

## بررسی تغییرات زمانی ضرائب نفوذ آب در خاک در آبیاری جویچه‌ای

غزاله ضیایی<sup>۱</sup>، فریبرز عباسی<sup>۲\*</sup>، حسین بابازاده<sup>۳</sup>، فریدون کاوه<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دوره دکتری، مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. استاد موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۳. دانشیار گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۴. استادیار گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰)

### چکیده

شناخت فرآیند نفوذ آب در خاک برای طراحی، افزایش راندمان آبیاری، کاهش تلفات آب و مدیریت بهینه مصرف آب ضروری است. هدف از این مطالعه، بررسی تغییرات زمانی ضرائب معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیز به عنوان یکی از پرکاربردترین معادلات تجربی نفوذ آب در خاک است. در این مطالعه، ۱۶ نوبت آبیاری متوالی طی یک فصل زراعی ذرت دانه‌ای در ۸ آزمایش با استفاده از روش بیلان حجم تحلیل شد. آزمایش‌ها در مزرعه‌ای واقع در مشکین دشت کرج با بافت لومی و به روش آبیاری جویچه‌ای به طول ۱۲۰ متر انجام شد. نتایج نشان داد به جزء در آبیاری اول، تغییرات زمانی معنی‌داری بین مقادیر متوسط و مقادیر ضرائب معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیز در هر نوبت آبیاری در طول فصل زراعی وجود نداشت. به طوری که حداکثر خطای محتمل حدود ۵٪ بدست آمد. پارامترهای نفوذ نسبت به تغییرات دبی حساس بوده و تأثیر دبی بر آن‌ها غیرخطی است. بررسی میزان تأثیر تغییرات دبی ورودی بر پارامترهای نفوذ نیازمند مطالعات تکمیلی است.

واژه‌های کلیدی: بیلان حجم، ذرت، کوستیاکف-لوئیز

### مقدمه

روش آبیاری سطحی قدیمی‌ترین و در عین حال رایج‌ترین شیوه آبیاری در سراسر دنیا است. عدم یکنواختی و راندمان پایین در روش‌های آبیاری سنتی از جمله مشکلات رایج این روش آبیاری است. افزایش کارایی این روش با اجرای روش‌های مدیریتی بهینه مانند انتخاب صحیح دبی ورودی و زمان قطع جریان امکان‌پذیر است. مدیریت صحیح در سطح مزرعه نیازمند مطالعه روابط پیچیده حاکم بر مسائل آب و خاک است. یکی از عوامل مهم در بهبود اجرای آبیاری سطحی، تخمین مناسب ضرائب نفوذ آب در خاک است (Elliott et al., 1983).

مهم‌ترین مشخصه فیزیکی خاک از نقطه نظر آبیاری، نفوذ آب در خاک است. کاربرد موثر آب در آبیاری بستگی به شناخت ظرفیت نفوذ آب در خاک دارد. عدم تخمین صحیح آن در آبیاری سبب پایین آمدن راندمان کاربرد و افزایش اتلاف آب در مزرعه می‌شود. آگاهی از ویژگی‌های نفوذ آب در خاک از اطلاعات پایه‌ای مورد نیاز در طراحی سامانه‌های آبیاری است (Machiwal et al., 2006). تعیین ضرائب معادله نفوذ برای

تشریح هیدرولیک آبیاری سطحی به معنی صرف وقت و هزینه زیاد است (Ebrahimian et al., 2010).

به دلیل اهمیت فرآیند نفوذ آب در خاک، مدل‌های تجربی و تحلیلی متعددی برای برآورد میزان نفوذ آب در خاک ارائه شده است. این مدل‌ها به دو دسته مدل‌های تجربی مانند، هورتن (۱۹۴۰) و کوستیاکف (۱۹۳۲) و کوستیاکف-لوئیز (Mezencv, 1984) مدل‌هایی با پایه فیزیکی مانند گرین-آمپت (۱۹۱۱) و فیلیپ (۱۹۶۷) قابل تقسیم‌بندی هستند. یکی از معیارهای مهم در انتخاب یک مدل نسبت به مدل‌های دیگر، سهولت برآورد پارامترهای آن است (Karami et al., 2013). سهولت کاربری و نتایج منطقی و رضایت‌بخش سبب استفاده گسترده و متناوب از مدل‌های تجربی در علوم منابع آب شده است. کاربرد گسترده مدل‌های کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیز شده شاهدی بر این مدعا است (Michael, 1982). در این بین، برتری نسبی برخی از معادلات نسبت به دیگران به دلیل دقت بالاتر در نتایج ارائه شده است.

عملکرد دو معادله نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیز برای سه مدل مختلف در آبیاری موجی توسط Benham et al. (2000) مورد ارزیابی قرار گرفت. در حالت اول از معادله

\* نویسنده مسئول: Fa.abbasi@areo.ir

ولی تغییرات زمانی ضرائب نفوذ مستقل از بافت خاک و مدیریت مزرعه گزارش شد. در مطالعات انجام شده توسط McClymont and Raine (1996) تغییرات زمانی نفوذپذیری را در طول فصل زراعی ۴۶٪ برآورد گردید. مطالعه بر روی سرعت نفوذ نهایی آب در خاک نشان داد که سرعت نفوذ نهایی در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای دوره به میزان ۳۴٪ درصد کاهش یافته است (Emdad et al., 2008). مطالعات (Gates and Clyma, 1984) نیز نشان دهنده اهمیت تغییرات زمانی نفوذ آب در خاک است. آنها لحاظ این تغییرات را در طراحی اولیه سامانه‌های آبیاری پیشنهاد نموده‌اند.

