تعیین تغییرات سه شبیه تراوایی آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای

محمدرضا امداد[*1]

تاریخ دریافت: 1391/7/13 تاریخ پذیرش:1392/2/11

چکیده

یکی از مشخصه‌های فیزیکی خاک، که مدیریت آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مسأله تراوایی و تغییرات آن است که در طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری مهم می‌باشد. تعیین معادله‌ای که حاکم بر این فرایند است نقش مهمی در موفقیت یک شبکه‌ی آبیاری دارد. در این راستا ضرایب معادلات تراوایی کوستیاکوف- لوئیز، فیلیپ و SCS با استفاده از معادلات تراز حجمی تعیین، و تغییرات تراوایی تجمعی (حاصله از استفاده‌ی سه معادله‌ی تراوایی) در ابتدا، وسط و انتهای فصل کشت ذرت مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که استفاده از معادله‌ی فیلیپ (روش یک نقطه‌ای) مقادیر تراوایی تجمعی را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تعیین گردیده از معادلات کوستیاکوف- لوئیز و SCS بیشتر برآورد می‌کند. همچنین، میانگین قدر مطلق خطای تراوایی تجمعی به‌دست آمده از معادله‌ی فیلیپ (0/00683) و SCS (0/00373) از مقادیر بالایی برخوردار بود، که این امر حاکی از عدم دقت استفاده از این معادلات در برآورد تراوایی تجمعی می‌باشد. میانگین مقادیر خطای تراوایی تجمعی معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز نسبت به دو معادله‌ی دیگر از مقدار کمتری برخوردار بودند (0/00253)، و نقاط تعیین شده با نقاط اندازه‌گیری شده قرابت و همخوانی نزدیکی داشتند، که این امر بیانگر مناسب بودن معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز نسبت به دو معادله‌ی دیگر در استفاده از معادلات تراز حجمی در خاک مورد نظر است.

واژه‌های کلیدی : تراز حجمی، تراوایی، آبیاری جویچه‌ای

[1]- استادیار و عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

*- نویسنده مسئول: emdadmr591@yahoo.com

مقدمه

کمبود منابع آب یکی از مشکلات مهم مناطق خشک و نیمه خشک است که اکثر نقاط ایران را شامل می‌شود. در بسیاری از نقاط جهان، منابع آب مناسب برای بهره‌برداری رو به کاهش است، و با توجه به مصارف روزافزون آن در جوامع شهری و صنعتی، و افزایش سرانه، تدریجاً کاهش می‌یابد (مارتینز 1999). در این راستا، اعمال مدیریت مناسب آبیاری و انتخاب معادله‌ی تراوایی مناسب سهم بسزایی در کمیت این منابع داشته و می‌تواند با کم کردن تلفات آب و رواناب، و رساندن آب مورد نیاز به منطقه ریشه گاه، موجبات نیل به توان تولید و عملکرد را فراهم نماید. در بسیاری از نقاط جهان، بیش از 90 درصد اراضی آبیانه با روشهای مختلف آبیاری سطحی آبیاری می شوند این روشها مورد کم توجهی قرار گرفته اند. مشکل عمده این روشها پایین بودن بازده آبیاری است که از ضعف مدیریت آبیاری منتج می شود (کاتری و اسمیت، 2006). راین و مک کلیمونت (1997) و جلیز و همکاران (2007) گزارش کردند که در صورت اعمال صحیح مدیریت آبیاری، و در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی ویژگیهای خاک، بازده‌های بالا در آبیاری سطحی دور از انتظار نخواهند بود. امداد (1390) حدود 30 درصد کاهش تراوایی را در طول فصل (انتهای دوره نسبت به ابتدا) گزارش نمود.

معادلات مختلفی به منظور استفاده در آبیاری سطحی مورد مطالعه قرار گرفته اند. معادلات تراوایی کوستیاکوف، SCS، هورتون، فیلیپ و کوستیاکوف- لوئیز از جمله معادلات متداول در آبیاری سطحی می‌باشند که به منظور تعیین تراوایی آب در خاک به‌کار می‌روند. معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف- لوئیز به صورت رابطه 1 می‌باشد (هارتلی، 1992).

$$Z = kt^a + f_0 t \qquad (1)$$

Z : تراوایی تجمعی برحسب مترمکعب بر متر طول جویچه، t : فرصت زمان تراوایی (دقیقه)، k و α : فراسنجهای تجربی، f_0 : تراوایی نهایی خاک (مترمکعب بر متر بر دقیقه).

روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری و تعیین تراوایی نهایی خاک (f_0) وجود دارد. مناسبترین روش اندازه‌گیری تراوایی نهایی خاک روش ورودی- خروجی است؛ در این روش کل جویچه به‌عنوان نفوذپذیر سنج مورد استفاده واقع می‌شود. مقدار تراوایی نهایی خاک با استفاده از روش ورودی- خروجی از رابطه‌ی 2 به‌دست می‌آید (فتاح و آپودیا، 1996).

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \qquad (2)$$

Q_{in} : بده‌ی ورودی برحسب متر مکعب بر دقیقه، Q_{out} : بده‌ی خروجی بر حسب متر مکعب بر دقیقه، L : طول جویچه به متر، f_0 : تراوایی نهایی خاک بر حسب مترمکعب بر متر بر دقیقه.

