

## تحلیل شاخص‌های ارزیابی راندمان در جویچه‌های با شرایط نفوذ تجمعی یکنواخت و متغیر

فرزاد حق‌نظری<sup>۱</sup>، مهشید قنبریان علویجه<sup>۲\*</sup>، علی شینی‌دشتگل<sup>۳</sup> و سعید برومند نسب<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۱۵)

### چکیده

تغییرات نفوذپذیری خاک باعث تغییر در راندمان‌های آبیاری می‌شود؛ لذا تخمین آن در محاسبه راندمان‌های آبیاری، برآورد واقعی‌تری از شاخص‌های عملکرد آبیاری ارائه می‌دهد. در پژوهشی که در مزرعه ARC2-7 کشت و صنعت امیرکبیر در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ طی چهار نوبت آبیاری صورت گرفت؛ دو جویچه در شرایط نفوذ یکنواخت و نفوذ متغیر به طول ۱۴۰ و عرض ۱/۸۳ متر انتخاب شدند. در جویچه با فرض نفوذ یکنواخت دو فلوم تیپ دو، در ابتدا و انتهای آن تعبیه و نفوذ تجمعی با روش بیلان حجم تعیین شد. جویچه با شرایط متغیر به چهار قسمت با نصب پنج فلوم، تقسیم شد. با بررسی تغییرات مکانی میانگین نفوذ تجمعی، مقدار آن از مقطع اول تا چهارم برای آبیاری اول ۱۵ و برای آبیاری‌های بعدی، ۱۳ درصد کاهش یافت. تغییرات زمانی نفوذ تجمعی برای مقاطع اول و دوم، ۲۷ و ۳۰ درصد و برای مقاطع سوم و چهارم، ۲۶ درصد کاهش داشت. افزایش ۱۱ درصدی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کاهش ۷ درصدی جرم مخصوص ظاهری مبین تغییرات فیزیکی خاک است. تلفات رواناب سطحی از ۸ به ۱۸/۷۷ درصد در جویچه با فرض نفوذ یکنواخت و از ۱۰/۹۱ به ۱۹/۷۷ درصد در جویچه با لحاظ نفوذ متغیر، افزایش و راندمان کاربرد ۶ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، راندمان کاربرد، نفوذپذیری، تغییرات نفوذ.

۱ گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه آب و خاک، دانشگاه زابل

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

\*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.ghanbarian@ag.iut.ac.ir

## مقدمه

نفوذ، حساس‌ترین و اغلب مشکل‌ترین پارامتر برای ارزیابی در سیستم آبیاری سطحی است و خصوصیات آن نسبت به زمان و مکان متغیر است. این تغییرات باعث می‌شود؛ دسترسی به سطوح مناسب یکنواختی در آبیاری کمتر شده و اعمال راندمان‌های بالا در شرایط مزرعه میسر نباشد (۳). در آبیاری سطحی تابع نفوذ آب در خاک در طول فصل زراعی ثابت فرض می‌شود (۱۹) و روش‌های مختلف طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای، با فرض یکنواخت بودن تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌های نفوذ توسعه یافته‌اند (۲۴ و ۲۷). خصوصیات خاک به‌طور پیوسته در زمان و مکان در حال تغییر است. تغییرات مکانی خصوصیات خاک می‌تواند ناشی از عوامل اثرگذار طبیعی، زمین‌شناسی و تشکیل خاک باشند؛ اما برخی از این تغییرات ناشی از عوامل مدیریتی است (۱۸). نفوذ آب در خاک بیشتر تحت تأثیر شرایط سطح خاک و مشخصات منطقه انتقال (جایی است که آب در آن جریان می‌یابد) قرار دارد. ساختمان، بافت و درصد رطوبت خاک نیز بر قابلیت نفوذپذیری خاک تأثیرگذارند. شدت نفوذ آب در خاک عموماً طی فصل رشد تغییر می‌کند و این تغییرات باید در آبیاری در نظر گرفته شود (۱۳). گراسی (۹) با انجام آزمایش‌های نفوذپذیری در جویچه‌هایی در خاک‌های سنگین با دبی‌های ورودی مختلف، ملاحظه کرد در جویچه‌ها مقدار نفوذ به دبی جریان ورودی نیز بستگی دارد.

توجه به تغییرات نفوذ در پیشبرد اهداف آبیاری و جلوگیری از فرسایش و هدررفتن خاک ضروری است (۲۱). در پژوهشی که تغییرات زمانی و مکانی نفوذ آب در خاک در مزارع آبیاری شده با جریان‌های سیلابی، مورد مطالعه قرار گرفت (۱۱)؛ ضریب تغییرات نرخ نفوذ در طول مزارع آبیاری شده ۵۱ درصد بود. در مطالعه دیگری تغییرات زمانی نفوذ آب در خاک در طول فصل زراعی ۴۱ درصد برآورد شد (۲۳). نتایج پژوهشی دیگر نیز تغییرات زمانی نفوذ را در سطح معنی‌داری ۱ درصد، معنی‌دار دانست (۲۵). تغییرات مکانی

نفوذ بین دو منطقه متفاوت، به بافت خاک بستگی دارد؛ اما بیشتر تحت الشعاع تغییرات زمانی نفوذ در فصل زراعی قرار می‌گیرد؛ لذا تغییرات زمانی نفوذ در طی فصل زراعی، باید در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی مدنظر قرار گیرد (۵). تغییر خصوصیات فیزیکی خاک در قسمت‌های مختلف در طول جویچه طی فصل رشد باعث ایجاد تغییر در مقدار نفوذ در خاک و به‌دنبال آن شاخص‌های عملکرد آبیاری جویچه‌ای می‌شود (۲).