مطالعات انجام شده نشان از وجود تغییرات زمانی و مکانی نفوذ در طول فصل زراعی دارد. که با توجه به نتایج این مطالعات اعمال نتایج مکانی سبب افزایش پیچیدگی معادله نفوذ خواهد شد، در حالی که تغییرات زمانی نفوذ در طول فصل زراعی معنی دار و همچنین قابل برآورد است. با توجه به وجود تغییرات زمانی نفوذ، در این مطالعه تغییرات زمانی دو ثابت معادله نفوذ ( $K$  و  $a$ ) کوستیاکف-لوتیز در طول فصل زراعی و بررسی معنی داری تغییرات این دو پارامتر نسبت به مقدار میانگین در آبیاری جویچه‌ای و حداکثر خطای حاصل در این روش مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه ۵۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در مشکین دشت کرج اجرا شد. بافت خاک مزرعه آزمایشی تا عمق ۶۰ سانتی متری لومی است.

جدول ۱. بافت خاک مزرعه مورد مطالعه

بافت	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	عمق خاک (سانتی‌متر)
لوم	۳۶	۴۱	۲۳	۰-۲۰
لوم	۳۴	۴۱	۲۵	۲۰-۴۰
لوم	۳۸	۳۹	۲۳	۴۰-۶۰

کوستیاکف و در حالت‌های دوم و سوم از معادله کوستیاکف-لوتیز استفاده شد. با این تفاوت که حالت دوم مقدار نفوذ پایه بر اساس هیدروگراف دبی ورودی و خروجی در کل زمان آبیاری تعیین گردید. ولی در حالت سوم با استفاده از داده‌های مرحله پیشروی نسبت به تخمین نفوذ پایه اقدام شد. نتایج نشان داد که معادله کوستیاکف لوتیز از دقت بالاتری نسبت به معادله کوستیاکف برخوردار بود. همچنین حالت دوم خطای کمتری نسبت به حالت سوم داشت. در آبیاری سطحی تابع نفوذ آب در خاک در طول فصل زراعی ثابت فرض می‌شود. در حالی که این تابع با زمان و مکان تغییر می‌کند (Medina and Martin, 1998). تغییرات زمانی و مکانی نفوذ آب در خاک موجب شده است تا دسترسی به سطوح مناسب یکنواختی آبیاری کم‌تر شده و اعمال راندمان‌های بالا در شرایط مزرعه میسر نباشد (Austin and Prendergast, 1997). تغییرات زمانی و مکانی نفوذ آب در خاک در مزارع آبیاری شده با جریان‌های سیلابی توسط Jaynes and Hunsaker (1989) مطالعه شده است. نتایج آنها نشان داد که ضریب تغییرات نرخ نفوذ ۵۱٪ بود.

نتایج مطالعات (Rasoulzadeh and Sepaskhah, 2003)

نشان داد که تغییرات مکانی سرعت نفوذ آب در خاک، مدیریت آبیاری جویچه‌ای را پیچیده‌تر می‌کند. زیرا ویژگی‌های نفوذ آب در خاک ممکن است در مقادیر متفاوت سرعت جریان آب به داخل جویچه، شکل هندسی مقطع جریان و حجم جریان ورودی تغییر کند. بنابراین، ارائه یک معادله عمومی برای نفوذ آب در خاک دشوار است. برخی مطالعات نیز تغییرات زمانی نفوذ آب در خاک در طول فصل زراعی را معنی دار گزارش نموده‌اند (Zapata and Playan, 2000). تغییرات زمانی نفوذ آب در خاک در دو خاک لوم رسی و در دو مدیریت متفاوت آبیاری جویچه‌ای توسط Tabatabai et al. (2004) بررسی شد. بر اساس نتایج ارائه شده تغییرات زمانی نفوذ آب در خاک در تمامی آزمایش‌های آنها مشاهده نشد. نفوذ نهایی در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای دوره ۳۴ درصد کاهش داشت. نتایج نشان‌دهنده رفتار متفاوت توان معادله نفوذ آب در خاک بود.

جدول ۲. آنالیز شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

عمق خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC) (dS/m)	کربن آلی (%)	اسدیته گل اشباع (pH)	کربنات کلسیم معادل (%)	پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)	فسفر قابل استفاده (mg/kg)	نیتروژن کل (%)
۰-۲۰	۱/۴۳	۰/۵۳	۷/۶	۱۱	۲۲۰	۱۰/۳	۰/۰۵
۲۰-۴۰	۱/۶۸	۰/۳۷	۷/۵	۱۰/۷	۱۷۰	۸/۴	۰/۰۴
۴۰-۶۰	۰/۹۸	۰/۳۳	۷/۵	۱۱/۷	۱۵۴	۴/۲	۰/۰۳

نتایج دقیق‌تر از روش‌های یک و دو نقطه‌ای و یا سایر روش‌های محاسباتی ضرایب نفوذ است. معادله بیلان حجم شامل حجم آب ورودی، حجم ذخیره سطحی، حجم آب خروجی و حجم آب نفوذیافته است. (Elliot and Walker (1982) و Raine (1999) این روش را به عنوان مناسب‌ترین روش تخمین نفوذ آب در خاک در آبیاری جویچه‌ای معرفی کردند.

در پایان برای بررسی روند معنی‌داری تغییرات زمانی پارامترهای  $a$  و  $K$  در طول فصل زراعی در هر آزمایش از آزمون T-Test استفاده شد. بدین ترتیب که میانگین مقادیر ضرائب  $a$  و  $K$  با مقادیر آن‌ها در هر نوبت آبیاری مقایسه شد.

