

## ارزیابی روش شاخص مقیاس به منظور تعیین نفوذ آب به خاک در بافت‌های مختلف

محمد رضا امداد<sup>۱\*</sup>، محسن دهقانی<sup>۲</sup> و هرمزد نقوی<sup>۳</sup>

## چکیده

نفوذ، از مشکل‌ترین و زمان‌برترین اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی خاک بوده است که بایستی برای برنامه‌ریزی صحیح آبیاری تعیین شود. برای ارزیابی روش شاخص مقیاس در برآورد نفوذ آب در خاک، این پژوهش در سه بافت مختلف رس‌سیلتی، لومی و لوم‌شنی انجام شد. مقدار نفوذ آب در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از اطلاعات پیشروی آب در کل جویچه و با استفاده از مدل بیلان حجمی (روش دونقطه‌ای) در ۹ جویچه اندازه‌گیری (در هر بافت خاک) تعیین شد. همچنین با استفاده از روش شاخص مقیاس و اطلاعات پیشروی آب در نصف طول جویچه، مقادیر نفوذ آب در خاک در هر یک از بافت‌ها تعیین گردید. نتایج نشان داد که مقادیر متوسط قدرمطلق خطا (مقایسه نتایج استفاده از روش شاخص مقیاس و مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ در ۹ جویچه در هر بافت خاک) در بافت لوم‌شنی، لومی و رس‌سیلتی به ترتیب ۰/۰۰۵۵۶، ۰/۰۰۲۱۵ و ۰/۰۰۴۴۹ است. همچنین متوسط شاخص توافق در هر سه بافت حدود ۰/۹۵ محاسبه شد. ضریب همبستگی بالا ( $R^2 = ۰/۹۰$ ) و نزدیک بودن نتایج رگرسیونی مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده با مقادیر تعیین شده با روش شاخص مقیاس و خط یک به یک، بیان‌کننده مناسب بودن روش شاخص مقیاس در تعیین نفوذ آب به خاک در وضعیت‌های مختلف بافت خاک است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، بیلان حجمی، فیزیک خاک، نفوذپذیری.

ارجاع: امداد م. دهقانی م. و نقوی ه. ۱۳۹۷. ارزیابی روش شاخص مقیاس به منظور تعیین نفوذ آب به خاک در بافت‌های مختلف. مجله پژوهش آب ایران. ۳۱: ۱۰۳-۱۱۱.

۱- استادیار، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.  
۲- مربی پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان.  
۳- مربی پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان.

\* نویسنده مسئول: emdadmr591@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۸

## مقدمه

این مدل استفاده می‌شود. در این مدل از معادله کوستیاکوف- لوتیز برای ارزیابی نفوذ و مشخصه‌های آن استفاده می‌شود (گاردو و اود، ۲۰۰۰). برای ارزیابی پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف لوتیز روش دو نقطه‌ای پیشنهاد شده که این روش بر اساس اندازه‌گیری سرعت نفوذ پایه و با استفاده از اندازه‌گیری‌های سرعت پیشروی برای دو نقطه (نقطه میانی و انتهایی جویچه) و با استفاده از فرمول لوتیز میلن است. با در نظر گرفتن معادله لوتیز میلن و تابع پیشروی معادلات بدین صورت ارائه می‌شوند (الیوت و واکر، ۱۹۸۳؛ شپارد و والندر، ۱۹۹۳):

$$Q_m t = cx(t) + \int_0^t Z(t-t_s) ds \quad (1)$$

$$x = pt_s^r \quad (2)$$

$$ds = prt_s^{r-1} dt_s \quad (3)$$

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

که در آن  $Q_m$ ، جریان ورودی بر حسب مترمکعب بر دقیقه؛  $c$ ، متوسط سطح مقطع به مترمربع؛  $x$ ، فاصله به متر؛  $t$ ، زمان به دقیقه؛  $Z$ ، مقدار نفوذ یا حجم نفوذ یافته در واحد طول و  $f_0$ ، نفوذ نهایی بر حسب مترمکعب بر متر بر دقیقه،  $a$  و  $k$  ضرایب مدل است. چنانچه معادله کوستیاکوف لوتیز برای زمان  $t-t_s$  بازنویسی شود، معادله (۵) حاصل می‌شود. با جایگذاری معادله کوستیاکوف لوتیز در معادله لوتیز- میلن و تابع پیشروی معادله (۶) به دست می‌آید:

$$Z(t-t_s) = k(t-t_s)^a + f_0(t-t_s) \quad (5)$$

$$Q_m t = cx(t) + \int_0^t z(t-t_s) prt_s^{r-1} dt_s \quad (6)$$

چنانچه معادله مذکور بر اساس ترم‌های آن بسط داده شود، معادلات ذیل حاصل می‌شوند:

$$Q_m t = cx(t) + \int_0^t k(t-t_s)^a prt_s^{r-1} dt_s + \int_0^t f_0(t-t_s) prt_s^{r-1} dt_s \quad (7)$$

$$Q_m t = cx + S_z kt^a x + \frac{f_0 t}{1+r} x \quad (8)$$

$$S_z = \frac{a+r-ra+1}{(1+a)(1+r)} \quad (9)$$

اگر معادله مذکور را برای دو نقطه ( $t_1$  و  $x_1$ ) و ( $t_2$  و  $x_2$ ) که نقاط میانی و انتهایی مزرعه هستند، بازنویسی گردد، معادلات (۱۰) و (۱۱) به دست می‌آیند که با حل این معادلات، ضرایب معادله نفوذ تعیین می‌شوند:

عوامل گوناگونی در پایین بودن کارایی مصرف آب و راندمان کاربرد دخالت دارند. از جمله مهم‌ترین آن‌ها تغییرات نفوذ آب در خاک (زمانی و مکانی) و تلفات رواناب در آبیاری سطحی است. نظر به اینکه غالباً تعیین نفوذ آب در خاک در مدیریت آبیاری جویچه‌ای به علت دینامیک بودن حرکت آب در جویچه، مشکلات زیادی دارد؛ لذا با استفاده از روش شاخص مقیاس و آمار و اطلاعات پیشروی در نیمی از طول جویچه می‌توان ضمن تعیین مقادیر دقیق نفوذ در زمان نیز صرفه‌جویی و همزمان با حرکت آب در طول جویچه مقادیر نفوذ آب در خاک را در بخشی از طول جویچه تعیین کرد. آبیاری سطحی اگر به درستی اجرا نشود، موجب تلفات آب، عدم یکنواختی توزیع آب و کاهش محصول می‌شود (الیوت و واکر، ۱۹۸۲). تغییرات نفوذپذیری خاک از عواملی است که بر مدیریت آبیاری تأثیر می‌گذارد (هانسون و پریچارد، ۱۹۹۳). اعمال مدیریت مناسب آبیاری با در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌های خاک، موجب افزایش راندمان در آبیاری سطحی می‌شود (راین و مکلیمونت، ۱۹۹۷).

آبیاری سطحی تابعی از ویژگی‌های مزرعه، نفوذپذیری خاک و مدیریت آبیاری است (کاماچو و پرز، ۱۹۹۷؛ اسفندیاری و ماهشوری، ۱۹۹۶). تغییرات زمانی و مکانی نفوذ باعث می‌شود تا دسترسی به سطوح یکنواخت آبیاری کمتر شود و اعمال یکنواختی‌های بالا در شرایط مزرعه میسر نباشد. همچنین پیشنهاد شده است که از معادله کوستیاکوف- لوتیز برای مقاصد آبیاری استفاده شود (اسفندیاری و ماهشوری، ۱۹۹۷؛ زاپاتا و پلایان، ۲۰۰۰).

نفوذپذیری آب در خاک در طول یک فصل زراعی تغییر می‌کند و استفاده از متوسط تغییرات زمانی نفوذ (برای بهینه‌سازی مدیریت‌های آبیاری) می‌تواند سبب افزایش یکنواختی کاربرد آب به اندازه ۲۵ تا ۳۰ درصد شود. تا حدود ۴۶ درصد کاهش در نفوذ نیز در طول فصل گزارش شده است (راین، ۱۹۹۹). لانگت و همکاران (۲۰۰۸) و کانیا واسمیت (۲۰۰۶) گزارش کردند که تغییرات زمانی و مکانی نفوذ از عوامل تأثیرگذار بر غیریکنواختی آب در مزرعه است.

مدل بیلان حجمی نسبت به سایر مدل‌های موجود پیچیدگی دارد و در هیدرولیک آبیاری سطحی بیشتر از

مربعات خطا کمتر از ۰/۰۱) می‌توان از روش مقیاس‌سازی برای تعیین نفوذ استفاده کرد. همچنین قبادی و ابراهیمیان (۱۳۹۴) در پژوهشی روش مقیاس‌سازی را برای پیش‌بینی ضرایب نفوذ در دو روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و یک در میان متغیر مورد بررسی قرار دادند. آنان گزارش کردند که منحنی نفوذ مقیاس شده و واقعی بسیار به هم شبیه و اختلاف معنی‌داری در مقادیر نفوذ وجود نداشته است و این روش را به دلیل نیاز به داده‌های ورودی کمتر و دقت مناسب پیشنهاد دادند. کرمی و همکاران (۱۳۹۱) پارامترهای نفوذ آب در خاک را برای سه مدل مختلف با استفاده از مقیاس‌سازی کمی پیشنهاد دادند و گزارش کردند که مدل فیلیپ با داشتن بیشترین ضریب همبستگی مناسب‌ترین مدل است.

نظر به اینکه تغییرات زمانی و مکانی خاک بر نفوذ آب در خاک تأثیر می‌گذارد و نیز استفاده از روش‌های نقطه‌ای تعیین نفوذ آب در خاک دقت کمی دارند؛ بنابراین استفاده از روش‌هایی که با صرف هزینه و وقت کمتر و با دقت مناسب قادر باشند تا نفوذ آب در خاک را در طول مورد نظر تعیین کنند، مورد توجه واقع می‌شوند. در این پژوهش هدف ارزیابی شاخص مقیاس در تعیین نفوذ آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای در بافت‌های مختلف و مقایسه آن با مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده با روش دونقطه‌ای مدل بیلان حجمی است.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزارع تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کرمان، کرج و اصفهان انجام پذیرفت. بافت خاک‌ها به ترتیب سبک (لوم‌شن)، متوسط (لوم) و سنگین (رس‌سیلت) بود. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ نوشته شده است.