اغلب در آبیاری‌های اول ابتدای فصل زراعی، به‌دلیل تغییرات وسیع مقدار نفوذ تجمعی، پیش‌بینی کارایی و شاخص‌های عملکرد امکان‌پذیر نبوده و یا بسیار دشوار است (۱۰). استفاده از متوسط تغییرات زمانی نفوذ، می‌تواند سبب افزایش یکنواختی کاربرد آب به‌اندازه ۲۵ تا ۳۰ درصد شود (۱۲) و (۱۵). طبق نتایج پژوهشی که تغییرات مکانی و زمانی ضرایب نفوذ معادله کاستیاکوف-لویس در آبیاری جویچه‌ای مورد بررسی قرار گرفت؛ ضرایب نفوذ از لحاظ مکانی و زمانی تغییرات نامنظمی دارند و برای تعیین دقیق‌تر بازده کاربرد آبیاری جویچه‌ای، لحاظ کردن تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات نفوذ، ضروری است (۱۳).

در اغلب مطالعات مربوط به نفوذ و نفوذپذیری در شرایط آزمایشگاهی و خاک دست‌نخورده و یا به‌صورت نقطه‌ای، توسط استوانه‌های مضاعف و در شرایط بدون گیاه انجام شده و تغییرات نفوذ تجمعی در طول جویچه به‌صورت یکنواخت در نظر گرفته شده است. در پژوهش حاضر، تغییرات نفوذ در مزرعه و در حضور گیاه صورت گرفت. نفوذ آب در خاک در طول جویچه با شرایط متغیر اندازه‌گیری شده و با شرایط یکنواخت مقایسه شد. در نهایت اثر تغییرات نفوذ تجمعی در طول جویچه بر راندمان کاربرد، تلفات عمقی آب و رواناب سطحی مورد ارزیابی قرار گرفت. با اینکه نتایج در حالت کلی تری بررسی شده‌اند؛ در این پژوهش نمی‌توان اثرات نیشکر را نادیده گرفت؛ بی‌شک عمق توسعه ریشه، پراکندگی ریشه و.. در تغییرات نفوذ تأثیرگذارند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

پژوهش، در یکی از مزارع تحقیقاتی شرکت توسعه نیشکر واقع در جنوب اهواز در کشت و صنعت امیرکبیر، حد فاصل سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. این مرکز در محدوده مختصاتی با طول جغرافیائی ۴۸°۱۲' تا ۴۸°۳۰' و عرض جغرافیائی ۳۱°۱۵' تا ۳۱°۴۰' واقع شده است. آب آبیاری مزارع کشت و صنعت امیرکبیر از رودخانه کارون تأمین شده و شوری آن در طول فصل کشت تغییر می‌کند. آبیاری با عمق ثابت در اوایل فصل کشت به صورت ۱۰ روز یک‌بار و در ادامه به صورت ۷ روز یک‌بار انجام گرفت. با نمونه‌گیری از خاک منطقه، بافت خاک، شنی رسی سیلتی (۴۴/۹۵ درصد شن، ۳۱/۳۲ درصد رس و ۲۳/۷۳ درصد سیلت) تعیین شد. درصد رطوبت خاک به صورت وزنی در سه عمق (۳۳-۰، ۶۶-۳۳ و ۱۰۰-۶۶ سانتی‌متری) قبل از هر آبیاری اندازه‌گیری شد. با توجه به جرم مخصوص ظاهری خاک، ظرفیت ذخیره آب در خاک برای نوبت‌های آبیاری اول تا چهارم برآورد شد. پارامترهای رطوبت در حد ظرفیت زراعی به روش مزرعه‌ای و رطوبت در نقطه پژمردگی با روش صفحات فشاری اندازه‌گیری شد (۱۴). مشخصات فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

### تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

برای تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، نمونه‌های خاک خشک شده بدون کوبیدن از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد. سپس درون یک سری الک (به ترتیب از بالا به پایین ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌متر) به‌طور یکنواخت ریخته و در آب تکان داده شد. خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک شسته شده و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، خشک و وزن شدند. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، از رابطه زیر محاسبه شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (1)$$

که در آن  $\bar{x}_i$ : میانگین قطر خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک  $i$

(میانگین قطر سوراخ‌های الک بالایی و پایینی)،  $n$ : تعداد الک‌ها و  $W_i$ : نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک به‌کار برده شده در ابتدای آزمایش پس از کسر ذرات شن و سنگریزه است که از فرمول زیر محاسبه شد:

$$W_i = \frac{W_i - W_{i(s)}}{W_t - \sum_{i=1}^n W_{i(s)}} \quad (2)$$

که در آن  $W_i$ : وزن ذرات باقیمانده در دامنه  $i$ ،  $W_{i(s)}$ : وزن ذرات شن و سنگریزه در دامنه  $i$  و  $W_t$ : وزن آن خشک خاک است (۲۲).

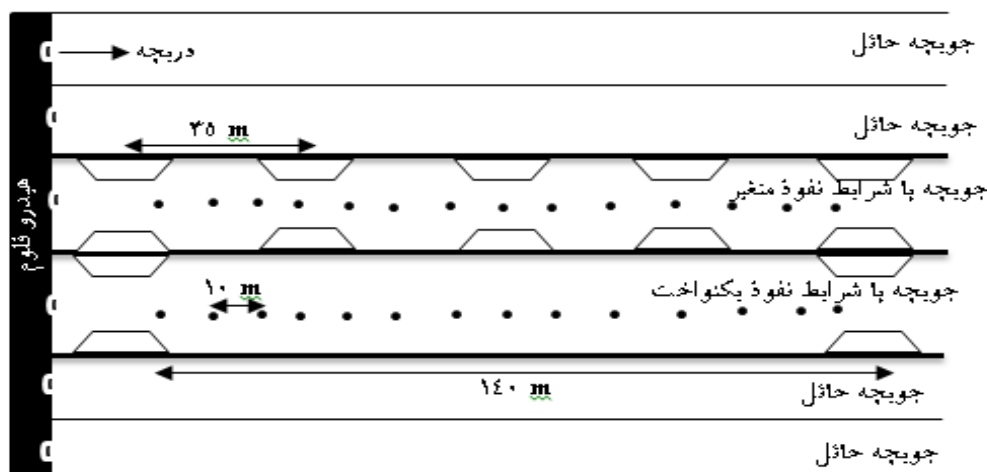
### روش اجرا و جانمایی طرح

آزمایش‌های نفوذ مطابق شکل ۱، در یک پلات مشتمل بر شش جویچه انجام شد.

