نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۳، مرداد - شهریور ۱۳۸۹، ص. ۵۱۱-۵۰۱

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 3, July-Aug 2010, p. 501-511

مقایسه روش‌های مختلف آنالیز پرامامتر گلف جهت محاسبه ضریب هدایت هیدرولیکی صحرایی خاک لوم سیلتی در بالای سطح ایستابی

رسول قبادیان[1*]- کامران محمدی[2]

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۳
تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۲۳

چکیده

اطلاع از چگونگی تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک (K) نسبت به مکان و زمان برای بهینه سازی مدیریت آب و خاک بسیار ضروری می‌باشد. تا کنون تکنیک های متعددی برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک ها در بالای سطح ایستابی پیشنهاد شده، اما قابل اعتماد بودن و آسانی کاربرد این روش ها در شرایط مختلف همواره باعث نگرانی مهندسین بوده است. در این تحقیق اندازه گیری ضریب هدایت هیدرولیکی توسط دستگاه پرمامتر گلف به عنوان روشی قابل اعتماد و تعیین بهترین روش آنالیز تک عمقی معادل با روش دو عمقی مورد نظر است. برای رسیدن به این هدف در زمینی با بافت خاک لوم سیلتی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی تعداد ۴۰ چاهک با عمق ۶۰ سانتی متر به فواصل ۵ متر در ۵ متر با اگر حفر گردید. پس از انجام آزمایشهای شناسائی خاک از قبیل دانه بندی، تعیین حدود خمیرائی خاک و تعیین چگالی ویژه، آزمایش نفوذ پذیری به منظور تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{fs}) و پتانسیل ماتریک (ϕ_m) خاک با دستگاه پرمامتر گلف در سه عمق ثابت ۵ ، ۱۵ و ۲۵ سانتی متر انجام شد. بدلیل ناهمگنی معادلات در روش سه عمقی تنها تعداد ۱۷ چاهک موفق بدست آمد در حالیکه در روش دو عمقی به ازای دو بار ۵ و ۱۵ سانتی متر تعداد ۲۶ چاهک موفق بدست آمد. داده‌های استخراج شده از این ۲۶ چاهک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد: ۱- میانگین نفوذ پذیری برای خاک محدوده مورد مطالعه (m/s) $۱/۵۲۲ \times ۱۰^{-۶}$ می‌باشد،۲- از بین روشهای آنالیزتک عمقی گلف نزدیک ترین روش به روش آنالیز دو عمقی روش رگرسیون پایه ای ریچاردز با مقادیر ω, β به ترتیب ۰/۲۰۵ و ۰/۹۹۴ می‌باشد،۳- بین نتایج روش آنالیز دو عمقی گلف با آنالیزهای تک عمقی لاپلاس و ریچاردز اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد وجود دارد،۴- مقادیر میانگین ϕ_m و α^* محاسبه شده درآنالیز دو عمقی پرمامتر گلف به ترتیب عبارتند از (m^2/s) $۰/۸۴۱ \times ۱۰^{-۶}$ و $(1/s)$ ۲/۱۲۷ ، ۵ - مقادیر ϕ_m دارای ضریب تغییرات و انحراف استاندارد کمتری نسبت به مقادیر α^* هستند.

واژه‌های کلیدی: پرامامتر گلف، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع، آنالیزهای تک عمقی، آنالیز دو عمقی گلف

مقدمه

خاک ها مجموعه ای از ذرات جامد می‌باشند که در بین آنها منافذی برای عبور جریان وجود دارد. این خاصیت عبور آب از میان خلل و فرج ممتد خاک را آبگذری می‌نامند. ضریب آبگذری (K) یا ضریب دینامیکی خاک نشان دهنده وضعیت سرعت حرکت آب در خاک می‌باشد. این ضریب، یکی از خصوصیات بسیار مهم فیزیکی خاک است که اطلاع از چگونگی تغییرات آن با مکان و زمان برای بهینه سازی مدیریت آب و خاک بسیار ضروری می‌باشد. هدایت هیدرولیکی خاک به عوامل مختلفی بستگی دارد که عبارتند از: بافت خاک و درجه نفوذپذیری آن، درصد رطوبت اولیه نمونه خاک ، درجه اشباع، توزیع اندازه خلل و فرج ، خصوصیات شیمیایی سیال عبوری، نسبت تخلخل، نوع دستگاه نفوذ سنج، جهت جریان و اندازه نمونه مورد آزمایش (۵). برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مطالعات زیادی توسط دانشمندان صورت گرفته و بسته به شرایط مختلف از قبیل جنس خاک، فاصله سطح آب زیر زمینی تا سطح خاک و غیره روش های متفاوتی نیز ارائه شده است. رینولدز و

۱ و۲ - به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی
(*- نویسنده مسئول: Email: rsghobadian@gmail.com)

همکاران(۱۱) وسیله عملی و کم خرجی به نام پرمامترگلف ساختند که یک سیستم ماریوت ساده است و با استفاده از آن می‌توان هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{fs}) و پتانسیل ماتریک خاک (ϕ_m) را در هر عمقی در بالای سطح ایستابی محاسبه کرد. روش مذکور از مبنای تئوری قوی بر خوردار است. تسریع در زمان انجام آزمایش، کاهش مصرف آب و کاهش نیروی انسانی به یک نفر در انجام آزمایش از جمله مزایای دیگر روش گلف می‌باشد.

