مقایسه روش‌های بار ثابت‌چندگانه و بار افتان ساده‌سازی شده در اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول

حسین مرادی باصری[1]، شجاع قربانی دشتکی[2]، جواد گیوی[3]، حبیب خداوردی‌لو[4]، بیژن خلیل‌مقدم[5]
1، 2 و 3- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهرکرد
4- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
5- استادیار، گروه علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین اهواز
Moradi.bhossein@yahoo.com

چکیده
در این تحقیق هدایت‌آبی‌اشباع و طول درشت موئینگی در دو رطوبت اولیه‌ی خشک و مرطوب در خاک‌های واقع در دشت زرین (خاک‌های ورتی‌سول) و دانشگاه شهرکرد (خاک‌های غیر ورتی‌سول) با استفاده از روش بار ثابت‌چندگانه و روش بار افتان‌ساده‌سازی‌شده اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داد که اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع و پارامتر عکس طول درشت موئینگی به دو روش و به‌طور همزمان در خاک‌های واقع در دشت زرین با رطوبت اولیه خشک امکان‌پذیر نیست. در حالت رطوبت اولیه‌ی مرطوب خاک، اندازه‌گیری دو پارامتر یادشده با هر دو روش امکان‌پذیر بود. نتایج حاصل از تحلیل آماری بدست آمده نشان داد در رطوبت اولیه مرطوب بین مقادیر هدایت‌آبی‌اشباع بدست آمده از دو روش اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به مزایای روش بار افتان‌ساده‌سازی‌شده می‌توان آن را به عنوان روشی مناسب در اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع در خاک‌های سنگین بافت توصیه کرد.

کلمات کلیدی: بار افتان‌ساده‌سازی‌شده، بار ثابت‌چندگانه، هدایت‌آبی‌اشباع ، ورتی‌سول

مقدمه
نفوذ آب به خاک فرایند کلیدی در چرخه آبی طبیعت است. نفوذ آب به خاک همانند دیگر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به‌شدت از ویژگی‌های ذاتی خاک تأثیر می‌پذیرد. از آنجا که ویژگی‌های ذاتی خاک بسته به نوع خاک، دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند، انتظار می‌رود تغییرپذیری و الگوی نفوذ آب به خاک در خاک‌های مختلف، متفاوت باشد (بوما، 1989). خاک‌های درز و ترک‌دار از جمله خاک‌هایی هستند که دارای شرایط ویژه بوده و تغییرات مکانی و زمانی در آنها دارای الگویی متفاوت از دیگر انواع رده‌های خاک است. یکی از شناخته‌ترین خاک‌های دارای درز و ترک، خاک‌های ورتی‌سول هستند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای دارند. خاک‌های ورتی‌سول، خاک‌های رسی تیره با بیش از 30 % رس، خاکدانه‌های گوه‌ای شکل یا اسلیکن‌ساید هستند که به دلیل داشتن کانی‌های رسی از نوع اسمکتایت در هنگام خشک و مرطوب شدن منقبض و منبسط می‌شوند. در فصل مرطوب به سبب افزایش رطوبت، خاک ازدیاد حجم یافته یا اصطلاحاً متورم می‌شود. فشار ناشی از تورم این خاک‌ها می‌تواند موجب تخریب ساختمان و بسته شدن منافذ درشت خاک و در نتیجه باعث کاهش نفوذ آب به خاک گردد. به دلیل وجود شکاف‌های بزرگ در سطح خاک در فصل خشک تقریباً تمامی آب رسیده به سطح خاک وارد شکاف‌ها شده و در افق‌های سطحی خاک آبی برای استفاده گیاه باقی نمی‌ماند (کریس‌مانو و همکاران، 2007). با توجه به اینکه نفوذ آب به خاک در این خاک‌ها به شدت تحت تأثیر رطوبت اولیه خاک است انتخاب روش اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک در این خاک‌ها اهمیت بسزایی دارد.