از آنجا که در نفوذ آب به داخل خاک بیشتر حرکت عمودی آب به داخل خاک مورد نظر است؛ استفاده از جویچه حائل برای جلوگیری از نفوذ جانبی است. آزمایش فوق بر اساس نمونه‌ها به صورت زوجی انجام گرفت و آزمون‌های برگزیده نیز بر اساس نمونه زوجی انتخاب شدند. اگر تعداد آبیاری‌ها را تکرار در نظر بگیریم؛ ۲ تیمار و ۷ تکرار در این پژوهش لحاظ شده است. شدت جریان ورودی به جویچه‌ها ۱/۵۵ لیتر بر ثانیه، فاصله جویچه‌ها ۱/۸۳ متر و طول هر جویچه ۱۴۰ متر انتخاب شد. زمان پیشروی و پسروی در ۱۴ نقطه به فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری و ثبت شد. جریان ورودی و خروجی به جویچه توسط دو فلوم فایبر گلاس W.S.C تیپ دو تعبیه شده در ابتدا و انتهای جویچه اندازه‌گیری شد و پس از رسیدن جریان خروجی به حد ثابت، نفوذ پایه خاک اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری خصوصیات نفوذپذیری خاک و محاسبه نفوذ تجمعی از روش ورودی خروجی استفاده شد. برای بررسی تغییرات مکانی نفوذ در طول جویچه و تغییرات زمانی آن در طول یک فصل زراعی، با فرض متغیر بودن خصوصیات نفوذپذیری، جویچه به چهار قطعه با طول ۳۵ متر تقسیم شد و برای اندازه‌گیری جریان، پنج فلوم از نوع فایبرگلاس W.S.C تیپ دو به ترتیب به فواصل صفر، ۳۵، ۷۰، ۱۰۵ و ۱۴۰ متری از ابتدای جویچه قرار داده شد.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی خاک قبل از آبیاری

FC-PWP (% حجمی)	PWP (% حجمی)	FC (% حجمی)	جرم مخصوص ظاهری قبل از آبیاری (gr/cm <sup>3</sup> )	عمق خاک (cm)
۱۷/۱	۱۸/۴۸	۳۵/۵۸	۱/۶۱	۰-۳۳
۱۱/۷۶	۱۳/۵۵	۲۵/۳۶	۱/۵۰	۳۳-۶۶
۱۴/۲۱	۹/۷۶	۲۳/۹۷	۱/۵۴	۶۶-۱۰۰



شکل ۱. جانمایی طرح

از آب داده شده که به صورت رواناب از انتهای مزرعه خارج می‌شود و عبارت است از نسبت متوسط عمق رواناب مزرعه ( $D_R$ ) به متوسط عمق آب به کار برده شده ( $D_Z$ ):

$$TWR = \frac{D_R}{D_Z} \quad (3)$$

نسبت نفوذ عمقی (Deep Percolation Ratio) DPR: آن قسمت از آب داده شده است که به صورت تلفات عمقی از انتهای ناحیه ریشه خارج می‌شود و عبارت است از نسبت متوسط عمق نفوذ عمقی ( $D_p$ ) به متوسط عمق آب به کار برده شده ( $D_Z$ ):

$$DPR = \frac{D_p}{D_Z} \quad (4)$$

راندمان کاربرد آب ( $E_a$  Application Efficiency): درصدی از آب داده شده که در ناحیه ریشه برای استفاده بعدی گیاه ذخیره شده است؛ را بیان می‌کند و عبارت است از نسبت متوسط عمق آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه ( $D_p$ ) به متوسط عمق آب به کار برده شده در مزرعه ( $D_Z$ ):

شدت جریان ورودی به قطعات به وسیله فلوم بالادست و شدت جریان خروجی از آنها، با فلوم پایین دست هر کدام اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری جریان در فلوم‌ها بر مبنای سنجش عمق جریان در آنها صورت گرفت. با استفاده از هیدروگراف‌های جریان‌های ورودی و خروجی، مقادیر حجم کاربردی، حجم رواناب متوسط، میزان نفوذ آب هر جویچه و متوسط نفوذ آب برای هر آبیاری به دست آمد. در این پژوهش، برای یک جویچه، سرعت نفوذ نهایی در کل طول جویچه یکسان در نظر گرفته شد؛ اما در جویچه با شرایط نفوذپذیری متغیر، فرض شد که سرعت نفوذ در طول جویچه می‌تواند؛ دستخوش تغییرات شود و موجب خطا در اندازه‌گیری و محاسبات و در نهایت موجب تغییر در راندمان‌های اندازه‌گیری شود.

#### شاخص‌های ارزیابی راندمان

نسبت رواناب سطحی (Tail Water Ratio) TWR: آن قسمت

۲ اختلاف میانگین‌ها در حدود ۰/۰۵ است، آزمون این مقدار تغییر را معنی‌دار تشخیص نمی‌دهد.

فرسایش خاک در ابتدای جویچه به علت سرعت زیاد آب در ابتدای جویچه، منجر به حرکت ذرات خاک شده و قبل از خارج شدن آب از جویچه در مقاطع بعدی رسوب کرده و موجب کاهش مقدار نفوذ در طول جویچه می‌شود (۸). همچنین توزیع نامناسب ذرات خاک در طول جویچه نیز از دلایل اصلی کاهش میزان نفوذ تجمعی در طول جویچه است (۷ و ۱۷). در این تحقیق به دلیل اینکه مقایسه دو به دو میانگین گروه‌ها مورد استفاده است و آزمون توکی مقدار خطای کلی برای مجموعه مقایسه‌های دو به دو را کنترل می‌کند و از طرف دیگر تقریباً سخت‌گیرتر از سایر آزمون‌های تعقیبی است استفاده از این روش مناسب‌تر است (۱).