ازطریق این روش می‌توان (K_{fs}) و (ϕ_m) را با استفاده از تحلیل‌های چند عمقی، دو عمقی و تک عمقی بدست آورد. در روش تحلیل چند عمقی و تحلیل دو عمقی که به روش ریچاردز معروف است (رینولدز و الریک (۱۲))، با استفاده از روابط (۱) و(۲) مقادیر (K_{fs}) و (ϕ_m) بدست می‌آیند:

$$K_{fs}=\frac{\sum_{i=1}^{n}H_i^2\sum_{i=1}^{n}C_iQ_i(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)-\sum_{i=1}^{n}H_iC_iQ_i\sum_{i=1}^{n}H_i(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)}{2\pi\left\{\sum_{i=1}^{n}H_i^2\sum_{i=1}^{n}(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)^2-[\sum_{i=1}^{n}H_i(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)]^2\right\}} \quad (۱)$$

$$\phi_m=\frac{\sum_{i=1}^{n}C_iQ_i(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)\sum_{i=1}^{n}H_i(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)-\sum_{i=1}^{n}H_iC_iQ_i\sum_{i=1}^{n}(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)^2}{2\pi\left\{[\sum_{i=1}^{n}H_i(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)]^2-\sum_{i=1}^{n}H_i\sum_{i=1}^{n}H_i(\frac{C_ia^2}{2}+H_i^2)^2\right\}} \quad (۲)$$

که در آن $K_{fs}(m/s)$ هدایت هیدرولیکی اشباع ، $\phi_m(m^2/s)$ پتانسیل ماتریک خاک، $H_i(m)$ ارتفاع آب در چاهک، $a(m)$ شعاع چاهک، $Q_i(m^3/s)$ دبی خروجی از چاهک مربوط به عمق استغراق iام (H_i) که از چاهک خارج می‌شود. C_i فاکتور بدون بعد شکل چاهک است که به نسبت H_i/a و بافت خاک بستگی دارد. در تحلیل دو عمقی نمایه i مقادیر یک و دو را به خود اختصاص می‌دهد در حالیکه در تحلیل چند عمقی i از یک تا n>2 تغییر می‌کند.

از ایرادات وارده به روش‌های دو عمقی و چند عمقی این است که برخی از جواب هایی که برای K_{fs} و φ_m بدست می‌آیند منفی و در نتیجه نادرست هستند به گونه ای که طبق تحقیقات گذشته در بهترین حالت تنها در حدود ۷۰ درصد جواب ها صحیح خواهند بود(۱۶). این روش برای خاک های همسان و یکنواخت به خوبی عمل می‌نماید ولی ایراد مذکور به این دلیل است که به هنگام وجود لایه‌های مختلف خاک و همچنین ترک ها و حفره‌های موجود درخاک، کاربرد آن با مشکل مواجه می‌گردد. از این جهت تحلیل تک عمقی پرمامتر گلف به تحلیل دو عمقی آن برتری دارد. درتحلیل تک عمقی که توسط الریک و همکاران(۸) ارائه شد، استغراق تنها در یک عمق اعمال می‌گردد و K_{fs} و φ_m بوسیله روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$K_{fs}=\frac{CQ_s}{(2\pi H^2+C\pi a^2+2\pi H/\alpha^*)} \quad (۳)$$

$$\varphi_m=\frac{CQ_s}{[(2\pi H^2+C\pi a^2)\alpha^*+2\pi H]} \quad (۴)$$

$$\alpha^*=\frac{K_{fs}}{\varphi_m} \quad (۵)$$

که $H(m)$ ارتفاع آب در چاهک، a شعاع چاهک، $Q_s(m^3/s)$ دبی مربوط به عمق استغراق H که از چاهک خارج می‌شود. C فاکتور بدون بعد شکل چاهک است که به نسبت H/a و بافت خاک بستگی دارد. بنابراین می‌توان تنها با داشتن Q_s متعلق به عمق استغراق H ، K_{fs} و φ_m را محاسبه کرد.

پارامتر $\alpha^*(m^{-1})$ نمایانگر میزان تأثیر عوامل اشباع و غیر اشباع خاک در اطراف محل چاهک است. تحقیقات بسیار زیادی برای بدست آوردن α انجام گرفته است. رینولدز و همکاران(۱۴)توصیه‌های عمومی ذکر شده در جدول (۱) را برای تخمین α^* ارائه کردند.

جدول ۱- مقادیر تخمینی α^* برای خاک های مختلف

α^*	نوع خاک
۱	رس های فشرده (رسوبات دریایی)
۴	رس های با بافت سنگین و فاقد ساختمان
۱۲	بیشتر خاک های دارای ساختمان از رس‌ها تا لوم رسی و همچنین خاک های متوسط بدون ساختمان و شن نرم و لوم شنی (اولین تخمین مناسب برای بیشتر خاک ها)
۳۶	شن های درشت و گراولی، خاک های دارای ساختمان قوی با شکاف ها و خلل و فرج درشت

در تحلیل تک عمقی لاپلاس هدایت هیدرولیکی به صورت زیر قابل محاسبه است (۱۲):

$$K_L = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2)} \qquad (۶)$$

که در آن $K_L(m/s)$ تخمین لاپلاس از K_{GP} (هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده توسط پرامتر گلف) است. در آنالیز لاپلاس فرض می‌گردد که کاپیلاریته خاک صفر است و در نتیجه α^* حذف می‌شود.

در آنالیز تک عمقی ریچاردز مقدار K_s که تخمین آنالیز تک عمقی ریچاردز از مقدار K_{GP} است از رابطه زیر بدست می‌آید(۷):

$$K_s = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2 + 2\pi H/a_E^*)} \qquad (۷)$$

$a_E^*(m^{-1})$ تخمین مقدار a^* که از جداول ارائه شده توسط رینولدز و همکاران (۱۴)بدست می‌آید. رابطه (۸) در واقع همان رابطه K_{GP} است به جز اینکه مقدار a_E^* مشخص گردیده و در نتیجه معادله یک مجهولی است و از مقادیر K_{fs} منفی جلوگیری می‌گردد.

در رگرسیون پایه ای ریچاردزمقدار K_{GP} با استفاده از از رابطه زیر محاسبه میشود(۷):

$$K_R = \beta K_L^{\omega} \qquad \omega \geq 1 \qquad (۸)$$

که در آن K_R تخمین رگرسیون پایه ای ریچاردز از مقدار K_{GP}، ω, β پارامترهای بدون بعد و K_L تخمین لاپلاس از K_{GP} است مقادیر ω, β از طریق روابط رگرسیون بین K_L و K_{fs} بدست آمده با روش چند عمقی بدست می‌آید. تخمین رگرسیون پایه ای ریچاردز می‌تواند از جواب های غیر واقعی (یا منفی)جلوگیری کند.

