

## Application of Scaling in Estimating Soil Infiltration Characteristics

MOHAMMAD TAHA POOZAN<sup>1</sup>, MOHAMMAD MAHDI CHARI<sup>2\*</sup>, PEIMAN AFRASIAB<sup>3</sup>, PARISA KAHKHAMOGHADAM<sup>4</sup>

1. Msc student, Water Engineering Department, Faculty of water and soil, University of Zabol, Zabol, Iran,
  2. Assistance Professor, Water Engineering Department, Faculty of water and soil, University of Zabol, zabol, Iran,
  3. Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of water and soil, University of Zabol, zabol, Iran
  4. Faculty member, Water Engineering Department, Faculty of water and soil, The University of zabol, zabol, Iran
- (Received: Dec. 25, 2018- Revised: Feb. 13, 2019- Accepted: March. 2, 2019)

### ABSTRACT

One of the methods for determination of infiltration equation parameters in border irrigation is the double rings. In this method, the parameters of the infiltration equations can be obtained by measuring the amount of infiltration at different times. Moreover, in recent years, the scale-up has been used to express the dynamics of water in the soil and reduce the required measurements. The objective of this study is to obtain the parameters of the Kostiakov-Luis infiltration equation using minimum field measurements. This research was performed using data from 15 double ring testing in different borders of the field in Zabol University. In this research to obtain the infiltration equation in each point, a reference infiltration equation with only one infiltration measuring time was used. In order to evaluate the accuracy of the method, the mean square error (RMSE) and coefficient of determination ( $R^2$ ) were used for estimating cumulative infiltration. The results showed that the reference curve choice was arbitrary and each of the 15 test points could be selected as the reference curve. The closeness of ( $R^2$ ) to one (0.99) and also low RMSE (0.001) indicate the high accuracy of the method presented in this study. Also, the scale factors obtained based on different infiltration times (0.5, 1, 2, 3 and 4 hours) are not very different. The advantage of the relationship presented in this study is requiring less input data and easier measurement as compared to other previous functions.

**Keywords :** Scaling factor, Double ring, Kostiakov-Lewis.

## کاربرد مقیاس سازی در برآورد مشخصات نفوذ خاک

محمد طاهر یوزن<sup>۱</sup>، محمد مهدی چاری<sup>۲\*</sup>، پیمان افراسیاب<sup>۲</sup>، پریسا کهخامقدم<sup>۲</sup>

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲-استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۴- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۲/۱۱)

### چکیده

یکی از روش های تعیین پارامترهای معادله نفوذ در آبیاری نواری، استوانه مضاعف است. در این روش با استفاده از اندازه گیری مقدار نفوذ در زمان های مختلف می توان پارامترهای معادلات نفوذ را به دست آورد. از طرفی در سال های اخیر از مقیاس سازی برای بیان مشخصات پویایی آب در خاک و کاهش اندازه گیری های مورد نیاز استفاده شده است. هدف از این پژوهش، به دست آوردن پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس با استفاده از حداقل اندازه گیری های مزرعه ای می باشد. این تحقیق با استفاده از داده های ۱۵ آزمایش استوانه مضاعف در نوارهای مختلف مزرعه آزمایشی دانشگاه زابل انجام شد. برای به دست آوردن معادله نفوذ در هر نقطه از یک معادله نفوذ مرجع و فقط یک زمان اندازه گیری نفوذ استفاده شد. به منظور بررسی دقت و صحت عملکرد روش مورد بررسی در برآورد نفوذ تجمعی از آماره های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. نتایج نشان داد که انتخاب منحنی مرجع، دلخواه بوده و هر یک از ۱۵ نقطه آزمایش را می توان به عنوان منحنی مرجع انتخاب کرد. نزدیک بودن مقدار  $R^2$  به عدد یک ( $>0.99$ ) و همچنین پائین بودن مقدار RMSE ( $<0.01$ )، نشان دهنده دقت بالای روش ارائه شده در این تحقیق است. همچنین فاکتور مقیاس به دست آمده بر اساس زمان های مختلف نفوذ (۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت) تفاوت زیادی با یکدیگر ندارد. رابطه ارائه شده در این پژوهش به دلیل نیاز به داده های ورودی کمتر و اندازه گیری آسان تر نسبت به روابط ارائه شده در پژوهش های گذشته، برتری داشت.

واژه های کلیدی: فاکتور مقیاس، استوانه مضاعف، کوستیاکوف-لوئیس

### مقدمه

نفوذ، مهم ترین پارامتر، در ارزیابی و طراحی سامانه های آبیاری سطحی است. اهمیت دانستن معادله ی نفوذ برای تشریح هیدرولیک آبیاری سطحی، همراه با مشکلات تخمین قابل اطمینان پارامترهای آن، موجب صرف وقت و هزینه ی زیادی برای طراحی یک سامانه آبیاری می شود (Ebrahimian et al., 2010). اهمیت فرآیند نفوذ منجر به توسعه چندین مدل تحلیلی ساده برای پیش بینی نفوذ شده است. این مدل ها به مدل های تجربی (Kostiakov, 1932; Horton, 1941; Holtan, 1961) و فیزیکی (Green & Ampt, 1911; Philip, 1957) تقسیم بندی می شوند. تنها تعداد کمی از مدل های پیشنهادی با موفقیت روی داده های مزرعه ای به کار برده شده اند (Machiwal et al., 2006). (Khazimehnejad et al., 2007) چهار معادله نفوذ شامل کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوئیس، فیلیپ و SCS را با استفاده از داده های استوانه مضاعف مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد

که مدل فیلیپ انطباق کمتری با نتایج آزمایش ها داشت و معادله کوستیاکوف-لوئیس بهترین مدل شبیه سازی نفوذ در خاک های با بافت لوم شنی می باشد. هفت مدل شامل هورتون، فیلیپ، اسوارتزندردور، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوئیس، کوستیاکوف-لوئیس بازنگری شده و SCS توسط Zolfaghari et al. (2012) بر اساس داده های استوانه دوگانه بررسی و نتیجه گیری شد که مدل کوستیاکوف-لوئیس بهترین برازش را برای داده های مشاهده ای داشته و مدل SCS ضعیف ترین همبستگی را از خود نشان داده است. Sadikhani and sohrabi (2016) نشان دادند که مدل کوستیاکوف-لوئیس یکی از بهترین مدل های تطبیقی نفوذ آب در خاک های مختلف می باشد.

تغییرپذیری مکانی و زمانی سرعت نفوذ، مدیریت سیستم آبیاری را بسیار پیچیده کرده است. محققانی مانند (Jaynes and Oyonarte et al., 2002; Childs et al., Clemens, 1986; 1993)، نشان دادند که با تغییرپذیری مشخصات خاک ها، مشخصات نفوذ آبیاری سطحی نیز تغییر می کند. با توجه به اینکه

نشان داد که این رابطه برای سایر جویچه‌های دارای بافت و شرایط هیدرولیکی متفاوت قابل استفاده خواهد بود و مقدار نفوذ را با دقت بسیار مناسبی تخمین می‌زند.