### نتایج و بحث

با استفاده از روش بیلان حجم در هر یک از آبیاری‌ها، به صورت مجزا مقدار آب نفوذ کرده و به تبع پارامترهای نفوذ محاسبه گردید. مقادیر متوسط پارامتر سرعت نفوذ نهایی برای هر یک از آزمایش‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. میانگین سرعت نفوذ نهایی در مزرعه آزمایشی مورد مطالعه  $6/7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$  بود. ضریب تغییرات این شاخص ۲۱/۱ درصد بود. طبق مطالعات انجام شده توسط Mailhol *et al.* (1999) تغییرات  $f_0$  در مزرعه به نسبت کم و مقدار آن از یک جویچه تا جویچه دیگر و از یک آبیاری تا آبیاری دیگر چندان تغییر نمی‌کند. ولی مقدار آن به دبی ورودی، محیط خیس شده و رسوبات موجود در آب آبیاری وابسته است. در این تحقیق برای افزایش دقت محاسبات، نفوذ نهایی برای هر آزمایش و در هر نوبت آبیاری جداگانه محاسبه و استفاده شد، مقادیر متوسط در هر آزمایش در جدول ۴ نشان داده شده است.

سایر پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیز ( $a$  و  $K$ ) برای هر نوبت آبیاری و در هر آزمایش محاسبه شده است (جدول ۷). آزمایش T6 در آبیاری چهارم و هشتم به طور کامل اندازه‌گیری نشد، به همین دلیل امکان برآورد پارامترهای نفوذ در این دو نوبت آبیاری وجود نداشت. همچنین آزمایش‌های T2 و T3 نیز در آبیاری هشتم به طور کامل اندازه‌گیری نشد و امکان برآورد پارامترهای نفوذ در این نوبت آبیاری برای این دو آزمایش نیز وجود نداشت.

مقادیر محاسبه شده پارامترهای  $a$  و  $K$  در جدول ۷ ارائه شده است. مقادیر پارامتر  $a$  در طول فصل زراعی در تمامی آزمایش‌ها دارای روند یکسانی بود و مقادیر بیشینه و کمینه تفاوت قابل توجهی نداشتند. روند تغییرات پارامتر  $K$  در طول فصل زراعی برای اغلب آزمایش‌ها دارای تفاوت قابل توجهی بود و مقادیر بیشینه و کمینه هم دارای تفاوت‌های قابل توجهی بودند.

در این مطالعه، ۸ آزمایش (T1 تا T8) در قالب جویچه‌هایی با طول ۱۲۰ متر و کشت ذرت دانه‌ای انجام شد. هر آزمایش شامل ۵ جویچه با فواصل ۷۵ سانتی‌متر بود. شیب اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای در جویچه‌ها برابر ۱ درصد بود. تفاوت عمده‌ای بین آزمایش‌های مختلف وجود نداشته و به نوعی تکرار شده‌اند. میزان نفوذ در هر کدام از آزمایش‌ها در تمامی ۱۶ نوبت آبیاری اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج حاصل از ۱۶ نوبت آبیاری برای هر آزمایش به صورت مجزا مورد تحلیل قرار گرفت. عملیات زراعی مورد نظر برای این مطالعه در فروردین ماه ۱۳۹۱ صورت گرفت. در ابتدا قطعه زراعی مورد نظر به مساحت یک هکتار دیسک و ماله کشی شد. سپس جویچه‌ها با فاصله ۷۵ سانتی‌متر (توسط ردیف‌کار) در آن ایجاد شد.

آب آبیاری از یک حلقه چاه موجود در مزرعه با هدایت الکتریکی ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر تامین شد (جدول ۳). شایان ذکر است آب آبیاری از کیفیت خوبی برخوردار بوده و محدودیتی برای آبیاری وجود نداشت. در مزرعه مورد مطالعه ذرت دانه‌ای با تراکم حدود ۸۰ هزار بوته در هکتار توسط کارنده کشت شد. آب توسط لوله به ابتدای مزرعه منتقل شد. با نصب شیر فلکه در ابتدای هر آزمایش، آب با باز شدن شیر، پس از عبور از فلوم‌های نصب شده در ابتدای جویچه‌های هر آزمایش جریان پیدا می‌کرد. در انتهای جویچه‌های آزمایشی نیز فلوم برای اندازه‌گیری آب خروجی نصب گردید. فلوم‌های مورد استفاده در این مطالعه از نوع فلوم‌های واسنجی شده  $WSC^1$  بودند.

ضرائب  $K$  و  $a$  در هر نوبت آبیاری با استفاده از داده‌های پیشروی، دبی ورودی و خروجی، تخمین ذخیره سطحی در مقاطع زمانی مختلف و در نهایت برآورد میزان نفوذ تجمعی به روش بیلان حجم و برازش بهترین منحنی به داده‌های برآورد شده در محیط نرم‌افزار اکسل برای تمامی ۱۶ نوبت آبیاری در ۸ آزمایش مورد مطالعه، محاسبه شده است. در این روش برای اندازه‌گیری ذخیره سطحی نیاز به ضرائب هیدرولیکی مقطع جویچه‌ها است که با استفاده از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای سطح مقطع استخراج شدند. مقادیر ضرائب هیدرولیکی مقطع ( $\rho_1$  و  $\rho_2$ ) به ترتیب ۰/۴۹ و ۲/۶۹ برآورد شدند.