الیوت و واکر (1982 و 1983) به منظور ارزیابی ضرایب معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف- لوئیز، روش دو نقطه‌ای را پیشنهاد کردند. روش آنها پس از تعیین و اندازه‌گیری تراوایی پایه (با روش ورودی- خروجی) و با استفاده از اندازه‌گیریهای سرعت پیشروی برای دو نقطه (نقاط میانی و انتهایی جویچه)، و با استفاده از روابط لوئیز میلن (رابطه‌ی 3) و معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف- لوئیز (رابطه 1) می‌باشد.

$$Q_{in}.t = cx(t) + \int_{.}^{t} Z(t - t_s)ds \qquad (3)$$

Q_{in} : بده‌ی ورودی، t : زمان، t_s : زمان در نقطه‌ی مورد نظر، c : میانگین سطح مقطع جریان، Z : حجم آب تراوایی یافته، S : مسافت تا نقطه‌ی مشخص، x : طول پیشروی.

با تلفیق روابط 1 و 3، ضرایب معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف- لوئیز تعیین می‌گردند (روابط 4 و 5):

$$a = \frac{\log\left[\dfrac{\dfrac{Q_{in}t_1}{x_1} - c - \dfrac{f_0 t_1}{1+r}}{\dfrac{Q_{in}t_2}{x_2} - c - \dfrac{f_0 t_2}{1+r}}\right]}{\log\left[\dfrac{t_1}{t_2}\right]} \qquad (4)$$

$$k = \frac{\left[\frac{Q_{in}t_1}{x_1} - c - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right]}{s_z t_1^{\,a}} \quad (5)$$

x_1 و x_2 : مسافت پیشروی در وسط و انتهای جویچه، t_1 و t_2 : زمان پیشروی در وسط و انتهای جویچه، c : میانگین سطح مقطع جریان، f_0 : تراوایی نهایی خاک، s_z : فاکتور شکل زیر سطحی، r : فراسنج توانی معادله‌ی پیشروی. در این روش، به‌منظور محاسبه‌ی ضرایب معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف- لوئیز، بایستی زمان رسیدن به نقاط میانی و انتهایی جویچه، به همراه تراوایی نهایی خاک اندازه‌گیری شوند. شپارد و والندر (1993)، از روش یک نقطه‌ای استفاده کرده و ضرایب معادله تراوایی فیلیپ را تعیین نمودند. ایشان توان معادله‌ی پیشروی را 0/5 فرض کرده و بر این اساس معادلات خود را با استفاده از شبیه تراز حجمی و معادله‌ی تراوایی فیلیپ بسط داده، و ضرایب معادله تراوایی فیلیپ را تعیین کردند:

$$I = S_p t^{1/2} + A_p t \quad (6)$$

از تلفیق روابط 3 و 6، ضرایب معادله‌ی فیلیپ تعیین می‌گردند (روابط 7 و 8).

$$A = \frac{3c}{t_2} \quad (7)$$

$$S = \frac{Q_{in}t_2 - cx^2 - \frac{2A}{3p^2}x_2^{\,3}}{\frac{p}{4p}x_2^{\,2}} \quad (8)$$

A : ضریب آبگذری، S : ضریب ثابت مربوط به جذب آب، c : میانگین سطح مقطع جریان، Q_{in} : بده‌ی ورودی به جویچه، t_2 : زمان رسیدن جبهه پیشروی به انتهای جویچه، x_2 : مسافت پیشروی تا انتهای جویچه.

برخلاف روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (1982)، که بایستی زمان پیشروی در نقاط میانی و انتهایی اندازه‌گیری شوند، در این روش فقط اطلاعات پیشروی در نقطه‌ی انتهایی مزرعه به منظور تعیین ضرایب معادله تراوایی فیلیپ مورد نیاز است (شپارد و والندر، 1993).

والیانتز و اجلیس (2001)، با تلفیق معادله‌ی تراز حجمی و معادله‌ی تراوایی SCS ضرایب معادله تراوایی SCS را تعیین کردند. در این ارتباط، وابستگی دو فراسنج a و K به‌صورت تحلیلی تعیین، و سپس تنها فراسنج ناشناخته معادله‌ی SCS (a) می‌تواند با کاربرد معادلات تراز حجمی تعیین شود. زمان پیشروی در انتهای جویچه، بده‌ی ورودی و سطح مقطع جویچه از جمله اطلاعات مزرعه‌ای مورد نیاز بوده که برای برآورد فراسنجهای معادله‌ی تراوایی SCS به‌کار می‌آیند (رابطه‌ی 9).

$$z = kt^a + c \quad (9)$$

Z : تراوایی تجمعی، t : زمان، a و k : تابعی از شماره‌ی منحنی تراوایی، c : مقدار ثابت و برابر 0/7 سانتیمتر.

