



تعیین هدایت آبی اشباع خاک بر اساس ضریب انبساط پذیری خطی

حسین مرادی باصری¹، شجاع قربانی دشتکی²، جواد گیوی³، حبیب خداوردی لو⁴، بیژن خلیل مقدم⁵

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

هدف از این پژوهش تعیین رابطه بین هدایت آبی اشباع و ضریب انبساط پذیری خطی خاک بود. بدین منظور، هدایت آبی اشباع در رطوبت‌های اولیه خشک و مرطوب خاک به دو روش نفوذسنج تک حلقه و روش نفوذسنج مکشی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ضریب انبساط پذیری خطی از روش‌های شفر-سینگر و گروسمن و همکاران استفاده گردید. بین دو روش اندازه‌گیری ضریب انبساط پذیری خطی همبستگی بالایی وجود داشت. نتایج نشان داد که در خاک با رطوبت اولیه خشک به دلیل جریان ترجیحی زیاد، اندازه‌گیری هدایت آبی اشباع با استفاده از نفوذسنج تک حلقه امکان پذیر نبود، حال آنکه نفوذسنج مکشی امکان اندازه‌گیری این پارامتر را فراهم نمود. بین هدایت آبی اشباع و ضریب انبساط پذیری خطی رابطه معکوسی وجود داشت. تجزیه‌ی رگرسیونی داده‌ها نشان داد ضریب انبساط پذیری خطی قادر به بیان 51 تا 73 درصد از تغییرات هدایت آبی اشباع بوده است.

کلمات کلیدی: ضریب انبساط پذیری خطی، نفوذسنج تک حلقه، نفوذسنج مکشی، هدایت آبی اشباع

مقدمه

یکی از عواملی که بر مقدار حرکت آب در خاک تاثیر دارد، قابلیت خاک در هدایت جریان می‌باشد که با کمیتی به نام هدایت آبی خاک بیان می‌شود. هدایت آبی اشباع مانند دیگر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به شدت تحت تاثیر ویژگی‌های ذاتی خاک قرار دارد. از آنجا که ویژگی‌های ذاتی خاک وابسته به نوع خاک بوده، انتظار می‌رود که شدت و الگوی تغییر این پارامتر در خاک‌های مختلف دارای تغییر پذیری متفاوتی باشد (بوما، 1989). خاک‌های دارای خاصیت انبساط و انقباض، از جمله خاک‌هایی هستند که دارای شرایط ویژه بوده و تغییرات مکانی و زمانی در آنها دارای الگویی متفاوت از دیگر انواع شناخته شده‌ی خاک است. یکی از شناخته‌ترین خاک‌های دارای فرایند انبساط و انقباض بالا، خاک‌های ورتی‌سول هستند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای دارند (کریس‌مانو و همکاران، 2007). یکی از مهمترین پارامترهای تعیین کننده رفتار این خاک‌ها ضریب انبساط پذیری خطی (COLE) است که معمولا برای اندازه‌گیری پتانسیل انبساط و انقباض خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. پتانسیل انبساط و انقباض بر اساس مقدار ضریب انبساط پذیری خطی توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) (1971) در چهار کلاس کم ($0/03$)، متوسط ($0/06 - 0/03$)، زیاد ($0/09 - 0/06$) و خیلی زیاد ($0/09 >$) طبقه‌بندی شده است. بالا بودن این ضریب در فصول خشک باعث ایجاد ترک‌های عمیق و عریض در این خاک‌ها می‌شود. در فصل خشک اگر این زمین‌ها آبیاری شوند به دلیل وجود جریان ترجیحی، در سطح خاک آبی برای استفاده گیاه باقی نمی‌ماند. در فصل مرطوب به علت انبساط رس‌ها تخلخل‌های درشت کاهش یافته و آبگذری در این خاک‌ها به حداقل کاهش می‌یابد. به دلیل این رفتار ویژه، تعیین هدایت آبی اشباع در این خاک‌ها ضروری است. برای اندازه‌گیری هدایت آبی اشباع خاک بسته به شرایط مختلف از قبیل نوع خاک و فاصله سطح آب زیرزمینی تا سطح زمین روش‌های متفاوت صحرایی و آزمایشگاهی ارائه شده است. از روش‌های صحرایی معمول می‌توان به روش نفوذسنج تک حلقه و روش نفوذسنج مکشی اشاره کرد (رینولدز، 1993). هدف از این پژوهش اندازه‌گیری و مقایسه هدایت آبی اشباع به روش‌های نفوذسنج تک حلقه و نفوذسنج مکشی و بررسی امکان برآورد هدایت آبی اشباع به کمک ضریب انبساط پذیری خطی خاک بود.