از مهمترین پارامترهای نفوذ آب به خاک می‌توان به هدایت‌آبی‌اشباع و عکس طول درشت موئینگی اشاره کرد. برای اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع روش‌های مختلفی وجود دارد که کارآیی آنها بسته به نوع خاک متفاوت است. از روش‌های

صحرایی معمول می‌توان به روش استوانه‌های دوگانه و روش نفوذسنج تک‌حلقه اشاره کرد. نیاز به استفاده از استوانه‌های بزرگ در روش استوانه‌های دوگانه، به دلیل دشوار بودن نصب استوانه، مصرف زیاد آب و نیاز به زمان زیاد برای رسیدن به جریان شبه‌پایدار، کاربرد عملی این روش را برای رسیدن به نفوذ عمودی، دشوار می‌سازد (رینولدز و همکاران، 2002). لزوم دستیابی به جریان شبه‌پایدار در روش‌های صحرایی، استفاده از این روش‌ها را در خاک‌های سنگین بافت و با هدایت‌آبی کم محدود می‌کند، زیرا ایجاد جریان شبه‌پایدا در این خاک‌ها بسیار زمان‌بر است (الریک و رینولدز، 1992). باگارلو و اسگوری (2004) روش بار افتان ساده‌سازی‌شده (Simplifiled Falling Head: SFH) را برای اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع در خاک‌های سنگین بافت پیشنهاد کردند. این روش به حجم کمی از آب نیاز دارد و حمل و نقل تجهیزات لازم در آن آسان است. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده است، نتایج حاصل از روش بار افتان ساده‌سازی‌شده (SFH) در اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع مشابه نتایج حاصل از سایر روش‌های آزمایشگاهی مانند روش بار ثابت (فالو وهمکاران، 1994) و روش‌های صحرایی مانند نفوذسنج تک‌حلقه (باگارلو و اسگوری، 2004 و 2007) بوده است. در این مطالعه نتایج روش بار افتان‌ساده‌سازی شده با روش بار ثابت چندگانه در اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول مقایسه و ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی خاک‌های با درجات مختلف درز و ترک دشت زرین واقع در شهرستان کوهرنگ استان چهارمحال و بختیاری و دانشگاه شهرکرد انجام گردید. با توجه به اینکه بخش اعظمی از خاک‌های منطقه مورد اشاره در رده‌ی ورتی‌سول قرار دارند، برای اندازه‌گیری پارامتر عکس طول درشت موئینگی (α^*) و هدایت‌آبی‌اشباع در مزرعه (K_{fs}) در دو حالت خشک و مرطوب از روش بار ثابت‌چندگانه (MCH) و بار افتان‌ساده‌سازی‌شده (SFH) استفاده شد. بدین منظور، در روش بار ثابت چندگانه (MCH)، چندین ارتفاع آب درون تک‌استوانه اعمال شد تا نفوذ آب در هر ارتفاع به نفوذ شبه‌پایدار برسد. سپس، هدایت آبی اشباع و پارامتر عکس طول درشت موئینگی با استفاده از روابط (1) و (2) تعیین گردید (رینولدز، 2006).

$$K_{fs} = \frac{T(q_2 - q_1)}{(H_2 - H_1)} \quad (1)$$

$$\alpha^* = \frac{(q_2 - q_1)}{[q_1(H_2 + T) - q_2(H_1 + T)]} \quad (2)$$

که در آن q شدت نفوذ شبه پایدار(cm/hr)، H_1 و H_2 (cm) ارتفاع آب معادل q_1 و q_2، $T = C_1 d + C_2 a$، a (cm) شعاع داخلی سیلندر، d (cm) عمق جایگذاری استوانه در خاک ، c_1 و c_2 به ترتیب $0/316\pi$ و $0/184\pi$ می‌باشد (رینولدز، 2006).

یکی دیگر از روش‌های اندازه‌گیری سریع نفوذ آب به خاک به ویژه در خاک‌های سنگسن بافت، استفاده از روش بار افتان ساده‌سازی‌شده است. اساس کار این روش بر خلاف روش نفوذسنج تک‌حلقه، بر جریان یک بعدی استوار است. این روش توسط باگارلو و همکاران (2004) برای اندازه‌گیری سریع و آسان هدایت‌آبی‌اشباع در خاک‌های سنگین بافت پیشنهاد شد. در این روش ارتفاع اندکی از آب در سطح خاک در درون یک تک استوانه که اندکی در خاک فرو رفته

اعمال می‌گردد، و سپس مدت زمان لازم برای نفوذ این آب به خاک اندازه‌گیری می‌شود. ارتفاع آب مورد نیاز بسته به میزان تخلخل و رطوبت خاک متفاوت است. در این روش هدایت‌آبی‌اشباع با استفاده از رابطه (3) تعیین می‌گردد.