والیانتز و اجلیس (2001)، روش یک نقطه‌ای استفاده از معادله‌ی تراوایی SCS را یک روش عمومی و متداول به‌منظور طراحی سامانه‌ی آبیاری سطحی ذکر کرده و اظهار داشتند که با استفاده از معادله‌ی SCS و شبیه تراز حجمی، می‌توان ضرایب معادله‌ی تراوایی SCS را با حل معادلات غیرخطی (رابطه‌ی 10) و روش نیوتن رافسون (رابطه‌ی 11) تعیین کرد. نتایج آنها نشان دادند که معادله‌ی SCS بسط داده شده، برآورد نسبتاً نزدیکی را از مقادیر تراوایی ارائه کرده است:

$$f(a) = s_z^{\,(a)} k(a) t_2^{\,a} - D = 0 \quad (10)$$

$$a_{i+1} = a_i - \frac{f(a_i)}{f'(a_i)} \quad (11)$$

$$D = \frac{Q_0 t_2 - s_y A_0 x_2 - cpx_2}{x_2 p} \quad (12)$$

معادلات تراز حجمی نسبت به دیگر شبیه‌های آبیاری سطحی (شبیه آب‌پویایی، لختی صفر و جنبشی) از پیچیدگی کمتری برخوردار بوده و در هیدرولیک آبیاری سطحی و تعیین فراسنجهای هیدرولیکی از این شبیه بیشتر استفاده می‌شود. گاردو و اود (2000)، اظهار داشتند که خطای برآورد زمان پیشروی بین دو شبیه لختی صفر و تراز حجمی کوچک و حدود 3 تا 8 درصد می‌باشد. راین (1999) اظهار کرد که شبیه تراز حجمی به‌صورت گسترده و وسیع به منظور ارزیابی و طراحی آبیاری سطحی به‌کار می‌رود، و این شبیه با اطلاعات

مزرعه‌ای و آزمایشگاهی بیشتر مطابقت دارد. شبیه تراز حجمی می‌تواند در حالت پیشروی در روشهای آبیاری نواری، کرتی و جویچه‌ای استفاده شود (کاماچو و پرز، 1997). چون روشهای مستقیم اندازه‌گیری تراوایی و فراسنجهای آن وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشند، لذا روشهای غیرمستقیم اندازه‌گیری تراوایی (روشهای دو نقطه‌ای و یک نقطه‌ای) می‌توانند در تعیین فراسنجهای تراوایی و اندازه‌گیری آن نقش مهمی ایفا کند (جلیز و همکاران، 2007).

اسفندیاری و ماهشوری (1997)، در خصوص استفاده از معادله‌ی فیلیپ در معادلات تراز حجمی (روش یک نقطه‌ای) اظهار داشتند که معادله‌ی فیلیپ، برای استفاده در خاک مورد آزمایش آنها (خاک رسی با بیش از 67 درصد رس) مناسب نیست. نامبردگان علت عدم دقت استفاده از معادله‌ی فیلیپ را فرضیات به‌کار رفته در این روش عنوان کردند. همچنین، اظهار داشتند که مقدار تابع توانی پیشروی در روش یک نقطه‌ای 0/5 فرض شده است، در حالی‌که نتایج آزمایش آنها نشان دادند که این ضریب بین 0/85 تا 1 متغیر بوده است؛ لذا، انتخاب مقدار 0/5 در استفاده از روش یک نقطه‌ای (با استفاده از معادله‌ی فیلیپ) یک محدودیت به‌شمار می‌رود.

ماهشوری و جایاواردان (1992)، تغییرات فراسنجهای نفوذپذیری را در خاکهای رسی مطالعه کردند. آنها معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز را برای توصیف تغییرات فراسنجهای تراوایی به‌کار برده و اظهار داشتند که این معادله با اطلاعات مزرعه‌ای هماهنگی بیشتری دارد. معادلات مختلفی برای مطالعات آبیاری به‌وسیله‌ی دیگر محققان به‌کار برده شده‌اند، که معادلات کوستیاکوف، کوستیاکوف- لوئیز، فیلیپ و هورتون پیشنهاد شده‌اند. معادلات مذکور (به جز معادله‌ی فیلیپ) تجربی بوده، و بایستی با اطلاعات مزرعه‌ای مقایسه و واسنجی شود. همچنین، ماهشوری (1997) گزارش کرد که نتایج رضایت بخشی از مقادیر تراوایی تجمعی در دو خاک درز و ترک دار و بدون درز و ترک در استفاده از برخی معادلات و معادله‌ی تراز حجمی حاصل نمی‌شوند. وی استفاده از معادلات تجربی تراوایی را به علت راحتی استفاده، و تطابق بیشتر با اطلاعات مزرعه‌ای، موثرتر خواند و استفاده از این معادلات را در شبیه تراز حجمی پیشنهاد نمود.

والیانتز(2001) از روش یک نقطه‌ای و معادله‌ی تراوایی SCS استفاده کرد و اظهار نمود که استفاده از معادله‌ی SCS مناسبتر از معادله‌ی فیلیپ بوده، و در شرایط آزمایش خود استفاده از روش یک نقطه ای را با استفاده از معادله‌ی تراوایی SCS به‌منظور تغییرات بررسی تغییرات تراوایی پیشنهاد کرد. گفتنی است که استفاده از معادله تراوایی مناسب در شبیه تراز حجمی بایستی براساس آزمایش و تحقیقاتی باشد که در آن منطقه انجام می‌شود. طرح تحقیقاتی حاضر، معادلات کوستیاکوف- لوئیز، فیلیپ و SCS را با شبیه تراز حجمی (معادله‌ی لوئیزمیلن) تلفیق کرده، و نتایج هر یک را با مقادیر اندازه‌گیری شده تراوایی تجمعی مورد مقایسه قرار می‌دهد تا مناسبترین معادله‌ی نفوذپذیری خاک منطقه مشخص شود.