مواد و روش‌ها

نقاط مورد مطالعه جهت اندازه‌گیری هدایت‌آبی اشباع و ضریب انبساط‌پذیری خطی در منطقه‌ی دشت زرین واقع در استان چهارمحال و بختیاری طوری انتخاب شد که دامنه وسیعی از انواع خاک‌های درز و ترکدار را در برگیرد. بدین‌منظور، برای انتخاب نقاط مورد نظر ضریب انبساط‌پذیری خطی به روش شفر و سینگر (1976) و روش گروسمن و همکاران (1968) اندازه‌گیری شد. در روش شفر و سینگر از ذرات کمتر از 2 میلی‌متر و در روش گروسمن و همکاران از نمونه خاک دست نخورده (کلوخه) برای اندازه‌گیری ضریب انبساط‌پذیری خطی استفاده می‌شود. در روش شفر و سینگر از رابطه 1 و در روش گروسمن و همکاران از رابطه 2 برای تعیین ضریب انبساط‌پذیری خطی خاک استفاده گردید.

$$COLE_{rod} = (L_M - L_D) / L_D \quad (1)$$

که در آن L_M (cm) و L_D (cm) به ترتیب طول نمونه خاک در حالت مرطوب و خشک می‌باشد (شفر و سینگر، 1976).

$$COLE_{std} = (\rho_{bOD} / \rho_{b33})^{1/3} - 1 \quad (2)$$

که در آن، ρ_{bOD} و ρ_{b33} جرم‌ویژه‌های ظاهری خاک (g/cm^3) به ترتیب در رطوبت 33 کیلوپاسکال و حالت آون خشک است (گروسمن و همکاران، 1968).

برای اندازه‌گیری هدایت‌آبی اشباع در مزرعه (K_{fs}) از روش نفوذسنج تک‌حلقه و نفوذسنج مکشی استفاده گردید. در روش نفوذسنج تک‌حلقه از طریق اندازه‌گیری دبی آب نفوذ کرده به خاک در دو بار آبی متفاوت یا بیشتر، هدایت‌آبی اشباع اندازه‌گیری شد. سپس، هدایت‌آبی اشباع با استفاده از رابطه (3) تعیین گردید.

$$K_{fs} = \frac{T(q_2 - q_1)}{(H_2 - H_1)} \quad (3)$$

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

نفوذسنج مکشی یک نفوذسنج با بار ثابت است که می‌تواند هم با بار فشاری مثبت و هم با بار فشاری منفی کار کند. اندازه‌گیری‌های نفوذ در سه پتانسیل مکشی مختلف تکرار شد، در این روش هدایت آبی اشباع با استفاده از روابط (4)، (5) تعیین گردید.

$$\bar{\alpha}_{xy} = \frac{\ln(q_x/q_y)}{(\Psi_x - \Psi_y)} \quad (4)$$

$$K_{fs} = \frac{G_d \bar{\alpha}_{xy} q_x}{r(1 + G_d \bar{\alpha}_{xy} \pi r)(q_x/q_y)^P} \quad (5)$$

در این روابط α (cm^{-1}) پارامتری است که به ساختمان خاک وابسته است، q شدت نفوذ شبه پایدار (cm/s)، Ψ پتانسیل جریان آب، K_{fs} هدایت‌آبی اشباع، $G_d = 0.25$ ، $P = \Psi_x / (\Psi_x - \Psi_y)$ می‌باشد (مکنزی و همکاران، 2008). پس از اندازه‌گیری هدایت‌آبی اشباع و ضریب انبساط‌پذیری خطی، تجزیه رگرسیونی بین داده‌ها بر اساس بیشترین همبستگی انجام شد. بر این اساس یکسری معادلات رگرسیونی که نشان دهد ضریب انبساط‌پذیری خطی چند درصد از تغییرات هدایت‌آبی اشباع را توجیه می‌کند، بدست آمد.

نتایج و بحث

میانگین رطوبت حجمی اولیه در شروع آزمایش نفوذ در حالت مرطوب و خشک به ترتیب 16/4 و 3/48 درصد بود. 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. دامنه تغییرات $COLErod$ و $COLEstd$ اندازه‌گیری شده به ترتیب برابر 0/02 تا 0/17 و 0/01 تا 0/15 بود. بین مقادیر حاصل از $COLErod$ در مقابل $COLEstd$ همبستگی ($r=0/94$) بالایی وجود دارد. در بیشتر نقاط نمونه‌برداری مقدار $COLErod$ به دلیل استفاده از ذرات کمتر از 2 میلی‌متر در اندازه‌گیری ضریب انبساط‌پذیری خطی بیشتر از مقدار $COLEstd$ بود.