با توجه به شکل ۲، از آنجایی که ماهیت نفوذ در آبیاری جویچه‌ای متغیر تدریجی است؛ با پیشروی آب از یک مقطع به مقطع دیگر، مقدار نفوذ کاهش پیدا می‌کند. البته برای هر آبیاری کاهش مقدار نفوذ در مقاطع دارای شیب ملایمی است که این شیب ملایم بر صحیح بودن آزمون‌ها دلالت دارد. با توجه به یکنواختی شرایط جویچه در هر نوبت آبیاری، پدیده نشت تأثیر چندانی بر تغییرات مکانی نفوذ تجمعی نخواهد داشت؛ اما به دلیل اینکه در هر نوبت آبیاری مقدار دبی ورودی به هر جویچه نسبت به جویچه قبل کمتر است (به دلیل نفوذ در طول جویچه) در نتیجه حجم آب کمتری به مقطع بعدی وارد می‌شود و این موضوع باعث کاهش مقدار نفوذ در مقاطع بعدی می‌شود. در تحقیق مشابهی، تغییرات نفوذ تجمعی در طول جویچه را به عواملی همچون سرعت و زمان نفوذ، هندسه شیار، شیب مزرعه و تغییرات شیار نسبت می‌دهد (۲۶).

**تغییرات زمانی نفوذ تجمعی در جویچه با شرایط نفوذ متغیر**  
با توجه به جدول ۲، میانگین تغییرات زمانی نفوذ تجمعی دارای روند کاهشی است. کاهش زمانی نفوذ تجمعی برای مقطع اول از آبیاری اول تا آبیاری چهارم ۲۷ درصد بوده است که این

$$E_a = \frac{D_d}{D_z} \quad (5)$$

توزیع یکنواختی (DU) (Distribution Uniformity): عبارت است از نسبت متوسط عمق نفوذ در یک چهارم کمترین مقادیر اندازه‌گیری شده ( $D_1$ ) به متوسط عمق آب به کار برده شده در مزرعه ( $D_z$ ) (۲۰).

$$DU = \frac{D_1}{D_z} \times 100 \quad (6)$$

## نتایج و بحث

### تغییرات مکانی و زمانی نفوذ تجمعی در جویچه با شرایط نفوذ متغیر

در آزمایش نفوذپذیری به روش ورودی-خروجی با نصب وسیله اندازه‌گیری جریان (فلوم W.S.C) در ابتدا و انتهای جویچه شدت جریان‌های ورودی و خروجی و در نتیجه حجم آب ورودی و خروجی اندازه‌گیری و با محاسبه حجم آب ذخیره سطحی و حجم آب خروجی از انتهای جویچه، حجم آب نفوذی محاسبه شد. جدول ۲، تغییرات نفوذ تجمعی جویچه با شرایط نفوذ متغیر در قطعه‌های مختلف برای هر دور آبیاری را نشان می‌دهد.

### تغییرات مکانی نفوذ تجمعی در جویچه با شرایط نفوذ متغیر

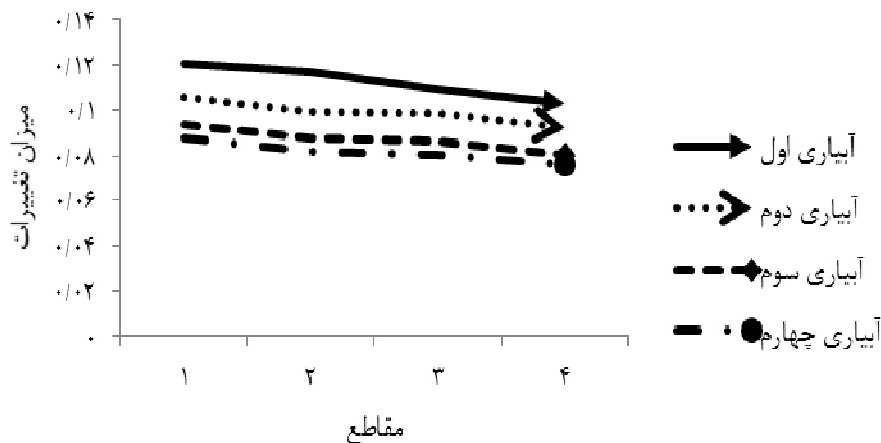
با توجه به جدول ۲، میانگین تغییرات مکانی نفوذ تجمعی دارای روند کاهشی است. کاهش مکانی میانگین نفوذ تجمعی از مقطع اول تا مقطع چهارم به ترتیب برای آبیاری اول ۱۹ درصد کاهش یافته و مقدار آن برای آبیاری‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۱۵ و ۱۲ درصد کاهش یافته است. به منظور بررسی آماری تغییرات مکانی نفوذ تجمعی از تحلیل واریانس آزمون‌های توکی استفاده شد. با توجه به جدول ۳، مشاهده می‌شود؛ تغییرات مکانی نفوذ در طول جویچه در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار نیست. عدم معنی‌داری آزمون کاهش میزان نفوذ در طول جویچه را نقض نمی‌کند؛ بلکه بر این دلالت دارد که تغییرات کاهش میزان نفوذ از یک مقطع به مقطع دیگر بسیار اندک است. به طور مثال بین مقطع ۱ و مقطع

جدول ۲. تغییرات نفوذ تجمعی جویچه با شرایط نفوذ متغیر در قطعه‌های مختلف برای هر دور آبیاری