مواد و روشها

به منظور اندازه‌گیری و تعیین تغییرات نفوذپذیری حاصله از کاربرد سه معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف- لوئیز، فیلیپ و SCS با استفاده از شبیه تراز حجمی و مقایسه‌ی شبیه‌تر از تغییرات روند این معادلات در طول فصل زراعی، این تحقیق در مزرعه‌ی تحقیقاتی واقع در کرج انجام شد. این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک، ارتفاع منطقه از سطح دریا 1312/5 متر، و اندازه‌ی بارندگی سالانه حدود 271 میلیمتر می‌باشد. مشخصات شیمیایی خاک مزرعه به همراه ویژگیهای شیمیایی آب آبیاری به ترتیب در جداول 1 و 2 ارائه گردیده‌اند.

خاک مزرعه دارای متوسط رسی بوده و رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی آن به ترتیب 21/9 و 9/8 درصد وزنی اندازه‌گیری شده‌اند (امداد، 1383). با استفاده از معادلات تراز حجمی، و در نظر گرفتن سه معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف- لوئیز، فیلیپ و سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS) نسبت به تعیین تغییرات نفوذپذیری، و مقایسه‌ی آنها با مقادیر اندازه‌گیری شده به‌منظور انتخاب مناسبترین معادله اقدام گردید. پس از گزینش زمین، عملیات خاک ورزی در آن انجام پذیرفت. به‌منظور مبارزه با علفهای هرز و جلوگیری از رویش علفها، قطعه مورد نظر

با ارادیکان سمپاشی گردید. با توجه به آزمون خاک، کود فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاس (سولفات پتاسیم) به ترتیب به میزان 100 و 150 کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. کود اوره به مقدار 350 کیلوگرم در هکتار بطور تقسیط در اختیار خاک قرار گرفت. تعداد جویچه ها 15 عدد، شیب آنها 01/ 0 درصد، فواصل آنها 0/75 و تعداد 12 نوبت آبیاری در طول فصل انجام شد. برای هر تکرار سه جویچه در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری در جویچه‌ی وسطی صورت پذیرفت، و دو جویچه‌ی کناری به صورت ضربه‌گیر در نظر گرفته شدند. گیاه مورد نظر ذرت علوفه ای بود که در عمق 5 سانتیمتری و به فواصل 15 سانتیمتر کشت شد. زمان آبیاری بر مبنای رطوبت خاک قبل از آبیاری، و براساس تخلیه‌ی 50 درصد آب قابل استفاده (نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دایم) بود. مقدار رطوبت خاک با کاربرد نوترون‌سنج اندازه‌گیری و عمق آب آبیاری براساس رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی مزرعه محاسبه و اعمال شد. تراوایی نهایی خاک با روش ورودی- خروجی اندازه‌گیری و بده‌ی خروجی توسط نهر پایه‌دار WSC (نوع 2) اندازه‌گیری شد.

به منظور تعیین نفوذپذیری، معادلات تراز حجمی و معادلات تراوایی کوستیاکوف- لوئیز، فیلیپ و SCS مورد بهره‌وری قرار گرفتند، و با به‌کارگیری هر یک از معادلات تراوایی و تلفیق آنها با شبیه تراز حجمی شرح داده شده، تغییرات تراوایی با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه واقع گردیدند. سپس با استفاده از شاخص آماری میانگین قدر مطلق خطا (AAE)، و آزمون نمونه‌های جفتی[1] تغییرات آنها با یکدیگر مورد بررسی و مقایسه واقع گردید.

نتایج و بحث

مقادیر ضرایب معادلات تراوایی در ابتدا، میان و انتهای دوره با استفاده از معادلات کوستیاکوف- لوئیز، فیلیپ و SCS تعیین گردیدند. شکلهای 1، 2 و 3 تغییرات سه معادله‌ی تراوایی را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند.

با ملاحظه شکلهای ارائه شده، و تغییرات تراوایی تجمعی منتجه از سه معادله‌ی تراوایی کوستیاکوف – لوئیز، فیلیپ و SCS مشاهده می‌گردد که معادله‌ی فیلیپ برآورد مناسبی را از تراوایی تجمعی در تمام فصل ارائه نکرد، و مقادیر تراوایی تجمعی را بالاتر برآورد کرده است. همچنین، ملاحظه می‌شود که مقادیر تراوایی تجمعی به‌دست آمده از معادله‌ی SCS نیز با مقادیر اندازه‌گیری شده قرابت و همخوانی ندارند، در حالی‌که معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز و استفاده آن در معادلات تراز حجمی، نتایج نزدیکتری را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده در طول فصل ارائه می‌کند. از نظر آماری، به‌منظور تعیین چگونگی تغییرات محاسبه گردیده با مقادیر اندازه‌گیری شده از شاخص میانگین قدر مطلق خطا[2] استفاده گردید.

