

وابستگی اندازه‌گیری‌های هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای به اندازه استوانه در یک خاک لوم رسی

هیوا خانی‌چراغبدال^۱، * حبیب خداوردی‌لو^۲، حسین عسگرزاده^۳ و شجاع قربانی‌دشنکی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ^۲ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه،

^۳ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ^۴ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (K_{fs}) یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک است که نقشی مهم در کیفیت خاک دارد. با این حال، به‌ویژه در خاک‌های ساختمان‌دار اندازه‌گیری K_{fs} دشوار و وقت‌گیر است. بنابراین راستی‌آزمایی روش‌های ساده و سریع برای اندازه‌گیری K_{fs} به‌منظور پایش مؤثر خاک ضروری است. این مطالعه به‌منظور ارزیابی تأثیر اندازه استوانه (استوانه‌هایی با قطرهای ۵/۵، ۱۰/۸۸، ۱۶ و ۳۱/۸ سانتی‌متر) بر K_{fs} اندازه‌گیری شده با الگوی بارافتان ساده‌سازی شده (SFH) به روش تک‌استوانه در یک خاک لوم رسی ساختمان‌دار انجام گرفت. افزون بر این، تأثیر خاک‌ورزی مرسوم بر K_{fs} نیز ارزیابی و K_{fs} اندازه‌گیری شده با روش‌های استوانه دوگانه (DR) و SFH مقایسه گردید. **مواد و روش‌ها:** در روش SFH از استوانه‌های با قطر داخلی ۵/۵، ۱۰/۸۸، ۱۶ و ۳۱/۸ سانتی‌متر استفاده شد. در روش DR قطر استوانه اندازه‌گیری ۲۷/۸۳ سانتی‌متر و قطر استوانه بافر ۵۰ سانتی‌متر بود و نفوذ آب به خاک به روش معمول بار ثابت اندازه‌گیری شد. ضریب ناهم‌خوانی (a) بین مقادیر K_{fs} اندازه‌گیری شده با هر اندازه استوانه در روش SFH با سایر اندازه‌های مورد استفاده و همچنین با روش DR محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی بین روش DR و اندازه‌های گوناگون مورد استفاده در روش SFH انجام گرفت. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش SNK در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از برنامه SAS (9.1.3) انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، با این‌که اندازه استوانه بر K_{fs} اندازه‌گیری شده تأثیر داشت، ناهم‌خوانی بین نتایج K_{fs} اندازه‌های مختلف استوانه و روش SFH و DR از نظر کاربردی قابل چشم‌پوشی بود (ضریب ناهم‌خوانی کم‌تر از ۰/۲۷). اثر عملیات خاک‌ورزی بر K_{fs} اندازه‌گیری شده چشم‌گیر بود (اختلاف ۲ تا ۳ برابری). روش‌های SFH و DR میانگین‌هایی متفاوت از نظر آماری از K_{fs} ارائه دادند. با این حال، تفاوت K_{fs} اندازه‌گیری شده با بزرگ‌ترین استوانه در روش SFH تفاوتی کاربردی با K_{fs} به‌دست آمده با روش DR نداشت (ضریب ناهم‌خوانی کم‌تر از ۰/۳۷). همچنین، ضریب تغییرات مقادیر K_{fs} به‌دست آمده با روش DR بیش‌تر از اندازه‌گیری‌های SFH بود.

نتیجه‌گیری: مدت‌زمان اجرای آزمایش نفوذ با روش SFH به‌مراتب کوتاه‌تر از روش DR بود. به‌طورکلی، مقادیر میانگین K_{fs} به‌دست آمده با روش SFH برای پایش تأثیر خاک‌ورزی مناسب بود. مطالعات بیش‌تری برای آزمودن تناسب روش SFH برای پایش هدایت هیدرولیکی خاک‌های گوناگون برای اهداف مختلف ضروری است.

واژه‌های کلیدی: هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای، بارافتان ساده‌سازی شده، اندازه استوانه

* مسئول مکاتبه: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

مقدمه

اطلاع از تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک، نیازی اساسی در طراحی راهکارهای مناسب برای مدیریت پایدار خاک است. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک یک ویژگی کلیدی در چرخه آب است (۱۸) که بسیاری از رفتارهای خاک از جمله نفوذ آب، رواناب سطحی، آبیویی سموم از زمین‌های کشاورزی و حرکت آلاینده‌ها از مکان‌های آلوده به آب‌های زیرزمینی و ... را کنترل می‌کند (۳۱). برای حل مسایل کشاورزی، مهندسی و زیست‌محیطی در مقیاس‌های کلان مثلاً در سطح یک دشت یا حوضه، می‌بایست تغییرپذیری کوچک-مقیاس این پارامتر تعیین گردد (۳۳).

با این‌که روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (K_{fs}) وجود دارند، به‌دلیل تغییرپذیری مکانی بالای K_{fs} و نیاز به تکرارهای پرشمار به‌منظور یافتن میانگینی قابل‌اعتماد از K_{fs} یک منطقه، تعیین دقیق این پارامتر به‌عنوان چالشی اساسی باقی‌مانده است (۳۳). زمان‌بر بودن روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی، کاربرد این روش‌ها را به‌ویژه در حوضه‌های وسیع دشوار ساخته (۱۹) و لزوم استفاده از روش‌هایی تا حد ممکن سریع و ساده را ضروری می‌نماید (۲). بنابراین، در سالیان اخیر پی‌ریزی و استفاده از روش‌های ساده‌سازی شده با هدف کوتاه نمودن زمان آزمایش، به‌کار بردن حجمی کم‌تر از آب و حمل‌ونقل آسان متداول شده است.

اساس روش‌های گوناگون صحرایی و آزمایشگاهی اندازه‌گیری K_{fs} بر اندازه‌گیری سرعت جریان عمودی آب به خاک استوار است. با این‌حال، چون در روش‌های آزمایشگاهی ساختمان خاک و هندسه منافذ در هنگام نمونه‌برداری به‌هم می‌خورد، در

طرح‌های اجرایی بیش‌تر از روش‌های صحرایی مانند روش‌های نفوذسنج تک‌استوانه، استوانه‌های دوگانه^۱ (DR) و نفوذسنج مکشی استفاده می‌شود (۳۰، ۳۲). ضرورت برقراری جریان شبه‌پایدار در روش‌های صحرایی، استفاده از این روش‌ها را در خاک‌های ریزبافت و با هدایت هیدرولیکی کم محدود می‌کند؛ زیرا ایجاد جریان شبه‌پایدار در این خاک‌ها زمان‌بر است (۳۲). باگارلو و اسگوری (۲۰۰۴) روش بارافتان ساده‌سازی شده (SFH)^۲ را برای اندازه‌گیری K_{fs} در خاک‌های ریزبافت پیشنهاد کردند (۴). این روش به حجمی کم از آب و مدت‌زمانی اندک نیاز داشته و حمل‌ونقل تجهیزات آن آسان است (۵). در مطالعاتی که تاکنون انجام شده است، نتایج حاصل از روش بارافتان ساده‌سازی شده (SFH) در اندازه‌گیری K_{fs} مشابه نتایج حاصل از سایر روش‌های آزمایشگاهی، مانند روش بار ثابت و روش‌های صحرایی مانند نفوذسنج تک‌استوانه بوده است. با توجه به برتری‌های روش SFH، می‌توان آن را به‌عنوان روشی مناسب در اندازه‌گیری K_{fs} در خاک‌های ریزبافت یا خاک‌هایی با هدایت هیدرولیکی پایین توصیه کرد (۲۶).