شایان ذکر است که با توجه به اندازه‌گیری مداوم مقادیر دبی ورودی و خروجی هرگونه تغییر در دبی ورودی ثبت و در محاسبات وارد شده است. در روش بیلان حجم، به دلیل این که از همه نقاط پیشروی در محاسبه ضرایب نفوذ استفاده می‌شود،

جدول ۳. آنالیز شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

کاتیون‌ها (meq/lit)			آنیون‌ها (meq/lit)			اسدیته	هدایت الکتریکی	مشخصات
Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	(pH)	(EC)(dS/m)
۰/۵۶	۲/۸	۱/۲	۰/۴۳	۱/۱	۲/۵	-	۷/۵۹	۰/۶

دامنه تغییرات شاخص ضریب تغییرات برای پارامتر  $K$  در محدوده ۵۰/۴-۱۷/۵ قرار می‌گیرد که نسبت به پارامتر  $a$  دارای نوسانات بیش‌تری است. کم‌ترین مقدار ضریب تغییرات مربوط به آزمایش  $T_8$  و بیش‌ترین آن مربوط به آزمایش  $T_6$  است. بدین ترتیب بیش‌ترین انحراف معیار برابر ۰/۰۰۰۹ و کم‌ترین انحراف معیار برابر ۰/۰۰۰۲۶ به ترتیب مربوط به آزمایش‌های  $T_6$  و  $T_8$  است. بیش‌ترین دامنه تغییرات مقادیر پارامتر  $K$  در آزمایش  $T_6$  رخ می‌دهد که مقدار آن برابر ۰/۰۰۲۹ است و کم‌ترین دامنه تغییرات نیز در آزمایش  $T_8$  رخ می‌دهد و مقدار آن برابر ۰/۰۰۱۱ است. میانگین‌های محاسبه شده برای پارامتر  $K$  در محدوده ۰/۰۰۱۲-۰/۰۰۱۹ متغیر هستند.

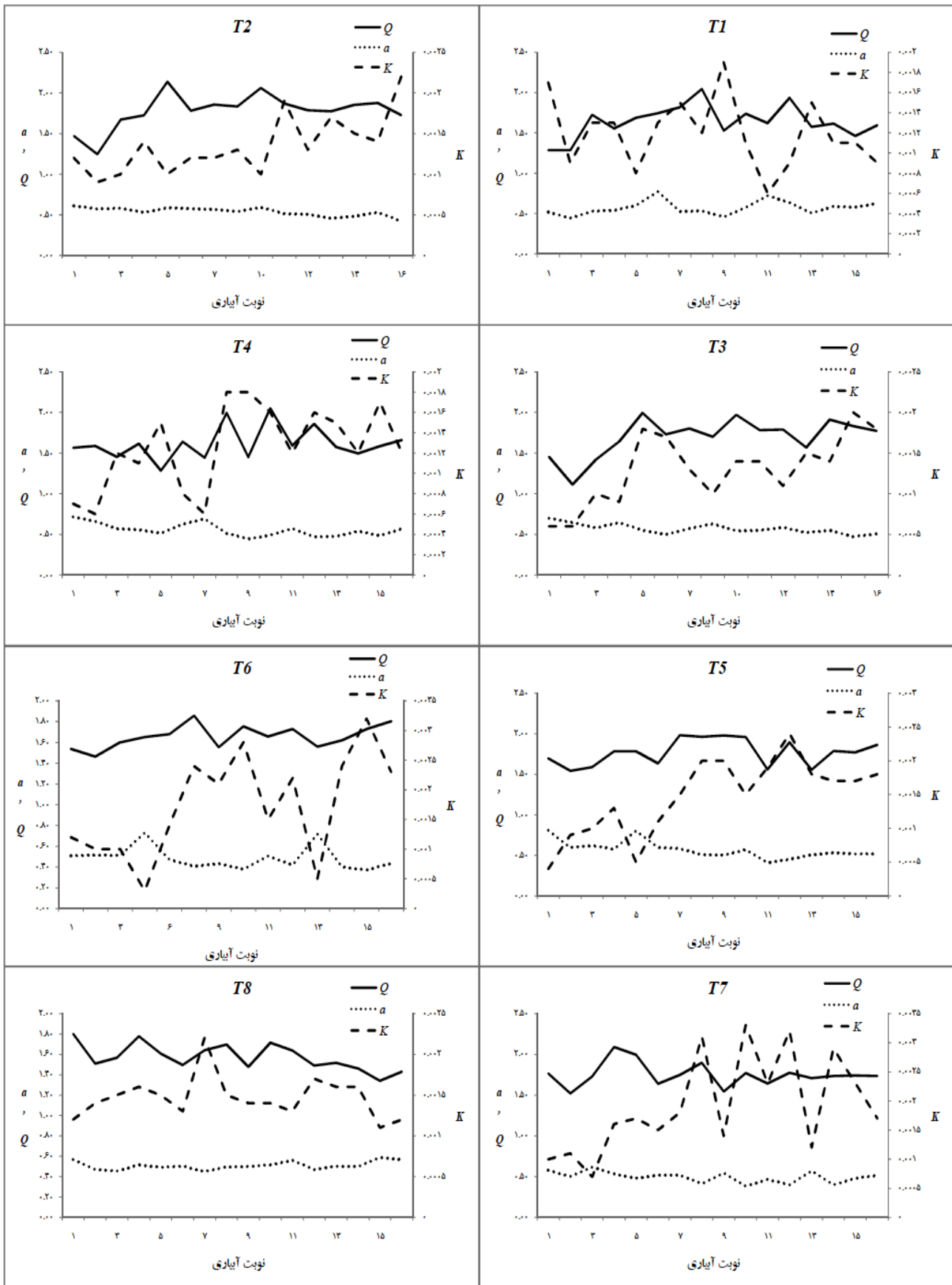
تغییرات قابل توجه پارامتر  $K$  در مقایسه با پارامتر  $a$  نشان‌دهنده حساسیت بیش‌تر این پارامتر است. بررسی روند تغییرات دبی در طول فصل زراعی و مقایسه آن با روند تغییرات پارامتر  $K$  در همین مدت نشان می‌دهد که بین مقادیر دبی ورودی و مقادیر پارامتر  $K$  رابطه قابل اتکایی وجود ندارد. همچنین به نظر می‌رسد که افزایش تغییرات دبی منجر به کاهش مقدار پارامتر  $K$  در طول فصل زراعی شده است. محققان دیگر هم تاثیر دبی بر نفوذ و پارامترهای آن را بررسی کرده‌اند. برخی تاثیر تغییرات دبی را موجب کاهش نفوذ (Rodriguez, 2003) و برخی هم باعث افزایش نفوذ گزارش کرده‌اند (Playan et al., 2004). به هر حال، بررسی تأثیر دبی بر میزان نفوذ و پارامترهای آن نیاز به مطالعات وسیع‌تری دارد.