$$\frac{Q_{in}t_1}{x_1} - c = s_z kt_1^a + \frac{f_0 t_1}{1+r} \quad (10)$$

$$\frac{Q_{in}t_2}{x_2} - c = s_z kt_2^a + \frac{f_0 t_2}{1+r} \quad (11)$$

سرعت نفوذپذیری پایه از روش ورودی- خروجی و با اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی به‌دست می‌آید. پس از تعیین ضرایب معادله نفوذ با استفاده از مدل بیلان حجمی و روش دونقطه‌ای، شاخص مقیاس برای هر جویچه از مدل بیلان حجمی طبق معادلات (۱۲) و (۱۳) تعیین می‌شود:

$$F = \frac{Q_0 * T - S_y * A_0 * X}{S_z * k * t^a + \frac{f_0 * T * X}{1+r}} \quad (12)$$

$$Z = F(kt^a + f_0 t) \quad (13)$$

که در آن F، شاخص مقیاس، a و k ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف- لوییز، x و t فاصله پیشروی و Z نفوذ تجمعی است. به عبارت دیگر شاخص مقیاس نسبت حجم آب نفوذ کرده محاسبه شده با روش بیلان حجمی در نیمی از طول جویچه (با استفاده از اطلاعات پیشروی در نصف طول جویچه) به حجم آب نفوذ کرده با روش دونقطه‌ای است که با تعیین ضرایب معادله کوستیاکوف- لوییز که در کل طول جویچه به‌دست آمده است، تعیین می‌شود. کانیاس و اسمیت (۲۰۰۶) استفاده از شاخص مقیاس و زمان واقعی را راهکاری مناسب برای تعیین نفوذپذیری خاک گزارش دادند. آنها گزارش کردند که استفاده از شاخص مقیاس و آمار و اطلاعات پیشروی در نیمی از طول جویچه نتایج مناسبی را از مقادیر نفوذ (قدرمطلق متوسط خطای کم نسبت به مقادیر پیشروی در طول جویچه) ارائه نموده و استفاده از زمان واقعی و شاخص مقیاس را راهکاری مناسب برای تعیین نفوذ (دقت و سرعت بالا) گزارش کردند. توکلی و همکاران (۱۳۹۴) در خاک لومی گزارش کردند که با صرف هزینه و مدت زمان کمتر و با دقت بالا (نزدیک بودن مقدار R<sup>2</sup> به عدد یک و ریشه میانگین

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق اجرا

| مناطق  | بافت خاک | Clay (%) | Silt (%) | Sand (%) | OC (%) | pH  | FC (%) | PWP (%) | EC (dS/m) |
|--------|----------|----------|----------|----------|--------|-----|--------|---------|-----------|
| کرج    | لوم      | ۲۷       | ۳۰       | ۴۳       | ۰/۵    | ۷/۵ | ۱۸/۲   | ۸/۲     | ۰/۵۳      |
| اصفهان | رس‌سیلت  | ۴۱       | ۵۱       | ۸        | ۰/۶۶   | ۷/۳ | ۲۱     | ۱۲      | ۶/۲       |
| کرمان  | لوم‌شن   | ۱۰       | ۲۰       | ۷۰       | ۰/۲۳   | ۷/۷ | ۱۴     | ۶       | ۰/۶۷      |

### بافت لوم

مقایسه نتایج تغییرات نفوذ تجمعی در شرایط اندازه‌گیری نفوذ و استفاده از شاخص مقیاس در ۹ جویچه اندازه‌گیری شده در شکل ۱ ارائه شده است. مقادیر میانگین قدرمطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص توافق محاسبه و در جدول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین قدرمطلق خطا بین مقادیر اندازه‌گیری و استفاده از روش شاخص مقیاس کم که این بیان‌کننده مناسب بودن روش شاخص مقیاس در تعیین نفوذ است (متوسط میانگین کل قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۰۲۱۵). سایر شاخص‌های آماری نشان داد که استفاده از این روش با متوسط شاخص توافق حدود ۰/۹۶ و متوسط ریشه میانگین مربعات خطای کم (۰/۰۰۲۴۸)، روش مناسبی در تعیین نفوذ آب در خاک است.

### بافت رس سیلت

مقایسه نتایج تغییرات نفوذ تجمعی در ۹ جویچه اندازه‌گیری شده در شکل ۲ آورده شده است. مقادیر میانگین قدرمطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص توافق در جدول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین قدرمطلق خطا بین مقادیر اندازه‌گیری و استفاده از روش شاخص مقیاس کم که این نشان‌دهنده مناسب بودن روش شاخص مقیاس در تعیین نفوذ است (متوسط میانگین کل قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۰۴۴۹). سایر شاخص‌های آماری در بافت رسی سیلتی نشان داد که متوسط شاخص توافق حدود ۰/۹۴ با متوسط ریشه میانگین مربعات خطا کم (۰/۰۰۴۹)، بیان‌کننده این بوده که استفاده از روش شاخص مقیاس دقت مناسبی در تعیین نفوذ آب به خاک داشته است.