شماره آبیاری	نفوذ تجمعی قطعه اول (m)	نفوذ تجمعی قطعه دوم (m)	نفوذ تجمعی قطعه سوم (m)	نفوذ تجمعی قطعه چهارم (m)	میانگین نفوذ تجمعی در طول جویچه (m)	کاهش نفوذ تجمعی از ابتدا به انتهای جویچه (درصد)	ضریب تغییرات نفوذ تجمعی در طول جویچه
آبیاری اول	۰/۱۲۲	۰/۱۱۸	۰/۱۰۹۲	۰/۰۹۹	۰/۱۱۲	۰/۱۸۸	۰/۰۱
آبیاری دوم	۰/۱۰۹	۰/۰۹۹	۰/۰۹۳	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۵۶	۰/۰۰۶
آبیاری سوم	۰/۰۹۳	۰/۰۸۷	۰/۰۸۶	۰/۰۸۱	۰/۰۸۷	۰/۱۲۹	۰/۰۰۵
آبیاری چهارم	۰/۰۸۷	۰/۰۸۲	۰/۰۸۱	۰/۰۷۶	۰/۰۸۱	۰/۱۲۶	۰/۰۰۴
میانگین نفوذ در طول فصل زراعی	۰/۱۰۳	۰/۰۹۶	۰/۰۹۳	۰/۰۸۸			
کاهش نفوذ تجمعی در طول فصل زراعی (درصد)	۰/۲۸۶	۰/۳۰۵	۰/۲۵۶	۰/۲۶۹			
ضریب تغییرات نفوذ تجمعی در طول فصل زراعی	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱			

جدول ۳. بررسی تغییرات مکانی نفوذ با آزمون توکی

آزمون	مقطع (۱)	مقطع (۲)	اختلاف میانگین (۲-۱)	سطح معنی‌داری
Tukey HSD		۲	۰/۰۰۵۳۶	۰/۹۴۸
	۱	۳	۰/۰۰۸۲۲	۰/۸۴
		۴	۰/۰۱۳۷۹	۰/۵۳
		۱	-۰/۰۰۵۴	۰/۹۴۸
	۲	۳	۰/۰۰۲۸۶	۰/۹۹۱
		۴	۰/۰۰۸۴۳	۰/۸۳۱
		۱	-۰/۰۰۸۲	۰/۸۴
	۳	۲	-۰/۰۰۲۹	۰/۹۹۱
		۴	۰/۰۰۵۵۶	۰/۹۴۲
		۱	-۰/۰۱۳۸	۰/۵۳
	۴	۲	-۰/۰۰۸۴	۰/۸۳۱
		۳	-۰/۰۰۵۴	۰/۹۴۲



شکل ۲. تغییرات مکانی نفوذ تجمعی

جدول ۴. تست نمونه‌های زوجی برای سنجش تغییرات زمانی نفوذ

زوج‌ها	مقاطع	اختلاف زوج‌ها		شاخص t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
		میانگین	انحراف معیار			
زوج ۱	مقطع ۱ - مقطع ۲	۰/۰۰۵۳۵۹۷۵	۰/۰۰۱۳۴۳۵۸۸	۷/۹۷۸	۳	۰/۰۰۴
زوج ۲	مقطع ۱ - مقطع ۳	۰/۰۰۸۲۲۴۲۵	۰/۰۰۲۱۸۰۶۰۸	۷/۵۴۳	۳	۰/۰۰۵
زوج ۳	مقطع ۱ - مقطع ۴	۰/۰۱۳۷۸۱۷۵	۰/۰۰۲۴۲۷۶۵۴	۱۱/۳۵۹	۳	۰/۰۰۱
زوج ۴	مقطع ۲ - مقطع ۳	۰/۰۰۲۸۶۴۵	۰/۰۰۳۴۵۷۰۸۲	۱/۶۵۷	۳	۰/۰۴۹۶
زوج ۵	مقطع ۲ - مقطع ۴	۰/۰۰۸۴۲۷۷۵	۰/۰۰۳۶۳۱۴۰۲	۴/۶۴۲	۳	۰/۰۱۹
زوج ۶	مقطع ۳ - مقطع ۴	۰/۰۰۵۵۶۳۲۵	۰/۰۰۰۴۸۱۷۰۸	۲۳/۰۹۸	۳	۰

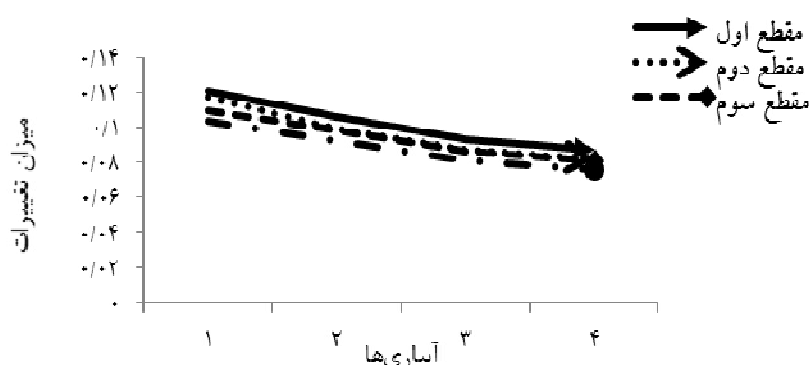
پژوهش‌ها کاهش مقدار نفوذ پس از آبیاری اول را به دلیل مسدود شدن منافذ خاک با ذرات گل و لای بیان کرده‌اند (۳). از طرفی سله‌بستن خاک به دلیل تخریب ساختمان خاک سطحی نیز باعث کاهش نفوذ تجمعی در طول جویچه می‌شود. پدیده نشت و تراکم را نیز می‌توان از عوامل کاهش مقدار نفوذ در هر آبیاری دانست. بررسی ضریب تغییرات نفوذ تجمعی در طول و عرض مزرعه در آزمایش‌های مرحله دوم نشان داد؛ تغییرات نفوذ تجمعی در طول جویچه بیشتر از عرض مزرعه است. به طوری که ضریب تغییرات نفوذ تجمعی در طول جویچه طی سه نوبت آبیاری اول تا سوم به ترتیب برابر ۰/۰۱۶، ۰/۰۱۶ و ۰/۰۱۳ و در عرض مزرعه برای هر سه نوبت آبیاری برابر ۰/۱۱ بود. بعد از انجام چند آبیاری و پس از آنکه شرایط زمین

