234	1.56	340	1.59	339	1.78	257	1.87	339	1.62
12	304	1.49	275	1.78	281	1.73	199	1.89	304	1.86	273	1.79	304	1.79	262	1.93
13	244	1.52	208	1.71	252	1.56	185	1.55	227	1.57	227	1.57	215	1.77	223	1.57
14	286	1.46	286	1.74	293	1.62	216	1.79	260	1.49	286	1.91	301	1.85	274	1.61
15	299	1.34	270	1.74	284	1.73	208	1.77	298	1.58	271	1.83	281	1.88	272	1.46
میانگین	322	1.58	320	1.75	322	1.65	269	1.76	295	1.61	304	1.70	299	1.79	297	1.64

جدول ۴- دبی (لیتر بر ثانیه) و مدت زمان آبیاری (دقیقه) در هر شماره آزمایش در فصل زراعی ۹۲.

Table 4. Irrigation discharge (lit/sec) and duration (min) in each of the experiment numbers in the farming season 2013.

آزمایش (Exp.)	T <sub>8</sub>		T <sub>7</sub>		T <sub>6</sub>		T <sub>5</sub>		T <sub>4</sub>		T <sub>3</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>1</sub>	
	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)	مدت (T)	دبی (Q)
1	568	1.39	569	1.84	579	2.02	578	1.70	542	1.86	568	2.03	576	1.51	579	1.95
2	373	1.53	376	1.80	380	1.83	376	1.64	380	1.82	380	2.02	380	1.59	384	1.80
3	316	1.25	316	1.55	316	1.58	316	1.48	319	1.80	314	1.97	319	1.80	319	1.69
4	310	1.13	306	1.29	310	1.53	310	1.30	312	1.62	312	1.72	312	1.61	312	1.79
5	381	1.29	378	1.30	379	1.37	359	1.26	361	1.45	342	1.60	342	1.49	342	1.68
6	266	1.12	264	1.05	265	1.32	267	1.44	267	1.40	267	1.54	267	1.53	267	1.59
7	240	1.01	240	1.19	240	1.03	240	1.25	245	1.34	235	1.47	240	1.35	240	1.43
8	384	1.10	377	1.10	379	1.03	369	1.33	369	1.41	369	1.40	369	1.39	368	1.33
9	204	1.55	204	1.50	204	1.62	204	1.62	203	1.82	204	1.73	228	1.69	202	1.79
10	320	1.26	283	1.40	283	1.51	266	1.49	245	1.60	245	1.69	270	1.54	228	1.62
11	272	1.19	272	1.28	272	1.52	272	1.56	272	1.36	272	1.72	212	1.73	262	1.57
12	212	1.42	212	1.42	212	1.49	212	1.54	212	1.33	212	1.68	180	1.39	212	1.71
13	320	1.33	312	1.51	300	1.58	284	1.55	270	1.66	194	1.78	103	1.02	185	1.29
14	220	1.46	220	1.32	220	1.71	220	1.78	270	1.60	245	1.67	177	1.82	220	1.56
15	247	1.37	247	1.28	247	1.50	249	1.49	245	1.57	302	1.59	247	1.50	247	1.55
میانگین	309	1.29	305	1.39	306	1.51	301	1.50	301	1.58	297	1.71	281	1.53	291	1.62



زمان آبیاری به قدری طولانی باشد که سرعت نفوذ به سرعت نفوذ نهایی برسد، می‌توان معادله زیر را نوشت:

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

که در آن،  $Q_{in}$  مقدار دبی در نقطه ورودی و  $Q_{out}$  مقدار دبی در نقطه خروجی وقتی به مقدار ثابتی می‌رسد ( $m^3/min$ ) و  $L$  طول جویچه ( $m$ ) است.

روش بررسی آماری: داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS16 و به روش GLM<sup>1</sup> تجزیه واریانس مرکب شدند تا تغییرات احتمالی ضرایب  $k$  و  $a$  بین فصل‌های زراعی بررسی شود. همچنین میانگین تغییرات هر یک از ضرایب  $k$  و  $a$  به‌طور جداگانه بین هشت آزمایش (تغییرات مکانی) صورت گرفته در مجموع سه فصل زراعی و نیز بین پانزده آبیاری در این فصول (تغییرات زمانی)، به روش مذکور بررسی شد. مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن<sup>2</sup> (DMRT) صورت گرفت.

### نتایج و بحث

**تغییرات مکانی و زمانی ضریب نفوذ  $k$  در سه فصل زراعی:** نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر منابع تغییر مورد بررسی بر تغییرات ضریب نفوذ  $k$  در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول مذکور، اثر شماره آزمایش و نیز نوبت آبیاری در سطح ۱٪ و اثر فصل زراعی در سطح ۵٪ بر تغییرات ضریب نفوذ  $k$  معنی‌دار شد. بنابر این هر یک به‌طور جداگانه مورد مقایسه میانگین قرار گرفتند که نتایج آن در ادامه آمده است.

