اندازه‌گیری همزمان خصوصیات هیدرولیکی خاک در بالای سفره آب زیرزمینی بروش جدید گلف

حیدرعلی کشکولی*

دراین روش جدید اندازه گیری و تعیین همزمان ضریب آبگذری اشباع صحرائی ، K_{fs} ، ضریب جذبی ، S ورابطه ضریب آبگذری بامکش رطوبت خاک $K(\Psi)$ امکان پذیراست . برای اینکاراز یک وسیله ساده جهت ثابت نگهداشتن سطح آب در چاهک اندازه‌گیری استفاده می‌شود. با این وسیله که در حقیقت یک لوله ماریوت است در چاهکی بشعاع a (۰/۰۵ m -۰/۰۲m) عمق آب در ارتفاع دلخواه H ثابت نگهداشته می شود و دبی خروجی از چاهک بخاک اطراف تا رسیدن بحالت ثابت Q تعیین می گردد. برای بدست آوردن همزمان K_{fs} و S حداقل دو جفت (Q ، H)اندازه گیری شده برای هر چاهک لازم است . اخیرا" راههائی پیشنهاد شده که بکمک آنها با داشتن یک دبی ثابت خروجی دریک عمق دراغلب موارد می‌توان با تقریب بسیار خوب این پارامترها را محاسبه نمود.

زمان و حجم آب لازم برای انجام هر آزمایش به رطوبت اولیه خاک، بافت خاک و مقادیر H و a بستگی دارد. زمان لازم برای تکمیل یک آزمایش در خاکهای ماسه‌ای ۳۵- ۱۰ دقیقه و حجم آب لازم ۰/۳ تا ۲ لیتر می باشد. درخاکهای لوم در حالت رطوبت ظرفیت مزرعه زمان لازم ۶۰-۳۰ دقیقه و مقدار آب لازم ۱ - ۰/۵ لیتر است . در حالیکه در خاکهای رسی خشک این زمان۲ - ۱/۵ ساعت و مقدار آب ۱ - ۰/۲۵ لیتر می باشد.

از مزایای عملی این روش سرعت، سهولت حمل، مصرف آب کم و سادگی دستگاه است که براحتی توسط یک نفر قابل استفاده می باشد. این

---

* دانشیار گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

دستگاه در محدوده 10^{-8} - 10^{-4} متر بر ثانیه و تا عمق ۴ متر قابل استفاده است. اگرچه بیشتردرعمق یک متراولیه خاک بکار برده می شود.

مقدمه

سه پارامتر مهم برای جریان در منطقه غیر اشباع عبارتند از ضریب آبگذری اشباع (K_{fs}) ضریب جذبی ،S و رابطه ضریب آبگذری $K(\Psi)$ بامکش رطوبت خاک (Ψ). K_{fs} ضریب آبگذری اشباع یک محیط متخلخل است که شامل هوای محبوس نیز می شود. ضریب جذبی $S(ms^{-1/2})$ توانائی جذب رطوبت به محیط متخلخل را نشان میدهد. S بستگی به Ψ دارد و با افزایش Ψ ازصفر- تا صفر، S از یک مقدار ماکزیمم تا صفر کاهش می یابد. رابطه $K(\Psi)$ تغییرات K را با Ψ برای محدوده $\Psi_i < 0$ نشان می دهد. K از مقدار $K = K_{fs}$ برای $\Psi < 0$ بصورت نمائی کاهش می یابد. گاردنر رابطه زیر را پیشنهاد نموده است:

$$K(\Psi) = K_{fs} \exp(\alpha\Psi), \quad \Psi_i \leq \Psi \leq 0 \qquad (1)$$

که در آن $\alpha(m^{-1})$ شیب رابطه LnK در مقابل Ψ و Ψ_i مکش اولیه خاک یا محیط متخلخل است. مقادیر α بصورت زیر برای خاکهای مختلف در حالت خشک شدن و خیس شدن گزارش گردیده است:

جدول شماره ۱

	α	
درحالت خیس شدن		
ماسه ریز	۳۰-۵۲	کلوتیر[1] و اسکاتر[2]، ۱۹۸۲
لوم شنی	۵۰-۹۲	اسکاتر و همکاران، ۱۹۸۲
لوم شنی ریز	۴-۱۳	" " "
لوم سیلتی تا لوم رسی	۲	" " "
درحالت خشک شدن		
ماسه	۱۰-۲۰	برسلر[3] و فیلیپ[4]، ۱۹۶۸
لوم	۱-۲	" " "
رس	۰/۱-۰/۲	" " "