مطالعات (Rasoulzadeh and Sepaskhah, 2003) درباره مقیاس‌سازی نفوذ، برای تعیین ضرایب نفوذ دارای پیچیدگی‌های زیادی است و نیاز به داده‌های اولیه زیادی دارد. به همین دلیل (Khatrri and Smith, 2006) یک روش برآورد ضرایب نفوذ با استفاده از یک نقطه پیشروی و یک منحنی نفوذ مدل (نمونه) پیشنهاد نمودند. آن‌ها یک فاکتور مقیاس برای هر یک از مزارع تعریف کردند و پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لویس را به دست آوردند. این روشی آسان برای استفاده و کاربرد در سطح مزرعه است که فقط به پیشروی در یک نقطه به علاوه شدت جریان و سطح مقطع جریان در ورودی شیار نیاز دارد. Langat *et al.* (2008) به بررسی روش مقیاس‌سازی در روش آبیاری جویچه‌ای معمولی و همچنین تأثیر مسافت‌های مختلف پیشروی بر کاهش خطای تخمین روش مقیاس‌سازی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که چنانچه فاکتور مقیاس بر اساس فاصله پیشروی تا وسط شیار و بیشتر از آن باشد، دقت نتایج مناسب است. Ghobadi and Ebrahimian (2015) با استفاده از روش مقیاس-سازي ارائه شده توسط (Khatrri and Smith, 2006) به برآورد ضرایب نفوذ در آبیاری جویچه‌ای یک‌در میان ثابت و یک‌در میان متغیر در منطقه کرج پرداختند. نتایج نشان داد که خطای به دست آمده از روش جویچه‌ای یک‌در میان ثابت از ۱/۴۴ تا ۲۰/۰۳ درصد و در روش جویچه‌ای یک‌در میان متغیر از ۰/۴۸ تا ۱۳/۸۰ درصد متغیر است. و این بدان معناست که اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مقیاس و اندازه‌گیری شده نفوذپذیری وجود ندارد. یکی از روش‌های رایج و پرکاربرد برای به دست آوردن پارامترهای معادلات نفوذ مانند (کوستیاکوف-لویس) روش استوانه مضاعف است. این روش علیرغم دقت مناسب در برآورد پارامترهای معادله نفوذ (مانند  $a$  و  $f_0$ ) وقت‌گیر و نیاز به اندازه-گیری زیاد است. از این‌رو ارائه رابطه‌ای که ضمن دارا بودن دقت کافی، به داده‌های کمتر و روش محاسبه ساده‌تر نیاز داشته باشد ضروری است. لذا هدف از این پژوهش ارائه روشی برای تعیین پارامترهای معادله نفوذ با استفاده از حداقل اطلاعات مزرعه (یک منحنی نفوذ مرجع و یک زمان اندازه‌گیری) است، به طوری که برای طیف گسترده‌ای از خاک‌ها قابل استفاده باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه آموزشی و

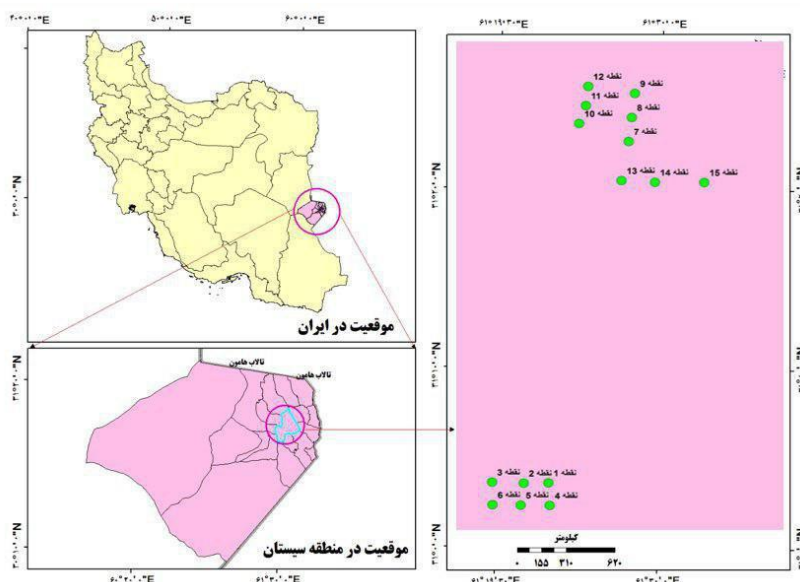
تغییرپذیری خاک بر روی توزیع عمق نفوذ مؤثر است، استفاده از تنها یک معادله نفوذ برای تمامی مزرعه کارایی آبیاری را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجایی که ویژگی‌های نفوذ تابعی از زمان و مکان بوده در نتیجه به تعداد نسبتاً زیادی اندازه-گیری‌های مزرعه‌ای نیاز است تا بیانی از متوسط شرایط مزرعه باشد. در سال‌های اخیر پژوهشگران روش‌هایی را برای کاهش نیاز به اندازه‌گیری داده‌های مزرعه‌ای مورد نیاز برای بیان مشخصات پویایی آب در خاک ارائه کرده‌اند. برای مثال می‌توان به فرآیند نفوذ (Sharma *et al.*, 1980)، ویژگی هدایت هیدرولیکی (Tuli *et al.*, 2001) و نیز تغییرپذیری خاک‌ها (Warrick, 1980) اشاره کرد. یکی از این روش‌ها مقیاس‌سازی (Scaling) می‌باشد که اولین بار توسط (Miller and Miller, 1956) با تکیه بر نظریه‌ی محیط‌های متشابه در دانش آب‌و خاک ظهور یافت (Miller and Miller, 1956; Sadeghi *et al.*, 2008). بر اساس نظریه محیط-های متشابه، دو خاک را می‌توان متشابه نامید به شرطی که عامل مقیاسی مانند  $\gamma$  وجود داشته باشد که بتواند خاکی را به خاک دیگر تبدیل کند. با ارائه‌ی مفهوم محیط‌های متشابه (Miller and Miller, 1956)، آنگاه مفهوم جریان متشابه را برای مقیاس-سازی معادلات داری و پیوستگی مطرح نموده و اظهار داشتند که جریان آب در دو خاک متشابه تحت شرایط مرزی و اولیه مقیاس‌شده‌ی یکسان، متشابه خواهد بود. Warrick *et al.*, 1977; Kosugi and Hopmans, 1998; Elliott *et al.*, 1983; Khatrri and Smith, 2006; Sadeghi *et al.*, 2012; Chari *et al.*, 2016; Rasoulzadeh and Sepaskhah, 2003); از جمله محققینی بودند که از مقیاس‌سازی برای بیان مشخصات پویایی آب در خاک استفاده کردند.