علیزاده و همکاران (۲۰۰۹) با مقایسه روش SFH و استوانه دوگانه، نشان دادند که میانگین K_{fs} به‌دست آمده از روش SFH با میانگین K_{fs} روش استوانه دوگانه ۹/۶ درصد اختلاف داشت (۱). گفتنی است مدت‌زمان اندازه‌گیری و حجم آب موردنیاز برای انجام هر آزمایش در روش SFH به‌طور متوسط ۹/۴۴ دقیقه و ۳ لیتر و در روش استوانه دوگانه به‌ترتیب ۱۵۰ دقیقه و ۸۰ لیتر بود. باگارلو و اسگوری (۲۰۰۷) هدایت هیدرولیکی اشباع را با دو روش SFH و تک‌استوانه در یک خاک لوم شنی اندازه‌گیری نمودند.

1- Double ring

2- Simplified Falling Head

وابستگی اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های هیدرودینامیکی خاک به حجم یا سطح رویه نمونه‌برداری شده خاک در منابع مختلف بررسی گردیده و از نظر فیزیکی توضیح داده شده است (۳۴، ۴۲، ۱۱، ۲۱، ۲). در مطالعات مختلف برای اندازه‌گیری K_{fs} با روش SFH از استوانه‌های با قطرهای مختلف استفاده شده است. برای مثال، چاودری و همکاران (۲۰۰۶) از استوانه‌هایی به قطر ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر استفاده کرده‌اند، همچنین باگارلو و اسگوری (۲۰۰۴)، باگارلو و همکاران (۲۰۱۰) از استوانه‌های با قطر داخلی ۱۵ سانتی‌متر استفاده کرده‌اند (۱۱، ۴، ۳). لاسابتر و همکاران (۲۰۰۶) از استوانه‌های به قطر ۱۵ و ۲۰، مبارک و همکاران (۲۰۱۰) از استوانه‌ای به قطر ۱۳، خو و همکاران (۲۰۱۲) از استوانه‌ای به قطر ۱۴/۴، وو و پن (۱۹۹۷) از استوانه‌های به قطر ۶، ۱۰ و ۲۰، مرتنس و همکاران (۲۰۰۲) از استوانه‌ای به قطر ۹/۵، رگالادو و همکاران (۲۰۰۴) از استوانه‌ای به قطر ۵۶ و بودهنیاک و چینگ‌سی (۲۰۰۴) از استوانه‌ای به قطر ۵۰ سانتی‌متر استفاده کرده‌اند (۲۰، ۲۷، ۳۹، ۳۸، ۲۳، ۲۹، ۹). با این حال، در هیچ‌کدام از پژوهش‌های انجام‌شده با استفاده از اندازه‌های مختلف استوانه مورد شیوه ارزیابی تناسب اندازه استوانه مورد استفاده بحث نشده و دلیلی برای استفاده از اندازه‌ای مشخص ارائه نشده است. همچنین تا آن‌جا که ما می‌دانیم، اطلاعاتی اندک در مورد قابلیت کاربرد عملی اندازه‌گیری‌های K_{fs} وجود دارد که عموماً بر روی اندازه‌هایی محدود از استوانه و خاک‌هایی متفاوت از خاک‌های کشور ایران بررسی گردیده است (برای نمونه، ۲، ۱۱).

نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که K_{fs} به دست آمده از روش SFH مشابه روش تک‌استوانه بود (۵). نتایج مطالعات قانی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که از لحاظ آماری، بین روش‌های صحرایی شامل استوانه‌های دوگانه، تک‌استوانه و نفوذسنج مکشی برای اندازه‌گیری K_{fs} در سطح احتمال ۱ درصد، اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (۱۶).

در پژوهشی دیگر، همبستگی بین K_{fs} اندازه‌گیری شده با استفاده از سه روش SFH، بارثابت چندگانه و روش نفوذسنج مکشی مثبت و معنی‌دار بود؛ به طوری که بیش‌ترین همبستگی بین روش بار ثابت چندگانه و SFH ($r=0/97$) و کم‌ترین همبستگی بین روش SFH و روش نفوذسنج مکشی ($r=0/73$) به دست آمد. همچنین بین سه روش در اندازه‌گیری K_{fs} در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (۲۶). علیزاده و همکاران (۲۰۰۹)، به منظور ارزیابی روش‌های مختلف اندازه‌گیری K_{fs} ، نتایج حاصل از روش‌های SFH، نفوذسنج تک‌استوانه و نفوذسنج استوانه‌های دوگانه را در خاکی با بافت لوم مقایسه کردند. تحلیل آماری نشان داد که بین میانگین مقادیر به دست آمده برای هدایت هیدرولیکی از سه روش فوق در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (۱). اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک در مدت‌زمان کوتاه و با حجم آب کم، کاربردی بودن روش SFH را در مطالعات صحرایی و در شرایطی که فراهم کردن آب آسان نیست، افزایش می‌دهد. بنابراین، این روش برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک منطقه و همچنین مدل کردن حرکت آب در خاک (که دست‌یابی به آن‌ها مستلزم برداشت نمونه‌های زیاد می‌باشد)، روش مناسبی است.

متر) نیز جمع‌آوری شد. نمونه‌های دست‌نخورده خاک برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری خشک در آزمایشگاه، ρ_b (Mgm^{-3}) و مقدار رطوبت اولیه در زمان نمونه‌برداری، θ_i (m^3m^{-3})، استفاده گردیدند. نمونه‌های دست‌خورده خاک برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات (PSD) مورد استفاده قرار گرفت (۱۵). برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (K_{fs}) از روش بارافتان ساده‌سازی شده (SFH) استفاده شد. مقدار پارامتر عکس طول درشت موینگی (α^*) براساس بافت و ساختمان خاک و بر پایه پیشنهاد الریک و رینولدز (۱۹۹۲)، (cm^{-1}) ۰/۱۲ در نظر گرفته شد (۱۲). بر پایه مطالعات باگارلو و همکاران (۲۰۱۲) استفاده از تخمین‌های موجود α^* به‌جای تعیین مستقیم آن تأثیر معنی‌داری بر نتایج روش SFH ندارد (۲). در روش SFH از استوانه‌های با قطر داخلی ۵/۵، ۱۰/۸۸، ۱۶، ۳۱/۸ سانتی‌متر استفاده شد. هر کدام از استوانه‌ها در فاصله مشخص از یکدیگر به عمق ۵ سانتی‌متر در خاک فرو برده شد و مقدار آبی به ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر بر هر یک از استوانه‌ها اعمال شد و مدت‌زمان نفوذ هر نیم سانتی‌متر آب تا ناپدید شدن ظاهری آب ثبت شد. این اندازه‌گیری برای هر قطر از استوانه‌ها به‌طور تصادفی در هشت نقطه به‌عنوان تکرار انجام گردید.