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

N : تعداد مشاهدات، Z_{me} : تراوایی تجمعی اندازه‌گیری شده، Z_{es} : تراوایی تجمعی برآورد شده، AAE : میانگین قدرمطلق خطا.

نتایج مقادیر میانگین قدر مطلق خطای تراوایی تجمعی حاصل از مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده در طول فصل در جدول 3 ارائه گردیده‌اند. با توجه به جدول 3 ملاحظه می‌گردد که میانگین مقادیر قدر مطلق خطای تراوایی تجمعی معادله کوستیاکوف- لوئیز با مقادیر اندازه‌گیری شده (0/00253) کمتر از میانگین قدرمطلق خطای تراوایی تجمعی حاصله از معادلات SCS (0/00373) و فیلیپ (0/00683) می‌باشد. پس از معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز، معادله‌ی SCS معادله مناسبتری نسبت به معادله فیلیپ (با توجه به AAE) است. همچنین، از نظر آماری، به‌منظور مقایسه‌ی روند تغییرات تراوایی تجمعی حاصله از سه معادله‌ی تراوایی، آزمون نمونه‌های جفتی انجام و نتایج در جدول 4 ارائه گردیده‌اند.

جدول 4 نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر تعیین شده از معادلات تراوایی کوستیاکوف- لوئیز با SCS و فیلیپ در کل دوره وجود دارد، که این بیانگر اختلاف کاربرد معادلات تراوایی است.

معادلاتی مانند فیلیپ، که پایه‌ی نظری دارند، ممکن است در شرایط مزرعه برآورد قابل قبولی را از مقادیر تراوایی ارائه نکنند. نتایج ماهشوری و جایاواردان (1992)،

[1] - paired T test

[2] - average absolute error

حاکی از عدم دقت معادله‌ی فیلیپ در تحقیق آنها بود. همچنین، فرضیات به‌کار رفته در معادله‌ی تراوایی فیلیپ در مناسب نبودن و یا عدم دقت این معادله نقش دارد. فرضیات فیلیپ براساس یکنواختی و همگونی خاک مزرعه، و فاقد درزو ترک بودن خاک است که معمولاً این فرضیات با شرایط طبیعی همخوانی ندارند.

همچنین، ملاحظه گردید که میانگین قدرمطلق خطای تراوایی تجمعی به‌دست آمده از معادله‌ی SCS نیز در مقایسه با کاربرد معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز از مقادیر بالایی برخوردار است، که این حاکی از عدم دقت این معادله در برآورد تراوایی تجمعی در این تحقیق است. استفاده از اطلاعات پیشروی یک نقطه در استفاده از این روش و نداشتن جمله‌ی تراوایی نهایی خاک، انعطاف پذیری استفاده از معادله‌ی SCS را در شبیه تراز حجمی کم نموده، و باعث عدم دقت این معادله در برآورد تراوایی تجمعی می‌گردد. والیانتز و اجلیس(2001) اظهار کردند چون معادله‌ی تراوایی SCS یک معادله‌ی تک فراسنجی وابسته است، لذا دارای محدودیت بیشتری نسبت به دیگر معادلات دو فراسنجی چون کوستیاکوف- لوئیز می‌باشد.

معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز، به علت در نظر گرفتن جمله‌ی تراوایی پایه (f_0)، معادله‌ی مناسبی برای تعیین نفوذپذیری خاک قلمداد می‌شود، و بیشتر محققان استفاده از آن را برای تعیین تراوایی توصیه نموده‌اند، که البته بایستی در مناطق مختلف آزمایش گردیده، و با دیگر معادلات تراوایی مقایسه شود. با توجه به شکلهای ارائه شده و نتایج آماری ملاحظه می‌گردد که معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز مقادیر نزدیکی را از تراوایی تجمعی با مقادیر اندازه‌گیری شده ارائه می‌کند. عموماً، معادلات تجربی بهتر از معادلاتی که پایه انگاره‌ای دارند با اطلاعات مزرعه‌ای همخوانی می‌نمایند. استفاده از جمله‌ی نفوذ نهایی خاک (f_0)، که خاکها در انتهای زمان آبیاری از خود نشان می‌دهند، عامل برتری معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز نسبت به سایر معادلات می‌باشد. معادله‌ی فیلیپ و SCS مقادیر مناسبی را از تراوایی تجمعی ارائه نکردند، که این خود متأثر از تأثیر عوامل متعدد طبیعی اثرگذار بر نفوذپذیری از جمله فرصیات به‌کار رفته در این معادلات و استفاده از آنها در شبیه تراز حجمی می‌باشد. با توجه به نزدیکی نتایج به‌دست آمده از معادله‌ی کوستیاکوف- لوئیز با مقادیر اندازه‌گیری شده ملاحظه می‌شود که معادله‌ی مزبور مناسبتر از دو معادله دیگر در استفاده از معادلات تراز حجمی بوده، و مقادیر تراوایی تجمعی نزدیکتری را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده (با میانگین قدر مطلق خطای کمتر) ارائه می‌کند.

جدول 1- برخی ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از انجام آزمایش.