(Sharma *et al.*, 1980) از روش مقیاس‌سازی برای تعیین معادله نفوذ واحد در سطح حوضه استفاده نمودند و روشی را برای محاسبه پارامترهای معادله نفوذ دو جزئی فیلپ ارائه دادند. (Machiwal *et al.*, 2006) با استفاده از روش (Sharma *et al.*, 1980) مدل دو جزئی فیلپ را به عنوان مدلی مناسب برای فرآیند مقیاس‌سازی و تحلیل تغییرپذیری نفوذ معرفی کردند. عوامل مقیاس‌بندی در این روش بر اساس عامل انتقال و ضریب جذب محاسبه شده و داده‌های نفوذ اندازه‌گیری شده با استفاده از آن‌ها مقیاس‌بندی شدند. عامل مقیاس‌بندی شده بر اساس عامل انتقال نتایج بهتری را نشان داد. Rasoulzadeh and Sepaskhah (2003) با استفاده از آنالیز ابعادی و مقیاس‌سازی و داده‌های نفوذ شش سری خاک، یک رابطه عمومی قابل استفاده در جویچه ارائه کردند. رابطه حاصل تابعی از محیط خیس شده و حجم آب ورودی به مزرعه بود. ارزیابی رابطه نفوذ مقیاس شده

### جمع آوری داده‌های مزرعه‌ای

در این تحقیق برای به دست آوردن پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس از روش استوانه مضاعف استفاده شده است. جزئیات این روش به وسیله (Haise *et al.*, 1956) ارائه شده است. آزمایش‌های نفوذ آب به خاک با استفاده از استوانه‌های دوگانه با بار ثابت در ۱۵ نقطه در مزرعه پردیس دانشگاه زابل انجام شد. شکل (۱) موقعیت این نقاط را مشخص می‌کند. بافت‌های خاک پس از برداشت نمونه‌ها از عمق حدود ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در مزرعه موردنظر و انتقال به آزمایشگاه خاک به روش هیدرومتری تعیین و درصد ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها مشخص شد. بافت‌های خاک در منطقه مورد مطالعه لومی، لومی رسی، لومی سیلتی، لومی شنی و لومی رسی سیلتی بود.

پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه زابل واقع در استان سیستان و بلوچستان استفاده شد. این مزرعه آزمایشی در موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۲ دقیقه شمالی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۴۸۱ متر می‌باشد. آب و هوای شهرستان زابل بر اساس طبقه‌بندی کوپن، جزء اقلیم‌های خشک و بسیار گرم با تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. بر اساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه هواشناسی زابل، میانگین بارش سالانه این شهرستان ۵۹/۶ میلی‌متر و دمای آن در سال بین ۹/۵- تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد متغیر است. همچنین میانگین حرارت سالانه ۲۲ درجه سانتی‌گراد و میزان تبخیر سالانه ۴۸۲۰/۵۴ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت نقاط مورد استفاده در این تحقیق

داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود. در این روش هر رابطه نفوذی می‌تواند استفاده شود، که در این تحقیق از رابطه نفوذ کوستیاکوف-لوئیس استفاده شد.

معادله کوستیاکوف-لوئیس برای بیان نفوذ به صورت زیر می‌باشد:

$$I = kt^a + f_0t \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $I$  نفوذ تجمعی ( $m^3/m$ )،  $t$  زمان تماس آب با خاک ( $min$ )،  $a$  بدون بعد و  $k$  ( $m^3/mina/m$ ) پارامترهای تجربی هستند و  $f_0$  ( $m^3/min/m$ ) نفوذ نهایی است.

ابتدا پارامترهای معادله نفوذ برای یک واقع آبیاری (یا نوار)، که منحنی نفوذ مرجع ( $I_{Ref}$ ) نامیده می‌شود تعیین می‌شود. چنانچه برای هر نوار یا برای هر آبیاری، عمق آب نفوذ کرده برای یک زمان مشخص ( $t_s$ ) (مثلاً عمق آب نفوذ کرده پس از ۲ ساعت)

### روش مقیاس‌سازی

در این روش از فرضیات (Khatiri and Smith (2006) به منظور به دست آوردن پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس با استفاده از داده‌های استوانه مضاعف استفاده شده است. فرض اساسی در این روش این است که شکل مشخصات نفوذ علیرغم تغییر در مقدار سرعت و عمق نفوذ تقریباً ثابت بوده است. داده‌های مورد نیاز برای به دست آوردن مشخصات نفوذ خاک برای هر مورد (یا هر نوار) با استفاده از فرآیند مقیاس‌سازی به یک منحنی نفوذ مرجع (Model Infiltration Curve) که پارامترهای آن مشخص است و مدت زمان مورد نیاز برای نفوذ یک عمق خاص آب، کاهش می‌یابد. در این روش، یک واقعه آبیاری به عنوان نمونه انتخاب و پس از آن ضرایب رابطه نفوذ آن با استفاده از

برای ارزیابی روش مقیاس سازی پیشنهاد شده در این تحقیق از ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و مقایسه خط یک به یک استفاده می شود. مقدار (RMSE) از رابطه (۳) به دست می آید.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Z_{actual} - Z_{scaled})^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن  $Z_{actual}$  = مقدار نفوذ تجمعی اندازه گیری شده،  $Z_{scaled}$  = نفوذ تجمعی مقیاس شده و  $n$  تعداد داده ها را نشان می دهد.

## نتایج و بحث

### مقایسه منحنی نفوذ واقعی و مقیاس شده

شکل (۲) مقدار نفوذ تجمعی واقعی (متر) به دست آمده با استفاده از معادله کوستیاکوف-لونیس را برای همه نقاط اندازه گیری شده نشان می دهد. شکل (۲) نشان می دهد که بیشترین مقدار نفوذ تجمعی برابر با ۰/۱۶ متر پس از زمان ۴۸۰ دقیقه در نقطه شماره ۸ و کمترین مقدار نفوذ تجمعی پس از زمان ۳۳۰ دقیقه برابر با ۰/۰۳۹ متر در نقطه ۶ صورت گرفته است. متغیر بودن نفوذ تجمعی در نقاط مختلف نشان دهنده تغییرات زیاد پارامترهای نفوذ (وابسته به نوع خاک) در این داده ها می باشد.