در روش SFH با استفاده از تئوری زیر مقدار K_{fs} به‌دست می‌آید:

فیلیپ (۱۹۹۲) براساس معادله گرین و آمپت (۱۹۱۱) رابطه زیر را برای نفوذ تجمعی یک‌بعدی در شرایط بارافتان ارائه کرد (۲۸، ۱۷):

$$t = \frac{\Delta\theta}{K_{fs}(1-\Delta\theta)} \left[\frac{I(t)}{\Delta\theta} - \frac{H_0 - \Psi_f}{1-\Delta\theta} \ln \left(1 + \frac{(1-\Delta\theta)I(t)}{\Delta\theta(H_0 - \Psi_f)} \right) \right] \quad (1)$$

به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک ممکن است تعداد زیادی از منافذ بزرگ با تعداد زیادی ترک‌ها و شکاف‌ها با الگو و مقیاس تکرار متفاوت داشته باشد. از این‌رو، تغییرپذیری هندسه منافذ در این خاک‌ها بالا بوده و وابستگی اندازه‌گیری‌های صحرائی ویژگی‌های وابسته به هندسه منافذ به‌اندازه نمونه بسیار بالاست. هندسه و الگوی تکرار این منافذ بزرگ، ترک و شکاف‌ها می‌تواند جریان متفاوتی از آب در نیم‌رخ خاک ایجاد کند (۲۵، ۱۰). در مناطق خشک و نیمه‌خشک احتمالاً مقادیر K_{fs} به‌دست آمده با اندازه‌های مختلف استوانه‌ها متفاوت خواهد بود. بنابراین، تعیین اندازه مناسب استوانه برای اندازه‌گیری K_{fs} در این خاک‌ها ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر اندازه استوانه مورد استفاده در روش SFH بر مقدار اندازه‌گیری شده K_{fs} در یک خاک با بافت لوم رسی بود. افزون بر این، در آزمایشی دیگر مقدار K_{fs} اندازه‌گیری شده با روش SFH و استوانه‌های دوگانه مقایسه و همچنین تغییرات K_{fs} خاک مورد مطالعه در شرایط پیش و پس از خاک‌ورزی نیز بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۲ در بخشی از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام گرفت. ویژگی‌های فیزیکی خاک با تهیه نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده به‌دست آمد. برای دوری از تغییرپذیری‌های زیاد، اندازه‌گیری‌ها در منطقه‌ای محدود با مساحت حدود ۱۰۰ مترمربع انجام گرفت. از این منطقه، پنج نمونه دست‌نخورده خاک از عمق‌های ۰/۱-۰ متر در پنج نقطه به‌طور تصادفی برداشته شد. دو نمونه دست‌خورده (از عمق ۰/۱-۰

که در آن، D : ارتفاع آب ($D=V/A$)، V : حجم آب نفوذ یافته و T_a : زمان نفوذ است (۱۲). در رابطه ۴ برای اطمینان از یک بعدی بودن جریان، حجم آب به کار رفته باید کم تر یا مساوی حجم خلل و فرج آزاد خاک (حجمی از خلل و فرج خاک که با آب پر نشده است) باشد. این مسأله برای آن است که چنانچه جبهه رطوبتی از انتهای استوانه عبور کند، جریان یک بعدی به جریان سه بعدی تبدیل خواهد شد (۴).

مقدار K_{fs} با ثابت پنداشتن پارامتر α^* (معادل 0.12 cm^{-1} با توجه به شرایط خاک مورد مطالعه) (۱۲) و با روش حداقل سازی مجموع مربعات خطا از راه بهینه سازی مقدار K_{fs} تعیین گردید. تابع هدف در نظر گرفته شده در این روش، مجموع مربعات خطای بین مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده زمان براساس رابطه ۳ بود.

همچنین در این پژوهش از روش استوانه دوگانه برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه ای استفاده شد. در روش DR قطر استوانه اندازه گیری $27/83$ سانتی متر و قطر استوانه بافر 50 سانتی متر بود و مقدار آبی به ارتفاع 5 سانتی متر بر استوانه داخلی اعمال شد و نفوذ آب به خاک در 3 تکرار و به روش معمول بار ثابت اندازه گیری شد. بدین صورت که مدت زمان نفوذ هر سانتی متر آب یادداشت شد و دوباره با برگرداندن سطح آب به مقدار اولیه، این عمل تکرار گردید تا در چند تکرار پی در پی مدت زمان تقریباً یکسانی ثبت شود. برای به دست آوردن K_{fs} معادله فیلیپ (۱۹۹۲) به داده های اندازه گیری شده نفوذ آب به هر خاک برآزش یافت (۲۸):

$$I_{(t)} = St^{\frac{1}{2}} + At \quad (5)$$

که در آن، I : نفوذ تجمعی (cm)، S : ضریب جذب آب به خاک ($\text{cm/sec}^{0.5}$)، t : زمان (ثانیه) و A : پارامتری است موسوم به عامل انتقال $^1 (\text{cm/sec})$ که

که در آن، $t(T)$: زمان، $\Delta\theta$: اختلاف بین رطوبت حجمی اشباع و رطوبت اولیه مزرعه، $(K_{fs}^{-1} \text{ LT}^{-1})$: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، H_0 : ارتفاع آب در داخل مخزن در زمان $t=0$ مقدار پتانسیل ماتریک (L) در جبهه رطوبتی است. Ψ_f می تواند با عکس طول درشت موینگی یا $(L^{-1}) \alpha^*$ از رابطه زیر جایگزین شود (۱۳).

$$\alpha^* = \frac{K_{fs}}{\Phi_m} = -\frac{1}{\Psi_f} \quad (2)$$

که در آن $\Phi_m(L)$: پتانسیل جریان است (۱۴). این جایگذاری را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$t = \frac{\Delta\theta}{K_{fs}(1-\Delta\theta)} \left[\frac{I(t)}{\Delta\theta} - \frac{H_0 + \frac{1}{\alpha^*}}{(1-\Delta\theta)} \text{Ln} \left(1 + \frac{(1-\Delta\theta)I(t)}{\Delta\theta(H_0 + \frac{1}{\alpha^*})} \right) \right] \quad (3)$$

باگارلو و همکاران (۲۰۰۴) از رابطه ۴ برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک استفاده کردند. در این روش حجم معینی از آب در خاک محصور شده توسط استوانه ای که تا عمق $d(L)$ در خاک فرو رفته است، در مدت زمان T_a از سطح مقطع $A(L^2)$ نفوذ می یابد. در زمان $t=T_a$ نفوذ تجمعی برابر با $I(T_a)=H_0=D=V/A$ می باشد. باگارلو و همکاران (۲۰۰۴) با جایگذاری پارامتر فوق در رابطه ۳، رابطه ۴ را برای هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_{fs}) ارائه کردند (۴). این معادله اساس روش SFH می باشد.

$$K_{fs} = \frac{\Delta\theta}{T_a(1-\Delta\theta)} \left[\frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D + \frac{1}{\alpha^*}}{(1-\Delta\theta)} \text{Ln} \left(1 + \frac{(1-\Delta\theta)D}{\Delta\theta(D + \frac{1}{\alpha^*})} \right) \right] \quad (4)$$

همچنین تغییرات K_{fs} خاک در شرایط پیش و پس از خاک‌ورزی نیز بررسی گردید. مزرعه مورد مطالعه دارای سابقه دست‌کم ۱۰ ساله کشت گندم با روش خاک‌ورزی سنتی برگردان به عمق شخم حدود ۳۰ سانتی‌متری بود. در زمان آزمایش پیش از شخم، مزرعه به مدت تقریباً یک سال بدون خاک‌ورزی باقی مانده بود. فاصله بین آزمایش پیش از شخم تا شخم خوردن خاک نیز حدود پنج ماه بود.