تاکنون محققان زیادی جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش گلف تلاش نموده اند. مطالعات انجام شده نشان داده که در خاک‌های رسی، روش گلف دارای مقادیر کمتری نسبت به آزمایش پمپاژ(۶) و دارای مقادیر مساوی و یا بیشتر نسبت به پرامتر ورود هوا (۱۰،۱۵) و استوانه مضاعف می‌باشد(۹). رینولدز و همکاران آنالیز رگرسیون پایه ای ریچاردز را برای ۴ نوع خاک انجام دادند و پارامتر α^* را حدود ۱۱ برآورد نمودند(۱۴). کشکولی و همکاران در یک نوع خاک رسی- سیلتی روش پرامتر گلف و چاهک را با هم مقایسه کردند که همبستگی زیادی ($r = ۰/۹۷$) بین آنها مشاهده شد(۳). یاری و همکاران مناسب ترین روش تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لومی بوسیله پرامتر گلف را آنالیز رگرسیون ریچاردز می‌دانند و همچنین نشان داده اند که در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت معنی داری بین میانگین آنالیز دو عمقی و رگرسیون پایه ای ریچاردز وجود ندارد (۱۷). رینولدز و زبچوک برای رفع جواب های منفی روش دو عمقی پرامتر گلف، آنالیز تک عمقی ریچاردز، تک عمقی لاپلاس و رگرسیون پایه ای ریچاردز را انجام دادند که از این میان روش آنالیز رگرسیون پایه ای ریچاردز میانگین هندسی نزدیکتری با روش چاهک داشت (۱۳). همچنین مقدار α^* برآورد شده در حدود ۱۰ تا ۱۲ می‌باشد که با فرض $\alpha^* = ۱۲$ (الریک و همکاران، (۸)) همخوانی دارد. کشکولی و همکاران(۳) نشان دادند که آنالیز تک عمقی لاپلاس، به علت فرض کاپیلاریته صفر و نادیده گرفتن محیط غیر اشباع در اطراف چاهک، مقادیر بسیار بیشتری از هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را نسبت به سایر آنالیزها، بخصوص آنالیز دو عمقی گلف نشان می‌دهد این موضوع توسط درزی و همکاران(۲) نیز به تایید رسیده است. مشعل و همکاران(۴) با اشاره به این موضوع که در خاکهای مطبق درصد زیادی از مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و پتانسیل ماتریک منفی و غیر منطقی می‌باشند به بررسی تاثیر افزایش نسبی عمق استغراق ثانویه بر جوابهای منفی و غیرمنطقی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که برای مقادیر نسبت عمق استغراق ثانویه به اولیه (H2/H1) بزرگتر از ۲، تقریبا ۷۰ درصد از نتایج آزمایش ها منطقی و غیرمنفی شده است در حالی که در نسبتهای H2/H1 کوچکتر از ۲ و ۳۵ درصد از آزمایش ها جواب‌های غیر منفی را ارائه داده اند. حبیب زاده و همکاران(۱) نشان دادند که روش چاهک معکوس اصلاحی همواره مقادیر بزرگتری از ضریب هدایت هیدرولیک را نسبت به روش پرامترگلف و آن هم نسبت به روش چاهک معکوس رایج ارئه می‌دهد به طوریکه ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از روش چاهک معکوس رایج ۱۵درصد روش چاهک معکوس اصلاحی و ۹/۲۱ درصد روش پرامتر گلف می‌باشد همچنین ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از روش پرامتر گلف ۷/۶۹درصد روش چاهک معکوس اصلاحی می‌باشد.

در هر کدام از تحقیقات ذکرشده بین آنالیز های تک عمقی و آنالیز دو عمقی پرامتر گلف جهت تعیین α^* و k_{fs} منطقه مقایسه هایی صورت گرفته است که بسته به بافت خاک منطقه جواب های متفاوتی داده اند. بنابراین برای مقایسه آنالیزهای تک عمقی با آنالیز دو عمقی گلف، جهت تعیین سریع ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک منطقه، به انجام آزمایشات بیشتری نیاز است. به همین دلیل، در این تحقیق برای انجام آزمایش های بیشتر توسط پرامتر گلف، زمینی با بافت خاک لوم سیلتی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی انتخاب شد و مقادیر نفوذپذیری در این مزرعه اندازه گیری شد و آنالیزهای تک عمقی با آنالیز دو عمقی گلف مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف این تحقیق بخشی از اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه که در شکل (۱-الف) نشان داده شده است در نظر گرفته شد. در این تحقیق، ۴۰ چاهک در ۴ ردیف و به فواصل ۵ متر در ۵ متر با آگر در محدوده مورد مطالعه حفر گردید (شکل ۱- ب). قطر و عمق حفاری هر چاهک به ترتیب ۸ و ۶۰ سانتیمتر می‌باشد. تمام چاهک ها ۲۴ ساعت قبل از اجرای آزمایش پرمامتر بر روی آنها بطور کامل اشباع شده اند تا از ایجاد خطا بواسطه نفوذهای افقی و مرطوب نبودن خاک دیواره چاهک ها جلوگیری به‌عمل آید. همچنین به کمک وسیله خراش دهنده جداره چاهک را خراش داده تا حالت صاف و صیقلی بودن جداره‌های چاهک که به هنگام حفر آن توسط آگر بوجود می‌آید، از بین برود و آب بتواند به راحتی به درون چاهک نفوذ یابد.

در محدوده مورد مطالعه آزمایش دانه بندی به‌صورت تصادفی بر روی چهار نمونه خاک برداشت شده از چاهک ها (BH1-8 ، BH1-3 ، BH2-10 و BH2-3) به روش هیدرومتر انجام شد. نمونه برداری ها از بین اعماق ۲۰ تا ۶۰ سانتیمتری سطح خاک صورت گرفت که برای هر یک از چهار آزمایش، درصد رس، سیلت و ماسه بر اساس روش وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) تعیین و نهایتاً طبقه بندی خاک به روش مثلث بافت خاک انجام شد. در این تحقیق همچنین برای بررسی دقیق تر خصوصیات خاک مورد مطالعه از روش طبقه بندی متحده (یونیفاید) نیز کمک گرفته شده است. همچنین آزمایشات تعیین حدود روانی، خمیرائی و تعیین چگالی ذرات بر روی نمونه ای از خاک محدوده بر اساس استانداردASTM انجام شد. به منظور دسترسی به اهداف این تحقیق آزمایش نفوذپذیری با دستگاه پرمامتر گلف در هر چاهک به ازای سه عمق ۵ ، ۱۵ و ۲۵ سانتی متر انجام شد. در هر آزمایش دبی ثابت خروجی از چاهک به ازای هر یک بارهای ثابت اندازه گیری شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه و تحلیل بافت خاک در چهار چاهک در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به درصد رس، سیلت و ماسه بدست آمده از نتایج آزمایشات و همچنین استفاده از مثلث بافت خاک، طبقه بندی خاک محدوده مطالعه از نوع لوم سیلتی است. حد روانی خاک (LL) برابر ۵۱/۷۵ درصد حد خمیری (PL) برابر با ۲۴ درصد و شاخص خمیرائی خاک (PI) که برابر است با اختلاف بین حد روانی و حد خمیرائی برابر ۲۷/۷۵ درصد بدست آمد. بر اساس روش طبقه بندی یونیفاید، خاک منطقه اجرای این طرح متعلق به طبقه MH یعنی سیلت غیر آلی با قابلیت فشردگی بالا است. همچنین چگالی نمونه خاک در سه تکرار توسط آزمایش تعیین چگالی اندازه گیری شد که مقدار میانگین آن برابر با $G_S = ۲/۶۶$ بدست آمد.