$$K_{fs} = \frac{\Delta\theta}{T_a(1-\Delta\theta)}\left[\frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D+\frac{1}{\alpha^*}}{(1-\Delta\theta)}\mathrm{Ln}\left(1+\frac{(1-\Delta\theta)D}{\Delta\theta(D+\frac{1}{\alpha^*})}\right)\right] \quad (3)$$

که در آن $\Delta\theta$ اختلاف بین رطوبت حجمی اشباع و رطوبت اولیه مزرعه، $D(cm)$ ارتفاع آب $(D=V/A)$، $V\ (cm^3)$ حجم آب نفوذ یافته، Ta زمان نفوذ (دقیقه) و $\alpha^*\ (cm^{-1})$ پارامتر عکس طول‌درشت‌موئینگی است (الریک و رینولدز،1992). برای تعیین پارامتر عکس طول درشت مویینگی، از روش حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا و بهینه کردن همزمان این پارامتر و هدایت‌آبی‌اشباع استفاده گردید. تابع هدف در نظر گرفته شده در این روش، شامل مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده زمان بر اساس رابطه (3) بوده است. در رابطه (3) برای اطمینان از یک بعدی بودن جریان، حجم آب به کار رفته باید کمتر یا مساوی حجم خلل و فرج آزاد خاک در ارتفاع معادل عمق جایگذاری استوانه در خاک باشد. رعایت این نکته برای آن است که چنانچه جبهه‌ی رطوبتی از انتهای استوانه عبور کند جریان یک بعدی به جریان سه بعدی تبدیل خواهد شد (باگارلو و همکاران 2004). پس از اندازه‌گیری پارامتر عکس طول‌درشت‌موئینگی و هدایت‌آبی‌اشباع در مزرعه، مقادیر میانگین این پارامترها در حالت خشک و مرطوب با آزمون t در سطح 5 درصد و با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA مقایسه شد.

نتایج و بحث

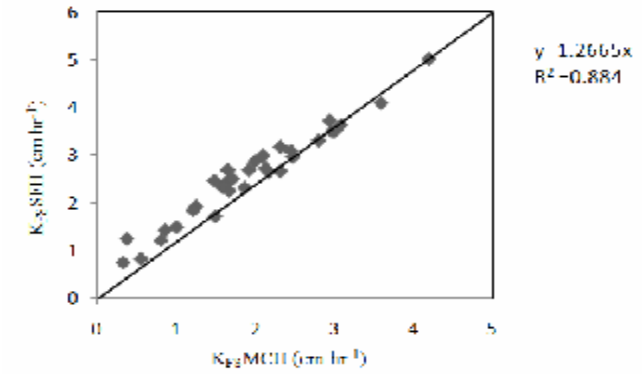
جرم ویژه ظاهری و ماده آلی خاک در مناطق مورد مطالعه به ترتیب از 1/06 تا 1/45 (گرم بر سانتیمتر مکعب) و 0/4 تا 1/34 درصد متغیر بود. دامنه تغییرات فراوانی نسبی ذرات نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه در کلاس‌های بافتی لوم رسی سیلتی و رسی قرار داشتند. در رطوبت اولیه‌ی خشک، به‌دلیل جریان ترجیحی حاصل از باز بودن درز و ترک‌ها در خاک‌های دشت زرین، اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع و عکس طول‌درشت‌موئینگی به هیچکدام از دو روش امکانپذیر نبود. جدول 1 میانگین مقادیر هدایت‌آبی‌اشباع و عکس طول‌درشت‌موئینگی اندازه‌گیری‌شده به دو روش در دو نوع خاک تحت مطالعه را در دو حالت مرطوب و خشک نشان می‌دهد. به‌طور کلی مقادیر میانگین هدایت‌آبی‌اشباع خاک‌های ورتی‌سول نسبت به خاک‌های غیرورتی‌سول کمتر بود که می‌توان آن را به خواص ورتیک خاک‌های دشت زرین نسبت داد. در خاک‌های ورتی‌سول با افزایش رطوبت، خاک متورم شده و فشار ناشی از این تورم موجب تخریب ساختمان، بسته شدن منافذ درشت خاک و در نتیجه باعث کاهش هدایت‌آبی‌اشباع می‌گردد. نمودار 1:1 (شکل 1) و میانگین هدایت‌آبی‌اشباع در حالت مرطوب (جدول 1) نشان می‌دهد که در این حالت روش بارافتان ساده‌سازی‌شده هدایت‌آبی‌اشباع را بیشتر از بار ثابت چندگانه اندازه‌گیری کرده است. شکل 1 نشان می‌دهد مقادیر هدایت‌آبی‌اشباع بدست‌آمده از دو روش همبستگی (0/97) بالایی داشتند (شکل 1). نتایج آزمون t در سطح 5 درصد نشان داد که بین دو روش SFH و MCH در رطوبت اولیه مرطوب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. باگارلو و اسگوری (2007) نیز هدایت‌آبی‌اشباع خاک(K_{fs}) را با استفاده از روش بار افتان‌ساده‌سازی‌شده (SFH) و روش نفوذسنج تک استوانه در خاک‌های لومی شنی اندازه‌گیری کردند. نتایج حاصل از مقایسه این دو روش نشان داد که هدایت آبی اشباع بدست آمده از روش SFH مشابه با روش نفوذسنج تک‌حلقه بود.