موجود باشد، عامل مقیاس ( $F_s$ )، بدون بعد) برای هر نوار یا برای هر آبیاری برابر است با عمق آب نفوذ کرده پس از زمان مشخص ( $t_s$ ) در نوار مورد نظر به عمق آب نفوذ کرده پس از زمان مشخص در نوار مرجع:

$$F_s = \frac{I_1}{I_{Ref}} = \frac{I_2}{I_{Ref}} = \dots = \frac{I_n}{k_r t_s^{\alpha_r} + f_{0r} t_s} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که  $I_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) عمق آب نفوذ کرده پس از یک زمان مشخص ( $t_s$ ) برای هر واقع آبیاری و  $I_{Ref}$  عمق آب نفوذ کرده پس از زمان مشخص در نوار مرجع،  $k_r$ ،  $\alpha_r$  و  $f_{0r}$  پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لونیس برای منحنی مرجع هستند. از طرفی شکل عمومی معادله نفوذ مرجع ( $I_{Ref}$ ) برای هر زمان برابر است با:

$$I_{Ref} = k_r t^{\alpha_r} + f_{0r} t \quad (\text{رابطه ۳})$$

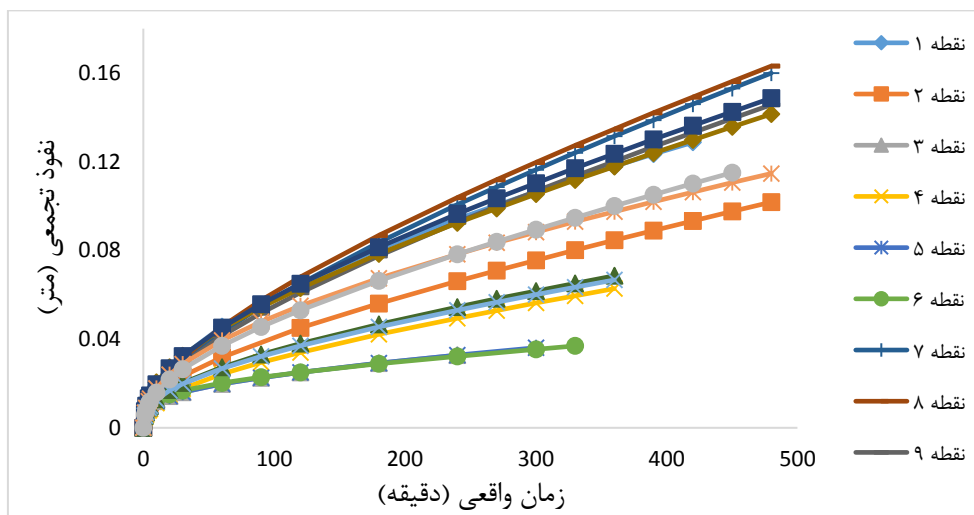
در نتیجه، مقدار نفوذ مقیاس شده ( $I_s$ ) برای هر واقع آبیاری برابر است با:

$$I_s = F_s (k_r t^{\alpha_r} + f_{0r} t) \quad (\text{رابطه ۴})$$

در نتیجه پارامترهای نفوذ مقیاس شده ( $k_s$ ،  $\alpha_s$  و  $f_{0s}$ )

برای هر نوار به صورت زیر می باشد:

$$k_s = F_s k_r, \quad \alpha_s = \alpha_r, \quad f_{0s} = F_s f_{0r} \quad (\text{رابطه ۵})$$



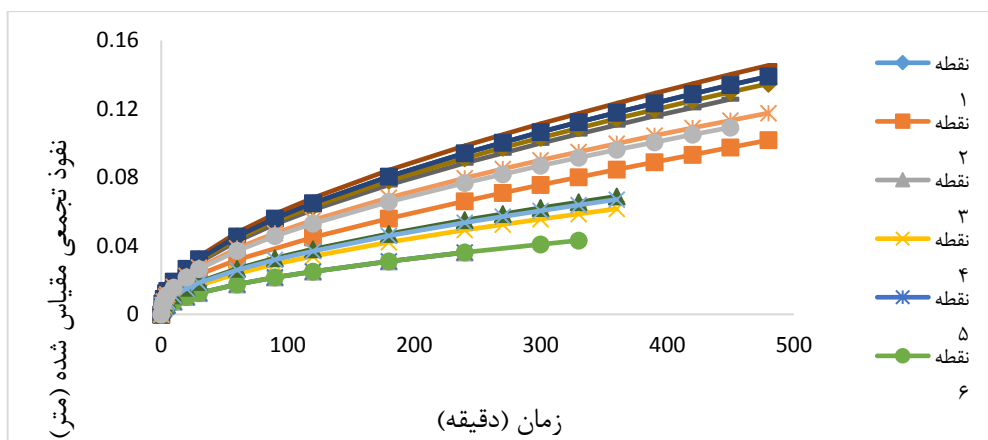
شکل ۲. منحنی نفوذ واقعی به دست آمده از داده های استوانه مضاعف

منحنی های نفوذ مقیاس شده رسم می گردد. در شکل (۳) بیشترین مقدار نفوذ تجمعی به دست آمده با روش مقیاس سازی برابر با ۰/۱۵ متر پس از زمان ۴۸۰ دقیقه در نقطه شماره ۸ و کمترین مقدار نفوذ تجمعی پس از زمان ۳۳۰ دقیقه برابر با ۰/۰۴۲ متر در نقطه ۶ صورت گرفته است. مقایسه شکل (۲) و (۳) نشان می دهد که شکل منحنی نفوذ واقعی (به دست آمده از

شکل (۳))، منحنی نفوذ تجمعی مقیاس شده (به دست آمده از معادله (۴)) بر اساس منحنی نفوذ مرجع نقطه ۱ را نشان می دهد. عامل مقیاس برای نقاط مختلف با استفاده از معادله (۲) و عمق آب نفوذ کرده پس از گذشت زمان ۲ ساعت (۱۲۰ دقیقه) به دست آمده است. سپس پارامترهای معادله نفوذ مقیاس شده برای هر واقع آبیاری با استفاده از معادله (۵) مشخص گردیده و

به دست آمده در زمان‌های مختلف برای هر کدام از نقاط مورد مطالعه نزدیک به یکدیگر می‌باشند.

معادله کوستیاکوف-لوئیس) و مقیاس‌شده (به دست آمده از معادله ۴) مشابه هستند و مقدار نفوذ تجمعی واقعی و مقیاس‌شده

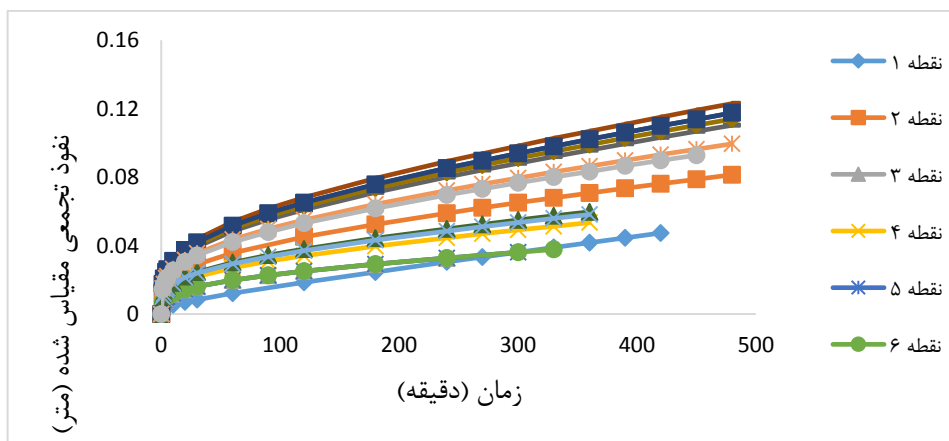


شکل ۳. منحنی نفوذ تجمعی مقیاس‌شده بر اساس منحنی نفوذ مرجع نقطه (۱)