تجزیه و تحلیل آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی بین روش DR و اندازه‌های گوناگون مورد استفاده در روش SFH انجام گرفت. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش SNK در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از برنامه SAS (9.1.3) انجام شد.

نتایج و بحث

این پژوهش با هدف مقایسه هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده با اندازه‌های مختلف استوانه به روش تک‌استوانه با الگوی SFH و با در نظر گرفتن روش استوانه دوگانه با الگوی بار ثابت به عنوان روش مرجع متداول، برای مقایسه و تعیین اندازه مناسب تک‌استوانه انجام گرفت. نتایج به دست آمده از اندازه‌های مختلف استوانه و مقایسه هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده توسط این اندازه‌ها با روش استوانه دوگانه در زیر آورده شده است.

ویژگی‌های عمومی خاک مورد مطالعه: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. خاک مزرعه مورد مطالعه خاکی غیرشور، به شدت آهکی، با سطح متوسط مواد آلی و بافت نسبتاً متوسط است.

$\frac{2}{3}$ مقدار آن به عنوان K_{fs} در نظر گرفته شد (۴۰). مقدار K_{fs} به دست آمده با روش DR به عنوان مبنا در نظر گرفته شد تا تناسب روش تک‌استوانه با الگوی SFH برای اندازه‌گیری K_{fs} در خاک مورد مطالعه بررسی گردد.

به منظور قضاوت در مورد اهمیت کاربردی تفاوت‌های احتمالی آماری بین مقادیر K_{fs} به دست آمده با اندازه‌های مختلف استوانه یا بین دو روش SFH و DR از ضریب ناهم‌خوانی استفاده شد. ضریب ناهم‌خوانی (a) بین مقادیر K_{fs} اندازه‌گیری شده با هر اندازه استوانه در روش SFH با سایر اندازه‌های مورد استفاده و همچنین با روش DR از رابطه زیر محاسبه گردید (۶، ۲):

$$a = abs \left[\log_{10} \left(\frac{K_{fs}^i}{K_{fs}^j} \right) \right] \quad (6)$$

که در آن، abs : بیانگر عملگر قدرمطلق، K_{fs}^i و K_{fs}^j نشان‌دهنده میانگین مقدار K_{fs} اندازه‌گیری شده توسط دو اندازه استوانه یا دو روش مورد استفاده (SFH و DR) می‌باشد. در این معادله اگر ضریب اختلاف بین دو مقدار مورد مقایسه یکسان باشد، مقدار ضریب ناهم‌خوانی یکسان به دست خواهد آمد (برای نمونه اگر $\frac{K_{fs}^i}{K_{fs}^j}$ برابر با ۰/۵ یا ۲ باشد، برای هر دو مقدار a برابر با ۰/۳۰۱ خواهد بود) (۶، ۲). به پیشنهاد پژوهشگران مختلف (برای نمونه، ۱۲، ۲)، اختلاف کم‌تر از ۲ تا ۳ برابری مقادیر K_{fs} اندازه‌گیری شده با روش‌های مختلف از نظر کاربردی قابل چشم‌پوشی است. از این رو، مقادیر a کم‌تر از ۰/۳۰ تا ۰/۴۸ بین دو مقدار مورد مقایسه از K_{fs} به معنای نبود اختلاف کاربردی بین آن‌ها است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

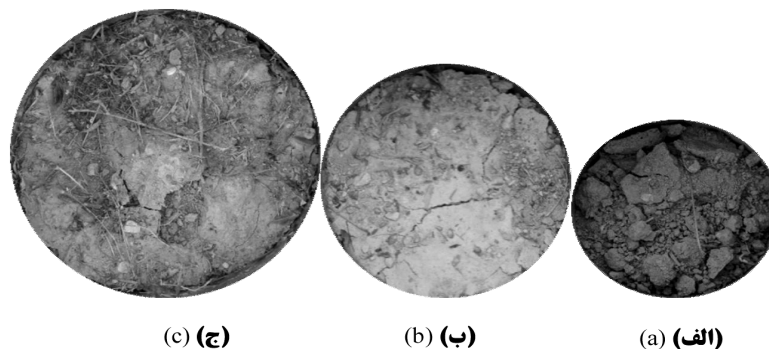
Table 1. Selected physical and chemical properties of the studied soil.

جرم ویژه ظاهری Bulk density (Mg m ⁻³)	کربنات کلسیم معادل CCE [#] (kg/100kg)	مواد آلی Organic matter (kg/100kg)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC [#] (cmol _c kg ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC [#] (dS m ⁻¹)	کلاس بافت Textural class
1.22	21.2	1.7	15.0	8.1	1.02	لوم رسی

[#]: CCE: calcium carbonate equivalent; CEC: cation exchange capacity; EC: electrical conductivity.

قطر استوانه متفاوت بود. مشاهدات صحرائی نشان داد که استوانه‌های کوچک نمی‌توانند به‌درستی حجمی معرف و تکرارپذیر از خاک را محصور نمایند، به‌طوری‌که جایگذاری استوانه بر روی درز و ترک‌های موجود در خاک و یا منافذ بیولوژیک خاک و یا موانع نفوذپذیر مقطعی مثل قطعات سنگی یا مقاطع موضعی متراکم، می‌تواند اعتبار تکرارپذیری نتایج را کاهش دهد. در شرایط پیش از خاک‌ورزی، با این‌که خاک متراکم‌تر به‌نظر می‌رسید، ریشه‌راه‌ها و منافذ بیولوژیکی و همچنین درز و ترک‌های کوچک ولی پرشماری در خاک مشاهده شد و شرایط سطحی خاک در حین و پس از انجام آزمایش پایدارتر بود. پس از شخم‌زدن با این‌که شرایط ظاهری سطح خاک به‌نظر پوک‌تر و کم‌تر فشرده به‌نظر می‌رسید، عموماً زمان نفوذ آب به خاک افزایش یافت و شرایط سطحی خاک کم‌تر پایدار بود؛ بدین مفهوم که در حین نفوذ آب به خاک، آرایش ذرات دگرگون می‌شد.

مشاهدات مزرعه‌ای: مشاهدات مزرعه‌ای نشان داد که با کاهش قطر استوانه، تخریب شرایط سطحی خاک به‌دلیل فشار ناشی از فرو بردن استوانه و محصور کردن خاک توسط دیواره‌های استوانه افزایش یافت (شکل ۱). هر چند این امر می‌تواند به تیز بودن لبه استوانه و نیز مقدار رطوبت اولیه خاک هنگام فرو بردن استوانه‌ها بستگی داشته باشد. به‌طوری‌که با تیز بودن لبه و مرطوب بودن خاک، میزان تخریب یاد شده به گونه چشم‌گیری کاهش یابد. همچنین فرو بردن و جایگذاری استوانه‌ها در خاک، موجب ایجاد شکافی بین دیواره استوانه و خاک محصور شده گردید که حتی الامکان با ذرات ریز سطحی خاک مسدود گردید. با این‌حال خطای ناشی از این شکاف در ایجاد جریان ترجیحی (در صورت وجود) با کاهش قطر استوانه افزایش می‌یابد، زیرا با کاهش قطر استوانه، نسبت محیط به مساحت ($\frac{2\pi r}{\pi r^2}$) افزایش می‌یابد. مشاهدات نشان داد که در استوانه‌های کوچک‌تر به‌ویژه در استوانه با قطر ۵/۵ سانتی‌متر، مدت‌زمان نفوذ آب به خاک در تکرارهای مختلف یک



شکل ۱- نمایی نمونه از سطح خاک پس از فرو بردن استوانه‌هایی با قطرهای متفاوت (الف: ۵/۵، ب: ۱۰/۸۸، ج: ۳۱/۸ سانتی‌متر) در خاک منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. An example representation of the soil surface after dipping rings of different diameters (a: 5.5, b: 10.88, c: 31.8 cm) into the studied soil.