جدول 1 نشان می‌دهد مقدار میانگین اندازه‌گیری شده عکس طول‌درشت‌موئینگی در حالت مرطوب، با استفاده از روش بار ثابت‌چندگانه بیشتر از مقدار میانگین حاصل از بار افتان‌ساده‌سازی‌شده بود. نتایج آزمون t در سطح 5 درصد نشان داد که بین دو روش در رطوبت اولیه مرطوب اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد وجود نداشت.

مدت زمان و حجم آب مورد نیاز برای انجام هر آزمایش در روش بار افتان ساده‌سازی‌شده بسیار کمتر از روش بار ثابت‌چندگانه است. از دیگر سو، بر پایه نتایج حاضر روش بار افتان ساده‌سازی‌شده در مدت زمانی کوتاه نتایجی مشابه روش بار ثابت‌چندگانه ارایه می‌دهد. لذا، روش بار افتان‌ساده‌سازی‌شده در اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع خاک در مطالعات صحرایی و در شرایطی که فراهم کردن آب برای انجام آزمایش آسان نیست کاربردی‌تر است. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، روش بار افتان‌ساده‌سازی‌شده می‌تواند به عنوان یک روش ساده در اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع در خاک‌های ورتی‌سول در حالتی که درز و ترک‌ها بسته هستند، مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود توصیه این روش برای استفاده در خاک‌های مختلف نیازمند آزمایش‌ها و بررسی‌های بیشتر می‌باشد.

جدول 1- مقایسه هدایت آبی اشباع و طول درشت موئینگی اندازه‌گیری شده در حالت خشک و مرطوب

		حالت مرطوب		حالت خشک	
		K_{fs} (cm h^{-1})	α^* (cm^{-1})	K_{fs} (cm h^{-1})	α^* (cm^{-1})
		میانگین	میانگین	میانگین	میانگین
خاک	بار ثابت‌چندگانه	۱/۸۵	۰/۰۸۳	–	–
ورتی‌سول	بار افتان‌ساده‌سازی‌شده	۲/۴۳	۰/۰۳	–	–
خاک غیر	بار ثابت‌چندگانه	۲/۱۸	۰/۰۴۵	۲/۳	۰/۰۶
ورتی‌سول	بار افتان‌ساده‌سازی‌شده	۲/۹۱	۰/۰۳۷	۳/۴	۰/۰۳۳



شکل 1- پراکنش هدایت‌آبی‌اشباع اندازه‌گیری شده به دو روش MCH و SFH در حالت مرطوب

منابع

Bouma J, 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. Advances in Soil Science 9: 177– 213.

Bagarello V and Sgroi A, 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. Soil & Tillage Research 94: 283–294.

Crescimanno D, Santis AD and Provenzano G, 2007. Soil structure and by pass flow processes in a Vertisol under sprinkler and drip irrigation. Geoderma 138: 110–118.

Reynolds WD, 2006. Saturated hydrolic properties: Ring infiltrometer. Part 77. Pp. 1043–1056. In: Carter MR and Gregorich EG. Soil sampling and method of analysis. Second edition. Talor & Francis Group, LLC Published.

Reynolds WD, Elrick DE and Youngs EG, 2002. Ring or cylinder infiltrometers (vadose zone). Part 4. Pp. 818–826. In: Dane JH and GC. Topp (Eds), Methods of soil analysis, Physical methods. SSSA, Wisconsin, USA.