دامنه تغییرات هدایت‌آبی اشباع اندازه‌گیری شده در حالت خشک و مرطوب با استفاده از نفوذسنج تک حلقه و نفوذسنج مکشی در جدول 1 ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول آمده است بر اساس ضریب انبساط‌پذیری خطی، هدایت‌آبی اشباع در حالت خشک و مرطوب در چهار کلاس قرار گرفت. در حالت خشک در همه کلاس‌ها به استثنای کلاس 1 به دلیل بالا بودن جریان ترجیحی حاصل از باز بودن درز و ترک‌ها اندازه‌گیری هدایت‌آبی اشباع با استفاده از نفوذسنج تک حلقه امکان‌پذیر نبود. در حالی که نفوذسنج مکشی با جلوگیری از جریان ترجیحی اندازه‌گیری هدایت‌آبی اشباع را در همه کلاس‌ها در هر دو حالت خشک و مرطوب امکان‌پذیر ساخت.

جدول 1. کلاس‌بندی هدایت‌آبی اشباع اندازه‌گیری شده در دو حالت خشک و مرطوب بر اساس ضریب انبساط‌پذیری خطی خاک

		هدایت‌آبی اشباع در حالت مرطوب ($cm\ hr^{-1}$)				هدایت‌آبی اشباع در حالت خشک ($cm\ hr^{-1}$)			
		حدافل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	حدافل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات
نفوذسنج تک حلقه	1	1/6	3/1	2/18	25/01	1/7	3/35	2/31	25/85
	2	1/92	4/2	2/79	24/51	-	-	-	-
	3	1/12	3/59	1/97	40/73	-	-	-	-
	4	-/33	1/63	1/22	49/86	-	-	-	-
نفوذسنج مکشی	1	-/67	1/27	-/98	21/47	-/82	1/42	1/07	22/65
	2	-/46	1/47	-/89	39/72	-/42	1/35	-/18	38/18
	3	-/34	1	-/63	35/52	-/27	1/03	-/57	42/64
	4	-/12	-/53	-/32	39/58	-/09	-/3	-/22	39/77

بررسی ضرایب همبستگی بین هدایت‌آبی اشباع و ضریب انبساط‌پذیری خطی نشان داد $COLErod$ نسبت به $COLEstd$ همبستگی بالاتری با هدایت‌آبی اشباع اندازه‌گیری شده داشت. بر این اساس، ضریب همبستگی بین هدایت‌آبی اشباع اندازه‌گیری شده به روش نفوذسنج مکشی و روش نفوذسنج تک حلقه با $COLErod$ به ترتیب 0/79- و 0/71- بود. شکل 1 تغییرات هدایت آبی اشباع اندازه‌گیری شده با $COLErod$ را نشان می‌دهد. بنابراین یکسری روابط رگرسیونی بین هدایت‌آبی اشباع و $COLErod$ وجود دارد. روابط رگرسیونی ایجاد شده در سطح احتمال 5 درصد در جدول 2 نشان می‌دهد ضریب انبساط‌پذیری خطی قادر به بیان 51 تا 73 درصد از تغییرات هدایت آبی اشباع بوده است. همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود ضریب تبیین مدل ارائه شده برای هدایت آبی اندازه‌گیری شده به وسیله نفوذسنج مکشی ($K_{FS}(disk)$) بزرگتر از مقدار آن برای هدایت آبی اندازه‌گیری شده به وسیله نفوذسنج تک حلقه‌ای ($K_{FS}(ring)$) است. احتمالاً دلیل این تفاوت، تاثیر عوامل موثر بر جریان ترجیحی در نفوذسنج تک حلقه است که به طور کمی در معادله وارد نشده است.

جدول 2. مدل‌های رگرسیونی خطی جهت برآورد هدایت‌آبی اشباع بر اساس ضریب انبساط‌پذیری خطی

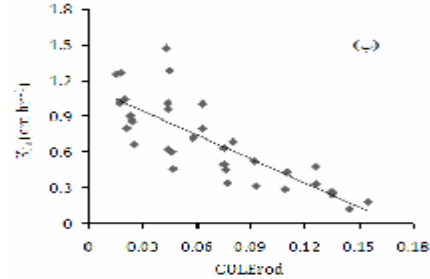
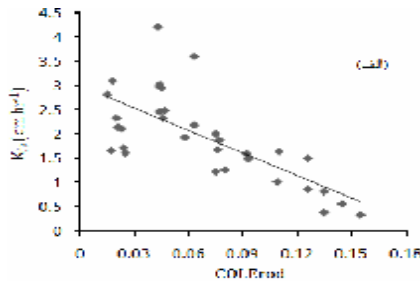
مدل رگرسیونی	R^2
$K_{FS}(disk) = -80.41(COLErod) + 11.92$	0/73
$K_{FS}(ring) = -154.66(COLErod) + 29.944$	0/51