1. Clothier
2. Scotter
3. Bresler
4. Philip

درگذشته برای اندازه گیری صحرائی خصوصیات هیدرولیکی خاک در بالای سفره آب زیرزمینی روش‌هائی پیشنهاد گردیده است (تالسما [1] ۱۹۷۰، کلوت [2] ۱۹۷۲، کسلر [3] و استربان [4] ۱۹۷۴، سازمان احیا اراضی [5] ۱۹۷۸، آموزگار [6] و واریک [7] ۱۹۸۶، گرین [8] و همکاران ۱۹۸۶، استفن [9] و همکاران ۱۹۸۷ و دیگران). کلیه این روشها نیاز به وسایل سنگین، زمان اندازه گیری طولانی ، حجم آب خیلی زیاد و حداقل دو نفر تکنسین برای انجام آزمایش دارند. بخاطر تغییرات فضائی در خصوصیات خاک معمولا" تعداد آزمایشات و تکرارهای زیادی لازم است که از نظراقتصادی این روش‌ها را با اشکال مواجه می سازد.

در این بررسی روش پرمامترکلف (GP) که اخیرا" توسط رینولدز و الریک (۱۹۸۶) تکامل یافته است تشریح میگردد. این روش ساده و سریع بوده ، برای انجام تکرارهای خیلی زیاد مناسب و اقتصادی است. برای نشان دادن مزایای روش گلف تاکنون این روش با تعدادی روشهای دیگر که در گذشته متداول بوده‌اند بکار رفته ومقایسه گردیده است.

تشریح روش

۱- طرزکار

در این روش دبی ثابت خروجی ($Q(m^3\ s^{-1})$ از یک چاهک بشعاع $a(m)$ که بالای سفره آب زیرزمینی احداث گردیده و عمق آب داخل آن $H(m)$ ثابت نگهداشته شده است با اندازه گیری افت سطح آب در منبع پرمامترتعیین می شود. پارامترهای K_{fs} و S برای حالت خیس شدن با داشتن Q , H و a با معادلاتی که ارائه خواهد شد، محاسبه می شوند.

---

1. Talsma 2. Klute 3. Kessler 4. Oosterbaan
5. Buureau of Reclamation 6. Amoozegar 7. Warrick 8. Green
9. Stephens

۲- دستگاه GP

پرمتامترکلف در واقع یک لوله ماریوت است که از لوله های پلاستیک شفاف درست شده است. لوله داخلی که هوا را وارد دستگاه می‌کند باریک است و در مرکز استوانه بیرونی که مخزن آب به چاهک است قرار می گیرد. آب از استوانه بیرونی بتدریج وارد چاهک می شود و مقدار آب نفوذ یافته بخاک اطراف را جایگزین می کند بطوریکه سطح آب داخل چاهک توسط این سیستم ماریوت در طول آزمایش در ارتفاع H ثابت باقی بماند. امروزه پرمامترکلف در دو مدل ساخته می شود: یک نوع برای خاکهای پرنفوذ و نوع دیگر برای خاکهای کم نفوذ . جزئیات بیشتر در مورد اندازه و ابعاد دستگاه، طرز کار گذاشتن، اندازه گیری و محاسبات نمونه در قسمت ضمیمه داده خواهد شد.

تئوری و معادلات

دبی ثابت خروجی از یک چاهک استوانه‌ای بداخل خاک غیر اشباع اطراف را با معادله زیر می‌توان نشان داد (رینولدز و الریک، ۱۹۸۵).