روند برای مقطع دوم ۳۰ درصد و برای مقاطع سوم و چهارم از آبیاری اول تا آبیاری چهارم، ۲۶ درصد است. به منظور بررسی آماری تغییرات زمانی مقدار نفوذ تجمعی، از آزمون تی استیودنت استفاده شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۵، تغییرات زمانی مقدار نفوذ در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار شد. روند تغییرات آن در شکل ۳، نشان داده شده است. شکل ۳، نشان می‌دهد که تغییرات زمانی نفوذ تجمعی دارای روند کاهشی بوده است. به دلیل نشست خاک بعد از آبیاری نوبت اول، درصد کاهش نفوذ تجمعی و پایه خاک بین آبیاری اول و دوم بیشتر از بقیه نوبت‌های آبیاری بود. به طوری که ضریب تغییرات نفوذ تجمعی در جویچه متغیر از ۰/۰۱۶ در آبیاری نوبت اول به ۰/۰۱۰ در آبیاری نوبت چهارم یافت. در برخی از

جدول ۵. شاخص‌های ارزیابی راندمان

آبیاری	شاخص‌های ارزیابی جویچه متغیر				شاخص‌های ارزیابی جویچه یکسان			
	TWR%	DPR%	EA%	DU%	TWR%	DPR%	EA%	DU%
۱	۱۰/۹۱	۳۹	۵۰	۷۳/۷۹	۸	۳۸	۵۴	۷۳/۷۹
۲	۱۴/۰۳	۴۲/۹۷	۴۳	۷۳/۸۹	۱۷/۴۴	۳۱/۰۳	۴۷/۵	۷۳/۸۹
۳	۱۷/۶۱	۲۷/۳۷	۵۵	۷۳/۹۸	۱۴/۹۷	۲۶/۹۷	۵۸	۷۳/۹۸
۴	۱۹/۷۷	۲۱/۸۴	۵۸	۷۳/۹۸۲	۱۸/۷۷	۲۱/۱۸	۶۰	۷۳/۹۸۲

$$*TWR = \frac{D_R}{D_Z}, \quad **DPR = \frac{D_P}{D_Z}, \quad ***E_a = \frac{D_d}{D_Z}$$



شکل ۳. تغییرات زمانی نفوذ تجمعی در هر مقطع

خشک به علت محبوس شدن هوا، سبب متلاشی شدن خاکدانه‌ها و افزایش فرسایش می‌شود. خیس شدن سریع در جویچه‌ها، یکی از عوامل مهم تخریب خاکدانه‌ها و کاهش نفوذ است.

#### ارزیابی شاخص‌های راندمان در جویچه‌های با شرایط نفوذ یکنواخت و متغیر

نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی جویچه‌ها که شامل توزیع یکنواختی (DU)، راندمان کاربرد (AE)، نسبت نفوذ عمقی (DPR) و نسبت رواناب سطحی برای دوجویچه با شرایط نفوذ تجمعی متغیر و یکنواخت بوده در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که یکنواختی توزیع در جویچه متغیر برای آبیاری نوبت اول برابر ۶۱ درصد بوده و مقدار آن در جویچه یکنواخت برابر با ۷۳/۷۹ درصد، همچنین مقادیر راندمان کاربرد، نسبت نفوذ عمقی و نسبت رواناب سطحی برای آبیاری اول در جویچه متغیر

پایدارتر شد، تغییرات نفوذپذیری کاهش یافته و این امر معمولاً در نیمه دوم آبیاری‌ها اتفاق می‌افتد و این کاهش در تغییرات نفوذپذیری لزوماً به صورت خطی نیست (۴). کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به میزان ۱۱ درصد و افزایش جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده به میزان ۷ درصد در این پژوهش، مبین تخریب لایه سطحی خاک و تغییرات فیزیکی در نتیجه تماس و برخورد آب با خاک است. فشردگی خاک از عوامل مؤثر بر کاهش نفوذپذیری در خلال یک فصل زراعی است که باعث کاهش پارامتر نفوذپذیری نهایی خاک ( $f_0$ ) می‌شود (۱۶). اندازه‌گیری‌های نفوذ نهایی خاک ( $f_0$ ) نشان داد؛ روند تغییرات نفوذ نهایی نیز به صورت کاهشی بوده است و مقدار نفوذ نهایی خاک در آبیاری چهارم به میزان ۲۵ درصد نسبت به آبیاری اول کاهش یافت که در نهایت موجب کاهش میزان نفوذ تجمعی شد. پژوهش‌های مختلف (۶، ۲۳ و ۲۸) نشان داد که خیس‌شدگی سریع خاک‌های



این امر به نوبه خود تخمین راندمان‌های آبیاری را با مقداری خطا همراه می‌سازد. در پژوهش حاضر تغییرات نفوذ تجمعی به منظور تأثیر آن بر شاخص‌های ارزیابی در جویچه‌ها طی فصل رشد مورد ارزیابی قرار گرفت تا با توجه به تغییرات آن، زمان مناسب و مورد نیاز آبیاری برای در اختیار قرار دادن آب کافی در منطقه ریشه گیاه برآورد شود. نتایج نشان داد که نفوذ تجمعی خاک نسبت به زمان و مکان روندی کاهشی را دنبال می‌کند. در ضمن درصد کاهش نفوذ تجمعی بین آبیاری اول و دوم بیشتر از بقیه آبیاری‌ها بوده است. با گذر زمان طی فصل رشد ضریب تغییرات مذکور از ۰/۱۶ در آبیاری اول به ۰/۱۰ در آبیاری چهارم کاهش یافت. همچنین نسبت تلفات عمقی در هر دو جویچه روندی کاهشی را دنبال کرد؛ به طوری که مقدار آن برای جویچه یکنواخت از ۳۸ درصد به ۲۱/۱۸ و برای جویچه متغیر از ۳۹ درصد ۲۱/۸۴ درصد تقلیل یافت. نتایج به دست آمده از این پژوهش بیانگر آن است که تغییرات زمانی نفوذ تجمعی سهم بسزایی در تلفات رواناب سطحی دارد و مقدار آن از ۸ به ۱۸/۷۷ درصد در جویچه با فرض نفوذ یکنواخت و از ۱۰/۹۱ به ۱۹/۷۷ درصد در جویچه با لحاظ نفوذ متغیر افزایش یافت. همچنین در بررسی نتایج مشخص شد؛ راندمان کاربرد در جویچه با شرایط نفوذ تجمعی متغیر کمتر از جویچه با فرض نفوذ یکنواخت است. علت این امر آن است که نفوذ آب در کل جویچه یکنواخت نبوده و مقدار آن نسبت به زمان و مکان متغیر بوده از طرفی چون در شرایط یکنواخت نفوذ را خطی در نظر می‌گیریم (وقتی سرعت نفوذ پایه در طول جویچه ثابت در نظر گرفته شود؛ نفوذ تجمعی که ارتباط مستقیمی با سرعت نفوذ در طول جویچه دارد؛ به نسبت برابری کاهش پیدا کرده و حالت خطی به خود می‌گیرد)؛ راندمان به دست آمده تقریبی از راندمان واقعی است؛ ولی در شرایط متغیر در نقاط مختلف طول جویچه مقدار به دست آمده برای راندمان کاربرد به واقعیت نزدیک‌تر است. تغییرات نفوذ در طول فصل رشد از یک الگوی کاهشی پیروی کرده و به تبع آن شاخص‌های ارزیابی را