معنی‌دار بودن تغییرات زمانی این پارامتر در طول فصل زراعی با استفاده از آزمون  $t$  در دو سطح ۵٪ و ۱۰٪ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات پارامتر  $K$  در طول فصل زراعی به جز در آبیاری اول آزمایش  $T_5$  معنی‌دار نیست. همچنین (Zapata and Playan, 2000) بر اساس مطالعات انجام شده در بافت خاکی مشابه مطالعه حاضر، اعلام کردند پارامتر  $K$  در معادله نفوذ کوستیاکف و همچنین مقدار نفوذ تجمعی با در نظر گرفتن یک توزیع مکانی تصادفی در طول زمان تغییرات معنی‌داری نداشتند که با نتیجه حاصل از این مطالعه مطابقت دارد.

جدول ۴. مقادیر متوسط نفوذ پایه در آزمایش‌های مختلف

آزمایش	$f_0$ (m <sup>3</sup> /m/min)
$T_1$	$7/1 \times 10^{-5}$
$T_2$	$4/9 \times 10^{-5}$
$T_3$	$6/9 \times 10^{-5}$
$T_4$	$6/7 \times 10^{-5}$
$T_5$	$9/6 \times 10^{-5}$
$T_6$	$5/3 \times 10^{-5}$
$T_7$	$7/4 \times 10^{-5}$
$T_8$	$5/4 \times 10^{-5}$
میانگین	$6/7 \times 10^{-5}$
ضریب تغییرات (درصد)	۲۱/۱

برای بررسی بهتر تغییرات پارامترهای  $a$  و  $K$  نسبت به دبی، در شکل ۱ تغییرات پارامترها برای تمامی نوبت‌های آبیاری رسم شده است. برای بررسی دقیق‌تر از تعدادی از شاخص‌های آماری مانند دامنه تغییرات، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات استفاده شده است (جدول ۵). شاخص ضریب تغییرات در پارامتر  $a$  از ۸/۷ تا ۲۲/۹ متغیر بود که کم‌ترین آن مربوط به تیمار  $T_8$  و بیش‌ترین آن مربوط به تیمار  $T_6$  بود. به همین ترتیب بیش‌ترین انحراف معیار برابر ۰/۱۱ متعلق به آزمایش  $T_6$  و کم‌ترین انحراف معیار برابر ۰/۰۴ متعلق به آزمایش  $T_8$  بود. بزرگ‌ترین دامنه تغییرات متعلق به آزمایش  $T_5$  و کوچک‌ترین دامنه تغییرات متعلق به آزمایش  $T_8$  بود. مقادیر میانگین‌های محاسبه شده در محدوده بین ۰/۴۹-۰/۵۷ قرار داشتند. با توجه به متغیر بودن دبی ورودی در هر نوبت آبیاری، مقادیر دبی در هر نوبت آبیاری و زمان قطع جریان برای تمامی آزمایش‌ها در طول فصل زراعی محاسبه شد (جدول ۶). میانگین و ضریب تغییرات دبی در طول فصل زراعی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که تغییرات دبی ورودی بر مقدار پارامتر  $a$  موثر است. به نظر می‌رسد که تغییرات دبی ورودی منجر به تغییراتی در مقدار پارامتر  $a$  می‌شود. هرچند این تغییرات خطی نبوده و برای شناسایی میزان تاثیر تغییرات دبی ورودی بر پارامتر  $a$  نیاز به مطالعات بیش‌تری است.



شکل ۱. تغییرات دبی ورودی و ضرایب نفوذ در آزمایش های مختلف

جدول ۵. شاخص‌های آماری محاسبه شده برای پارامترهای نفوذ در آزمایش‌های مختلف

آزمایش	پارامتر	دامنه تغییرات	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
T1	K	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۳	۲۸/۷
	a	۰/۳۳۰۹	۰/۵۶	۰/۰۸۷۶	۱۵/۴
T2	K	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۳۶	۲۶/۸
	a	۰/۱۸۷۳	۰/۵۴	۰/۰۵۳۷۲	۱۰/۰
T3	K	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۴۳	۳۳/۰
	a	۰/۲۲۵۴	۰/۵۷	۰/۰۶۲۰۸	۱۰/۹
T4	K	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۴۱	۳۲/۹
	a	۰/۲۶۹۷	۰/۵۶	۰/۰۸۱۹۹	۱۴/۸
T5	K	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۵۶	۳۸/۳
	a	۰/۴۰۰۴	۰/۵۷	۰/۱۰۷۶۷	۱۸/۹
T6	K	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۹	۵۰/۴
	a	۰/۳۵۸۸	۰/۴۹	۰/۱۱۱۱۸	۲۲/۹
T7	K	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۸۳	۴۳/۲
	a	۰/۲۳۳۲	۰/۵۰	۰/۰۶۶۳۴	۱۳/۴
T8	K	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲۶	۱۷/۵
	a	۰/۱۴۰۳	۰/۵۱	۰/۰۴۴۳۷	۸/۷

جدول ۶. مقادیر دبی جریان (لیتر بر ثانیه) و مدت زمان آبیاری (دقیقه) برای تمامی نوبت‌های آبیاری