از معادله کلی بیلان حجم برای آبیاری سطحی که دارای رواناب است به‌صورت زیر استفاده شد:

$$V_{in} = V_{ss} + V_{inf} + V_{out} \quad (1)$$

که در آن،  $V_{in}$  حجم آب ورودی ( $m^3$ )،  $V_{ss}$  حجم ذخیره سطحی ( $m^3$ )،  $V_{inf}$  حجم آب نفوذ کرده ( $m^3$ ) و  $V_{out}$  حجم آب خروجی ( $m^3$ ) است. محاسبه ذخیره سطحی: حجم ذخیره سطحی از رابطه زیر تعیین شد:

$$V_{ss} = L_i \times \sigma_s \times A_0 \quad (2)$$

در فاز پیشروی  $\sigma_s=0.77$  و در فاز ذخیره  $\sigma_s=0.91$  لحاظ شد.

روش مورد استفاده: در این پژوهش از معادله کوستیاکف-لوئیس که یکی از مرسوم‌ترین مدل‌های تجربی برآورد نفوذ است، استفاده گردید. این معادله به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$Z = k \times t^a + f_0 t \quad (3)$$

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.

با داشتن مقادیر حجم آب نفوذی و مدت زمان تماس آب با خاک و به‌ترتیب با قرارگیری در محور عمودی و افقی نمودار، شکل تابع توانی معادله کوستیاکف-لوئیس با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Microsoft - Excel 2013 ترسیم شد که توان  $a$  و ضریب  $k$  برای هر نوبت آبیاری تعیین شد. برای محاسبه سرعت نفوذ نهایی خاک از هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی استفاده شد. با فرض این‌که

1- General Linear Model

2- Duncan Multiple Range Test

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر شماره آزمایش (تغییرات مکانی) و نوبت آبیاری (تغییرات زمانی) بر تغییرات ضریب نفوذ  $k$  در سه فصل زراعی.

Table 5. Variance analysis of experiment number (spatial variations) and irrigation event (temporal variations) effects on infiltration parameter variations ( $k$ ) in three farming seasons.

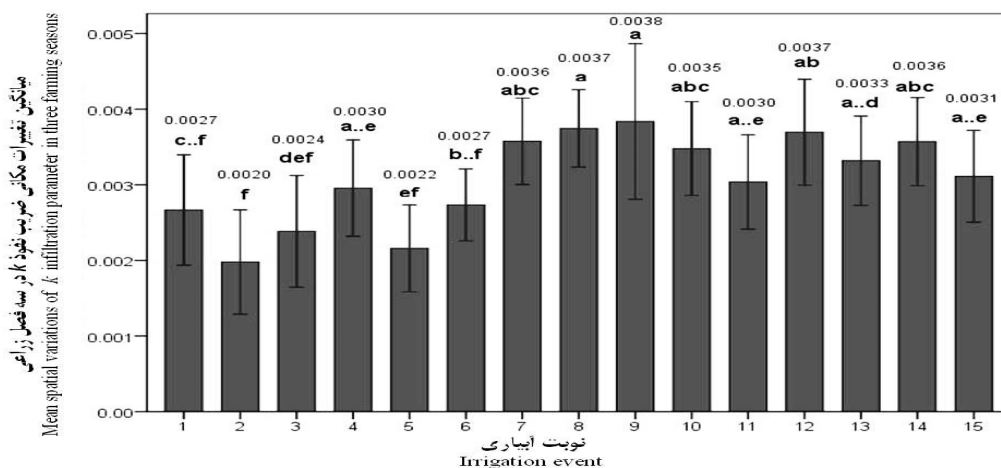
نسبت F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی df	منابع تغییر (S.O.V)
8.530**	0.00001890	7	شماره آزمایش (Experiment number)
3.834**	0.000008493	14	نوبت آبیاری (Irrigation event)
4.298*	0.000009521	2	فصل زراعی (farming season)

\*\* معنی‌دار در سطح ۱٪ و \* معنی‌دار در سطح ۵٪

\*\* Significant at %1 level and \* Significant at %5 level

به‌دست آمد. به‌طورکلی، میانگین تغییرات ضریب مذکور، در این سه فصل، نامنظم اما با روندی نسبتاً افزایشی همراه است. باتیستا و والندر (۱۹۸۵) گزارش نمودند که در یک آبیاری معین از یک جویچه به جویچه دیگر، بسته به شرایط مزرعه نفوذ قابل تغییر است (۲). در آزمایش حاضر نیز احتمالاً در هر آبیاری، ضریب نفوذ بین جویچه‌ها متفاوت بوده و چنان که در شکل ۳ مشاهده می‌شود؛ تأثیر نهایی آن به‌صورت تفاوت بین نوبت‌های آبیاری بوده است.