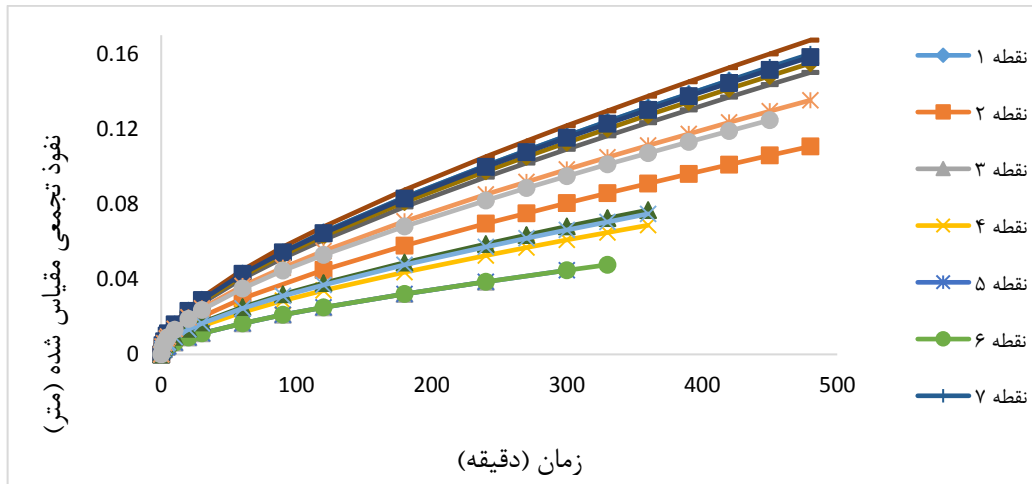
انتخاب سایر نقاط به عنوان منحنی مرجع دارای دقت پایین‌تری است. در شکل (۵) و (۶) به ترتیب بیشترین مقدار نفوذ تجمعی به دست آمده با روش مقیاس‌سازی برابر با ۰/۱۶۷ و ۰/۱۵۳ متر پس از زمان ۴۸۰ دقیقه در نقطه شماره ۸ و کمترین مقدار نفوذ تجمعی به ترتیب برابر با ۰/۰۴۷ و ۰/۰۴۴ متر پس از زمان ۳۳۰ دقیقه در نقطه ۶ صورت گرفته است. مقدار RMSE نیز بر اساس منحنی مرجع نقطه ۷ و ۱۵ به ترتیب برابر با ۰/۰۴۸۵ و ۰/۰۲۵۵ متر است.

با توجه به جدول (۱)، نزدیک بودن مقدار  $R^2$  به عدد یک ( $> 0/99$ ) و همچنین پائین بودن مقدار RMSE ( $< 0/01$ )، نشان از دقت بالای فرآیند مقیاس‌سازی در برآورد معادله نفوذ دارد. به طور کلی نتایج شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) و جدول (۱) مشخص می‌کند که انتخاب منحنی مرجع، اختیاری بوده و معادله‌های نفوذ مقیاس‌شده به دست آمده از منحنی‌های مرجع متفاوت، یکسان می‌باشند.

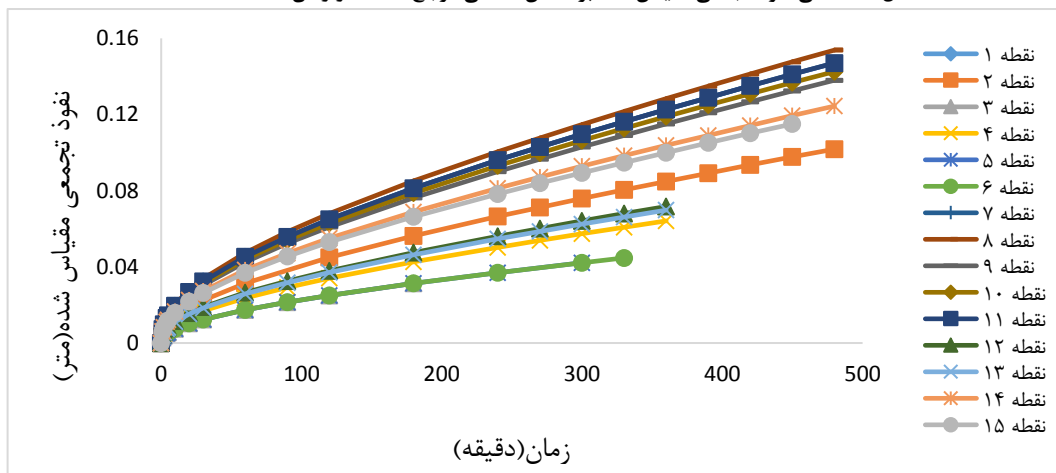
تأثیر انتخاب منحنی نفوذ مرجع بر مقیاس‌سازی معادله نفوذ برای تشریح بیشتر شباهت بین نفوذ مقیاس‌شده و واقعی، و تأثیر منحنی مرجع روی نتایج، منحنی نفوذ تجمعی مقیاس‌شده بر اساس منحنی‌های مرجع مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. به طور مثال شکل (۴)، (۵) و (۶) منحنی نفوذ تجمعی مقیاس‌شده و زمان را بر اساس انتخاب نقاط ۳، ۷ و ۱۵ به عنوان منحنی مرجع به ترتیب نشان می‌دهد. همچنین نتایج آماری مربوط به مقیاس‌سازی منحنی نفوذ تجمعی بر اساس این منحنی‌های مرجع در جدول (۱) نشان داده شده است. در شکل (۴) بیشترین مقدار نفوذ تجمعی به دست آمده با روش مقیاس‌سازی برابر با ۰/۱۲۹ متر پس از زمان ۴۸۰ دقیقه در نقطه شماره ۸ و کمترین مقدار نفوذ تجمعی پس از زمان ۳۳۰ دقیقه برابر با ۰/۰۴۱ متر در نقطه ۶ صورت گرفته است. مقدار RMSE نیز بر اساس منحنی مرجع نقطه ۳ برابر با ۰/۰۶۷۳ است. اگرچه نتایج به دست آمده بر اساس منحنی مرجع نقطه ۳ مناسب می‌باشد ولی نسبت به



شکل ۴. منحنی نفوذ تجمعی مقیاس‌شده بر اساس منحنی مرجع نقطه ۳ و زمان ۲ ساعت



شکل ۵. منحنی نفوذ تجمعی مقیاس شده بر اساس منحنی مرجع نقطه ۷ و زمان ۲ ساعت



شکل ۶. منحنی نفوذ تجمعی مقیاس شده بر اساس منحنی مرجع نقطه ۱۵ و زمان ۲ ساعت

آمده از زمان ۴ ساعت دارای بهترین نتایج می باشد. شکل (۶) مقایسه مقدار نفوذ تجمعی واقعی و مقیاس شده بر اساس فاکتور مقیاس به دست آمده از زمان ۴ ساعت را نسبت به خط یک به یک نشان می دهد. نتایج شکل (۷) مشخص می کند که مقدار نهایی نفوذ تجمعی مقیاس شده به دست آمده از زمان ۴ ساعت بسیار نزدیک به نتایج نفوذ واقعی ( $R^2=0.986$  و  $Z_{actual}=0.98Z_{scal}$ ) است.