جدول ۲- نتایج تجزیه بافت خاک در چهار نمونه تصادفی

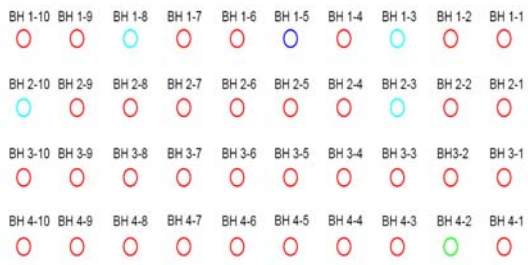
شماره چاهک	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس	طبقه خاک
BH1-8	۲۷	۶۱	۱۲	لوم سیلتی
BH1-3	۲۸	۵۸	۱۴	لوم سیلتی
BH2-10	۲۰	۶۲	۱۸	لوم سیلتی
BH2-3	۹	۶۷	۲۴	لوم سیلتی

آزمایش‌های تعیین نفوذپذیری در سه بار ثابت ۵، ۱۵ و ۲۵ سانتیمتر در هر چاهک انجام گرفت. در هر چاهک برای هر بار ثابت، مقدار R (افت ثابت سطح آب درون مخزن که برای حداقل سه قرائت ثابت بماند) محاسبه شد. بمنظور محاسبه ضریب نفوذپذیری و سایر پارامترها در آزمایش پرمامتر گلف مقادیر فاکتور شکل چاهک تعیین شد. مقادیر فاکتور شکل چاهک C1، C2 و C3 به ترتیب ۰/۶۹، ۱/۳۸ و ۱/۸۲ بدست آمد. سپس برای بدست آوردن مقادیر K_{fs}، ϕ_m و α^* از روابط (۱) و (۲) استفاده شد.

در این تحقیق به منظور داشتن حداقل جواب‌های منفی (چاهک‌های ناموفق) حالت‌های مختلف در نظر گرفته شد. بدین صورت که ابتدا به روش سه عمقی یعنی برای سه بار ثابت H1=5 ، H2=15 و H3=25 سانتیمتری مقادیر ϕ_m, k_{fs} از روابط مذکور محاسبه شد. در این شرایط تنها ۱۷ چاهک موفق از مجموع ۴۰ چاهک حاصل شد. برای دو بار H1=5 و H2=15 تعداد ۲۶ چاهک موفق و برای دو بار H2=15 و H3=۲۵ سانتی متر نیز ۱۷چاهک موفق وجود داشت. بنابراین دو باراH1=5 و H2=15 به دلیل داشتن چاهک‌های موفق بیشتر مبنای محاسبات بعدی قرار گرفت. برای شرایط ۲۶ چاهک موفق در مجموع در ۳۵ درصد موارد مقدار K_{fs} منفی بدست آمد، یعنی با افزایش عمق کاهش دبی یا توقف نفوذ آب صورت گرفته که باعث بی معنی شدن مقادیر K_{fs} شده است.

در جدول (۳) مقادیر نفوذپذیری محاسبه شده در چاهک‌های موفق بر اساس چهار روش ارائه شده در این تحقیق آورده شده است و می‌توان جواب‌های روش دو عمقی پرمامتر گلف را با دیگر روش‌های فوق الذکر مقایسه کرد.

الف



ب

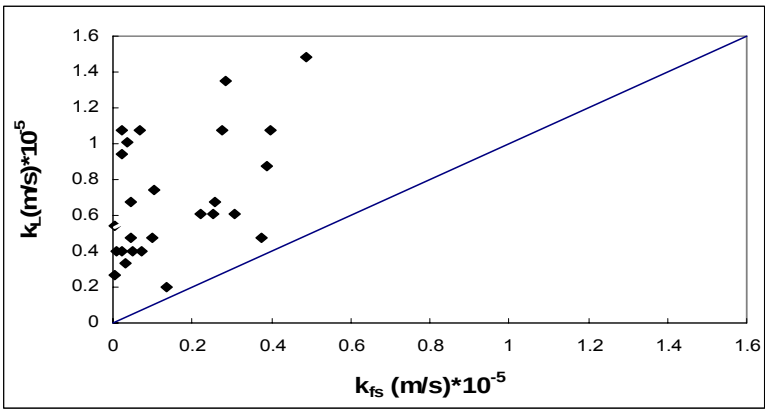
شکل ۱ - الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه در اراضی دانشکده کشاورزی ب) جانمائی چاهکهای حفاری شده

جدول ۳- مقادیر نفوذپذیری($K\times10^{-6}$) محاسبه شده در چاهک‌های موفق بر اساس چهار روش این تحقیق