شکل ۳، اثر نوبت آبیاری را بر میانگین تغییرات مکانی ضریب نفوذ  $k$  در سه فصل زراعی نشان می‌دهد. هر ستون در این نمودار بیانگر میانگین تغییرات مکانی ضریب مذکور در سه فصل زراعی در یک نوبت آبیاری است. چنان که مشاهده می‌شود؛ تفاوت بین پانزده نوبت آبیاری انجام شده طی سه فصل زراعی ۹۰، ۹۱ و ۹۲، از لحاظ آزمون آماری دانکن در سطح ۵٪ معنی‌دار است. بیش‌ترین میانگین تغییرات مکانی ضریب نفوذ  $k$  (۰/۰۰۳۸) مربوط به آبیاری نهم بود و کم‌ترین آن (۰/۰۰۲۰) از آبیاری دوم



شکل ۳- اثر نوبت آبیاری بر میانگین تغییرات مکانی ضریب نفوذ  $k$  در سه فصل زراعی.

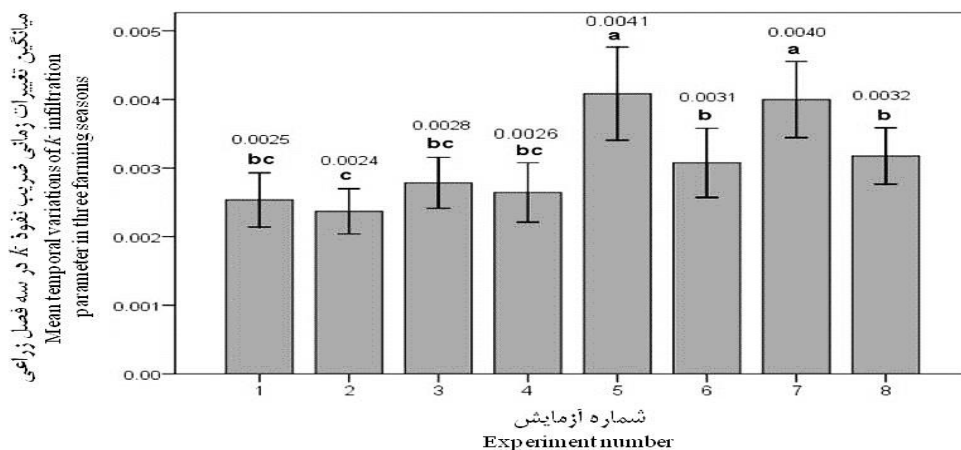
Figure 3. Effect of irrigation event on mean spatial variations of  $k$  infiltration parameter in three farming seasons.

ستون‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Columns with the same letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan.

زمانی ضریب نفوذ مذکور، (۰/۰۰۴۱) مربوط به آزمایش پنجم بوده است که تفاوت آماری معنی داری با آزمایش هفتم (۰/۰۰۴۰) نداشت. کمترین تغییرات این ضریب (۰/۰۰۲۴) نیز مربوط به آزمایش دوم بود و سایر آزمایش‌ها تفاوت آماری معنی داری با یکدیگر نداشتند.

شکل ۴، اثر شماره آزمایش (تغییرات مکانی) بر میانگین تغییرات زمانی ضریب نفوذ  $k$  در سه فصل زراعی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، تفاوت بین هشت آزمایش صورت گرفته طی سه فصل زراعی از لحاظ آزمون آماری دانکن در سطح ۰/۰۵٪ معنی دار شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میانگین تغییرات



شکل ۴- اثر شماره آزمایش بر میانگین تغییرات زمانی ضریب نفوذ  $k$  در سه فصل زراعی.

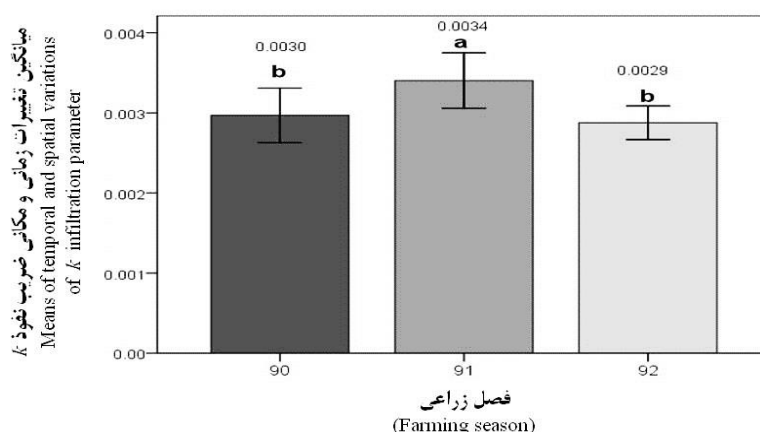
Figure 4. Effect of experiment number on mean temporal variations of  $k$  infiltration parameter in three farming seasons.

ستون‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

Columns with the same letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan.