### بافت لوم‌شن

مقایسه نتایج تغییرات نفوذ تجمعی در شرایط اندازه‌گیری نفوذ و استفاده از شاخص مقیاس در ۹ جویچه اندازه‌گیری شده در شکل ۳ آورده شده است. مقادیر میانگین قدرمطلق خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص توافق محاسبه و در جدول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین قدرمطلق خطا بین مقادیر اندازه‌گیری و استفاده از روش شاخص مقیاس کم که این بیانگر مناسب بودن روش شاخص مقیاس در تعیین نفوذ

در هر بافت خاک در سه منطقه مورد نظر جویچه‌ها با فواصل ۷۵ سانتی‌متر و طول ۸۰ متر و شیب عمومی ۰/۸ درصد انتخاب شد. دبی جویچه‌ها حدود ۰/۵ تا ۰/۸ لیتر در ثانیه و اطلاعات پیشروی در جویچه‌ها در زمان آبیاری اندازه‌گیری شد (ضریب زبری ۰/۰۳). سپس در هر بافت خاک ۳۰ جویچه انتخاب و با استفاده از معادلات بیلان حجمی و اطلاعات پیشروی، نفوذ آب در خاک در ۹ جویچه اندازه‌گیری و در ضمن دو جویچه در دو طرف هر جویچه اندازه‌گیری شده به‌عنوان جویچه حاشیه‌ای (بافر) در نظر گرفته شد. همچنین مقادیر نفوذ براساس روش شاخص مقیاس (موارد اشاره شده در بخش مقدمه و بررسی منابع) محاسبه و تعیین شدند. در این ارتباط با استفاده از معادلات بیلان حجمی و در نظر گرفتن معادله نفوذ کوستیاکوف- لوئیز (روش دو نقطه) نسبت به تعیین نفوذپذیری جویچه‌ها اقدام و برای اندازه‌گیری نفوذ نهایی خاک از روش ورودی- خروجی استفاده شد. دبی خروجی توسط فلوم W.S.C تیپ ۲ اندازه‌گیری شد. معادله دبی- ارتفاع فلوم به صورت معادله (۱۴) است.

$$Q = 0.00374 \times H^{2.64} \quad (14)$$

که در آن، H ارتفاع آب در فلوم بر حسب سانتی‌متر و Q دبی بر حسب لیتر بر ثانیه است.

برای مقایسه آماری چگونگی تغییرات مقادیر محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ بین روش‌های کاربردی مذکور، از شاخص آماری متوسط قدرمطلق خطا (AAE)، شاخص توافق (d) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید ( $Z_{ms}$  و  $Z_{me}$ ) به ترتیب بیان‌کننده مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده نفوذ است).

$$AAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z_{me} - Z_{es}| \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Z_{me} - Z_{ms})^2} \quad (16)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum (Z_{me} - Z_{ms})^2}{\sum (|Z_{me} - \bar{Z}_{me}| + |Z_{ms} - \bar{Z}_{ms}|)^2} \right] \quad (17)$$

### نتایج و بحث

نتایج تغییرات نفوذ تجمعی در شرایط اندازه‌گیری و استفاده از شاخص مقیاس به تفکیک بافت خاک مناطق مورد نظر ارائه شده است.

است (متوسط میانگین کل قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۵۵۶). مقادیر متوسط شاخص توافق و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۰۶۱ محاسبه شد.

جدول ۲- تغییرات میانگین قدرمطلق خطای نفوذ در روش شاخص مقیاس با مقادیر اندازه‌گیری شده در بافت‌های مختلف

| بافت   | شماره جویچه |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        | ۱           | ۲       | ۳       | ۴       | ۵       | ۶       | ۷       | ۸       | ۹       |         |
| لوم    | ۰/۰۰۳۰۱     | ۰/۰۰۱۱۲ | ۰/۰۰۲۵۴ | ۰/۰۰۲۲۷ | ۰/۰۰۲۲۷ | ۰/۰۰۳۰۴ | ۰/۰۰۱۸۱ | ۰/۰۰۱۰۳ | ۰/۰۰۲۲۵ | ۰/۰۰۲۱۵ |
| رسیلت  | ۰/۰۰۴۹۹     | ۰/۰۰۳۷۶ | ۰/۰۰۰۷۰ | ۰/۰۰۳۹۶ | ۰/۰۰۵۰۴ | ۰/۰۰۶۸۸ | ۰/۰۰۹۰۲ | ۰/۰۰۳۶۹ | ۰/۰۰۲۴۳ | ۰/۰۰۴۴۹ |
| لوم‌شن | ۰/۰۰۱۹۷     | ۰/۰۰۲۷۲ | ۰/۰۰۹۷۵ | ۰/۰۰۷۴۱ | ۰/۰۰۱۸۳ | ۰/۰۰۴۷۶ | ۰/۰۰۸۳۶ | ۰/۰۰۵۱۰ | ۰/۰۰۸۱۵ | ۰/۰۰۵۵۶ |