اشباع پایین (همانند خاک مورد مطالعه)، منافذ درشت یا سایر مناطق مقطعی با هدایت نقطه‌ای بالا، اندک هستند. بنابراین افزایش مقدار K_{fs} در اثر افزایش اندازه استوانه نتیجه‌ای قابل انتظار است؛ زیرا هرچه سطح نمونه در اثر استفاده از استوانه‌ای بزرگ‌تر افزایش یابد، احتمال پوشش چنین مناطقی افزایش می‌یابد. تأثیر منافذ درشت بر هدایت هیدرولیکی اشباع به‌خوبی شناخته شده است. برای مثال مسین و یارویس (۱۹۹۳) بیان داشتند که در خاک‌های ساختمان‌دار ممکن است جریان‌هایی سریع از آب از منافذ درشت خاک رخ دهد. ویژگی‌های هیدرولیکی به‌شدت تحت تأثیر توزیع اندازه و پیوستگی منافذ هستند (۲۴).

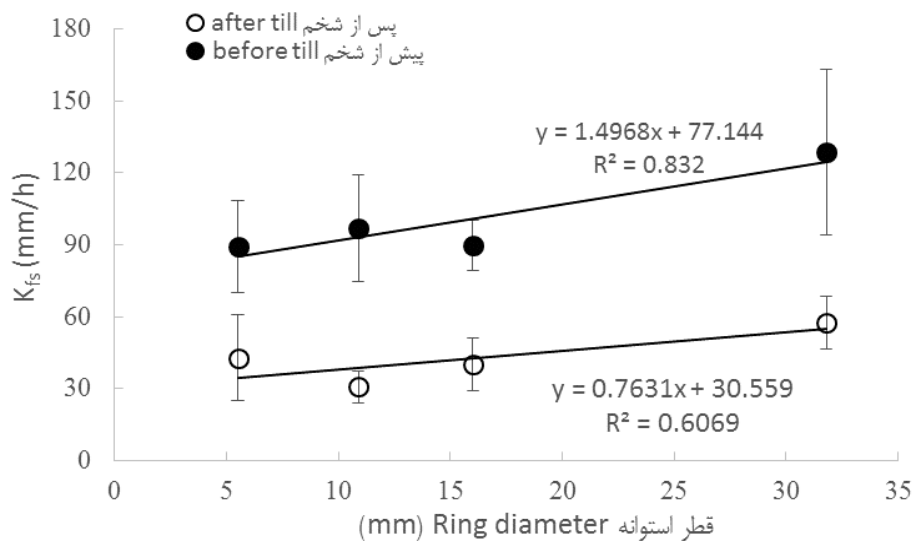
همچنین ایشان اظهار داشتند در خاک‌های مزرعه که سامانه منفذی ساختمانی به‌خوبی ایجاد شده باشند، هدایت هیدرولیکی می‌تواند در حالت اشباع و نزدیک به اشباع به‌شدت افزایش یابد. با این حال، در این مطالعه مشاهده شد K_{fs} اندازه‌گیری شده در استوانه با قطر ۵/۵ سانتی‌متر در زمان پس از شخم، مقادیر نسبتاً بالاتری از K_{fs} را نسبت به مقادیر به‌دست آمده از استوانه‌های بزرگ‌تر نشان داد (شکل ۲). دلیل این امر را می‌توان به احتمال افزایش سهم جریان ترجیحی در مقایسه با کل جریان از طریق شکاف به‌وجود آمده بین دیواره استوانه و خاک محصور شده توسط استوانه نسبت داد. گفتنی است انسداد این شکاف در شرایط شخم‌خورده بسیار دشوارتر از شرایط بدون شخم است؛ زیرا در شرایط شخم‌خورده، برخلاف شرایط شخم‌نخورده، کل پیکره خاک محصور شده، آرایش ناپایدار و تکوین نیافته دارد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در هر دو زمان پیش و پس از شخم، اندازه‌گیری مقدار ضریب تغییرات (نسبت انحراف معیار به مقدار میانگین K_{fs}) نشان می‌دهد که به‌طور کلی با افزایش اندازه استوانه

اثر اندازه استوانه و خاک‌ورزی بر هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای: بررسی تأثیر حجم نمونه‌برداری شده (اندازه استوانه) بر مقدار K_{fs} خاک اندازه‌گیری شده با روش SFH نشان داد که به‌طور کلی در هر دو شرایط پیش و پس از شخم با افزایش قطر استوانه، مقدار K_{fs} اندازه‌گیری شده به‌صورت خطی افزایش یافت (شکل ۲). این نتایج یافته‌های رووی و چرکو (۱۹۹۵)، ژانگ (۱۹۹۷)، چاوداری و همکاران (۲۰۰۶)، لای و رن (۲۰۰۷) و باگارلو و همکاران (۲۰۱۲) را تأیید کرد (۳۴، ۴۲، ۱۱، ۲۱، ۲). در این پژوهش‌ها گزارش شده است که با افزایش مقیاس اندازه‌گیری در محیط ناهمگن، هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش می‌یابد. لای و رن (۲۰۰۷) افزایش چشم‌گیر در هدایت هیدرولیکی اشباع را با افزایش قطر استوانه در استوانه‌های با قطر کوچک‌تر از ۴۰ سانتی‌متر گزارش کردند (۲۱). همچنین باگارلو و همکاران (۲۰۱۲) با مقایسه هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده توسط دو استوانه با قطر ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر بیان داشتند که با افزایش اندازه استوانه هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش می‌یابد (۲). براساس اطلاعات نویسندگان مقاله، این مطالعه نشان داد که اندازه‌گیری‌های به‌دست آمده با استوانه کوچک، اطلاعاتی کافی برای برآورد تقریبی مقادیری از K_{fs} که در همان محل با استوانه بزرگ تعیین می‌شود را دارند. در مواردی که امکان استفاده از استوانه‌های بزرگ وجود ندارد و ناگزیر به استفاده از استوانه کوچک هستیم، برای افزایش دقت، می‌توان تعداد تکرارها را افزایش داد. در این صورت احتمال دربرگرفتن نقاط حاوی منافذ درشت و منافذ بیولوژیک افزایش یافته و میانگین نتایج احتمالاً به نتایج استوانه‌های بزرگ‌تر نزدیک خواهد شد. احتمالاً اثرات مشاهده شده اندازه استوانه بر مقدار اندازه‌گیری شده K_{fs} را می‌توان چنین توضیح داد که در خاک‌هایی با هدایت هیدرولیکی

هیدرولیکی خاک مورد انتظار است. البته دلیل مقدار زیاد K_{fs} در استوانه با قطر ۵/۵ سانتی متر را می توان به کافی نبودن این اندازه برای نمونه برداری حجم معرف و شدت های مختلف تخریب شرایط سطحی خاک در جایگذاری این اندازه از استوانه نسبت داد. در حالی که مقادیر نسبتاً بالای ضریب تغییرات در استوانه های بزرگتر ناشی از تغییرپذیری ذاتی و تغییرات مکانی K_{fs} می باشد.