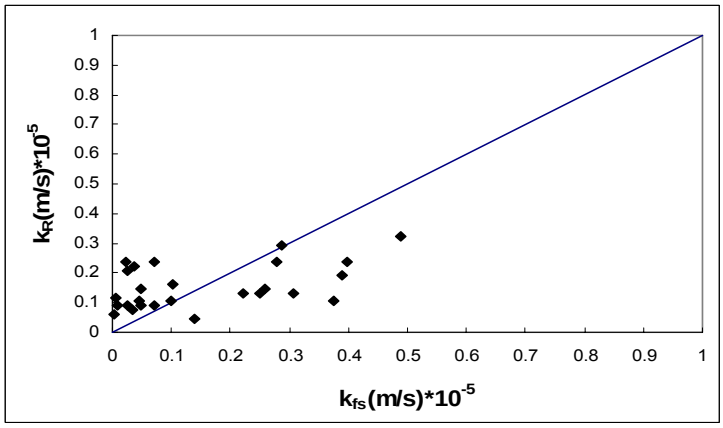
ردیف	شماره چاهک	$K_{fs}(m/s)$	$K_L(m/s)$	$K_R(m/s)$	$K_s(m/s)$
۱	BH 2-2	۰/۴۷۵	۶/۷۳	۱/۴۸	۴/۴
۲	BH 1-2	۲/۸۶۲	۱۳/۴۵۹	۲/۹۴	۸/۸
۳	BH 3-3	۳/۹۹۱	۱۰/۷۶۷	۲/۳۶	۷/۰۴
۴	BH 2-3	۳/۸۷۸	۸/۷۴۸	۱/۹۲	۵/۷۲
۵	BH 2-3	۴/۸۷۶	۱۴/۸۰۵	۳/۲۴	۹/۶۸
۶	BH 4-4	۳/۷۵۷	۴/۷۱۱	۱/۰۴	۳/۰۸
۷	BH 3-4	۳/۰۷۶	۶/۰۵۷	۱/۳۳	۳/۹۶
۸	BH 1-4	۲/۵۱۴	۶/۰۵۷	۱/۳۳	۳/۹۶
۹	BH 1-4	۲/۷۷۵	۱۰/۷۶۷	۲/۳۶	۷/۰۴
۱۰	BH 4-5	۲/۵۷۷	۶/۷۳	۱/۴۸	۴/۴
۱۱	BH 3-5	۲/۲۲۱	۶/۰۵۷	۱/۳۳	۳/۹۶
۱۲	BH 2-5	۱/۳۷۸	۲/۰۱۹	۰/۴۴۶	۱/۳۲
۱۳	BH 1-5	۰/۹۸۲	۴/۷۱۱	۱/۰۴	۳/۰۸
۱۴	BH 4-6	۱/۰۳	۷/۴۰۲	۱/۶۲	۴/۸۴
۱۵	BH 3-6	۰/۷۲۲	۴/۰۳۸	۰/۸۸۹	۲/۶۴
۱۶	BH 2-6	۰/۴۶۶	۴/۷۱۱	۱/۰۴	۳/۰۸
۱۷	BH 1-6	۰/۲۴۳	۴/۰۳۸	۰/۸۸۹	۲/۶۴
۱۸	BH 3-7	۰/۳۵۹	۱۰/۰۹۴	۲/۲۱	۶/۶
۱۹	BH 2-7	۰/۷	۱۰/۷۶۷	۲/۳۶	۷/۰۴
۲۰	BH 1-7	۰/۴۹۳	۴/۰۳۸	۰/۸۸۹	۲/۶۴
۲۱	BH 3-8	۰/۳۳۱	۳/۳۶۵	۰/۷۴۲	۲/۲
۲۲	BH 2-8	۰/۰۲۸	۲/۶۹۲	۰/۵۹۴	۱/۷۶
۲۳	BH 1-9	۰/۲۴۵	۹/۴۲۱	۲/۰۶	۶/۱۶
۲۴	BH 4-10	۰/۰۸	۴/۰۳۸	۰/۸۸۹	۲/۶۴
۲۵	BH 3-10	۰/۰۶۴	۵/۳۸۴	۱/۱۸	۳/۵۲
۲۶	BH 1-10	۰/۲۳۶	۱۰/۷۶۷	۲/۳۶	۷/۰۴

هدایت هیدرولیکی در آنالیز لاپلاس (K_L) با استفاده از رابطه (۶) و فرض کاپیلاریته خاک صفر و در نتیجه حذف α^* محاسبه می‌شود. مقایسه مقادیر K_L بدست آمده با مقادیر K_{fs} اندازه گیری شده در چاهک‌های موفق نشان داد (شکل ۲- الف) نتایج حاصل از آنالیز تک عمقی لاپلاس بسیار بالاتر از K_{fs} است زیرا کاپیلاریته خاک به حساب نمی آید این نتیجه با نتایج رینولدز و همکاران (۱۴)

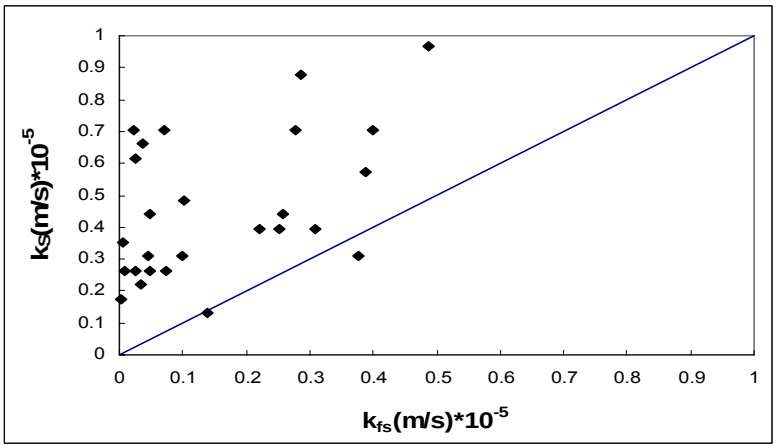
همخوانی دارد. در محاسبه آنالیز تک عمقی ریچاردز مقادیر K_S که تخمین روش تک عمقی ریچاردز از K_{fs} می‌باشند، از رابطه (۸) با فرض $a_E^* = ۱۲$ استفاده شده است. در روش رگرسیون پایه ای ریچاردز مقدار K_R با استفاده از رابطه (۸) محاسبه شد. به‌منظور بدست آوردن پارامترهای بدون بعد ω, β از طریق روابط رگرسیون حداقل مربعات بین K_L و K_{fs} از چاهک‌های موفق از نرم افزار SPSS 13 استفاده شد و نهایتا مقادیر ω, β به ترتیب ۰/۲۰۵ و ۰/۹۹۴ بدست آمد.