$K_{FS}(disk)$ و $K_{FS}(ring)$ به ترتیب هدایت‌آبی اشباع اندازه‌گیری شده با نفوذسنج مکشی نفوذسنج تک حلقه ($cm\ hr^{-1}$)

مقایسه‌ی هدایت‌آبی اشباع اندازه‌گیری شده به روش نفوذسنج مکشی در دو حالت خشک و مرطوب نشان داد این دو مقدار دارای همبستگی بسیار قوی بوده ($r=0/94$) به گونه‌ای که این دو مقدار را می‌توان برابر فرض نمود. حال آنکه، در



روش نفوذسنج تک حلقه‌ای به دلیل وجود جریان ترجیحی و جانبی زیاد در رطوبت اولیه خشک چنین فرضی امکان پذیر نیست. با 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 هدایت‌آبی‌اشباع گردد. رابطه بین هدایت‌آبی‌اشباع و ضریب انبساط‌پذیری خطی خاک در شکل (2) نشان دهنده این واقعیت است. این شکل نشان می‌دهد بین هدایت‌آبی‌اشباع و ضریب انبساط‌پذیری خطی رابطه معکوسی وجود دارد به این معنی که با افزایش ضریب انبساط‌پذیری، هدایت‌آبی‌اشباع خاک کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج پژوهش صورت گرفته توسط کادو و همکاران (2003) مطابقت دارد. نتایج نشان داد که در منطقه‌ی مطالعاتی، هدایت آبی اشباع و ضریب انبساط‌پذیری خطی خاک متأثر از ارتفاع نقطه‌ی مدنظر نیز بوده است. به‌گونه‌ای که در برخی نقاط به‌دلیل نزدیک بودن به دامنه کوه و افزایش ارتفاع، ضریب انبساط‌پذیری خطی کاهش و هدایت‌آبی‌اشباع به‌طور قابل ملاحظه افزایش یافته است. این امر را می‌توان به شسته شدن شدید ذرات رس از مناطق بالا دست و رسوب آن در مناطق پایین دست و همچنین وجود سنگریزه بیشتر در مناطق بالا دست نسبت به مناطق پایین دست نسبت داد. بررسی نتایج نشان داد که روش نفوذسنج تک‌حلقه مقادیر بزرگتری از هدایت‌آبی‌اشباع را نسبت به روش نفوذسنج مکشی در حالت مرطوب بدست می‌آورد. احتمالاً بدلیل بزرگ بودن اندازه نمونه، نشت آب از کنار دیواره نفوذسنج تک‌حلقه و همچنین جریان از خلل و فرج درشت می‌باشد. هدایت‌آبی‌اشباع اندازه‌گیری شده به روش نفوذسنج مکشی در حالت خشک و مرطوب دارای همبستگی بالا و مقادیر نزدیک به هم می‌باشند. بنابراین از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری هدایت‌آبی‌اشباع در حالت خشک و مرطوب استفاده کرد. مقدار هدایت‌آبی‌اشباع به روش نفوذسنج مکشی به جزء در کلاس یک در بقیه کلاس‌ها در حالت مرطوب از حالت خشک بیشتر بود. بدلیل اینکه، وجود درز و ترک‌ها در حالت خشک باعث می‌شود سطح کمی از خاک نسبت به حالت مرطوب در زیر نفوذسنج مکشی و در نتیجه در معرض جریان قرار گیرد.



شکل آ: (الف) رابطه بین هدایت‌آبی‌اشباع اندازه‌گیری شده به روش نفوذسنج تک حلقه و COLERod ، (ب) رابطه بین هدایت‌آبی‌اشباع اندازه‌گیری شده به روش نفوذسنج مکشی و CULERod.

منابع

- Bouma J, 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science* 9: 177–213.
- 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.
- Grossman RB, Brasher BR, Franzmeier DP and Walker JL, 1968. Linear extensibility as calculated from natural-clod bulk density measurements. *Soil Science Society of America Journal* 32:570–573.
- Kadu PR, Vaidya PH, Balpande SS, Satyavathi PL and Pal DK, 2003. Use of hydraulic conductivity to evaluate the suitability of Vertisols for deep-rooted crops in semiarid parts of central India. *Soil Use and Management*.19: 208-216.
- Mckenzie N, Coughlan K and cresswell H, 2008. *Soil physical measurement and interpretation for land evaluation: (2nd ed.)*. SBS Publishers & Distributors PVT. LTD, New Delhi, India.



- Perroux KM and White I, 1988. Design for disc permeameters. Soil Science Society of America Journal. 52:1205-1215.
- Reynolds WD, 1993. Saturated hydraulic conductivity: field measurement. Pp. 599-61. In: Carter MR (Ed). Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton.
- 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.
- Schafer WM and Singer MJ, 1976. A new method of measuring shrink-swell potential using soil pastes. Soil Science Society of America Journal. 40: 805-806.