شکل (۸) مقایسه فاکتور مقیاس به دست آمده از زمان ۴ ساعت نسبت به فاکتور مقیاس به دست آمده از زمان های مختلف (۰/۵، ۱، ۲، ۳) ساعت را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که فاکتورهای مقیاس نزدیک به یکدیگر بوده و پراکندگی نسبت به خط یک به یک مشاهده نمی گردد. بهترین نتایج مربوط به شکل (۸d) با  $F_{scal3h}=1.001F_{scal4h}$  و  $R^2=0.998$  می باشد که بهترین خط برازش را نشان می دهد و کاملاً بر خط یک به یک منطبق است. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که تفاوتی بین فاکتور مقیاس به دست آمده بر اساس زمان ۴ ساعت و فاکتور مقیاس به دست آمده برای ۳ ساعت وجود ندارد.

جدول ۱. نتایج شاخص های آماری بر اساس منحنی نفوذ مرجع مختلف

منحنی مرجع	RMSE (متر)	$R^2$
۱	۰/۰۰۲۹۳	۰/۹۹۰
۳	۰/۰۰۶۷۳	۰/۹۴۵
۷	۰/۰۰۴۸۵	۰/۹۷۳
۱۵	۰/۰۰۲۵۵	۰/۹۹۱

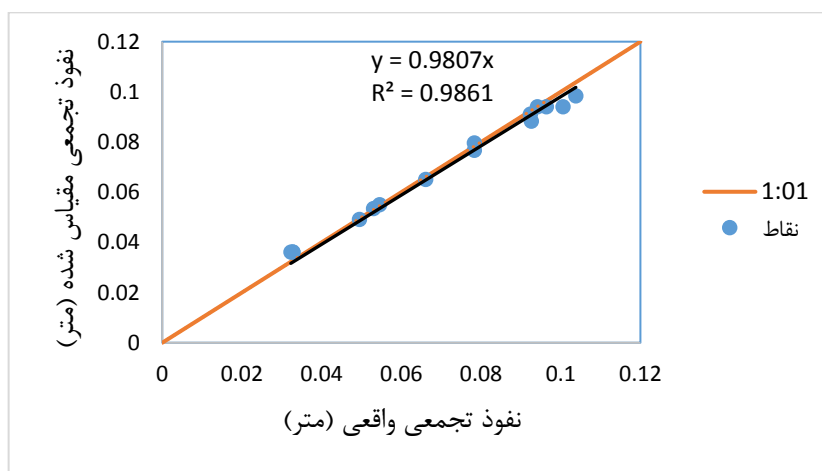
#### تأثیر زمان انتخابی روی فاکتور مقیاس

در این بخش تأثیر زمان های مختلف به منظور به دست آوردن فاکتور مقیاس مورد ارزیابی قرار می گیرد. در جدول (۲) فاکتور مقیاس (Fs) بر اساس منحنی نقطه ۱ (منحنی مرجع) و زمان های مختلف (۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴ ساعت) به دست آمده است. کمترین مقدار فاکتور مقیاس برابر با ۰/۳۴ در نقاط (۳، ۵، ۶) و زمان ۴ ساعت و بیشترین مقدار فاکتور مقیاس برابر با ۱/۱۰ مربوط به نقطه ۸ و زمان ۴ ساعت است. متفاوت بودن فاکتور مقیاس برای نقاط مختلف نشان دهنده تغییرات مشخصات نفوذ در نوارهای مورد مطالعه می باشد.

به صورت ضمنی فرض می کنیم که فاکتور مقیاس به دست

جدول ۲. فاکتور مقیاس به دست آمده از منحنی مرجع نقطه (۱) در زمان‌های مختلف (بر حسب ساعت)

نقاط	Fs				
	hr·/۵	1hr	2hr	3hr	4hr
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷۰
۳	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۴
۴	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۲
۵	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۴
۶	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۴
۷	۰/۸۹	۰/۹۴	۱	۱/۰۳	۱/۰۶
۸	۰/۹۶	۱/۰۰۱	۱/۰۴	۱/۰۷	۱/۱۰
۹	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۸
۱۰	۱/۰۰۴	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸
۱۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱/۰۱	۱/۰۲
۱۲	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۷
۱۳	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶
۱۴	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۸۳
۱۵	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۳