شن	لای	رس	پتاسیم	فسفر	CEC	pH	EC (dS/m)	عمق (cm)
%			mg/kg		(meq/100g Soil)			
29/2	45/4	25/4	204	8/2	13/0	7/9	0/56	0-30
25/2	47/4	27/4	128	3/6	13/4	7/9	0/95	30-60

SAR	آنیونها meq/l			کاتیونها meq/l			عمق (cm)
	Cl^-	HCO_3^-	$SO_4^=$	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	
0/92	5/0	2/8	0/7	3/6	3/2	1/7	0-30
1/16	4/0	2/4	8/0	6/4	5/2	2/8	30-60

جدول 2- ویژگیهای شیمیایی آب آبیاری.

کاتیونها (meq/l)			آنیونها (meq/l)			EC (dS/m)	SAR	pH
Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	Cl^-	HCO_3^-	$SO_4^=$			
3/2	2/4	1/5	1/60	2/0	3/5	0/62	0/90	7/95

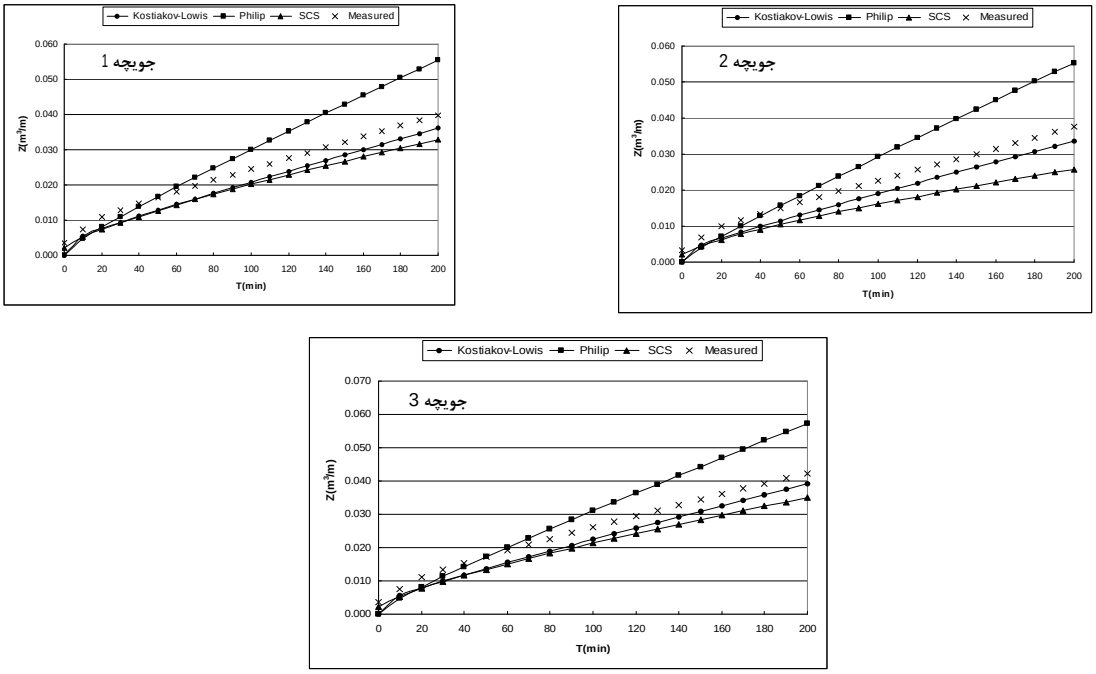
جدول 3- میانگین قدرمطلق خطای تراوایی تجمعی در ابتدا، میان و انتهای دوره.

	AAE								
	کوستیاکوف – لوئیز و مقادیر اندازه‌گیری شده			فیلیپ و مقادیر اندازه‌گیری شده			SCS و مقادیر اندازه‌گیری شده		
	جویچه 1	جویچه 2	جویچه 3	جویچه 1	جویچه 2	جویچه 3	جویچه 1	جویچه 2	جویچه 3
ابتدای دوره	0/003585	0/003571	0/003517	0/006725	0/007666	0/006226	0/00452	0/006735	0/004889
میان دوره	0/002198	0/001798	0/002054	0/003581	0/00235	0/002151	0/002861	0/00362	0/002207
انتهای دوره	0/002827	0/001463	0/00172	0/006517	0/012174	0/014035	0/003157	0/002334	0/003228
میانگین	0/002827	0/00228	0/00243	0/00561	0/00740	0/00747	0/00351	0/00423	0/00344