جدول ۳- تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نفوذ در روش شاخص مقیاس با مقادیر اندازه‌گیری شده در بافت‌های مختلف

| بافت   | شماره جویچه |        |         |        |        |        |        |        |         |         |
|--------|-------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|        | ۱           | ۲      | ۳       | ۴      | ۵      | ۶      | ۷      | ۸      | ۹       |         |
| لوم    | ۰/۰۰۴       | ۰/۰۰۱۲ | ۰/۰۰۳۰  | ۰/۰۰۲۷ | ۰/۰۰۲۸ | ۰/۰۰۳۷ | ۰/۰۰۱۰ | ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۰۲۷  | ۰/۰۰۲۴۸ |
| رسیلت  | ۰/۰۰۵۷      | ۰/۰۰۴۰ | ۰/۰۰۰۸۰ | ۰/۰۰۴۶ | ۰/۰۰۵۸ | ۰/۰۰۸۰ | ۰/۰۰۹۰ | ۰/۰۰۴۰ | ۰/۰۰۲۵۰ | ۰/۰۰۴۹۰ |
| لوم‌شن | ۰/۰۰۲۱      | ۰/۰۰۳۰ | ۰/۰۱۱۳  | ۰/۰۰۸۰ | ۰/۰۰۲۰ | ۰/۰۰۶۳ | ۰/۰۰۸۰ | ۰/۰۰۶۰ | ۰/۰۰۸۰  | ۰/۰۰۶۱  |

جدول ۴- تغییرات شاخص توافق (d) در روش شاخص مقیاس و مقادیر اندازه‌گیری شده در بافت‌های مختلف

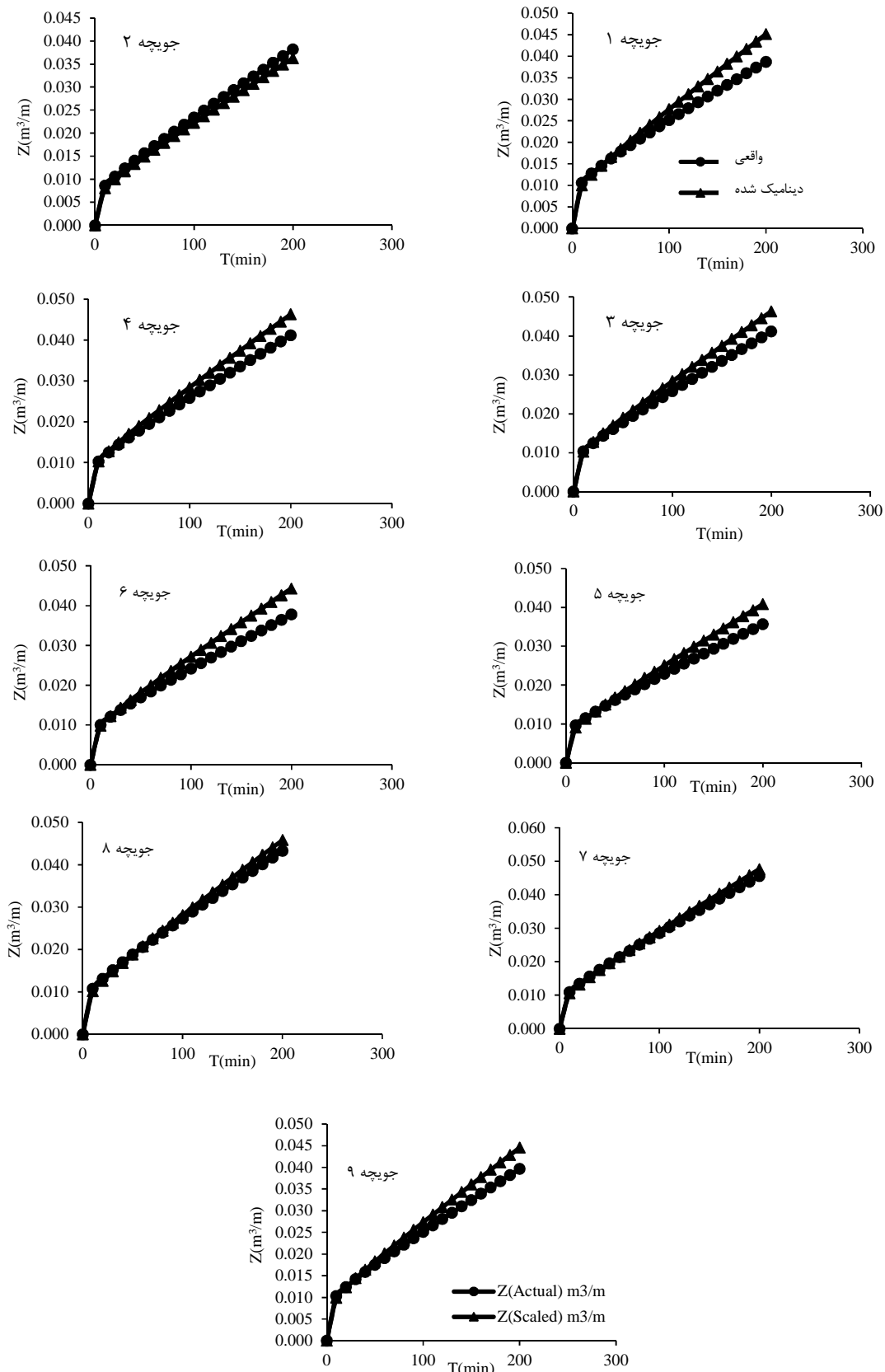
| بافت   | شماره جویچه |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | ۱           | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    |      |
| لوم    | ۰/۹۶        | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ | ۰/۹۶ |
| رسیلت  | ۰/۹۰        | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ | ۰/۹۵ | ۰/۹۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ |
| لوم‌شن | ۰/۹۸        | ۰/۹۷ | ۰/۸۶ | ۰/۹۳ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ |

است (متوسط میانگین کل قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۲۱۵). همچنین نتایج در بافت رسی‌سیتی و لوم شنی نشان می‌دهد که میانگین قدرمطلق خطا بین مقادیر اندازه‌گیری و استفاده از روش شاخص مقیاس کم و به ترتیب برابر ۰/۰۴۴۹ و ۰/۰۵۵۶ است. از طرف دیگر برازش رگرسیونی مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده و تعیین شده با روش شاخص مقیاس، خطی و نزدیک به خط یک و یک (با ضریب همبستگی معنی‌دار و بالا، ۹۰ درصد) در تمامی بافت‌های خاک است که این موضوع نشان‌دهنده دقت و مناسب بودن این روش برای تعیین نفوذ در بافت‌های مختلف خاک است. همچنین میانگین مربعات، خطای پایین و شاخص توافق بالا (حدود ۰/۹۵) بیان‌کننده دقت مناسب این روش در تعیین نفوذ آب به خاک در بافت‌های مورد نظر است.

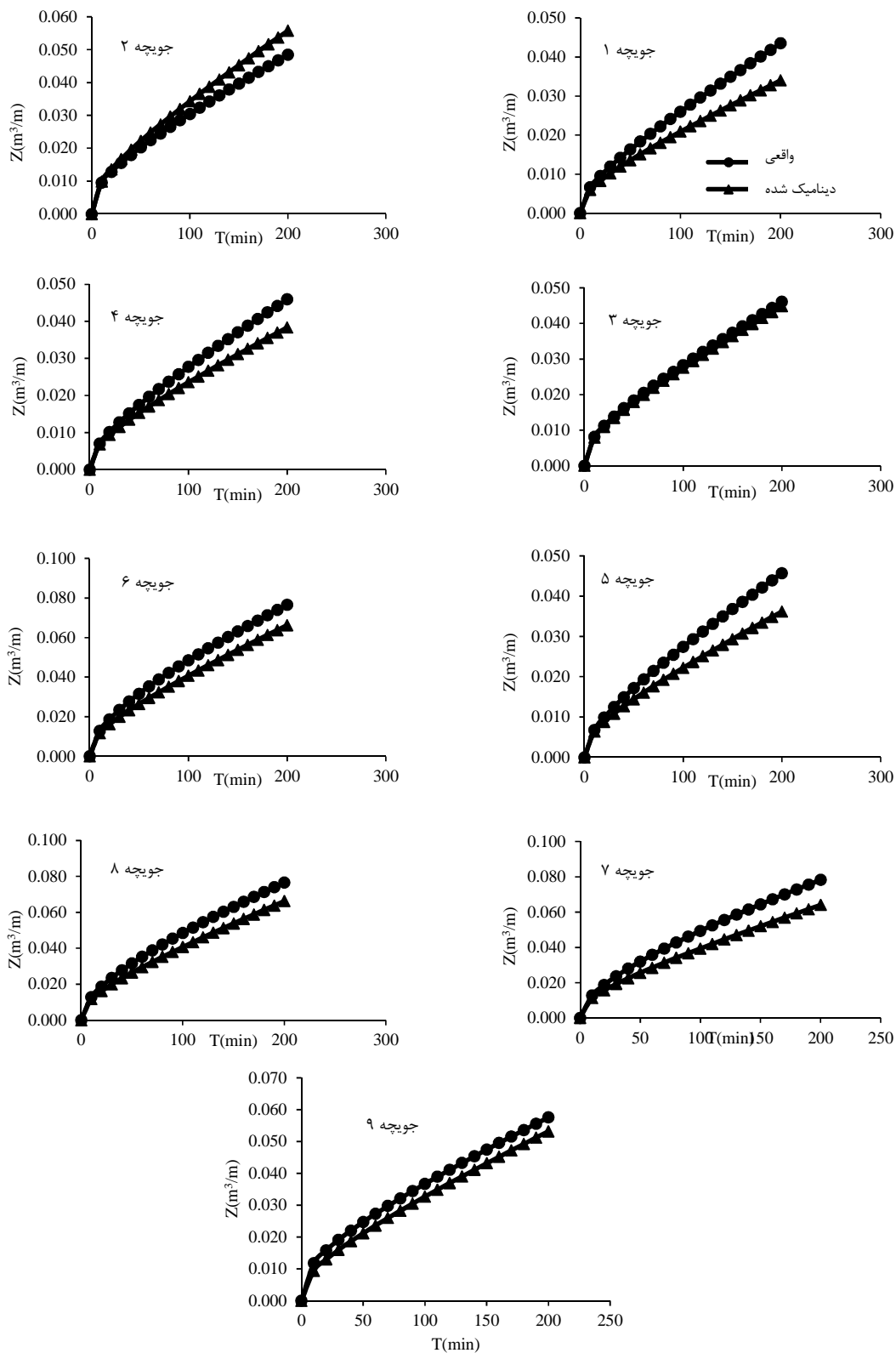
برای شناسایی همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ و مقادیر تعیین شده با روش شاخص مقیاس، روابط همبستگی تعیین و نتایج برای بافت‌های مختلف رسی‌سیتی، لومی و لوم‌شنی به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، برازش مقادیر نفوذ اندازه‌گیری و تعیین شده با روش شاخص مقیاس، خطی و نزدیک به خط یک و یک (با ضریب همبستگی معنی‌دار، ۹۰ درصد) در تمامی خاک‌ها است. این موضوع نشان‌دهنده مناسب بودن این روش برای تعیین نفوذ در بافت‌های مختلف خاک است.