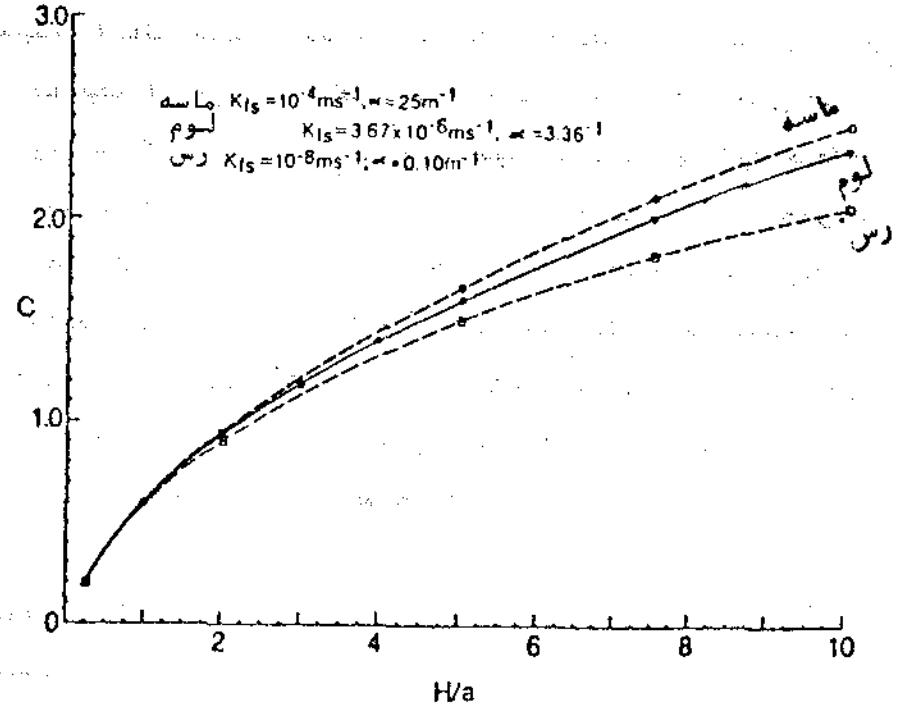
$$2\pi H^2 K_{fs} + C\pi a^2 K_{fs} + 2\pi H\emptyset_m = CQ \qquad \ldots\ldots\ldots (۲)$$

که در آن $\emptyset_m (m^2.S^{-1})$ پتانسیل فلوی ماتریک[1]، C پارامتر بدون بعد که در شکل (۱) برای سه نوع خاک داده شده و مابقی پارامترها قبلا" تشریح شده‌اند. جمله اول سمت چپ در معادله بالا تزریق آب به خاک اطراف تحت اثر نیروهای فشاری و جمله دوم نمایانگر کشش بسمت پائین از کف چاهک تحت اثر نیروی ثقل و جمله سوم بیانگر کشش آب بخارج از چاهک تحت اثر نیروهای موئینه‌ای خاک اطراف است.

اگر جریان خروجی از چاهک را به دو مولفه اشباع و غیراشباع تقسیم کنیم دو جمله اول سمت چپ نماینده مولفه اشباع و جمله سوم نماینده مولفه غیر اشباع جریان خروجی هستند.

---

1. Martic Flux Potential



شکل ۱۰ رابطه c با H/a برای انواع خاکها

پتانسیل فلوی ماتریک ϕ_m با معادله زیر تعریف می‌شود (گاردنر، ۱۹۵۸)

$$\phi_m = \int_{\psi_i}^{0} K(\psi)\, d\psi - \psi_i \leq \psi \leq 0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(۳)$$

که در آن $K(\psi)$ رابطه هدایت هیدرولیکی و بار فشار رطوبت (مکش) را نشان می دهد.

منظور از حد فوقانی انتگرال ($\psi = 0$) سطح بیرونی پیازاشباع اطراف پایه چاهک است که در خلال اندازه گیری تشکیل می شود (شکل۲). ψ_i بار فشار رطوبت در خاک قبل از شروع آزمایش می باشد. در خلال آزمایش یک ناحیه مرطوب در پیرامون پیاز اشباع تشکیل و بتدریج به بیرون گسترش می یابد. در این ناحیه ψ ازمقداراولیه ψ_i در پیشانی این جبهه با خاک اطراف تا $\psi_i = 0$ روی سطح بیرونی پیازاشباع (شکل ۲) تغییر می‌کند. ϕ_m در معادله ۲ و ۱ را می توان با مساحت زیر منحنی $K(\psi)$ برای دامنه تغییرات $\psi = \psi_i$ تا $\psi = 0$ نشان داد (شکل ۲).