ضریب تغییرات کاهش یافته است. این نتیجه، نتایج مشاهدات باگارلو و همکاران (۲۰۱۲) را تأیید می کند که بیان داشتند که عموماً ضریب تغییرات مقادیر K_{fs} به دست آمده با استوانه کوچکتر، بیش تر از استوانه بزرگتر بود (۲). با توجه به شکل ۲ این نتیجه نیز همانند نتایج باگارلو و همکاران (۲۰۱۲) استثنایایی داشت که با توجه به طبیعت تغییرپذیر خاک ها در مکان و تغییرپذیری ذاتی نسبتاً بالای ویژگی های



شکل ۲- مقادیر میانگین (\pm انحراف معیار) هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعای (K_{fs}) اندازه گیری شده با روش بارافتان ساده سازی شده با استوانه هایی با اندازه های متفاوت.

Figure 2. Mean (\pm standard deviation) of field saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) values measured by simplified falling head with rings of different sizes.

پیوسته و کم اعوجاج توسط شخم نسبت داد. این نتیجه با یافته های سینگ و همکاران (۲۰۰۲)؛ بهاتاچاریا و همکاران (۲۰۰۸)؛ زاجمن و همکاران (۱۹۸۷)؛ مک گری و همکاران (۲۰۰۰) هم خوانی دارد (۳۶، ۴۱، ۲۲).

بنجامین (۱۹۹۳) اظهار داشت که تغییر سامانه منافذ ساختمانی خاک که به صورت طبیعی ایجاد شده است در اثر عوامل مدیریتی مثل خاک ورزی می تواند با کاهش منافذ درشت توسعه یافته در اثر فعالیت های

مقایسه بین هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده پیش و پس از شخم نشان داد که در تمامی اندازه های استوانه مورد استفاده، هدایت هیدرولیکی پس از شخم نسبت به پیش از شخم کاهش چشم گیری یافت (شکل ۲). این کاهش به طور متوسط بین ۲/۱ تا ۳/۲ برابر مقدار میانگین و متناظر در دو شرایط بود. این امر را می توان به وجود منافذ درشت، ریشه راهه ها، کانال های بیولوژیکی، وجود و فعالیت موجودات زنده در شرایط پیش از شخم و تخریب این سامانه منفذی

مقایسه آماری و کاربردی وابستگی K_{fs} اندازه‌گیری شده به اندازه استوانه و روش اندازه‌گیری: جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس تأثیر اندازه‌های گوناگون استوانه در روش SFH و نوع روش اندازه‌گیری (SFH یا DR) را بر مقدار K_{fs} اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود تأثیر تیمار بر K_{fs} اندازه‌گیری شده از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. شکل ۳ مقایسه هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (K_{fs}) اندازه‌گیری شده با اندازه‌های مختلف تک‌استوانه با الگوی بارافتان ساده‌سازی شده (SFH) و روش متداول استوانه دوگانه (DR) را در شرایط پس از شخم نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده از مقایسات آماری نشان داد که بین K_{fs} به‌دست آمده از روش DR و اندازه‌های مختلف استوانه مورد استفاده در روش SFH اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P \leq 0.05$)، این نتایج یافته‌های پژوهشگرانی چون وربست و همکاران (۲۰۱۰) و علیزاده و همکاران (۲۰۰۹) را تأیید نمی‌کند (۳۷؛ ۱). پژوهش‌های اخیر بیان داشته‌اند که K_{fs} اندازه‌گیری شده با روش DR و SFH اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

ریشه گیاهان و جانوران خاک و همچنین منافذ بین خاکدانه‌ای (منافذ ساختمانی) و درز و ترک‌ها موجب کاهش K_{fs} گردد (۷). همچنین ایشان بیان کردند که توزیع اندازه و پیوستگی منافذ درشت در خاک سطحی نیز به شدت تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی است به طوری که برای نمونه شخم‌زدن می‌تواند پیوستگی منافذ درشت را بکاهد.

به بیان دیگر فرآیندهای غالب تشکیل تخلخل خاک در اراضی خاک‌ورزی شده و خاک‌ورزی نشده متفاوت هستند. در اراضی شخم‌خورده، منافذ در اثر بازآرایی فاز جامد توسط ادوات خاک‌ورزی تشکیل می‌گردند. منافذ در اراضی غیرخاک‌ورزی شده، عموماً توسط فعالیت‌های بیولوژیکی (به‌ویژه فعالیت کرم‌های خاکی، مورچه‌ها و ریشه گیاهان) ایجاد می‌شوند. به دلیل تفاوت روش‌های تشکیل منافذ، می‌توان انتظار داشت که پیوستگی توزیع اندازه منافذ در این دو شرایط متفاوت باشد (۷). ساختمان و آرایش منفذی پایدارتر خاک در حالت بدون شخم و افزایش شمار کانال‌ها و منافذ زیستی پیوسته و متصل به سطح خاک می‌تواند موجب افزایش چشم‌گیر هدایت هیدرولیکی اشباع و نزدیک اشباع خاک در شرایط بدون شخم گردد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر اندازه‌های گوناگون استوانه و نوع روش اندازه‌گیری بر مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای.

Table 2. Analysis of variance for impact of different ring sizes and method of measurement on values of field saturated hydraulic conductivity.

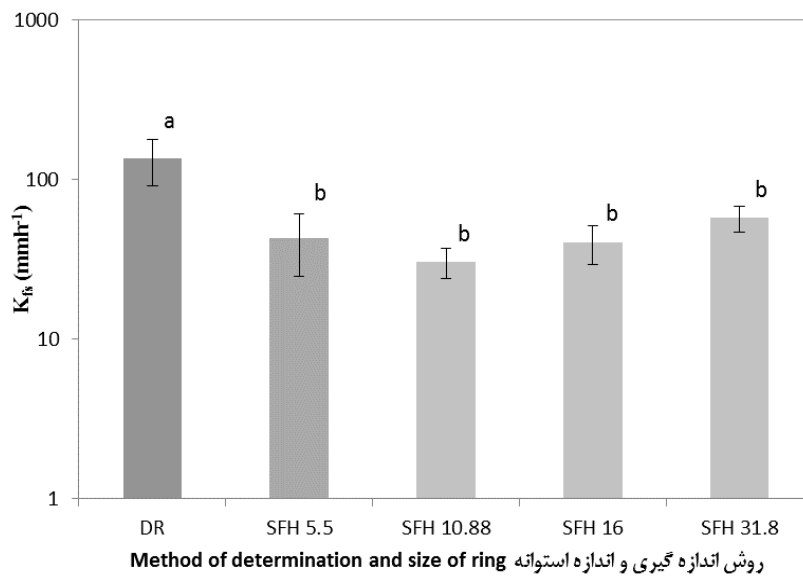
P > F	مقدار F F value	میانگین مربعات Mean of squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Sources of variations
0.0027	10.66	0.712**	0.71	4	تیمار (treatment)
		0.017	0.13	8	اشتباه آزمایشی (experiment error)

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد.

** Statistically significant at probability level of 1 percent.

این حال، مقادیر K_{fs} اندازه‌گیری شده به روش SFH با استوانه‌هایی با قطر ۱۶ سانتی‌متر و کم‌تر از نظر کاربردی با مقادیر حاصل از روش DR اختلاف دارند ($a \geq 0.50$) ولی K_{fs} اندازه‌گیری شده به روش SFH با استوانه‌ای به قطر ۳۱/۸ سانتی‌متر اختلاف کاربردی با K_{fs} روش DR ندارد ($a = 0.37$).