به ترتیب برابر با ۵۰، ۳۹ و ۱۰/۹۱ درصد است که مقادیر آن برای جویچه یکنواخت برابر با ۵۴، ۳۸ و ۸ درصد است. بررسی شاخص‌های ارزیابی جویچه‌ها در دو حالت متغیر و یکنواخت نشان داد؛ تغییرات نفوذ تجمعی در خاک سبب کاهش یکنواختی توزیع و راندمان کاربرد آب و افزایش تلفات عمقی آب می‌شود. در مرحله اول آزمایش‌ها در آبیاری نوبت اول که ضریب تغییرات نفوذ تجمعی ۰/۱۶ بود راندمان یکنواختی توزیع و کاربرد آب به ترتیب ۱۲/۷۹ و ۴ درصد کمتر و تلفات عمقی آب یک درصد بیشتر از حالت یکنواخت بودند. اما با کاهش ضریب تغییرات نفوذ تجمعی در آبیاری نوبت چهارم، اختلاف شاخص‌های ارزیابی جویچه‌ها در دو حالت متغیر و یکنواخت، برای یکنواختی توزیع و راندمان کاربرد آب به ترتیب به ۲/۹۸ و ۲ درصد و برای تلفات عمقی به ۰/۶۶ درصد کاهش یافت که بیانگر نزدیک‌تر شدن شاخص‌های ارزیابی در دو حالت متغیر و یکنواخت است. وقتی در شرایط خاک مرطوب آبیاری انجام شود؛ به دلیل کاهش نگهداشت آب خاک، تلفات آب زیاد شده و مقادیر رطوبت اولیه، راندمان کاربرد آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ به طوری که مقدار آن از آبیاری نوبت اول تا اواسط دوره رشد به تدریج کاهش یافته و از آن به بعد با گسترش فعالیت ریشه‌ها افزایش می‌یابد. همانطور که ذکر شد؛ عمق آبیاری ثابت ولی در ابتدای فصل به صورت ۱۰ روز یک‌بار و در ادامه به صورت ۷ روز یک‌بار بر اساس برنامه‌ریزی کشت و صنعت امیرکبیر انجام گرفت. تلفات عمقی و رواناب سطحی نیز تا اواسط دوره رشد روندی افزایشی و از آن به بعد روندی کاهشی را دنبال می‌کنند.

### نتیجه‌گیری

تغییر خصوصیات نفوذ آب در خاک در طول جویچه و طی فصل رشد می‌تواند منجر به ایجاد تغییر در شاخص‌های عملکرد آبیاری جویچه‌ای شود. با این حال برای ساده‌سازی در اندازه‌گیری‌های صحرائی معمولاً خصوصیات نفوذپذیری خاک را در تمام نقاط طول جویچه یکسان فرض می‌کنند؛ که

### سیاسگزاری

نگارندگان این پژوهش از قطب علمی مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز که هزینه انجام پروژه را متقبل شدند؛ همچنین از مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان به دلیل همکاری در امور اجرایی پروژه نهایت سپاس و امتنان را دارند.

تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا حجم رواناب تولید شده در انتهای فصل بیشتر از ابتدای فصل خواهد شد که با برگرداندن این رواناب و استفاده مجدد از آن می‌توان کاهش حجم آب نفوذ کرده را از طریق افزایش زمان آبیاری جبران کرد. نتایج نشان داد؛ در صورت ثابت فرض کردن نفوذ در طول جویچه برای هر کدام از شاخص‌های ارزیابی EA، DPR، TWR، DU نسبت به حالت نفوذ در حالت متغیر به ترتیب ۲/۹۱، ۱، ۴ و ۱۳/۷۹ درصد خطا وجود داشت.