از جنبه فیزیکی ψ معرف قدرت کاپیلاری خاک بوده و توان خاک را برای جذب رطوبت نشان می دهد. بطوریکه در شکل ۳ دیده می شود ϕ_m بستگی به شکل منحنی $K(\psi)$ و بار مکش رطوبت اولیه (ψ_i) دارد. هر چه شیب منحنی $K(\psi)$ تندتر و ψ_i به صفر نزدیکتر باشد توان جذب کاپیلاری خاک کمتر است. بر این اساس می توان نتیجه گیری نمود که در خاکهای ماسه‌ای که منحنی $K(\psi)$ شیب تندتری دارد توان جذب کاپیلاری در مقایسه با خاکهای رسی کمتر است .

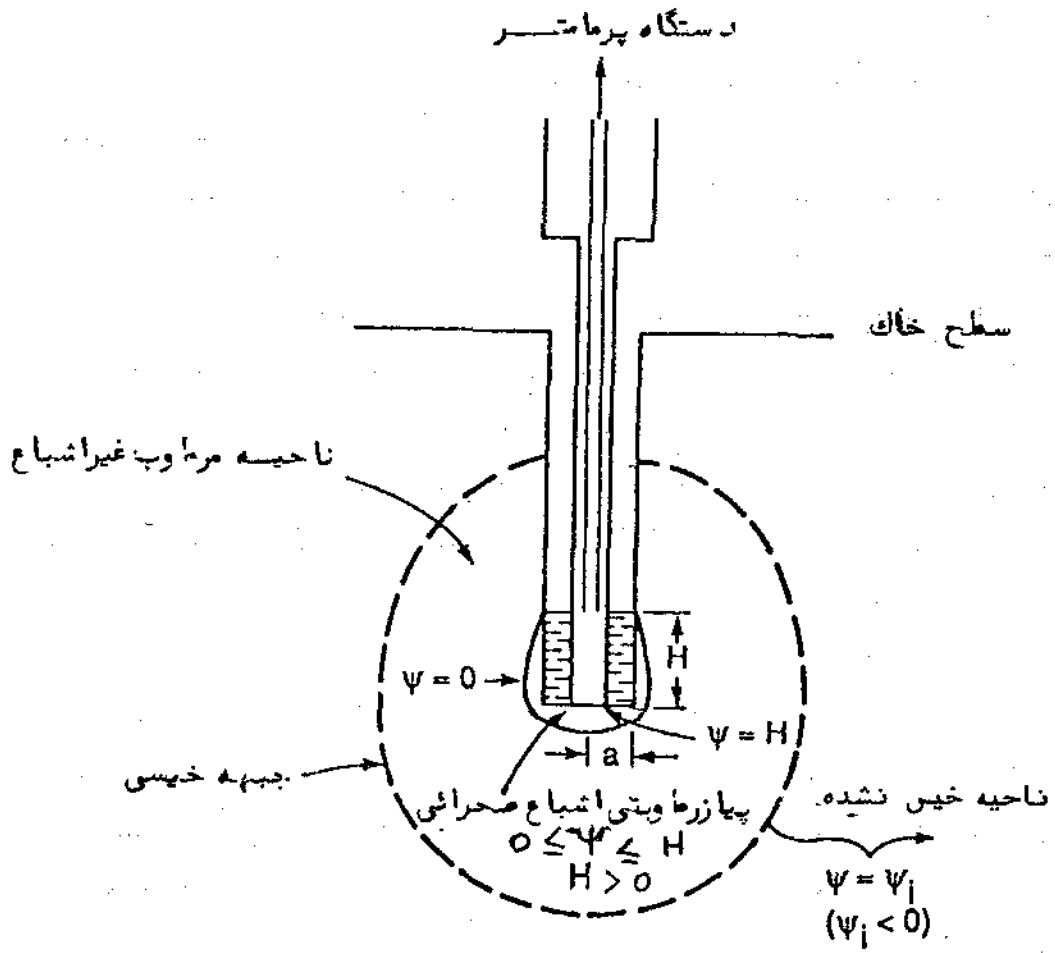
همچنین توان جذب کاپیلاری درخاکهائی که بحالت اشباع هستند ($\psi > 0$) برابر صفراست ($\phi_m = 0$). در رطوبت ظرفیت مزرعه یاکمتر در خاکهای طبیعی مقدار ϕ_m حداکثر است.