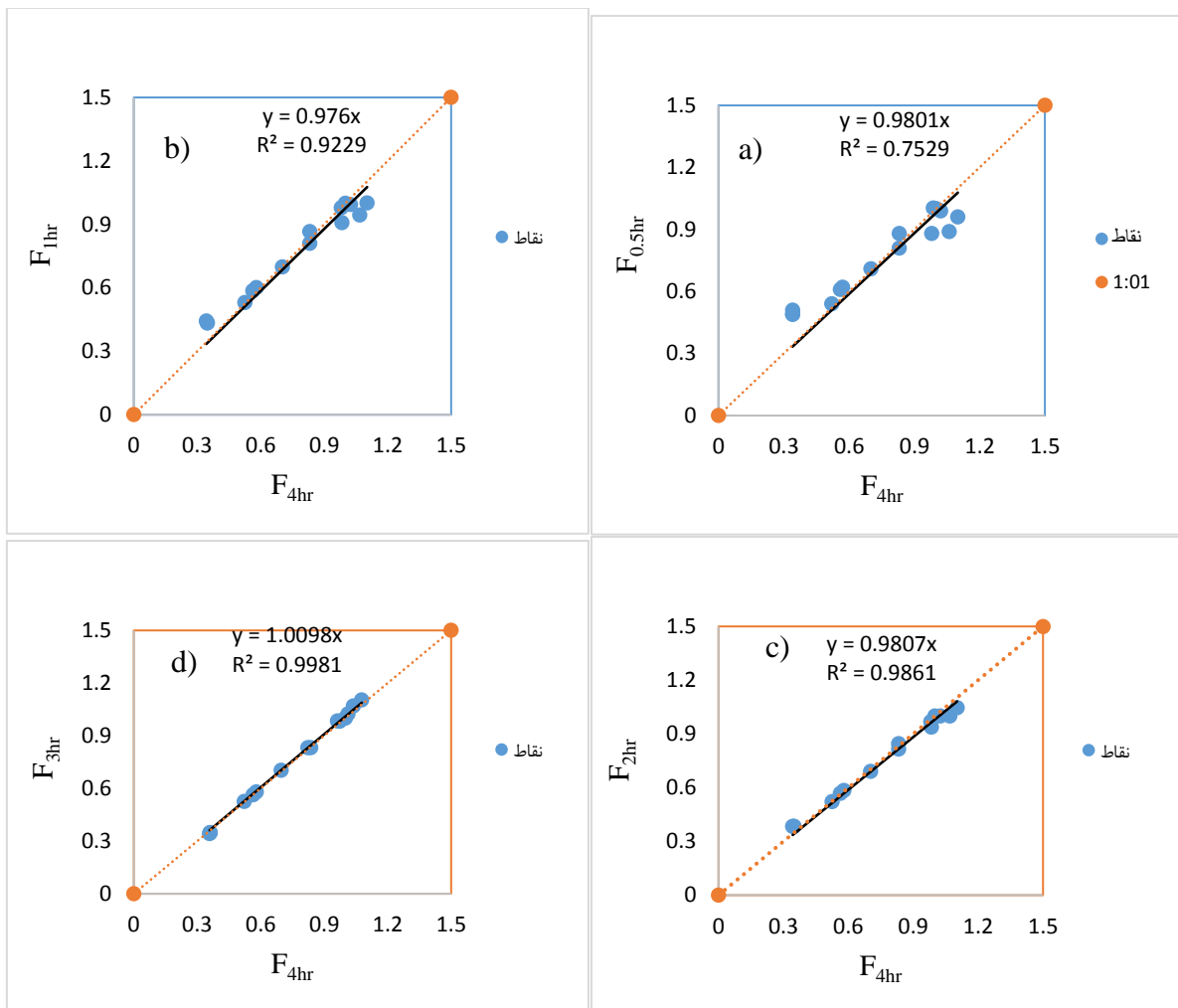


شکل ۷. مقایسه مقدار نهایی نفوذ تجمعی واقعی و مقیاس شده بر اساس زمان ۴ ساعت

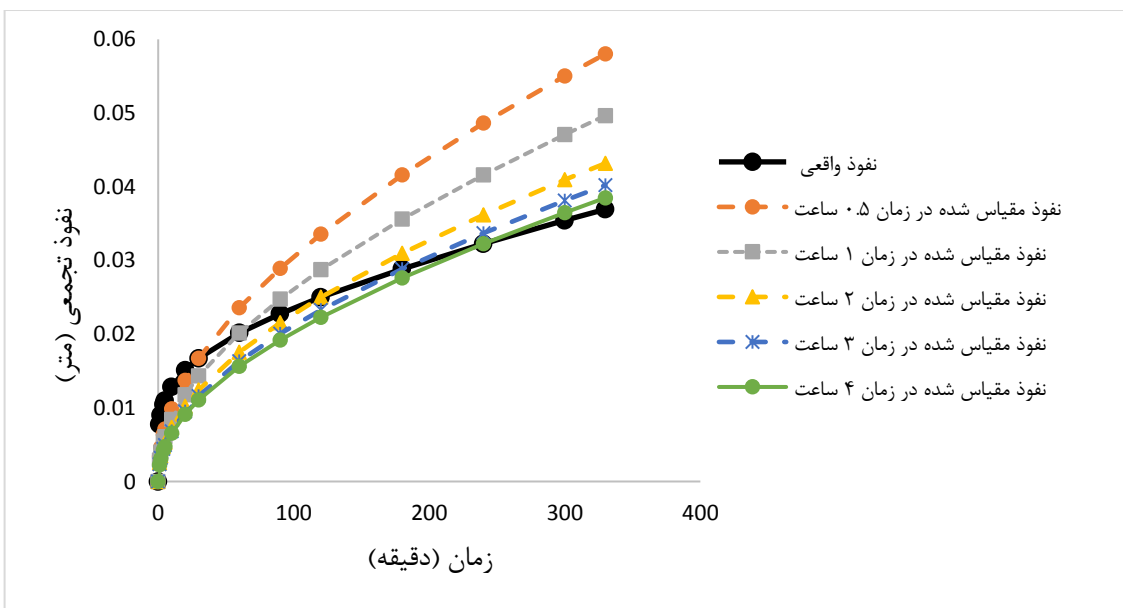
مقیاس‌سازی به دست نیامده است اما نتایج (Langat *et al.*, 2008) در تعیین پارامترهای معادله نفوذ با استفاده از مقیاس-سازی در آبیاری شیاری نشان داد که فاکتور مقیاس به دست آمده بر اساس فاصله پیشروی کمتر از میانه طول شیار (متناسب با زمان‌های کوتاه)، دقت نتایج را کاهش می‌دهد. نتایج شکل (۱۰) نشان می‌دهد که منحنی نفوذ تجمعی واقعی و منحنی‌های نفوذ تجمعی مقیاس شده با استفاده از فاکتورهای مقیاس مختلف (۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴)، بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشند و تفاوتی بین آن‌ها وجود ندارد.

برای ارزیابی جامع‌تر تأثیر فاکتور مقیاس به دست آمده از زمان‌های مختلف شکل (۹) و (۱۰) رسم گردیده است. شکل (۹) و (۱۰) منحنی نفوذ تجمعی واقعی و مقیاس شده با استفاده از فاکتورهای مقیاس مختلف را به ترتیب برای نقاط ۶ و ۱۲ نشان می‌دهد. شکل (۹) نشان می‌دهد که نتایج منحنی نفوذ تجمعی مقیاس شده بر اساس فاکتور مقیاس ۲، ۳ و ۴ ساعت بسیار نزدیک به نتایج منحنی نفوذ تجمعی واقعی است. نتایج به دست آمده از فاکتور مقیاس ۰/۵ و ۱ ساعت دارای دقت پایین‌تری است. اگرچه تاکنون معادله نفوذ با استفاده از داده‌های استوانه مضاعف و روش

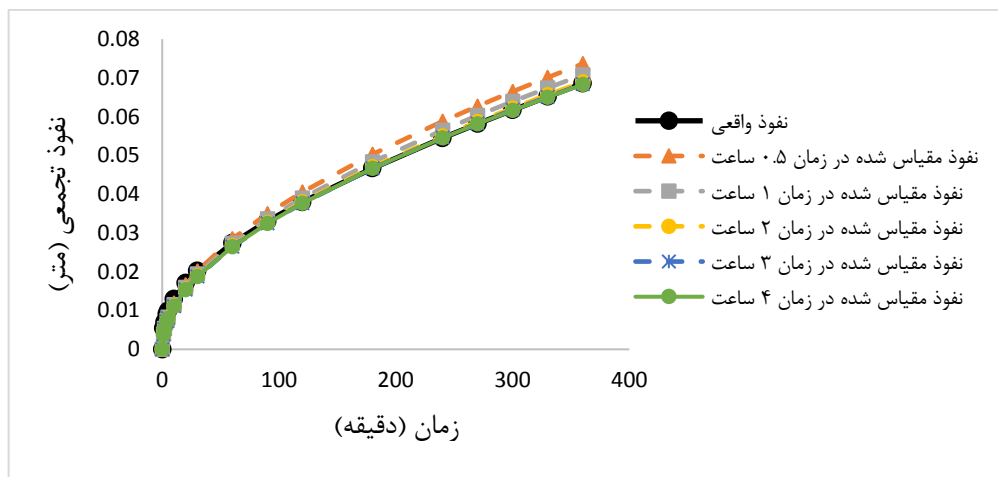




شکل ۸. مقایسه مقدار نفوذ تجمعی مقیاس شده با استفاده از فاکتور مقیاس به دست آمده برای زمان های مختلف