رابطه با بررسی روند تغییرات دبی در طول فصل زراعی و مقایسه آن با روند تغییرات پارامتر  $k$  در مدت مشابه، بیانگر آن بود که بین مقادیر دبی ورودی و مقادیر پارامتر  $k$  رابطه قابل اتکایی وجود نداشت. در پژوهش حاضر، میانگین دبی از فصل زراعی ۹۰ تا ۹۲ روندی کاهشی داشت. در حالی که مطابق شکل ۵ تغییرات ضریب نفوذ  $k$  طی سه فصل مذکور از الگوی خاصی پیروی نکرد. بنابراین به نظر می‌رسد میانگین تغییرات دبی، رابطه‌ای با میانگین تغییرات ضریب نفوذ  $k$  نداشته است. رضایی‌پور و همکاران (۲۰۱۲) عنوان کردند که ضریب نفوذ  $k$  به خصوصیات فیزیکی خاک وابسته است. البته نتیجه‌گیری در مورد تأثیر احتمالی پارامترهای فیزیکی خاک بر تغییرات ضریب نفوذ  $k$  نیازمند جمع‌آوری داده‌های بیشتر و بررسی‌های گسترده‌تری است.

شکل ۵، اثر فصل زراعی بر میانگین تغییرات زمانی و مکانی ضریب نفوذ  $k$  را نشان می‌دهد. بر این اساس، میانگین تغییرات زمانی و مکانی ضریب نفوذ  $k$  در فصل زراعی ۹۰ (۰/۰۰۳۰) با استفاده از آزمون آماری دانکن در سطح ۰/۰۵٪ تفاوت معنی داری با میانگین آن در فصل زراعی ۹۲ (۰/۰۰۲۹) نداشت. در حالی که در فصل زراعی ۹۱، میانگین این ضریب (۰/۰۰۳۴) به طور معنی داری بیشتر از دو فصل دیگر بود. در این خصوص نتایج پژوهش حاضر در تأیید مطالعات شفیق و اسکوگرو (۱۹۸۳) و نیز کای و همکاران (۲۰۱۶) می‌باشد که نشان دادند نفوذ یک پارامتر ثابت نبوده و بین دو فصل آبیاری با هم متفاوت می‌باشد (۳ و ۱۵). در برخی پژوهش‌ها به تأثیر دبی بر پارامترهای نفوذ اشاره شده است (۱۴ و ۲۲). نتیجه پژوهش ضیایی و همکاران (۲۰۱۶) در



شکل ۵- اثر فصل زراعی بر میانگین تغییرات زمانی و مکانی ضریب نفوذ  $k$ .

Figure 5. Effect of farming season on means of temporal and spatial variations of  $k$  infiltration parameter.

ستون‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Columns with the same letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan.

لحاظ آزمون آماری دانکن در سطح ۵٪ معنی‌دار است. بیش‌ترین میانگین (۰/۶۴۵۹) مربوط به آبیاری دوم و کم‌ترین میانگین (۰/۵۰۴۸) متعلق به آبیاری چهاردهم بود. چنان‌که پیش‌تر در شکل ۳ نشان داده شد؛ کم‌ترین ضریب نفوذ  $k$  مربوط به نوبت آبیاری دوم بود؛ در حالی‌که در همین نوبت آبیاری در شکل ۶، بیش‌ترین ضریب نفوذ  $a$  به‌دست آمد که با مقایسه کلی دو شکل مذکور، وضعیت تقریباً مشابهی در رابطه با هر یک از نوبت‌های آبیاری دیده می‌شود. بنابراین شاید بتوان نتیجه گرفت که مقادیر ضرایب نفوذ  $a$  و  $k$  با یکدیگر نسبت عکس دارند.

تغییرات مکانی و زمانی ضریب نفوذ  $a$  در سه فصل زراعی: نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر منابع تغییر مورد بررسی بر تغییرات ضریب نفوذ  $a$  در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۶، اثر هر سه منبع تغییر در سطح ۱٪ بر تغییرات ضریب نفوذ  $a$  معنی‌دار شد. بنابر این هر یک به‌طور جداگانه مورد مقایسه میانگین قرار گرفتند که نتایج آن در ادامه آمده است.

شکل ۶ اثر نوبت آبیاری را بر میانگین تغییرات مکانی ضریب نفوذ  $a$  در سه فصل زراعی نشان می‌دهد. بر این اساس، تفاوت بین پانزده آبیاری از

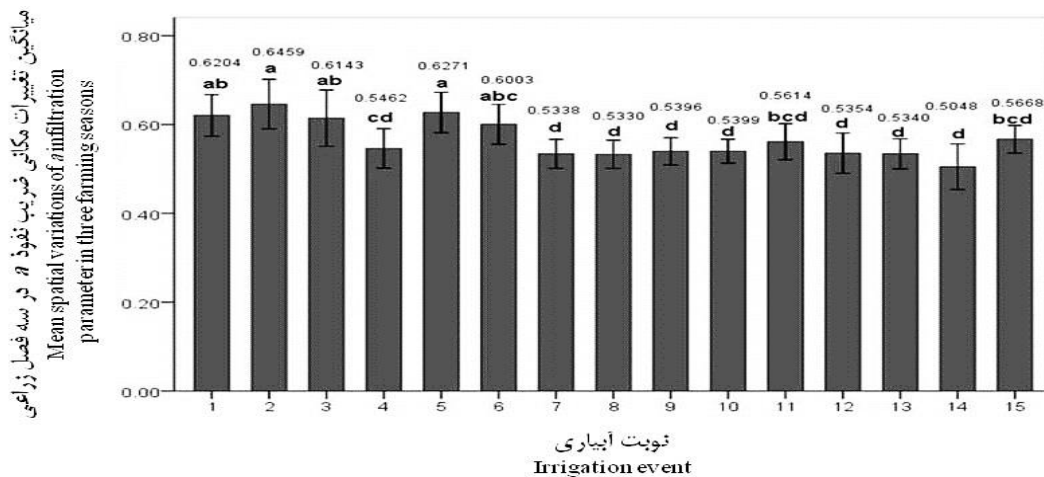
جدول ۶- تجزیه واریانس اثر شماره آزمایش (تغییرات مکانی) و نوبت آبیاری (تغییرات زمانی) بر تغییرات ضریب نفوذ  $a$  در سه فصل زراعی.