با استفاده از معادله (۱) معادله (۳) بصورت زیر در خواهد آمد:

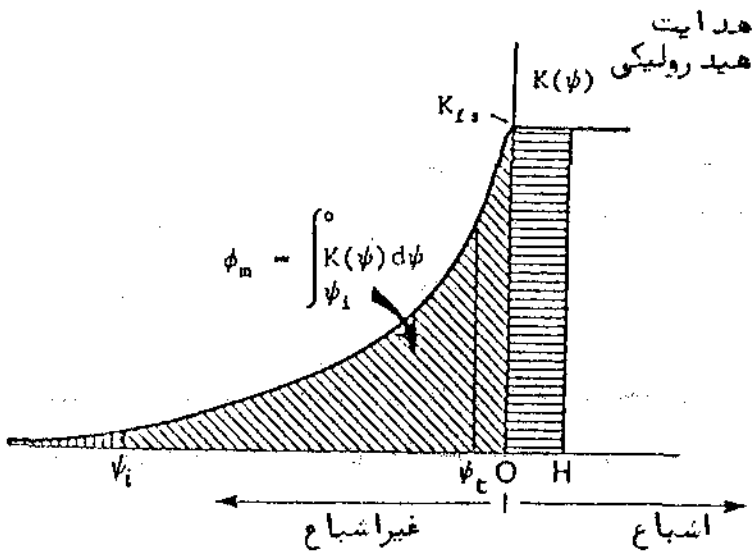
$$\phi_m = \int_{\psi_i}^{0} Klse^{\alpha\psi} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(۴)$$

که از آن خواهیم داشت:

$$\phi_m = \frac{Krs}{\alpha}(1-e^{\alpha\psi_i}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(۵)$$



شکل ۲ . تشکیل پیاز رطوبتی دراطراف پایه چاهک



۷۲

شکل ۳. نمایش "کاپیلایته" یا توان جذب کاپیلاری درخاک

پس از جایگزین کردن معادله ۱ در معادله بالا و بدست آوردن α خواهیم داشت :

$$\alpha = (Kr_s - K_i) / \phi_m \qquad \text{.....(۶)}$$

که در آن K_i هدایت هیدرولیکی در $\Psi = \Psi_i$ است.
اگر نسبت Kr_s به ϕ_m را α^* بنامیم با استفاده از معادله ۵ خواهیم داشت :

$$\alpha^* = \frac{Kr_s}{\phi_m} = \alpha / \left(1 - \frac{K_i}{Kr_s}\right) \qquad \text{.....(۷)}$$

در اغلب خاکها در رطوبت ظرفیت مزرعه و خشک‌تر مقدار K_i آنقدر کوچک است که می توان از نسبت K_i/Kr_s صرفنظر نمود. در نتیجه از معادله (۷) خواهیم داشت :

$$\alpha^* = \alpha \qquad \text{.....(۸)}$$

در رطوبت بالای ظرفیت مزرعه α^* از α بزرگتر خواهد بود.
معادله (۱) را بصورت زیر میتوان نوشت :

$$Q = AKr_s + B\phi_m \qquad \text{.....(۹)}$$

که در آن $A = (2\pi H^2/C + \pi a^2)$, $B = (2\pi H/C)$ و C پارامتر بدون بعدی است که بستگی به H/a و $\alpha^* = Kr_s/\phi_m$ دارد.
برای حل معادله (۹) و بدست آوردن فاکتورهای مجهول Kr_s و ϕ_m دو معادله دو مجهولی براساس داده‌های " H " و " a " نوشته می‌شود. با استفاده از α^* (معادله ۷) در معادله (۹) خواهیم داشت :

$$Kr_s = Q/[A + (B/\alpha^*)] \qquad \text{.....(۱۰)}$$

$$\phi_m = Q/[(A\alpha^*)+B] \qquad \text{.....(11)}$$

از معادلات بالا معلوم می‌شود که اگر α^* را از طریق اندازه‌گیری و یا تخمینی داشته باشیم تنها یک عمق غرقاب (H) کافیست. در زیر تکنیک غرقاب یک عمقی مورد بحث قرار می گیرد.

تکنیک غرقاب یک عمقی

روش کار بترتیب زیر است :

(۱) با یک H ثابت Q را در چاهک تعیین کنید.

(۲) α^* را از اطلاعات مربوط به خاک و جدول (۱) تخمین بزنید .

(۳) C را از شکل (۲) با داشتن H/a بدست آورید.