الف



ب



ج

شکل ۲- مقایسه نفوذ پذیری محاسبه شده بر اساس آنالیز دو عمقی با الف) آنالیز تک عمقی لاپلاس ب) آنالیز تک عمقی رگرسیون پایه ای ریچاردز و ج) آنالیز تک عمقی ریچاردز

پس از بررسی نرمال بودن توزیع‌های فراوانی ضرایب نفوذپذیری محاسبه شده با روش‌های مورد نظر توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و نرم افزار SPSS 13 بمنظور تجزیه تحلیل آماری و نهایتاً مقایسه روش‌های مختلف از آماره هایی با گرایش مرکزی نظیر میانگین، میانه و همچنین شاخص‌های پراکندگی شامل انحراف استاندارد، واریانس، دامنه تغییرات استفاده شد، که این مقادیر در جدول (۴) نشان داده شده اند.

مقادیر جدول فوق نشان می‌دهد که نفوذپذیری محاسبه شده با روش آنالیز تک عمقی لاپلاس تقریبا ۴/۵ برابر روش آنالیز دو عمقی گلف است و همانگونه که قبلا نیز اشاره شد، دلیل آن در نظر گرفتن کاپیلاریته صفر است. اختلاف بین میانگین در روش تک عمقی ریچارد با روش دو عمقی پرامتر می‌تواند ناشی از اختلاف بین مقدار a_E^* فرضی (برابر با ۱۲) و مقدار a واقعی باشد که از آنالیز دو عمقی پرامتر بدست می‌آید. پارامترهای واریانس، انحراف استاندارد، و دامنه تغییرات نشان می‌دهند که بیشترین پراکندگی از میانگین، مربوط به روش آنالیز تک عمقی لاپلاس و کمترین پراکندگی مربوط به روش آنالیز تک عمقی رگرسیون پایه ای ریچاردز می‌باشد. مقادیر چولگی مثبت برای هر چهار روش فوق نشان می‌دهد منحنی فراوانی به سمت راست چوله است. همچنین مقدار کشیدگی منفی هر چهار روش نشان می‌دهد منحنی توزیع فراوانی این روش ها در مقایسه با توزیع نرمال استاندارد دارای فرورفتگی یا پخی در اوج است.

بر اساس جدول تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SPSS عدد F که بیان کننده نسبت میانگین مجذورهای بین گروهی به میانگین مجذورهای درون گروهی می‌باشد ۳۷/۶۵ بدست آمد که بسیار بزرگتر از یک است بنابراین بین روشهای مورد نظر این تحقیق در برآورد ضریب نفوذپذیری، اختلاف میانگین وجود دارد. برای مقایسه میانگین ها، آزمون‌های LSD، دانکن و ترکی انجام شد. هر سه آزمون نشان دادند که در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری بین میانگین آنالیزهای دو عمقی گلف و رگرسیون پایه ای ریچاردز وجود ندارد. یعنی آنالیزهای مذکور برای این نوع خاک لوم سیلتی معادل هستند. این نتاج با نتایج بدست آمده توسط درزی و همکاران (۲) نیز همخوانی دارد. جدول(۵) نتایج آزمون مقایسه میانگین روش های تعیین نفوذپذیری با آزمون LSD را ارائه می‌نماید.

همچنین نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای α^* و ϕ_m در جدول (۶) ارائه شده است. مقادیر α^* دارای انحراف استاندارد و ضریب تغییرات بالائی هستند. دلیل این امر ناشی از حساسیت بالای α^* به تغییرات سطح آب در پرامتر گلف است. مقدار میانگین α^* برابر ۲/۱۳ می‌باشد که با فرض اولیه $\alpha^* = ۱۲$ متفاوت است. یکی از دلایل اختلاف مقدار میانگین ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده توسط روش آنالیز دو عمقی پرامتر گلف و روش تک عمقی ریچادرز (جدول(۶)) می‌تواند ناشی از همین حدس اولیه نا مناسب باشد. همچنین مقادیر ϕ_m دارای ضریب تغییرات و انحراف استاندارد کمتری نسبت به مقادیر α^* هستند. این امر می‌تواند ناشی از حساسیت پائین مقدار ϕ_m نسبت به تغییرات سطح آب در پرامتر گلف باشد. این مسئله با مشاهدات بدست آمده توسط کشکولی و همکاران (۳) مطابقت کامل دارد.

جدول ٤- آماره‌های مختلف محاسبه شده برای مقادیر نفوذپذیری بدست آمده در چهار روش این تحقیق

آماره	$K_{fs}(10^{-6})$ m/s	$K_L(10^{-6})$ m/s	$K_R(10^{-6})$ m/s	$K_S(10^{-6})$ m/s
تعداد	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
میانگین	۱/۵۵۲	۷/۰۱۴	۱/۵۳۸	۴/۵۸۶
خطای استاندار میانگین	۰/۲۹۲	۰/۶۶۹	۰/۱۴۶	۰/۴۳۷
میانه	۰/۸۵۲	۶/۰۵۷	۱/۳۳۰	۳/۹۶۰
مد	۲/۰۲۸	۴/۰۳۸	۰/۸۸۹	۲/۶۴۰
انحراف استاندارد	۱/۴۹۰	۳/۴۱۱	۰/۷۴۴	۲/۲۳۰
واریانس	۲/۲۲۰	۱۱/۶۳۶	۰/۵۵۳	۴/۹۷۳
چولگی یا کجی	۰/۷۷۱	۰/۶۵۲	۰/۶۴۸	۰/۶۵۲
خطای استاندار چولگی	۰/۴۵۶	۰/۴۵۶	۰/۴۵۶	۰/۴۵۶
کشیدگی	-۰/۷۵۲	-۰/۴۳۱	-۰/۴۳۸	-۰/۴۳۱
خطای استاندار کشیدگی	۰/۸۸۷	۰/۸۸۷	۰/۸۸۷	۰/۸۸۷
دامنه تغییرات	۴/۸۴۸	۱۲/۷۸۶	۲/۷۸۹	۸/۳۵۹
حداقل	۰/۰۲۸	۲/۰۱۹	۰/۴۴۶	۱/۳۲۰
حد اکثر	۴/۸۷۶	۱۴/۸۰۵	۳/۲۳۵	۹/۶۷۹