Table 6. Variance analysis of experiment number (spatial variations) and irrigation event (temporal variations) effects on infiltration parameter variations ( $a$ ) in three farming seasons.

نسبت F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی df	منابع تغییر (S.O.V)
7.421**	0.066	7	شماره آزمایش (Experiment number)
5.059**	0.045	14	نوبت آبیاری (Irrigation event)
19.826**	0.176	2	فصل زراعی (farming season)

\*\* معنی‌دار در سطح ۱٪

\*\* Significant at %1 level



شکل ۶- اثر نوبت آبیاری بر میانگین تغییرات مکانی ضریب نفوذ *a* در سه فصل زراعی.

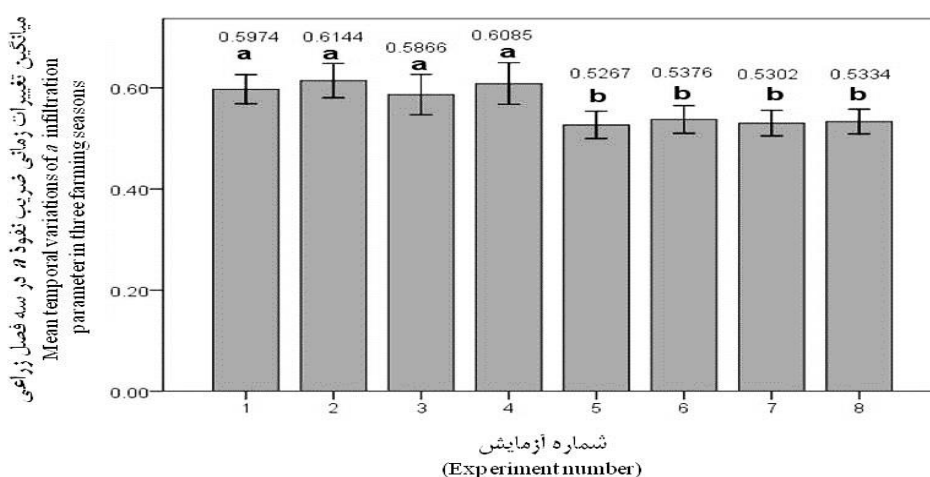
Figure 6. Effect of irrigation event on mean spatial variations of *a* infiltration parameter in three farming seasons.

ستون‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Columns with the same letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan.

غیرمعنی‌دار است. میانگین تغییرات زمانی ضریب نفوذ *a* در آزمایش‌های اول تا چهارم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از آزمایش‌های پنجم تا هشتم است. در حالی‌که مقایسه این شکل با شکل ۴ وضعیتی عکس این حالت را در هر آزمایش در رابطه با ضریب نفوذ *k* نشان می‌دهد.

شکل ۷، اثر شماره آزمایش را بر میانگین تغییرات زمانی ضریب نفوذ *a* در سه فصل زراعی نشان می‌دهد که بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار از لحاظ آزمون آماری دانکن در سطح ۵٪ بین هشت آزمایش صورت گرفته می‌باشد. بر این اساس، آزمایش‌های اول تا چهارم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همچنین تفاوت بین آزمایش‌های پنجم تا هشتم نیز



شکل ۷- اثر شماره آزمایش بر میانگین تغییرات زمانی ضریب نفوذ *a* در سه فصل زراعی.

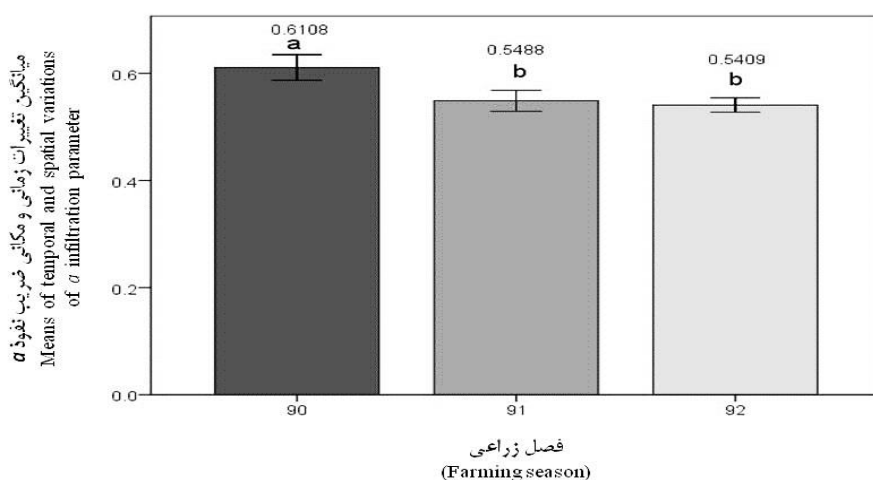
Figure 7. Effect of experiment number on mean temporal variations of *a* infiltration parameter in three farming seasons.