(۴) با استفاده از α^* و C مقادیر Krs و ϕm را از معادلات زیر محاسبه کنید.

$$Krs = CQ/(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H/\alpha^*) \qquad \text{.....(12)}$$

$$\phi m = CQ/[(2\pi H^2 + \pi a^2 C)\alpha^* + 2\pi H] \qquad \text{.....(13)}$$

(۵) S ضریب جذبی از معادله زیر بدست می آید:

$$S = \sqrt{2\pi(\Delta\theta)\phi m} \qquad \text{.....(14)}$$

که در آن $\Delta\theta$ تفاوت میزان رطوبت خاک اطراف (θ) تا رطوبت حالت ظرفیت مزرعه (θ_{fc}) می باشد.

اگر تنها یافتن تقریبی از Krs و ϕm مورد نظرباشد از روش‌های "لاپلاس" و " گاردنر" که ساده‌تر هستند می توان استفاده نمود.

لاپلاس (۱۵).....

$$Klrs = \frac{CQ}{2H^2 + C\pi a^2}$$

$$Q_m = \frac{CQ}{2\pi H} \qquad \text{.....(۱۶) کاردنر}$$

در آنالیز لاپلاس از کاپیلاریته خاک صرفنظر گردیده لذا این روش در خاکهای ماسه‌ای مرطوب قابل استفاده است . از طرف دیگر روش کاردنر تاکید بر مولفه غیر اشباع جریان است و بنابراین بیشتر در مورد محیط های متخلخل ریز بافت و خشک کاربرد دارد. از آنچه گذشت نتیجه می گیریم که اگر بافت مناسب خاک و شرایط مناسب رطوبت برقرار باشد. با این روش های ساده می توان تخمین نسبتا" دقیقی از مقادیر K_{fs} و ϕ_m بدست آورد.

تکنیک غرقاب دو عمقی

روش دو عمقی که در اصل توسط رینولدز و همکاران (۱۹۸۵) ارائه گردید بعدها برای سهولت با تغییرات و تعدیلاتی به روش ساده یک عمقی تبدیل شد. در روش دو عمقی تخمین زدن α^* که در واقع نقطعه ضعف اساسی روش است مورد نیاز نمی باشد. متاسفانه در این محاسبات از بین یک سری آزمایشات درصدی از مقادیر K_{fs} و ϕ_m بصورت اعداد منفی بدست می‌آیند که غیرمنطقی است و باید از آنها صرفنظر نمود. این جوابهای منفی بخاطر ناهماهنگ بودن دستگاه معادلات دو مجهولی ظاهر میشوند. (فیلیپ ۱۹۸۵). در واقع K_{fs} و ϕ_m بدست آمده از معادلات حساسیت زیادی نسبت به رابطه Q_2/Q_1 دارند.

$$Q_1 = A_1 K_{fs} + B_1 \phi_m \qquad \text{.....(۱۷)}$$

$$Q_2 = A_2 K_{fs} + B_2 \phi_m \qquad \text{.....(۱۸)}$$

که در آن :

$$A_1 = 2\pi H_1^2/C_1 + \pi a^2 \,,\; B_1 = 2\pi H_1/C_1 \qquad \text{.....(۱۹)}$$

$$A_2 = 2\pi H_2^2/C_2 + \pi a^2 \,,\; B_2 = (2\pi H_2/C_2) \qquad \text{.....(۲۰)}$$

مثال محاسباتی

۱- برای حالت اول (یک عمقی)

داده‌ها

نوع خاک : لوم

- عمق آب در چاهک $H= ۰/۱$ متر
- شعاع چاهک $a=۰/۰۳$ متر
- سرعت ثابت افت سطح‌آب درمنبع‌پرمامتر $R= ۵\times۱۰^{-5}$ متربرثانیه
- سطح مقطع آب در منبع پرمامتر $A= ۳۵/۳۹\times۱۰^{-4}$ مترمربع
- ضریب ثابت پرمامتر برای $H/a= ۳/۳$ $C= ۱/۲۸$

تخمین Kfs :

برای خاک لوم فرض می کنیم $\alpha^* = ۱۲$ می توانیم بنویسیم :

$$Kfs = CQ/(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H/\alpha^*)$$

$$Q=\bar{A}\bar{R}= ۳۵/۳۹ \times۱۰^{-4} \times ۵ \times ۱۰^{-5}$$

از معادله ۱۳ خواهیم داشت :

$$Q=۱/۷۷ \times ۱۰^{-7} m^3/s$$

$$Kfs=۱/۹ \times۱۰^{-6} m/s$$ (بهترین تخمین)