شکل ۹. منحنی نفوذ تجمعی واقعی و مقیاس شده نقطه (۶) بر اساس منحنی مرجع نقطه (۱)



شکل ۱۰. منحنی نفوذ تجمعی واقعی و مقیاس شده نقطه (۱۲) بر اساس منحنی مرجع نقطه (۱)

## نتیجه گیری

یکی از اطلاعات اساسی مورد نیاز برای طراحی یک سیستم آبیاری کارآمد، آگاهی از مشخصات نفوذ آب به خاک است. تعیین تغییرپذیری مکانی فرآیند نفوذ در خاک علیرغم دشواری زیاد، یکی از مهم ترین پیش نیازهای نیل به کشاورزی دقیق است. در این تحقیق روش مقیاس سنجی برای پیش بینی نفوذ با استفاده از داده های روش استوانه مضاعف ارائه شد که با استفاده از حداقل اطلاعات مزرعه (یک منحنی نفوذ مرجع و یک زمان اندازه گیری)، ویژگی های نفوذ را در زمان واقعی محاسبه می کرد و برای طیف گسترده ای از خاک ها قابل استفاده است. از داده های مزرعه ای در

۱۵ آزمایش نفوذ برای ارزیابی روش مقیاس سازی استفاده شد، بر اساس نتایج نزدیک بودن مقدار  $R^2$  به عدد یک در کنار پائین بودن مقدار RMSE نشان از دقت بالای این مدل در برآورد پارامترهای معادله نفوذ دارد. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که استفاده از این روش سبب کاهش زمان مورد نیاز در

برآورد پارامترهای معادله نفوذ می شود. **سپاسگزاری**

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با کد پژوهانه UOZ-GR-9719-111 انجام شد که بدین وسیله از آن تشکر و قدردانی می گردد.

## REFERENCES

- Chari, M.M. Davari, K. Ghahraman, B. ziaiei, A, N. (2016). Providing general equation for the advance of the water at the border. *Journal of Irrigation and Drainage*, 11 (2): 163-180. (In Farsi).
- Childs, J., Wallender, W. W., & Hopmans, J. W. (1993). Spatial and seasonal variation of furrow infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage engineering*, 119(1), 74-90.
- Ebrahimian, H. Ghanbarian Alavijeh, B. Abbasi, F. Hoorfar, A, H. (2010). A new two-point method for estimating infiltration parameters in furrow and border irrigation and comparison with other methods. *Journal of Water and Soil*. 24(4): 690-698. (In Farsi).
- Elliott, R. L., Walker, W. R., & Skogerboe, G. V. (1983). Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. *Transactions of the ASAE*, 26(6), 1726-1731.
- Ghobadi, M. Ebrahimian, H. (2015). Use of scaling method to estimate infiltration in variable and fixed alternate furrow irrigation. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 16(2), 13-24. (In Farsi).
- Green, W. H. and Ampt, G. A. (1911). Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.* 4(1): 1-24.
- Haise H.R. Donnan W.W. Phelan j. T. Lawhon L. F. and Shockley D.G. (1956). The use of ring infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soils. Publ ARS41 USDA. *Agricultural Research Service and Soil Conservation Service*, 26(6): 451-463.
- Holtan, H. N. (1961). Concept for infiltration estimates in watershed engineering. USDA-ARS Bull. 41-51.
- Horton, R. E. (1941). An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 5(C): 399-417.
- Jaynes, D.B., Clemmens, A. J. (1986). Accounting for spatially variable infiltration in border irrigation models. *Water Resource Research*, 22 (8): 1257-1262.
- Khatiri, K. L., and Smith, R. J. (2006). Real-time prediction of soil infiltration characteristics for the management of furrow irrigation. *Irrigation Science*, 25(1): 33-43.
- Khazimehnejad, H. Noferasti, A, M. Sarvarian, M. Basirat, J. (2007). Investigation and evaluation of infiltration equations in sandy loam soils.

- Irrigation seminar and reduction of evaporation. (In Farsi).
- Kostiakov, A. N. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from the dynamic point of view for the purposes of amelioration. *Trans. Sixth Comm. Int. Soc. Soil Sci.*, 1, 7-21.
- Kosugi, K., & Hopmans, J. W. (1998). Scaling water retention curves for soils with lognormal pore-size distribution. *Soil Science Society of America Journal*, 62(6), 1496-1505.
- Langat, P. K., Smith, R. J., and Raine, S. R. (2008). Estimating the furrow infiltration characteristic from a single advance point. *Irrigation Science*, 26(5): 367-374.
- Machiwal, D., Jha, M. K., & Mal, B. C. (2006). Modelling infiltration and quantifying spatial soil variability in a wasteland of Kharagpur, India. *Biosystems Engineering*, 95(4), 569-582.
- Miller, E. E., & Miller, R. D. (1956). Physical theory for capillary flow phenomena. *Journal of Applied Physics*, 27(4), 324-332.
- Oyonarte, N. A., Mateos, L., & Palomo, M. J. (2002). Infiltration variability in furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(1), 26-33.
- Philip, J. R. (1957). The theory of infiltration: 3. Moisture profiles and relation to experiment. *Soil Science*, 84(2), 163-178.
- Rasoulzadeh, A., & Sepaskhah, A. R. (2003). Scaled infiltration equations for furrow irrigation. *Biosystems Engineering*, 86(3), 375-383.
- Sadeghi, M. Ghahraman, B. Davari, k. (2008). Scale and predict the soil moisture profile in the redistribution phase. *Water and Soil Journal*, 22 (2): 431- 417
- Sadeghi, M., Ghahraman, B., Ziaei, A. N., Davary, K., Reichardt, K. (2012). Invariant solutions of Richards equation for Water movement in dissimilar Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 76(1): 1-9.
- Sadi Khani, M, R. Sohrabi A. (2016). Effect of Land Use on the Efficiency of Some Models of Water Infiltration to Soil. *Soil Management and Sustainable Production Journal*. 7(1): 127-138 (In Farsi).
- Sharma, M. L., Gander, G. A., & Hunt, C. G. (1980). Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology*, 45(1-2), 101-122.
- Tuli, A., Kosugi, K., & Hopmans, J. W. (2001). Simultaneous scaling of soil water retention and unsaturated hydraulic conductivity functions assuming lognormal pore-size distribution. *Advances in Water Resources*, 24(6), 677-688.
- Warrick, A. W. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. *Application of Soil Physics.*, 319-344.
- Warrick, A. W., Mullen, G. J., & Nielsen, D. R. (1977). Scaling field-measured soil hydraulic properties using a similar media concept. *Water Resources Research*, 13(2), 355-362.
- Zolfaghari, A. A., Mirzaee, S., and Gorgi, M. (2012). Comparison of different models for estimating cumulative infiltration. *International Journal of Soil Science*. 7 (3), 108-115.