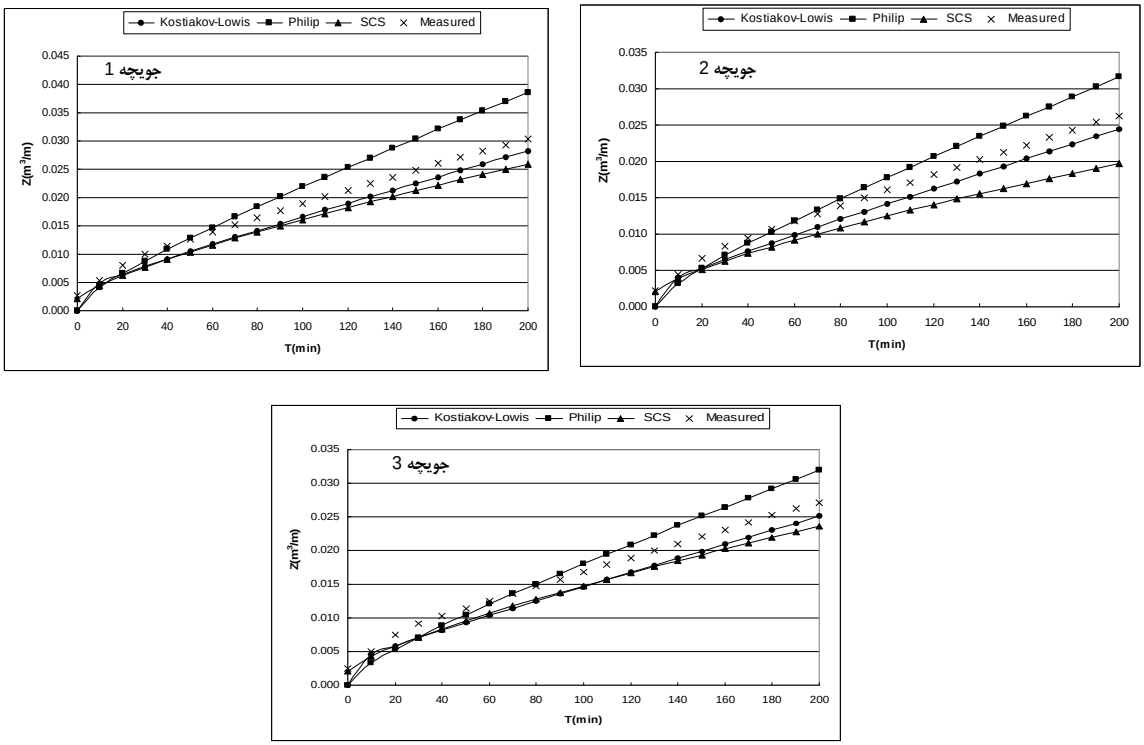
جدول 4- تحلیل نمونه‌های جفتی تراوایی تجمعی در استفاده از معادلات تراوایی مختلف.

	جفتها	تفاوت جفتها				t	درجه آزادی	معنی‌داری جفتها
		میانگین	میانگین خطای معیار	حدود اطمینان 99 درصد				
				حد پایین	حد بالا			
ابتدای دوره	کوستیاکوف-لوئیز و فیلیپ	-0/0093	0/00082	-0/01147	-0/00712	-11/351	62	0/0 **
	کوستیاکوف-لوئیز و SCS	0/0018	0/00027	0/001109	0/00254	6/785	62	0/0 **
	فیلیپ و SCS	0/0111	0/00106	0/00831	0/01393	10/514	62	0/0 **
میان دوره	کوستیاکوف-لوئیز و فیلیپ	-0/0039	0/00037	-0/00487	-0/002909	-10/532	62	0/0 **
	کوستیاکوف-لوئیز و SCS	0/0009	0/00018	0/00041	0/00134	5/024	62	0/0 **
	فیلیپ و SCS	0/0048	0/00050	0/00344	0/00610	9/544	62	0/0 **
انتهای دوره	کوستیاکوف-لوئیز و فیلیپ	-0/0110	0/00099	-0/01367	-0/00841	-11/162	62	0/0 **
	کوستیاکوف-لوئیز و SCS	-0/0110	0/00017	-0/00157	-0/00064	-6/327	62	0/0 **
	فیلیپ و SCS	0/0099	0/00092	0/00749	0/01237	10/827	62	0/0 **