۲- برای حالت دو عمقی

داده‌ها

$a=۰/۰۳m$

$A=۲/۵۴۵ \times ۱۰^{-3} m^2$

نوع خاک : لوم

$a=0/02m$ ، $H_1=0/10m$	$a=0/02m$ ، $H_2=0/15\ m$
$R_1=0/2\ Cm/min$	$R_2=0/5\ Cm/min$
$=5\times10^{-5}\ m/s$	$=8/2\times10^{-5}\ m/s$
$Q_1=AR_1=1/2\times10^{-7}m^3/s$	$Q_2=AR_2=2/1\times10^{-7}\ m^3/s$
$C_1=1/61$	$C_2=2/01$

$$Kfs=G_2Q_2-G_1Q_1=2/2\times10^{-6}\ m/s$$

که در آن :

$$G_2=\frac{H_1C_2}{[2H_1H_2(H_2-H_1)+a^2(H_1C_2-H_2C_1)]}=22/1192m^{-2}$$

$$G_1=G_2\left[\frac{H_2C_1}{H^1C^1}\right]=51/807\ m^{-2}$$

$$Q_n=J1Q1=J2\ Q2=9/2\times10^{-8}$$

$$J_1=\frac{(2H^2{}_2+a^2C_2)\ C_1}{2\pi[\ 2H_1H_2(H_2-H_1)+a^2(H_1C_2-H_2C_1)]}=7/91$$

$$J_2=J_1\ \frac{(2H^2+a^2C_1\ C_2}{(2H_22+a^2C_2)C_1}=4/2508\ m^{-1}$$

$$J_2=J_2\ 2H^22+a_2c_2\ )\ c_1$$

$$\sqrt{S=2(\Delta\theta)\ \phi\ m}=1/2\times10^{-4}\ ms^{-1/2}$$

که در آن

با تخمین ۰/۱۵ = $\Delta\theta$ خواهیم داشت :

$$\alpha = \frac{K_{fs}}{\phi_m} = ۲۴/۵\ m^{-1}$$

محاسبه ϕ_m :

$$\phi_m = CQ/[(2\pi H_2 + \pi a^2 C)\ \alpha^* + 2\pi H]$$

$$\phi_m = ۱/۶ \times ۱۰^{-7} m_2 S^{-1}$$ (بهترین تخمین)

مقدار ماکزیمم K_{fs} و ϕ_m

مقدار K_{fs} ماکزیمم (K لاپلاس) با قراردادن $\alpha^* \to \infty$ در معادله (۱۲) بدست می آید :

$$K_\infty = [CQ/(s\pi H^2 + a^2 C)] = ۳/۴ \times ۱۰^{-6}$$

مقدار ϕ_m ماکزیمم (ϕ کاردنر) با قرار دادن $\alpha^* \to ۰$ از معادله (۱۳) بدست می‌آید :