### منابع مورد استفاده

1. Abdi, H. and L. J. Williams. 2010. Newman-Keults test and Tukey test. Encyclopedia of Research Design. Thousand Oaks. CA: Sage. 1-11.
2. Bavi A., S. Boroomand Nasab and A. A. Naseri. 2014. The effects of spatial variability of infiltration rate along a furrow on furrow irrigation efficiencies. *Irrigation sciences and engineering (Scientific Journal of Agriculture)* 37(2): 39-50. (In Farsi)
3. Childs, J. L., W. W. Wallender and J. W. Hopmans. 1993. Spatial and seasonal variation of furrow infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 119(1): 74-90.
4. Elliot, R. I. and D. E. Eisenhauer. 1983. Volume balance techniques for measuring infiltration in surface irrigation Chicago. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers. III: 83-2520. (Presented at the 1983 Winter Meeting of the ASAE Chicago III).
5. Elliot, R. L. and W. R. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transactions of the ASAE* 25(2): 396-400.
6. Emdad, M. R., H. Shahabi-far and H. Fardad. 2006. Effect of temporal variability of infiltration on the management of furrow irrigation. *Journal of Soil and Water Science* 21(2): 319-326. (In Farsi).
7. Fernandez-Gomez, R., L. Mateos and J. V. Giraldez. 2004. Furrow irrigation erosion and management. *Irrigation Science* 23: 123-131.
8. Furman, A., A. W. Warrick, D. Zerihun and C. A. Sanchez. 2006. Modified Kostiakov infiltration function: Accounting for initial and boundary conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 132(6): 587-596.
9. Grassi, C. G. 1972. Infiltration characteristics of furrow irrigation in a heavy Soil. *Wagenigen* 72(7): 115-118.
10. Izadi, B., D. Studer and I. MC-Cann. 1991. Maximizing setwide furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy. *Transaction of the ASAE* 34(5): 2006-2014.
11. Jaynes, D. B. and D. J. Hunsaker. 1989. Spatial and temporal variability of water content and infiltration on a flood irrigated field. *Transaction of the ASAE* 32: 1229-1238.
12. Kanya, L. and R. J. Smith. 2006. Real-time prediction of soil infiltration characteristics for the management of furrow irrigation. *Irrigation Science* 25(1): 33-43.
13. Kazeroonian, S. M., F. Abbasi and H. Sedghi. 2017. A statistical study of infiltration parameters variations of Kostiakov-Lewis equation in furrow irrigation during three farming seasons. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(4): 83-101. (In Farsi)
14. Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. In: Klute, A. (Eds), Methods of Soil Analysis. Part 1. *American Society of Agronomy* 9: 635-622
15. Langat, R., R. Smith and S. R. Raine. 2008. Estimating the furrow infiltration characteristics from a single advance point. *Irrigation Science* 26(5): 367-374.
16. Li, Y., J. N. Tullberg and D. M. Freebrian. 2001. Traffic and residue cover effects on infiltration. *Australian Journal of Soil Research* 39(2): 239-247.
17. Maleki, A. 2004. Investigation of Seasonal and spatial variation of infiltration in Furrow irrigation in the southern Ahwaz sugar cane lands. Ph. D. dissertation, Shahid Chamran University of Ahwaz. (In Farsi)
18. Maroufpoor, E., A. Seyedzadeh and M. Behzadynasab. 2017. Investigation of the accuracy of Non-point infiltration measurement methods in designing of furrow irrigation system. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(2): 257-

271. (In Farsi).
19. Medina, J. and D. Martin. 1998. Infiltration model for furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 124(2): 73-80.
20. Merriam, J. L. and J. Keller. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Agricultural and Irrigation Engineering Department. Utah State University. Logan. Utah.
21. Mirzaee, S., A. A. Zolfaghari, M. Gorji, M. Dyck and S. Ghorbani Dashtaki. 2013. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(5): 681-693.
22. Mollaei, M., H. Bashari, M. Basiri and M. R. Mosaddeghi. 2015. Soil structural stability assessment using wet-sieving method in selected rangeland sites in Isfahan province. *Journal of Hydrology and Soil Science* 18(4): 121-133. (In Farsi).
23. Raine, R. and J. MC-Clymont. 1997. The development of guidelines for surface irrigation in areas with variable infiltration. Proceeding of Australian Society of Sugarcane Technologists.
24. Reddy, J. M. and W. Clyma. 1981. Optimal design of furrow irrigation systems. *Transaction of the ASAE* 24(3): 617-623.
25. Tabatabaei, S. H., H. Fardad, M. R. Neyshabory and A. Liaghat. 2004. Seasonal and spatial variation of furrow cross section. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 11(2): 171-179. (In Farsi).
26. Wallender, W. W. 1986. Furrow model with spatially varying infiltration. *Transaction of the ASAE* 29(4): 1012-1016.
27. Wu, I. P. and T. Liang. 1970. Optimal design of furrow length of surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage, ASCE* 96(3): 319-332.
28. Zapata, N. and E. Playan. 2000. Elevation and infiltration in a level basin. *Irrigation Science* 19(4): 155-164.

## The Analysis of the Indexes of Furrow Irrigation Efficiency Evaluation for the Condition of Uniform and Variable Infiltration

F. Haghazari<sup>1</sup>, M. Ghanbarian Alavijeh<sup>2\*</sup>, A. Sheini Dashtegol<sup>3</sup> and S. Boroomand Nasab<sup>3</sup>

(Received: March 3-2020 ; Accepted: August 5-2020)

### Abstract

Changes in soil infiltration cause changes in irrigation efficiencies; therefore, estimating it in calculating irrigation efficiencies provides a more accurate estimate of irrigation performance indicators. In a study conducted on ARC2-7 farm in Amirkabir agro-industry in the 2010-2011 crop year, during four irrigations; two furrows were selected in terms of uniform infiltration and variable infiltration with a length of 140 and a width of 1.83 m. In the furrow assuming uniform infiltration two flume type II, at the beginning and end of it, were installed and the cumulative infiltration was determined by the volume balance method. The furrow with variable conditions was divided into four sections by installing five flumes. By examining the spatial variations of the mean cumulative infiltration, its value decreased from the first to the fourth section for the first irrigation by 15% and for the subsequent irrigations by 13%. Temporal changes of cumulative infiltration decreased by 27 and 30% for the first and second sections and by 26% for the third and fourth sections. An 11% increase in the average weight of the aggregate diameter and a 7% decrease in bulk density indicate physical changes in the soil. Surface runoff losses increased from 8 to 18.77% in the furrow assuming uniform infiltration and from 10.91 to 19.77% in the furrow with variable infiltration, and application efficiency decreased by 6%.

**Keywords:** Furrow irrigation, application efficiency, Permeability, infiltration variations

---

1. Irrigation and Drainage Department, College of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.

2. Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.

3. Irrigation and Drainage Department, College of Water Sciences & Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Corresponding author, Email: mahshid.ghanbarian@gmail.com