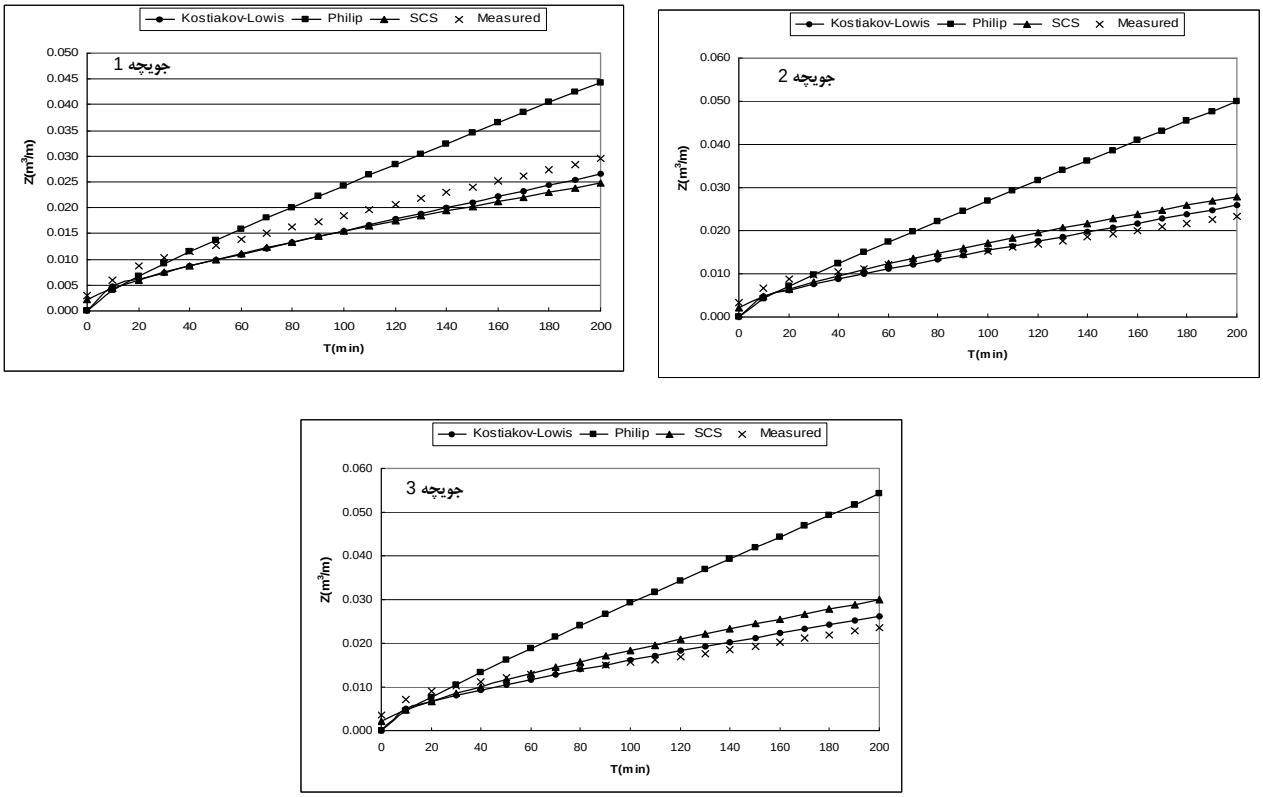
** : معنی دار در سطح یک درصد



شکل1- تغییرات تراوایی تجمعی حاصله از سه معادله‌ی تراوایی مختلف در ابتدای دوره با مقادیر اندازه‌گیری شده



شکل 2- تغییرات تراوایی تجمعی حاصله از سه معادله‌ی تراوایی مختلف در میان دوره با مقادیر اندازه‌گیری شده.



شکل 3- تغییرات تراوایی تجمعی حاصله از سه معادله‌ی تراوایی مختلف در انتهای دوره با مقادیر اندازه‌گیری شده.

منابع

1. امداد، م.ح.1390. بررسی تغییرات فصلی تراوایی آب و تاثیر آن بر مدیریت آبیاری ذرت علوفه ای. گزارش نهایی شماره 90/256 موسسه تحقیقات خاک و آب.
2. امداد، م.ح.1383 .تاثیر کیفیتهای مختلف آب آبیاری بر ضرایب معادلات تراوایی آب به خاک در آبیاری نشتی و تغییرات زمانی ضرایب سه معادله نفوذپذیری.رساله دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
3. Camacho, E. and C. Perez. 1997. Model for management and control of furrow irrigation in real time. J. Irrig. Drain. Eng. 123: 264-269.
4. Elliott, R. and W. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. ASAE. 25: 396-400.
5. Elliott, R. and W. Walker. 1983. Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. Trans. of ASAE 26: 1726-1731.
6. Esfandiari, M. and B Maheshwari. 1997. Field values for estimating surface storage on clay soil. Irrig. Sci. 17: 159-161.
7. Fattah, H. and. S. Upadhyaya. 1996. Effect of soil crust and soil compaction on infiltration in yolo loam soil. Trans. ASAE. 39: 79-84.
8. Gillies, M, R. Smith. And R. Raine. 2007. Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. Irrig. Sci. 24: 25-35.
9. Guardo, M. and R. Oad. 2000. Comparison of Zero-inertia and volume balance advance – infiltration models. J. Hydraul. Eng. 126: 457-465.
10. Hartley, D.M. 1992. Interpretation of Kostiakov infiltration parameters for borders. ASCE 118:156-165.
11. Khatri, L. and R. Smith. 2006. Real- time prediction of soil infiltration characteristics for the management of furrow irrigation. Irrig. Sci. 25: 33-43.
12. 12- Maheshwari, B. 1997. Interrelations among physical and hydraulic parameters of non-cracking soils. J. Agric. Eng. Res. 68: 297-309.
13. Maheshwari, B. And N. Jayawardane. 1992. Infiltration characteristics of some clayey soils measured during border irrigation. Agric. Water Manage. 21: 265-279.
14. Martinez, J. 1999. Irrigation with Saline water: benefits and environmental impact. Agric. Water Manage. 40: 183-194.
15. Raine, R. 1999. Research, development and extension in irrigation. National Centre
16. Raine, R. and J. Mcclymont. 1997. The development of guidelines for surface irrigation in areas with variable infiltration. Proceeding of Australian Society of Sugar Cane Technologists: 293-301.
17. Shepard, J. and W. Wallender. 1993. One point method for estimating furrow infiltration. Trans. ASAE 36: 395-404.
18. Valiantzas, J. 2001. Optimal furrow design. ASCE 127: 201-208.
19. Valiantzas, J. and S. Aggelides. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. Agric. Water Manage. 52: 17-32.