جدول۵- آزمون مقایسه میانگین روش های تعیین نفوذپذیری با آزمون LSD

(I) factor	(J) factor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
K_{fs}	K_L	-۵/۴۶۲۰۵ *۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	-۶/۶۷۳۳۲ *۱۰$^{-۶}$	-۴/۲۵۰۷۷ *۱۰$^{-۶}$
	K_R	۱/ ۳۸۱۴۸ *۱۰$^{-۸}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۹۸۲	-۱/۱۹۷۴۶ *۱۰$^{-۶}$	۱/۲۲۵۰۹ *۱۰$^{-۶}$
	K_S	-۳/۰۳۳۵۶ *۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	-۴/۲۴۴۸۴ *۱۰$^{-۶}$	-۱/۸۲۲۲۹ *۱۰$^{-۶}$
K_L	K_{fs}	۵/۴۶۲۰۵*۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	-۴/۲۵۰۷۷ *۱۰$^{-۶}$	-۶/۶۷۳۳۲ *۱۰$^{-۶}$
	K_R	۵/۴۷۵۸۶*۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	۴/۲۶۴۵۸ *۱۰$^{-۶}$	-۶/۶۸۷۱۴ *۱۰$^{-۶}$
	K_S	۲/۴۲۸۴۸*۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	۱/۲۱۷۲ *۱۰$^{-۶}$	۳/۶۳۹۷۶ *۱۰$^{-۶}$
K_R	K_{fs}	-۱/۳۸۱۴۸ *۱۰$^{-۸}$	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۹۸۲	-۱/۲۲۵۰۹ *۱۰$^{-۶}$	۱/۱۹۷۴۶ *۱۰$^{-۶}$
	K_L	-۵/۴۷۵۸۶ *۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	-۶/۶۸۷۱۴ *۱۰$^{-۶}$	-۴/۲۶۴۵۸ *۱۰$^{-۶}$
	K_S	-۳/۰۴۷۳۸ *۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	-۴/۲۵۸۶۶ *۱۰$^{-۶}$	-۱/۸۳۶۱ *۱۰$^{-۶}$
K_S	K_{fs}	۳/۰۳۳۵۶ *۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	۱/۸۲۲۲۹ *۱۰$^{-۶}$	۴/۲۴۴۸۴ *۱۰$^{-۶}$
	K_L	-۲/۴۲۸۴۸ *۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	-۳/۶۳۹۷۶ *۱۰$^{-۶}$	-۱/۸۳۶۱ *۱۰$^{-۶}$
	K_R	-۳/۰۴۷۳۸ *۱۰$^{-۶}$ *	۶/۱۰۵۳۱*۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰	۱/۸۳۶۱*۱۰$^{-۶}$	۴/۲۴۴۸۴ *۱۰$^{-۶}$

در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد

جدول ٦- آماره‌های مختلف محاسبه شده برای مقادیر ϕ_m و α^* محاسبه شده در روش آنالیز دو عمقی پرامتر گلف

آماره	ϕ_m (10^{-6}) m2/s	α^* (m^{-1})
تعداد	۲۶	۲۶
میانگین	۰/۸۴۱	۲/۱۲۷
خطای استاندار میانگین	۰/۰۲۶۷	۰/۴۵۳
انحراف استاندارد	۰/۱۳۶	۲/۳۱۴
واریانس	۰/۰۱۸۶	۵/۳۵۷
چولگی یا کجی	-۱/۳۱۹	۱/۰۷۸
خطای استاندار چولگی	۰/۴۵۵	۰/۴۵۵
کشیدگی	۰/۳۱۴	-۰/۱۰۵۷
خطای استاندار کشیدگی	۰/۸۸۶	۰/۸۸۶
دامنه تغییرات	۰/۴۰۶	۷/۱۶
حداقل	۰/۵۳۸	۰/۰۳
حد اکثر	۰/۹۴۴	۷/۱۹
ضریب تغییرات	۰/۱۶۱	۱/۰۸۸

نتیجه گیری

در تحقیقات قبلی بین آنالیزهای تک عمقی و آنالیز دو عمقی پرامتر گلف جهت تعیین α^* و k_{fs} منطقه، مقایسه هایی صورت گرفته است که بسته به بافت خاک منطقه جواب‌های متفاوتی گزارش شده است. به همین دلیل، این تحقیق به منظور آزمایش‌های بیشتر توسط پرامتر گلف و تعیین بهترین روش آنالیز تک عمقی معادل با روش آنالیز دو عمقی در خاک‌های با بافت لوم سیلتی انجام شد. مطابق این پژوهش میانگین نفوذپذیری بدست آمده برای خاک محدوده مورد مطالعه $۱/۵۵۲\times۱۰^{-۶}\ m/s$ می‌باشد. در روش سه عمقی تنها تعداد ۱۷ چاهک موفق بدست آمد در حالی‌که در روش دو عمقی تعداد ۲۶ چاهک‌های موفق محاسبه شد. مقدار میانگین α^* برابر ۲/۱۳ بدست آمد که با فرض اولیه $\alpha^* = ۱۲$ متفاوت بود، که یکی از دلایل اختلاف مقدار میانگین ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده توسط روش آنالیز دو عمقی پرامتر گلف و روش تک عمقی ریچادرز می‌تواند همین حدس اولیه نادرست باشد. همچنین مقایسه‌های آماری نشان داد از بین روش‌های آنالیز تک عمقی گلف نزدیک ترین روش به روش آنالیز دو عمقی، روش رگرسیون پایه ای ریچاردز با مقادیر β و ω به ترتیب ۰/۲۰۵ و ۰/۹۹۴ می‌باشد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد بین نتایج روش آنالیز دو عمقی گلف با آنالیزهای تک عمقی لاپلاس و ریچاردز اختلاف معنی دار وجود دارد، اما در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری بین میانگین آنالیزهای دو عمقی و رگرسیون پایه ای ریچاردز وجود نداشت. نفوذپذیری محاسبه شده با روش آنالیز تک عمقی لاپلاس تقریبا ۴/۵ برابر روش آنالیز دو عمقی گلف بود که دلیل آن می‌تواند در نظر گرفتن کاپیلاریته صفر باشد. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌شود با توجه به مبنای تئوری قوی روش پرامتر گلف و استفاده سریع و راحت آن، از دستگاه پرامتر گلف برای تعیین مقادیر نفوذپذیری و بررسی گرادیان عمقی آن در مطالعات طرح‌های آبیاری و زهکشی استفاده شود. همچنین به منظور تعیین بهترین روش آنالیز تک عمقی معادل با روش آنالیز دو عمقی پرامتر گلف، طرح مذکور در خاک‌های با بافت‌های متفاوت تکرار شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حوزه پژوهشی دانشگاه رازی به واسطه حمایت از این کار تحقیقاتی تشکر می‌نمایند.