### نتیجه‌گیری

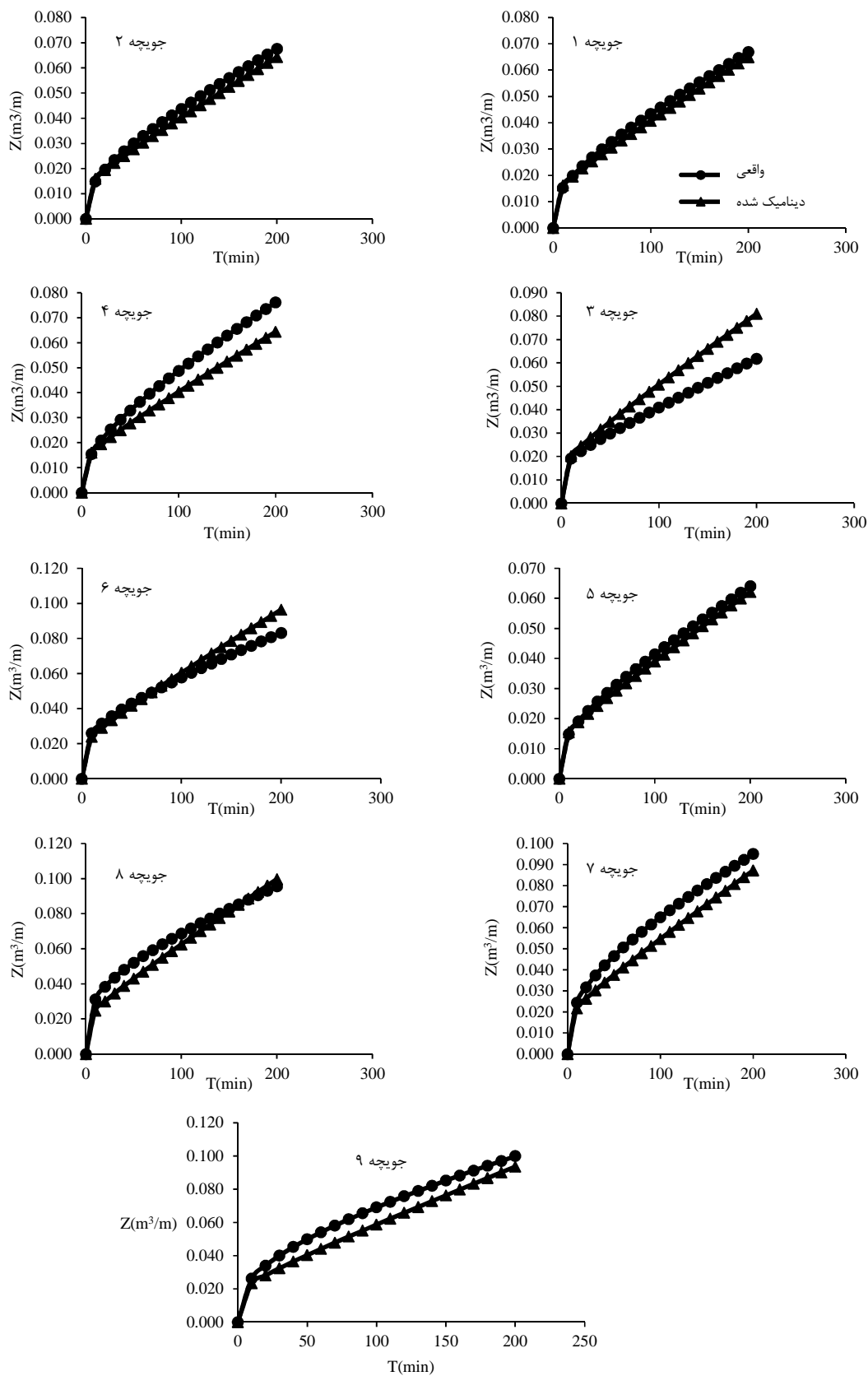
نتایج بافت لوم نشان می‌دهد که میانگین قدرمطلق خطا بین مقادیر اندازه‌گیری و استفاده از روش شاخص مقیاس کم است که این امر بیان‌کننده مناسب بودن روش شاخص مقیاس در تعیین نفوذ در این بافت خاک لومی



شکل ۱- مقایسه تغییرات نفوذ تعیین شده و روش شاخص مقیاس در ۹ جویچه (بافت لوم)