ستون‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Columns with the same letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan.

ظاهری سطح خاک، درصد رطوبت خاک، مواد آلی و بافت خاک اشاره کرد (۳ و ۱۹). همچنین نشان داده شده است که تخلخل خاک (۲۰) و دبی (۱۴ و ۲۲) نیز بر تغییر مقدار ضرایب نفوذ تأثیرگذارند. چگالی ظاهری سطح خاک و درصد رطوبت می‌تواند با عملیات خاک‌ورزی، آبیاری و بارندگی تغییر کنند که در این صورت بر ضرایب نفوذ تأثیرگذار خواهند بود (۳). نتایج ارائه شده در شکل‌های ۵ و ۸ می‌تواند به تأثیرپذیری ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$  از هر یک از عوامل ذکر شده نسبت داده شود. هر چند که در آزمایش حاضر با توجه به همگن بودن بافت لومی خاک در تمام مزرعه، احتمال تأثیرگذاری بافت خاک بر تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای نفوذ ضعیف به‌نظر می‌رسد.

شکل ۸ اثر فصل زراعی بر میانگین تغییرات زمانی و مکانی ضریب نفوذ  $a$  را نشان می‌دهد که بیانگر برتری آماری معنی‌دار میانگین تغییرات ضریب مذکور در سال ۹۰- (۰/۶۱۰۸) نسبت به دو سال دیگر، با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. در حالی‌که در سال‌های ۹۱ و ۹۲، میانگین تغییرات مذکور، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد. در این خصوص نتایج پژوهش حاضر در رابطه با این دو فصل مغایر با مطالعات شفیق و اسکوگربو (۱۹۸۳) می‌باشد که نشان دادند نفوذ یک پارامتر ثابت نبوده و بین دو فصل آبیاری با هم متفاوت می‌باشد (۱۵). اما با در نظر گرفتن تفاوت آماری معنی‌دار سال ۹۰ با دو سال دیگر، نتایج این دو پژوهش با هم مطابقت دارد. طیف گسترده‌ای از عوامل، بر ضرایب نفوذ آب در خاک تأثیرگذارند که از آن جمله می‌توان به چگالی



شکل ۸- اثر فصل زراعی بر میانگین تغییرات زمانی و مکانی ضریب نفوذ  $a$

Figure 8. Effect of farming season on means of temporal and spatial variations of  $a$  infiltration parameter.

ستون‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

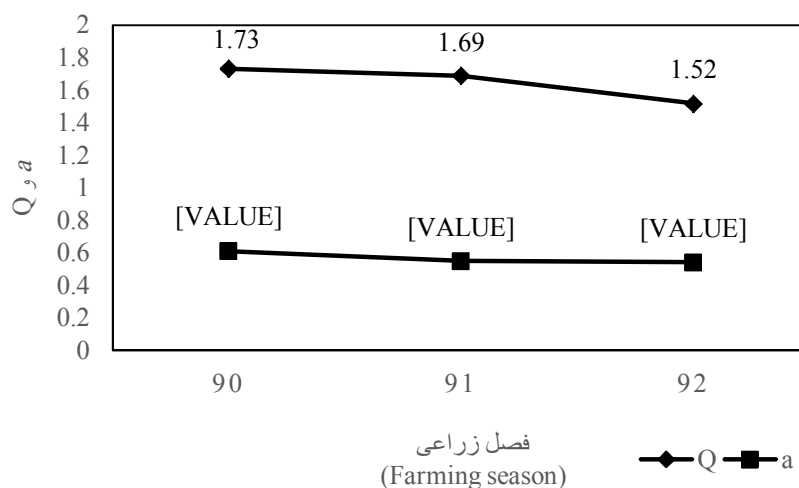
Columns with the same letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan.

بود. بر این اساس شاید بتوان بیان نمود در آزمایش حاضر، تغییرات ضریب نفوذ  $a$ ، رابطه مستقیمی با تغییرات دبی داشته است. ضیایی و همکاران (۲۰۱۶)

در شکل ۹، تغییرات میانگین دبی و ضریب نفوذ  $a$  بین سه فصل زراعی مورد بررسی، مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده تغییرات نسبتاً همسو بین  $a$  و دبی

دانستند. در پژوهش انجام شده توسط رضایی پور و همکاران (۲۰۱۲)، دبی ورودی تأثیر اندکی بر تغییرات ضریب  $a$  نشان داد.