آزمایش شماره آبیاری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	میانگین	ضریب تغییرات (%)	
T <sub>1</sub>	دبی آبیاری	۱/۲۸	۱/۲۹	۱/۷۲	۱/۵۵	۱/۶۹	۱/۷۴	۱/۸۵	۲/۰۴	۱/۵۳	۱/۷۴	۱/۶۲	۱/۹۳	۱/۵۷	۱/۶۱	۱/۴۶	۱/۵۹	۱/۶۴	۲/۴
	مدت آبیاری	۶۰۲	۲۶۰	۳۴۸	۲۵۵	۳۱۰	۲۶۸	۳۳۵	۲۰۸	۲۶۰	۲۴۳	۳۳۹	۲۶۲	۲۲۳	۲۷۴	۲۷۲	۲۷۲	۲۹۶	۳۰/۷
T <sub>2</sub>	دبی آبیاری	۱/۴۷	۱/۲۴	۱/۶۷	۱/۷۲	۲/۱۳	۱/۷۸	۱/۸۵	-	۱/۸۳	۲/۰۶	۱/۸۷	۱/۷۹	۱/۷۷	۱/۸۵	۱/۸۸	۱/۷۳	۱/۷۸	۲/۴
	مدت آبیاری	۵۸۲	۴۳۵	۲۶۷	۲۶۷	۲۴۷	۲۶۷	۳۰۱	۲۳۰	-	۲۴۳	۲۴۰	۲۵۷	۳۰۴	۲۱۵	۳۰۱	۲۸۱	۳۰۱	۳۱/۲
T <sub>3</sub>	دبی آبیاری	۱/۴۵	۱/۱۱	۱/۴۲	۱/۶۴	۱/۹۹	۱/۷۳	۱/۸۰	-	۱/۷۰	۱/۹۷	۱/۷۸	۱/۷۹	۱/۵۷	۱/۹۱	۱/۸۳	۱/۷۸	۱/۷۰	۳/۰
	مدت آبیاری	۵۸۰	۴۴۱	۳۳۶	۲۶۱	۲۷۴	۲۲۴	۳۲۸	-	۲۷۴	۲۲۸	۳۳۹	۲۷۳	۲۲۷	۲۲۷	۲۷۱	۳۰۲	۳۱۰	۳۰/۱
T <sub>4</sub>	دبی آبیاری	۱/۵۶	۱/۵۹	۱/۴۵	۱/۶۱	۱/۲۸	۱/۶۴	۱/۴۴	۱/۹۹	۱/۴۵	۲/۰۵	۱/۵۹	۱/۸۶	۱/۵۷	۱/۴۹	۱/۵۸	۱/۶۶	۱/۶۲	۲/۴
	مدت آبیاری	۵۰۳	۵۰۵	۳۰۳	۲۶۰	۱۷۹	۲۱۴	۲۷۶	۲۰۹	۲۸۷	۲۵۴	۲۸۷	۳۰۴	۲۲۷	۲۶۰	۲۹۸	۲۷۵	۲۹۳	۳۱/۳
T <sub>5</sub>	دبی آبیاری	۱/۶۹	۱/۵۴	۱/۵۹	۱/۷۸	۱/۷۸	۱/۶۴	۱/۹۸	۱/۹۶	۱/۹۸	۱/۹۶	۱/۹۸	۱/۸۹	۱/۵۵	۱/۷۹	۱/۷۷	۱/۸۶	۱/۷۷	۱/۴
	مدت آبیاری	۶۰۴	۴۹۱	۳۰۳	۲۵۵	۲۳۹	۲۲۷	۲۷۷	۱۸۸	۱۹۲	۲۱۲	۲۳۴	۱۹۹	۱۸۵	۲۱۶	۲۰۸	۲۲۲	۲۶۶	۴۳/۸
T <sub>6</sub>	دبی آبیاری	۱/۵۴	۱/۴۶	۱/۶۰	-	۱/۶۵	۱/۶۸	۱/۸۶	-	۱/۵۵	۱/۷۶	۱/۶۶	۱/۷۳	۱/۵۶	۱/۶۲	۱/۷۳	۱/۸۰	۱/۶۶	۰/۷
	مدت آبیاری	۶۰۶	۵۳۵	۲۳۳	-	۳۰۸	۲۶۸	۲۹۰	-	۳۱۵	۳۱۱	۳۵۵	۲۸۱	۲۵۲	۲۹۳	۲۸۴	۲۸۰	۳۲۹	۳۲/۵
T <sub>7</sub>	دبی آبیاری	۱/۷۷	۱/۵۲	۱/۷۳	۲/۰۹	۱/۹۹	۱/۶۴	۱/۷۵	۱/۹۰	۱/۵۵	۱/۷۷	۱/۶۴	۱/۷۸	۱/۷۱	۱/۷۴	۱/۷۴	۱/۷۳	۱/۷۵	۱/۱
	مدت آبیاری	۶۰۵	۴۸۹	۳۶۹	۳۱۰	۲۹۷	۲۴۳	۳۰۲	۲۳۰	۳۰۲	۲۸۰	۳۳۹	۲۷۵	۲۰۸	۲۸۶	۲۷۰	۳۰۲	۳۱۹	۳۱/۱
T <sub>8</sub>	دبی آبیاری	۱/۸۰	۱/۵۱	۱/۵۷	۱/۷۸	۱/۶۱	۱/۵۰	۱/۶۴	۱/۷۰	۱/۴۸	۱/۷۲	۱/۶۴	۱/۴۹	۱/۵۲	۱/۴۶	۱/۳۴	۱/۴۳	۱/۵۷	۱/۰
	مدت آبیاری	۵۰۵	۴۱۷	۴۰۷	۳۱۰	۳۲۴	۲۶۸	۳۴۹	۲۳۰	۳۱۸	۲۸۰	۲۹۱	۳۰۴	۲۴۴	۲۸۶	۲۹۹	۳۰۲	۳۲۱	۲۱/۸