با این حال، پژوهشگران مختلف (برای نمونه، ۱۲، ۲) ابراز داشته‌اند که اختلاف ۲ یا ۳ برابری مقادیر K_{fs} اندازه‌گیری شده با روش‌های مختلف از نظر کاربردی قابل چشم‌پوشی است. بر این اساس نتایج جدول ۳ نشان می‌دهند که از نظر کاربردی، اختلاف چشم‌گیری بین مقادیر K_{fs} اندازه‌گیری شده با اندازه‌های مختلف استوانه به روش SFH وجود ندارد ($a \leq 0.27$). با



شکل ۳- مقایسه هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (K_{fs}) اندازه‌گیری شده با اندازه‌های مختلف تک‌استوانه با الگوی بارافتان ساده‌سازی شده (SFH) و روش متداول استوانه دوگانه (DR). اعداد موجود در محور افقی بیانگر قطر استوانه به سانتی‌متر هستند. حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Table 3. Comparison of field saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) measured with different sizes of single ring with simplified falling head (SFH) and traditional double ring (DR) methods. The numbers on the horizontal axis represents the diameter of the cylinder in centimeter. Dissimilar letters indicate significant differences at $P < 0.05$.

جدول ۳- ضریب ناهمخوانی بین مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده با اندازه‌های گوناگون روش بارافتان ساده‌سازی شده (SFH) و روش SFH و استوانه دوگانه (DR).

Table 3. Factor of discrepancy between the values of field saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) measured with different sizes of single ring with simplified falling head (SFH) and traditional double ring (DR) methods.

DR	SFH _{31.8}	SFH ₁₆	SFH _{10.88}	SFH _{5.5}
				0.00 SFH _{5.5}
			0.00	0.14 SFH _{10.88}
		0.00	0.12	0.03 SFH ₁₆
	0.00	0.16	0.27	0.13 SFH _{31.8}
0.00	0.37	0.53	0.64	0.5 DR

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش به طور کلی نشان داد که با افزایش اندازه استوانه اندازه گیری در روش SFH، مقدار K_{fs} به دست آمده افزایش می یابد. با این حال، این افزایش به طور کلی کم تر از دو برابر بوده و بنابراین از نظر کاربردی قابل چشم پوشی است. به طور کلی مقادیر K_{fs} اندازه گیری با روش استوانه دوگانه بیش تر از مقادیر K_{fs} به دست آمده با اندازه های مختلف استوانه در روش SFH بود. این اختلاف به گونه ای بود که مقادیر K_{fs} به دست آمده با روش SFH با استوانه هایی به قطر ۱۶ سانتی متر و کم تر تفاوتی کاربردی با K_{fs} حاصل از روش DR داشتند. با این حال، استفاده از استوانه ای به قطر ۳۱/۸ سانتی متر

در روش SFH منجر به مقادیری از K_{fs} شد که تفاوتی کاربردی با روش DR نداشت. بنابراین براساس نتایج این پژوهش با استوانه ای به قطر تقریبی ۳۲ سانتی متر می توان مقادیری با دقت مناسب از K_{fs} خاک را اندازه گیری کرد.

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که اگر هدف تنها پایش و مقایسه مقادیر K_{fs} و نه اندازه گیری دقیق آن باشد (برای مثال در این پژوهش پایش اثر خاک ورزی بر K_{fs}) می توان با روش SFH حتی با استوانه هایی کوچک (مثلاً با قطر ۵/۵ سانتی متر) نیز مقادیری قابل مقایسه از K_{fs} را با صرف وقت و هزینه اندک به دست آورد.

منابع

1. Alizadeh, H.A., Nazari, B., and Liaghat, A. 2009. Evaluation of simplified falling head (SFH) method for measuring saturated hydraulic conductivity. Mashhad, J. Water Soil. 23: 2. 55-62. (In Persian)
2. Bagarello, V., D'Asaro, F., and Iovino, M. 2012. A field assessment of the Simplified Falling Head technique to measure the saturated soil hydraulic conductivity. Geoderma. 187: 49-58.
3. Bagarello, V., Di Stefano, C., Ferro, V., Iovino, M., and Sgroi, A. 2010. Physical and hydraulic characterization of a clay soil at the plot scale. J. Hydrol. 387: 54-64.
4. Bagarello, V., and Sgroi, A. 2004. Using the single-ring infiltrometer method to detect temporal changes in surface soil field-saturated hydraulic conductivity. Soil and Tillage Research. 76: 13-24.
5. Bagarello, V., and Sgroi, A. 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity. Soil and Tillage Research. 94: 283-294.
6. Beckwith, C.W., Baird, A.J., and Heathwaite, A.L. 2003. Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: laboratory measurements. Hydrological Processes. 17: 89-101.
7. Benjamin, J.G. 1993. Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. Soil and Tillage Research. 26: 277-288.
8. Bhattacharyya, R., Kundu, S., Pandey, S.C., Singh, K.P., and Gupta, H.S. 2008. Tillage and irrigation effects on crop yields and soil properties under the rice-wheat system in the Indian Himalayas. Agricultural Water Management. 95: 993-1002.
9. Bodhinayake, W., and Cheng Si, B. 2004. Near-saturated surface soil hydraulic properties under different land uses in the St Denis National Wildlife Area, Saskatchewan, Canada. Hydrological Processes. 18: 2835-2850.
10. Buckman, H.O., and Brady, N.C. 1969. The nature and properties of soils. The MacMillan Company, New York, 584p.
11. Chowdary, V.M., Damodhara Rao, M., and Jaiswal, C.S. 2006. Study of infiltration process under different experimental conditions. Agricultural Water Management. 83: 69-78.