در مطالعه خود عنوان کردند تغییرات دبی ورودی منجر به تغییراتی غیرخطی در مقدار پارامتر  $a$  می‌شود و میزان این تغییرات را نیازمند مطالعات بیشتر



شکل ۹- مقایسه تأثیر دبی (لیتر بر ثانیه) بر تغییرات ضریب نفوذ  $a$  در سه فصل زراعی.

Figure 9. Comparison of the effect of discharge (lit/sec) on  $a$  infiltration parameter during three farming seasons.

فصلی ضرایب نفوذ آب در خاک در آبیاری جویچه‌ای در سه فصل زراعی بررسی شده قابل اغماض نبود. نتایج نشان داد که ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$  معادله کوستیاکف- لوئیس از لحاظ مکانی و زمانی در فصول مختلف، تغییراتی نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی دقیق دارند. با توجه به طیف گسترده و پیچیدگی عوامل تأثیرگذار بر تغییرات ضرایب نفوذ که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شد؛ پیشنهاد می‌شود برای دستیابی به دلایل بیشتر در خصوص یافته‌های پژوهش حاضر، اثر هر یک از عوامل مؤثر بر تغییرات ضرایب نفوذ در مطالعات تکمیلی بررسی شود.

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تغییرات مکانی و زمانی ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس در سه فصل زراعی یک مزرعه آبیاری جویچه‌ای ذرت مورد بررسی قرار گرفت. به‌طورکلی، بین نوبت‌های آبیاری از لحاظ میانگین تغییرات هر یک از ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$  در سه فصل زراعی و همچنین بین هشت آزمایش اجرا شده از نظر میانگین تغییرات هر یک از ضرایب مذکور در سه فصل زراعی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در نهایت با توجه به تفاوت معنی‌دار میانگین تغییرات مکانی و زمانی هر یک از ضرایب نفوذ  $k$  و  $a$  با توجه به جداول و نمودارهای پیش‌تر بحث شده، در پاسخ به فرضیه پژوهش حاضر باید عنوان نمود که تغییرات

منابع

1. Abbasi, F. 2013. Principles of Flow in Surface Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), Tehran, 232p. (In Persian)
2. Bautista, E., and Wallender, W.W. 1985. Spatial variability of infiltration in furrows. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 28: 6. 1846-1851.
3. Cai, H., Xu, J., Wang, J., Chen, X., Zhu, D., and 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.
4. Childs, J.L., Wallender, W.W., and Hopmans, J.W. 1993. Spatial and seasonal variation of furrow infiltration. J. Irrig. Drain. Engin. 119: 1. 74-90.
5. Elliot, R.L., and Walker, W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 25: 2. 396-400.
6. Emdad, M.R. 2009. Determination of seasonal variation of infiltration and its effects on irrigation management in forage maize. 10<sup>th</sup> National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. (In Persian)
7. Fonteh, M.F., and Podmore, T. 1994. Application of geostatistics to characterize spatial variability of infiltration in furrow irrigation. Agricultural Water Management. 25: 2. 153-165.
8. Gates, T.K., and Clyma, W. 1984. Designing furrow irrigation systems for improved seasonal performance. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 27: 6. 1817-1824.
9. Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics: Fundamentals, applications and environmental considerations. Academic Press. San Diego, CA.
10. Holzapfel, E.A., Jara, J., Zuñiga, C., Mariño, M.A., Paredes, J., and Billib, M. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. Agricultural Water Management. 68: 1. 19-32.
11. Karmeli, D., Salazar, L.J., and Walker, W.R. 1978. Assessing the spatial variability of irrigation water applications. Environmental Protection Technology Series EPA (USA). no. 600/2-78-041.
12. Linderman, C.L., and Stegman, E.C. 1971. Seasonal variation of hydraulic parameters and their influence upon surface irrigation application efficiency. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 14: 5. 914-918.
13. Nahvinia, M.J., Liaghat, A., and Parsinejad, M. 2010. Prediction of depth of infiltration in furrow irrigation using tentative and statistical models. J. Water Soil. 24: 4. 769-780. (In Persian)
14. Rezaeepour, S., Ghobadi Nia, M., and Tabatabaei, S.H. 2012. Evaluation of the input parameters variations on the infiltration coefficients in surface irrigation system. P 1-12. 3<sup>rd</sup> National Conference on Comprehensive Water Resources Management, 10-11 Sep. 2012. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. (In Persian)
15. Shafique, M.S., and Skogerboe, G.V. 1983. Impact of seasonal infiltration function variation on furrow irrigation performance. P 292-301. Proceedings of National Conference on Advances in Infiltration, Transactions of the ASAE, St. Joseph, MI, USA.
16. Sharma, M.L., Gander, G.A., and Hunt, C.G. 1980. Spatial variability of infiltration in a watershed. J. Hydrol. 45: 1. 101-122.
17. Starr, J.L. 1990. Spatial and temporal variation of ponded infiltration. Soil Sci. Soc. Amer. J. 54: 3. 629-636.
18. Tabatabaei, S.H., Fardad, H., Neyshabory, M.R., and Liaghat, A. 2006. Simulation model for seasonal variation of Kostikov-Louise infiltration equation in two different farm managements in cracking soil. J. Water Soil Sci. (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). 10: 1. 55-69. (in Persian)
19. Taleby Kalan, Y., Mohammadi, M.H., and Karimi, S. 2016. The effect of land use on water infiltration characteristics in some soils of Ardabil and Zanjan province. J. Soil Manage. Sust. Prod. 6: 1. 109-126. (In Persian)
20. Uloma, A.R., Samuel, A.C., and Kingsley, I.K. 2014. Estimation of Kostikov's infiltration model parameters of some sandy loam soils of Ikwano-Umuahia, Nigeria. Open Transactions on Geosciences. 1: 1. 34-38.