جدول ۷. مقادیر  $t$  محاسبه شده برای آزمون معنی‌داری دو پارامتر  $a$  و  $K$

شماره آبیاری	پارامتر نفوذ																آزمایش
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	
T <sub>1</sub>	K	-۱/۴۷۴	-۱/۸۵۵	-۱/۳۰۹	-۱/۳۰۹	۱/۱۴۶	-۱/۳۰۹	-۱/۸۹۲	-۱/۰۱۸	-۲/۰۵۶	-۱/۲۷۳	۱/۷۲۹	-۱/۸۵۵	-۱/۸۹۲	-۱/۲۷۳	-۱/۸۵۵	
	a	۱/۶۱۸	۱/۴۸۲	۱/۵۰۸	۱/۳۹۳	-۱/۳۴۸	-۲/۲۹۴	۱/۵۱۲	۱/۴۳۵	۱/۳۰۹	۱/۰۵۴	-۱/۷۱۸	-۱/۷۲۵	۱/۷۴۸	-۱/۱۸۳	-۱/۰۶۶	
T <sub>2</sub>	K	۱/۴۰۷	۱/۲۴۰	۱/۹۶۲	-۱/۱۴۸	۱/۹۶۲	۱/۴۰۷	۱/۴۰۷	-	۱/۳۰	۱/۹۶۲	-۱/۵۳۶	۱/۱۳۰	-۱/۹۸۱	-۱/۴۲۶	-۱/۴۴۸	
	a	-۱/۳۴۳	-۱/۶۶۶	-۱/۸۲۴	-۱/۱۸۷	-۱/۹۳۶	-۱/۶۵۱	-۱/۵۳۰	-	-۱/۰۵۹	-۱/۰۲۷	۱/۴۵۹	۱/۶۲۸	۱/۴۵۵	۱/۰۳۴	۱/۱۲۷	
T <sub>3</sub>	K	۱/۶۳۱	۱/۶۳۱	۱/۶۹۹	۱/۹۳۲	-۱/۱۶۵	-۱/۹۳۲	-	۱/۰۰۱	۱/۶۹۹	-۱/۲۳۳	-۱/۲۳۳	۱/۴۶۶	-۱/۴۶۶	-۱/۲۳۳	-۱/۱۶۵	
	a	-۲/۰۵۳	-۱/۲۱۸	-۱/۱۵۸	-۱/۲۰۲	۱/۳۱۴	۱/۱۴۵	۱/۱۰۵	-۱/۵۹۰	۱/۳۷۸	۱/۱۳۶	۱/۵۸۹	۱/۳۴۷	۱/۵۸۹	۱/۰۷۴	-۱/۱۳۶	
T <sub>4</sub>	K	۱/۳۴۷	۱/۵۸۹	۱/۱۳۶	۱/۳۷۸	-۱/۵۹۰	۱/۱۰۵	۱/۵۸۹	۱/۳۱۶	-۱/۳۱۶	-۱/۸۳۲	۱/۱۳۶	-۱/۵۹۰	-۱/۸۳۲	-۱/۰۷۴	-۱/۱۳۶	
	a	-۱/۹۳۷	-۱/۳۱۰	-۱/۱۸۱	-۱/۰۰۶	۱/۵۰۹	-۱/۸۶۹	-۱/۶۶۵	۱/۵۱۶	۱/۳۵۳	۱/۸۰۳	-۱/۱۹۶	۱/۰۶۶	۱/۹۸۱	۱/۱۹۷	۱/۸۸۱	
T <sub>5</sub>	K	۱/۹۰۲	۱/۰۱۲	۱/۸۳۴	۱/۳۰۰	۱/۷۲۴	۱/۶۵۶	-۱/۰۵۶	-۱/۹۴۵	-۱/۹۴۶	-۱/۰۵۶	-۱/۷۶۸	-۱/۶۵۸	-۱/۵۹۰	-۱/۴۱۲	-۱/۵۹۰	
	a	-۲/۲۲۹	-۱/۲۴۰	-۱/۴۶۶	-۱/۰۷۱	-۲/۱۶۳	-۱/۲۷۱	-۱/۱۴۶	-۱/۵۵۸	۱/۶۲۱	-۱/۰۳۰	۱/۴۹۰	۱/۰۷۷	۱/۵۷۹	۱/۳۵۲	۱/۴۸۶	
T <sub>6</sub>	K	۱/۶۱۲	۱/۸۴۱	۱/۸۴۱	-	۱/۶۴۱	۱/۳۸۴	-۱/۷۵۹	-	-۱/۴۱۶	-۱/۲۱۶	۱/۲۶۹	۱/۴۱۲	۱/۷۵۹	-۱/۶۷۴	-۱/۶۴۵	
	a	-۱/۱۹۲	-۱/۲۶۸	-۱/۲۲۵	-	-۲/۱۷۶	۱/۳۳۶	-۱/۶۹۷	-	۱/۴۸۴	۱/۹۵۳	-۱/۱۷۶	۱/۵۸۹	-۲/۰۶۱	۱/۷۴۴	۱/۰۳۱	
T <sub>7</sub>	K	۱/۱۱۲	۱/۹۹۲	۱/۴۷۳	۱/۳۹۱	۱/۲۷۱	۱/۵۱۱	۱/۵۰	-۱/۴۱۳	۱/۶۳۱	-۱/۶۵۴	۱/۴۵۱	-۱/۵۳۳	۱/۸۷۲	-۱/۱۷۳	-۱/۴۵۱	
	a	-۱/۱۹۹	-۱/۰۹۰	-۱/۷۷۰	-۱/۵۶۸	-۱/۲۲۵۷	-۱/۳۳۴	-۱/۳۴۴	۱/۱۷۱	-۱/۰۲	۱/۶۰۲	۱/۴۴۵	۱/۳۷۳	-۱/۱۱۹	۱/۳۶۳	۱/۲۲۴	
T <sub>8</sub>	K	۱/۰۴۴	۱/۰۴۴	۱/۲۶۷	-۱/۱۲۱	-۱/۵۱۰	-۱/۱۲۱	۱/۶۵۵	-۲/۸۴۰	-۱/۱۲۱	-۱/۲۶۷	۱/۲۶۷	۱/۰۴۴	-۱/۵۱۰	-۱/۵۱۰	۱/۴۳۲	
	a	-۱/۳۸۴	-۱/۹۴۱	۱/۳۳۴	-۱/۱۲۵	۱/۴۰۴	۱/۱۱۷	۱/۴۳۹	۱/۳۳۶	۱/۱۸۴	-۱/۱۲۵	-۱/۲۱۸	۱/۹۳۴	۱/۱۹۸	۱/۲۵۵	-۱/۸۹۰	