12. Elrick, D.E., and Reynolds, W.D. 1992. Methods for analyzing constant head well permeameter data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 320-323.
13. Elrick, D.E., Angulo-Jaramillo, R., Fallow, D.J., Reynolds, W.D., and Parkin, G.W. 2002. Infiltration under constant head and falling head conditions, P 47-53. In: P.A.C. Ratts, D. Smiles and A.W. Warrick (Eds.), *Environmental Mechanics: Water, Mass and Energy Transfer in the Biosphere*, Geophys. Monogr. Ser.
14. Gardner, W.R. 1958. Some steady state solutions to the unsaturated flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.* 85: 228-232.
15. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis, P 383-411. In: A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
16. Ghani, F., Tabatabaei, S.H., Shayannejad, M., and Ghorbani Dashtaki, Sh. 2013. Comparison of four in-situ methods for measuring saturated hydraulic conductivity. *Water engineering.* 15: 5. 57-68.
17. Green, W.H., and Ampt, G. 1911. Studies of soil physics, Part 1. The flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.* 4: 1-24.
18. Hassler, S.K., Lark, R.M., Zimmermann, B., and Elsenbeer, H. 2014. Which sampling design to monitor saturated hydraulic conductivity? *Europ. J. Soil Sci.* doi: 10.1111/ejss.12174.
19. Jarvis, N., Koestel, J., Messing, I., Moeys, J., and Lindahl, A. 2013. Influence of soil, land use and climatic factors on the hydraulic conductivity of soil. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17: 5185-5195.
20. Lassabatere, L., Angulo-Jaramillo, R., Soria Ugalde, J.M., Cuenca, R., Braud, I., and Haverkamp, R. 2006. Beerkan estimation of soil transfer parameters through Infiltration Experiments-BEST. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 521-532.
21. Lai, J., and Ren, L. 2007. Assessing the Size Dependency of Measured Hydraulic Conductivity Using Double Ring Infiltrimeters and Numerical Simulation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1667-1675.
22. McGarry, D., Bridge, B.J., and Radford, R.J. 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid tropics. *Soil Till. Res.* 53: 105-115.
23. Mertens, J., Jacques, J., Vandeboghat, J., and Feyen, J. 2002. Characterisation of the field-saturated hydraulic conductivity on a hillslope: in situ single ring pressure infitrometer measurements. *J. Hydrol.* 263: 217-229.
24. Messin, I., and Jarvis, N.J. 1993. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrimeters. *J. Soil Sci.* 44: 11-24.
25. Miller, R.W., and Donahue, R.L. 1995. *Soils in Our Environment*, Seventh Edition. Prudence Hall, Englewood, Cliffs, NJ, 323p.
26. Moradi Baseri, B., Ghorbani Dashtaki, Sh., Givi, J., Khodaverdiloo, H., and Khalilmoghaddam, B. 2012. Comparison of three field methods for measuring saturated hydraulic conductivity in some vertisols and entisols. *Mashhad, J. Water Soil.* 26: 1. 173-182.
27. Mubarak, I., Angulo-Jaramillo, R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Khaledian, M., and Vauclin, M. 2010. Spatial analysis of soil surface hydraulic properties: is infiltration method dependent? *Agric. Water Manage.* 97: 1517-1526.
28. Philip, J.R. 1992. Falling head ponded infiltration. *Water Resour. Res.* 28: 2147-2148.
29. Regalado, C.M., and Muñoz-Carpena, R. 2004. Estimating the saturated hydraulic conductivity in a spatially variable soil with different permeameters: a stochastic Kozeny-Carman relation. *Soil Till. Res.* 77: 189-202.
30. Reynolds, W.D. 2006. Saturated hydraulic properties: Ring infiltrimeter, P 1043-1056. In: M.R. Carter and E.G. Gregorich (Eds.), *Soil sampling and method of analysis. Part 77.* 2nd ed. Taylor & Francis Group, LLC Published.
31. Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Brunke, R.R., Drury, C.F., and Tan, C.S. 2000. Comparison of Tension Infiltrimeter, Pressure Infiltrimeter, and Soil Core Estimates of Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 478-484.

32. Reynolds, W.D., and Elrick, D.E. 1992. Methods for analyzing constant head well permeameter data. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56: 320-323.
33. Rogiers, B., Winters, P., Huysmans, M., Mallants, D., Gedeon, M., Batelaan, O., and Dassargues, A. 2014. High-resolution saturated hydraulic conductivity logging of borehole cores using air permeability measurements. *Hydrogeol. J.* 22: 1345-1358.
34. Rovey, C.W., and Cherkauer, D.S. 1995. Scale dependency of hydraulic conductivity measurements. *Ground Water.* 33: 769-780.
35. Schulze-Makuch, D., Carlson, D.A., Cherkauer, D.S., and Malik, P. 1999. Scale dependency of hydraulic conductivity in heterogeneous media. *Ground Water.* 37: 904-919.
36. Singh, Y., Bharadwaj, A.K., Singh, S.P., Singh, R.K., Chaudhary, D.C., Saxena, A., Singh, V., and Kumar, A. 2002. Effect of rice (*Oryza sativa*) establishment methods, tillage practices in wheat (*Triticum aestivum*) and fertilization on soil physical properties and rice-wheat system productivity on a silty clay Mollisol of Uttaranchal. *Ind. J. Agric. Sci.* 72: 200-205.
37. Verbist, K., Torfs, S., Cornelis, W.M., and Gabriels, D. 2010. Comparison of Single- and Double-Ring Infiltrometer Methods on Stony Soils. *Soil Science Society of America.* 8: 462-475.
38. Wu, L., and Pan, L. 1997. A Generalized Solution to Infiltration from Single Ring Infiltrometers by Scaling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1318-1322.
39. Xu, X., Lewis, C., Albertson, J.D., and Kiely, G. 2012. Analysis of single-ring infiltrometer data for soil hydraulic properties estimation: Comparison of BEST and Wu methods. *Agricultural Water Management.* 8: 1-8.
40. Youngs, E.G. 1987. Estimating hydraulic conductivity values from ring infiltrometer measurements. *J. Soil Sci.* 38: 4. 623-632.
41. Zachamann, J.E., Linden, D.R., and Clap, C.E. 1987. Macroporous infiltration and redistribution as affected by earthworms, tillage and residue. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 51: 1580-1586.
42. Zhang, R.D. 1997. Scale-dependent soil hydraulic conductivity, P 383-392. In: M.M. Novak and T.G. Dewey (Eds.), *Fractal frontiers*. World Scientific, London.



Ring size dependence of field saturated hydraulic conductivity measurements in a clay loam soil

H. Khani Cheragbedal¹, *H. Khodaverdiloo^{2,3}, H. Asgarzadeh³
and Sh. Ghorbani Dashtaki⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Urmia University, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University, ⁴Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Shahrekord

Received: 10/04/2014; Accepted: 02/09/2015

Abstract

Background and Objectives: Field saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) is one of the most important soil properties that considerably contribute to soil quality. However, specifically in the structured soils, the measurement of K_{fs} is difficult and time-consuming. Therefore, verifying the simple and fast methods for K_{fs} measurement is needed for effective soil monitoring. This study was conducted to investigate the effect of ring size (rings with diameters of 5.5, 10.88, 16 and 31.8 cm) on the K_{fs} measured with simplified falling head (SFH) single ring method in a structured clay loam soil. Furthermore, the effect of conventional tillage on K_{fs} was assessed and the K_{fs} measured with double ring (DR) method and SFH procedure was compared.

Materials and Methods: The simplified falling head (SFH) method of rings with diameters of 5.5, 10.88, 16, 27.83 and 31.8 cm was used. In DR method diameter measuring 83/27 cm and diameter ring buffering 50 cm and infiltration with way constant head was measured. Factor of discrepancy between the values of field saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) was measured with different ring sizes with model simplified falling head (SFH) single ring and traditional double ring (DR) methods. Statistical analysis in a completely randomized design between DR method and different sizes were used in SFH. The comparison of the level of five percent by SNK using SAS (9.1.3) was performed.

Results: Results showed that while the ring size affected the measured K_{fs} , the discrepancy between K_{fs} results of given ring size compared to the smallest ring size ($d=5.5$ cm) was practically negligible (factor of discrepancy ≤ 0.27). The effect of tillage operations on the measured K_{fs} was substantial (discrepancy between K_{fs} results of 2.1 to 3.1). The SFH and DR techniques yielded statistically different means of K_{fs} . However, the discrepancy between the K_{fs} values obtained with the SFH method using the largest ring size and the K_{fs} values determined with DR method was practically negligible (factor of discrepancy < 0.37). The coefficient of variation of K_{fs} values obtained with DR was also higher than the SFH measurements.

Conclusion: The duration of the infiltration runs with SFH approach was appreciably shorter than the DR method. In conclusion, the mean K_{fs} values obtained with SFH technique were appropriate to monitor the effect of tillage. Further studies are needed to test the suitability of SFH technique to monitor hydraulic conductivity of various soils for different purposes.

Keywords: Field saturated soil hydraulic conductivity, Simplified falling head technique, Ring size

* Corresponding Authors; Email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