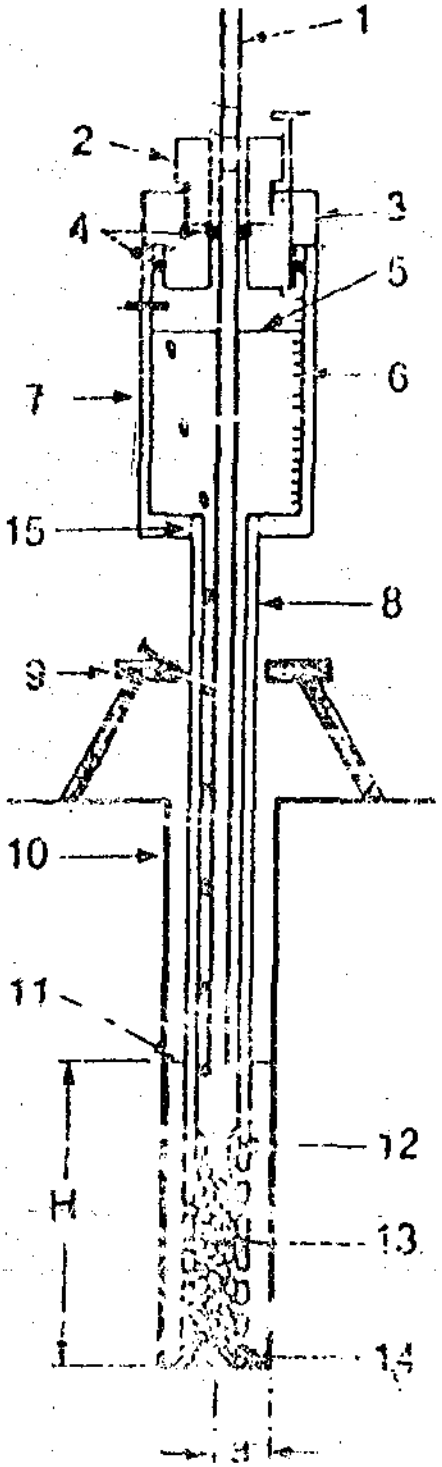
$$\phi_0 = CQ/2\pi H$$

$$\phi_0 = ۳/۶ \times ۱۰^{-7}\ m^2/s$$

بنابراین بطور خلاصه داریم :

	K_{fs}	ϕ_m
	mS^{-1}	$m^2 S^{-1}$
حداکثر	$۳/۴ \times ۱۰^{-6}$	$۳/۶ \times ۱۰^{-7}$
بهترین تخمین	$۱/۹ \times ۱۰^{-6}$	$۱/۶ \times ۱۰^{-7}$

الف : شکل دستگاه پرمامتر



۱- لوله ورود هوا
۲- درپیچ
۳- کلاهک
۴- حلقه لاستیکی
۵- سطح آب در منبع
۶- شاخص اندازه گیری
۷- منبع آب
۸- لوله خروجی آب
۹- سه پایه
۱۰ - چاهک
۱۱- سطح آب ثابت در چاهک
۱۲- وزنه خروجی
۱۳- نوک پرمامتر
۱۴- درپوش پلاستیکی
۱۵- اتصال پیچی

فهرست منابع

Ammozegar, A. and A.W. Warrick, 1986. Hydraulic conductivity of saturated soils: field methods. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis, No. 9 Agronomy. American Society of Agronomy , Madison. WI.

Bouwer H and R.I.Jackson. 1974. Determining soil Properties. In: Drainage for Agriculture> J. van Schilfgaarde(ed.).Aronomy, No. 17, pp. 611-672. American Society of agronomy Madison Wis

Bureau of Reclamation, 1978. Drainage Manual. U.s Department of the Interior. Superintendent of Documents, U.S. Gov. Printing office, Washington, D.C., pp. 74-97.

Gardner, W.R. 1958. Some steady-State solutions of the unsaturates moisture flow equation with applications to evaporation from a water table soil Sci. V. 85, No.4,pp.228-232.

Gveen, R.W., L.R. Ahija, and S.K. Chong 1986. Hydraulic conductivity diffusivity and sorptivity of unsaturated soils: field methods, In A. Klute(ed) Methods of soil analysis , No.9 Agronomy, American Siciecy of Agronomy . Madison, WI.

Klute, A. 1972. The determination of the hydraulic conductivity and diffusivity of unsaturated soils. Soil Science, V.113, No.4, pp. 264-276.

Philip, J.R. 1985. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil . water Resour Res. V.21, No.7, PP. 1025-1033.

Reynolds, W.D. and D.E. Elrick, 1985. In situ measurement of field. saturated hydraulic conductivity sorptivity, and the - parameter using the Guelph permeamter. Soil Sci. V. 140, No.4, pp. 292-302

Reynolds, W.D. and D.E. Elrick. 1986. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field. Saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the conductivity-pressure head relationship.Ground Water Monit. Rev., V.6, No.1, pp, 84-90

Reynolds, W.d. and D.E. Elrick. 1987 , A laboratory numerical assessment of the Guelph Permeameter method, Soil Soi. V. 144, No.4,pp. 282-292.

Reynolds W.D., D.E. Elrick and G.C. Topp. 1983. A reenamination of

the

Reynolds, WD., D.E. Elrick and B.E. Clothier. 1985 . The constant Head well permeamaber Effect on unsaturated flow. Soil Sci. V. 139, No.2,PP.172-180.

Stephens, D.B,. K. Lambert and D Watson. 1987. Regession models for hydraulic. Conductivity and field test fo the borehole permeameter. water Resour, Res, V.23, No. 12, PP. 2207-2214.

Talsma, T. 1987. Re-evaluation of the well permeameter as a field method for measuring hydraulic conductivity, Aust. J. Soil Rds.V.25,PP.361-368.