نتیجه‌گیری

ضرایب منجر به وقوع حداکثر ۵٪ خطا خواهد شد. تغییرات دبی ورودی بر ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیز موثر بود. بررسی میزان و نحوه تاثیر تغییرات دبی ورودی بر پارامترهای نفوذ با نیازمند مطالعات تفصیلی بیش‌تری است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به این مهم پرداخته شود.

بررسی نتایج حاصل از تغییرات زمانی ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیز در ۱۶ نوبت آبیاری در طول یک فصل زراعی ذرت دانه‌ای در یک خاک لومی در کرج نشان داد که پارامترهای معادله کوستیاکف-لوئیز در طول فصل زراعی دارای تغییرات معنی‌داری نیستند و استفاده از میانگین این

REFERENCES

Abbasi, F., 2013. Principle of Flow in Surface Irrigation. *Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). IRAN.* (in Farsi).

Austin, N. and Prendergast J.B., 1997. Use of kinematic wave theory in model irrigation on cracking soil. *Irrigation Science*, 18(1):1-10.

Benham, B.L., Reddel, D.L. and Marek, T.H., 2000. Performance of three infiltration model under surge irrigation. *Irrigation Science*, 20:34-43.

Ebrahimian, H., Ghanbarian-Alavijeh, B., Abbasi, F. and Hoorfar, H., 2010. Two-point method for estimating infiltration parameters in furrow and border irrigation and comparison with other methods. *J. Water and Soil*, 24(4):690-698. (in Farsi).

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

Elliott, R.L., Walker, W.R. and Skogerboe, G.V. 1983. Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. *Trans. ASAE*, 26(6):1726-1731.

Emdad, M.M., Shojaeefar, M. and Fardad, H., 2008. Time affection of infiltration in furrow irrigation management. *J. Soil Research*, 24(2). (in Farsi).

Gates, K. and Clyma, W., 1984. Designing furrow irrigation system for improved seasonal performance. *Trans. ASAE*, 26(6):1817-1824.

Green, W.A. and Ampt, G.A., 1911. Studies on soil physics I. the flow of air and water through soils. *J. Agric Sci.*, 4:1-24.

Horton R.E., 1940. An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 5:399-417.

Jaynes, D.B. and Hunsaker, D.J., 1989. Spatial and temporal variability of water content and infiltration on a flood irrigated field. *Trans ASAE*, 32:1229-1238.

Karami, A., Homaii, M., Baybordi, M. and Mahmodian Shooshtari, M. 2013. Quantification water infiltration in soil parameters by scaling. *J. Water Research*, 6(11): 65-73. (in Farsi).

Kostiakov, A.V., 1932. On dynamic of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from dynamics point of view for purposes of a melioration. *Transactions of the Sixth Commission of International Society of Soil*

- Science*, Part A, 17-21.
- Machiwal, D., Madan, K.J. and Mal, B.C., 2006. Modeling infiltration and quantifying spatial soil variability in wasteland of Khoragpur, India. *BioSystem Engineering*, 95(4): 569-582.
- McClymont, D. and Raine, R., 1996. The predication of furrow irrigation performance using the surface irrigation model SIRMION. Australian Solutions, *Adelaide Convention and Exhibition Centre South Australia*, 14-16 May 1996: 1-10.
- Medina, J. and Martin, D., 1998. Infiltration model for furrow irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 124(2): 73-80.
- Mezencv, V.J., 1984. Theory of formation of the surface runoff. *Meteorologia Igridrologia*, 3:33-46.
- Michael, A.M., 1982. *Irrigation: Theory and Practice*. Orient Longman, New Delhi.
- Milhole, J.C., Pirol, M. and Benali, M., 1999. A furrow irrigation model to improve irrigation practices in the Ghrab valley of Morocco. *Agric. Water Manage.*, 42(1):65-80.
- Philip, J.R., 1957. The theory of infiltration 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.*, 84:257-264.
- Playán, E., Rodriguez, J. A., Garcia-Navarro, P. 2004. Simulation model for level furrows. I: Analysis of field experiments. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 130 (2), 106–112.
- Rasoulzadeh, A. and Sepaskhah, A.R., 2003. Scaled infiltration equation for furrow irrigation. *BioSystem Eng.*, 86:375-383.
- Raine, R., 1999. *Research, development and extention in irrigation*. National Center for Engineering in Agriculture. NCEA Publication, 179743/2:1-12.
- Rodriguez, J.A. 2003. Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. *Agric. Water Manage.*, 60, 227–239.
- Tabatabai, S.H., Neyshabouri, M.R., Fardad, H. and Liaghat, A.M., 2004. Evaluation of time and spatial variability of cross sections coefficient in furrow irrigation. *J. Agriculture Science and Natural Resource of Gorgan*. 11(2), 171-179. (in Farsi).
- Zapata, N and Playan, E., 2000. Elevation and infiltration in a level basin I. *Irrig. Sci.*, 19 (4), 155-164.