21. Valiantzas, J.D., Aggelides, S., and Salsalou, A. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. *Agricultural Water Management*. 52: 1. 17-32.
22. Ziari, G., Abbasi, F., Babazadeh, H., and Kaveh, F. 2016. Evaluation of temporal variation of soil water infiltration coefficients in furrow irrigation. *Iran. J. Soil Water Res. (IJSWR)*. 47: 2. 229-236. (In Persian)



## Statistical study of infiltration parameters variations of Kostiakov-Lewis equation in furrow irrigation during three farming seasons

S.M. Kazeroonian<sup>1</sup>, \*F. Abbasi<sup>2</sup> and H. Sedghi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, <sup>2</sup>Research Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREO), Karaj, Iran, <sup>3</sup>Professor, Dept. of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 12/19/2016; Accepted: 09/06/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** Soil and biological factors can be extremely variable in place and time. Therefore, differences in soil water infiltration both in place and time is expected. Due to temporal variability of infiltration parameter, its direct estimation requires lots of time and sampling. Hence, empirical and physical equations exist for quantification of infiltration process in surface irrigation. Plenty methods are available for estimating infiltration equations parameters, which are different, depending on estimated data in the field. Selecting proper method depends on the available field data for estimating infiltration parameters. Some random parameters occur in different parts of the field that cause variations in the soil water infiltration. Considering infiltration spatial variations in irrigation increases accuracy in estimating infiltrated water volume and distribution uniformity (DU). Therefore, in the current study it is attempted to survey variations of soil water infiltration parameters in furrow irrigation during three farming seasons.

**Materials and Methods:** Current study was carried out using collected data during the farming seasons 2011, 2012 and 2013 from a field located in Meshkindasht area of Karaj. Type of the crop was maize and the field had a loamy soil. At the each of the farming seasons, 8 separate experiments were implemented that each one was comprised of 4 furrows with the length of 120 meters and width of 75 centimeters. At the each of the farming seasons, 15 irrigation events were done. 8 experiments were implemented at relatively identical sites during three farming seasons. At the each of the irrigation events, type 3 WSC flumes were used for measuring the inflow and outflow of the furrows. In this study, Kostiakov-Lewis infiltration equation was used. For each irrigation,  $a$  and  $k$  parameters of Kostiakov-Lewis equation were calculated using volume-balance method in Excel software. In this method using furrow inflow and outflow hydrographs, basic infiltration rate was calculated. Means of spatial and temporal variations of the Kostiakov-Lewis equation parameters in three farming seasons were compared using Duncan's Multiple Range Test (DMRT) using SPSS software.

**Results:** Data were subjected to composite analysis of variance using General Linear Model (GLM) by SPSS software. Effects of experiment number (spatial variations) and irrigation event (temporal variations) on variations of  $k$  infiltration parameter were significant at %1 level; while, effect of farming season was significant at %5 level. Difference between the 8 experiments during three farming seasons was significant at %5 level. Effects of the three aforementioned sources of variation on alterations of  $a$  infiltration parameter were significant at %1 level. Effect of experiment number on the average of temporal variations of  $a$  infiltration parameter in three farming seasons, showed significant difference at %5 level among the 8

\* Corresponding Author; Email: [fa.abbasi@areeo.ac.ir](mailto:fa.abbasi@areeo.ac.ir)

experiments. Effect of farming season on the average of spatial and temporal variations of  $a$  infiltration parameter indicated its significant superiority (0.6108) in the farming season 2011 compared to the rest of the seasons at %5 level. While, in the farming seasons 2012 and 2013 there were no significant differences between the averages of the mentioned variations.

**Conclusion:** In general, there were significant differences in three farming seasons in regard to the average variations of each of the  $a$  and  $k$  infiltration parameters and also among the 8 experiments regarding the mean variations of each of the mentioned parameters. Finally, taking significant differences of the average spatial and temporal variations of  $a$  and  $k$  infiltration parameter into consideration, seasonal variations of soil water infiltration parameters in the three farming seasons were not negligible. Based on the results of the current investigation,  $a$  and  $k$  infiltration parameters of the Kostiakov-Lewis equation, showed erratic and unpredictable variations, spatially and temporally in different farming seasons.

**Keywords:** Infiltration parameters, Kostiakov-Lewis equation, Maize, Volume-balance method

*Arc*