شکل ۲- مقایسه تغییرات نفوذ تعیین شده و روش شاخص مقیاس در ۹ جوینچه (یافت رسی سیلنتی)

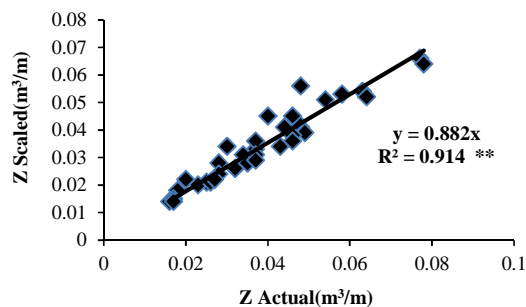


شکل ۳- مقایسه تغییرات نفوذ تعیین شده و روش شاخص مقیاس در ۹ جویچه (بافت لوم‌شنی)

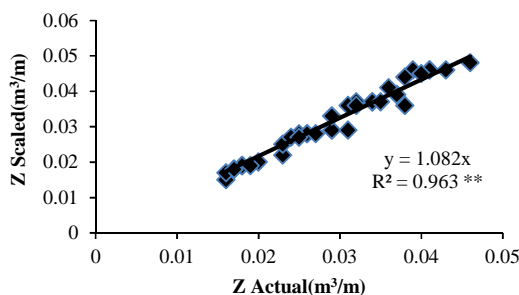


۳. قبادی م. و ابراهیمیان ح. ۱۳۹۴. برآورد نفوذ در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و یک در میان متغیر با استفاده از روش مقیاس‌سازی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۶(۲): ۱۳-۲۴.

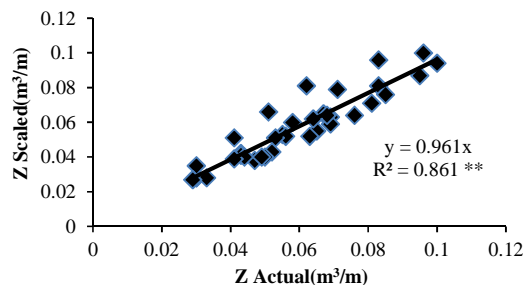
4. Camacho E. and Perez C. 1997. Model for management and control of furrow irrigation in real time. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 123(4): 264-269.
5. Elliott R. and Walker W. R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. ASAE. 25(2): 396-400.
6. Elliott R. and Walker W. R. 1983. Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. Transactions of ASAE. 26(6): 1726-1731.
7. Esfandiari M. and Maheshwari B. L. 1996. Mathematical modeling of furrow irrigation. Sixth International Conference on Computers in agriculture. University of Western Sydney. 1002-1012.
8. Esfandiari M. and Maheshwari B. L. 1997. Application of the optimization method for estimating infiltration characteristics in furrow irrigation. Agricultural Water Management. 34: 169-185.
9. Guardo M. and Oad R. 2000. Comparison of Zero-inertia and volume balance advance infiltration models. Journal of Hydraulic Engineering. 126(6): 457-465.
10. Hanson R. and Prichard T. 1993. Estimating furrow infiltration. Agricultural Water Management. 24: 281-298.
11. Kanya 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.
12. Langat R. Smith R. and Raine S. R. 2008. Estimating the furrow infiltration characteristics from a single advance point. Irrigation Science. 26(5): 367-374.
13. Raine R. and McClymont J. 1997. The development of guidelines for surface irrigation in areas with variable infiltration. Proceeding of Australian Society of Sugar Cane Technologists. 293-301.
14. Raine R. 1999. Research, development and extension in irrigation. National centre for engineering in agriculture. NCEA Publication. 179743/2: 1-12.
15. Shepard J. and Wallender W. 1993. One point method for estimating furrow infiltration. Transactions of the ASAE. 36(2): 395-404.
16. Zapata N. and Playan E. 2000. Simulating elevation and infiltration in level basin irrigation. Soil Science Society of America Journal. 126(2): 78-84.



شکل ۴- نتایج رگرسیونی مقادیر نفوذ جمع‌ی اندازه‌گیری شده و تعیین شده با روش شاخص مقیاس در بافت رسی سیلتی (زمان ۵۰ تا ۲۰۰ دقیقه)



شکل ۵- نتایج رگرسیونی مقادیر نفوذ جمع‌ی اندازه‌گیری شده و تعیین شده با روش شاخص مقیاس در بافت لومی (زمان ۵۰ تا ۲۰۰ دقیقه)



شکل ۶- نتایج رگرسیونی مقادیر نفوذ جمع‌ی اندازه‌گیری شده و تعیین شده با روش شاخص مقیاس در بافت لومی (زمان ۵۰ تا ۲۰۰ دقیقه)

#### منابع

۱. توکلی ع. بابازاده ح. عباسی ف. و صدقی ح. ۱۳۹۴. توسعه رابطه برآورد نفوذ آب در خاک با استفاده از مقیاس‌سازی در آبیاری جویچه‌ای. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۶(۲): ۱-۱۲.
۲. کرمی ع. همایی م. بای‌بوردی م. و محمودیان شوشتری م. ۱۳۹۱. کمی‌سازی پارامترهای نفوذ آب به خاک با استفاده از مقیاس‌سازی. مجله پژوهش آب ایران. ۱۱: ۶۵-۷۳.