منابع

۱- حبیب زاده آ.، بابازاده ح. و زینال زاده ک. ۱۳۸۷. مقایسه دو روش نفوذ سنج گلف و چاهک معکوس در اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک(مطالعه موردی اراضی دانشکده کشاورزی ارومیه)، دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- درزی ع.، شقاقی م.، یاری ع. و پهلوان ر. ۱۳۸۶ . ازریابی روش چاهک وارونه و آنالیزهای پرامتر گلف به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاکهای لومی. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۸، شماره ۱.

۳- کشکولی ح.ع.، ابن جلال ر.، مختاران ر. ۱۳۸۵ . ارزیابی آنالیزهای تک عمقی پرامتر گلف برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در یک خاک با بافت متوسط، مجله علمی کشاورزی ، جلد ۲۹، شماره ۳.

۴- مشعل م.، شقاقی م. و زواره مقدم ز. ۱۳۸۵. بررسی عوامل مؤثر در بهبود اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از آنالیز دو عمقی گلف، اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

5- Boynton S. and Dnial D.D. 1985. Hydraulic conductivity test on compacted clay. Journal of Geoteccnical Engineering, ASCE, 11(4), 465-478.

6- Darsey J.D., Ward A.D., Fausey N.R. and Bair E.S. 1990. A comparison of four field method for measuring saturated hydraulic conductivity. Trans. ASAE :1925-1931

7- Elrick D.E., and Reynolds W.D. 1992. Infiltration from constant head well permeameters and infil trometer. P. 1-24. In G.C. Topp et al. (ed.) Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. SSSA spac. Puble. 30.SSSA, Madison,WI

8- Elrick D.E., Reynolds W.D. and Tan K.A. 1989. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. Ground Water Moint. Rev. 9:184-193

9- Gupta R.K., Rudra R.P., Dickinson W.T., Patni N.K and Wall G.J. 1993. Comparison of saturated hydraulic conductivity measured various field method. Trans. ASAE 36:51-55.

10- Lee D.M., Reynilds,W.D., Elrick D.E., and Clothier B.E. 1985. A comparison of three field method for measuring saturated hydraulic conductivity can. Soil Science, 65:563573.

11- Reynolds W.D. and Elrick D.E, Baumgranter N. and. Clothier B.E 1984. The Guelph Permeameter for measuring the field-saturated soil hydraulic conductivity above the water table: 2.the apparatus. Proc. Canadian Hydrology

Symposium, Quebec city, Quebec.
12- Reynolds W.D. and Elrick D.E. 1985. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity sorpitvity α parameter using Guelph permeameter. Soil science, .140, (4) 292-302.
13- Reynolds W.D. and Zebchuk W.D. 1996. Hydraulic conductivity in a clay soil: Two measurement techniques and spatial characterization, Soil.Sci.Soc. Am.J.60:1679-1685.
14- Reynolds W.D. and Elrick D.E. and Clothier B.E. 1985. The constant head well permeameter Effect on unsaturated flow. Soil Sci. 139, (2) 172-180.
15- Stephens D.B., Lamert K. and Watson D. 1987. Regression models for hydraulic conductivity and field test of the borehole permeameter. Water Resource Research. 23:2207-2214,
16- Vieira S.R., Reynolds W.D. and Topp G.C. 1988. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. Proceeding Symposium Validation of flow and transport models for unsaturated zone. Ruidoso, NM
17- Yari A., Shaghagi M., Darzi A. and Pahlavn R. 2006. The best method of Guelph analyses for measuring Loamy soil saturated hydraulic conductivity. Journal of Applied Science.6(12),2657-2661

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 3, July-Aug 2010, p. 501-511

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۳، مرداد - شهریور ۱۳۸۹، ص. ۵۱۱-۵۰۱

Comparison of Different Methods of Guelph Permeameter Analysis to Calculate Field Hydraulic Conductivity of Silty-Loam Soil Above Water Surface Table

R. Ghobadian [1*]- K. Mohammadi [2]

Abstract

Information on spatial and temporal variations of soil hydraulic conductivity (k) is essential to improve soil and water management. However several techniques have been proposed for measuring of soil hydraulic conductivity above water surface table, but reliability and easy use of these methods in various conditions were always concern for engineers. The purposes of this study are measuring of the soli hydraulic conductivity by Guelph permeameter as a reliable method and determination of the best single-depth analysis method equivalent to two- depth method. To achieve this goal, 40 boreholes with depth of 60 cm were drilled in a grid of 5×5 m in the research farm of agricultural faculty, Razi University, Kermanshah. Soil texture of the study area is silty-loam. After identification tests such as soil gradation, determination of the soil liquid and plasticity limits and determination of the specific gravity, soil saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) and matric potential (ϕ_m) were measured by Guelph permeameter for three fixed ponding depths 5, 15 and 25 cm. Because of heterogeneous of equations in three-depth method only 17 success well obtained while in two-depth method for two ponding depths 5 and 15 cm, 26 successful well obtained. Data of these 26 boreholes were used for statistical analysis. The results of statistical analysis showed that: 1) Mean of soil hydraulic conductivity in the study area is $1.552\times10^{-6}(m/s)$, 2) Among the single depth methods, Richards regression basic analysis with values of 0.205 and 0.994 for β and ω respectively is the nearest method to tow-depth method, 3) There is a significant difference at 5% level between the results from two-depths analysis of Guelph permeameter with Richards and Laplace single-depth methods, 4) Average values of ϕ_m and α^* in the study area were calculated $0.841\times10^{-6}(m^2/s)$ and $2.127(1/s)$ respectively, and 5) Values of ϕ_m have less variation coefficients and standard deviation than values of sorptive number (α^*).

Keywords: Hydraulic conductivity, Guelph permeameter

1,2- Assistant Professor and Msc Student in Hydraulic Structure of Water Engineering Department, Razi University, Kermanshah
(*- Corresponding author Email: rsghobadian@gmail.com)