

اثر افزایش عمق استغراق ثانویه در بهبود دقت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با روش دو عمقی گلف

مجتبی شقاقی، محمود مشعل و قاسم زارعی*

* به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی پردیس آموزشی ابوریحان دانشگاه تهران، نشانی: تهران، پاکدشت، پردیس آموزشی ابوریحان، تلفن: ۳۰۲۵۳۶۶ (۰۲۹۲)، پیام نگار: mojtabashaghghi@yahoo.com؛ استادیار گروه آبیاری و زهکشی پردیس آموزشی ابوریحان دانشگاه تهران؛ و استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۷/۱۵

چکیده

روش نفوذسنج گلف یکی از روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در بالای سطح ایستابی است که در آن پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{fs}) و پتانسیل جریان ماتریک (ϕ_m) از طریق حل معادله آنالیز دو عمقی ریچارد به روش دستگاه معادلات دو مجهولی مربوط به دو عمق استغراق در یک چاهک، تعیین می‌شوند. نتایج این روش در خاک‌های همگن رضایت‌بخش است اما در خاک‌های مطبق درصد زیادی از نتایج K_{fs} و ϕ_m منفی و غیرمنطقی خواهد شد. آنالیز دو عمقی ریچارد بستگی زیادی به عمق‌های استغراق H_1 و H_2 و مقادیر دبی ورودی به چاهک در این عمق‌ها دارد. از این‌رو، در این تحقیق تأثیر کاهش یا افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 در ایجاد نتایج منفی و غیر منطقی K_{fs} و ϕ_m در خاک‌های لومی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش نسبت H_2/H_1 ، ضمن کاهش قابل توجه تعداد مقادیر منفی و غیر منطقی K_{fs} و ϕ_m ، بین میانگین هریک از این مقادیر در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ایجاد نخواهد شد.

واژه‌های کلیدی

آنالیز دو عمقی، پتانسیل جریان ماتریک، نفوذسنج گلف، هدایت هیدرولیکی

مقدمه

ثابت^۱، در دانشگاه گلف کانادا ابداع و الریک و همکاران (Elrick *et al.*, 1989) آن را تکمیل کردند. روش نفوذسنج گلف ضمن برخورداری از مبانی تئوریک قوی، اجرای آزمایش‌ها را با سرعت زیاد و هزینه بسیار کم میسر می‌سازد (Elrick *et al.*, 1989; Reynolds *et al.*, 1984).

در روش گلف، دو پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع صحرایی (K_{fs}) و پتانسیل جریان ماتریک (ϕ_m)، از طریق آنالیز دو عمقی ریچارد با حل دستگاه معادلات دو مجهولی

هدایت هیدرولیکی افقی یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدرودینامیکی خاک است که در مطالعه جریان آب‌های زیرزمینی و محاسبه فواصل زهکشی زیرزمینی مورد نیاز می‌باشد. برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیکی خاک، روش‌های متعددی وجود دارد که یکی از آنها روش نفوذسنج گلف^۱ است. این روش را رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 1983) با توسعه روش نفوذسنج با بار

مربوط به دو عمق استغراق (H_1 و H_2) به دست می‌آید. نتایج این روش در خاک‌های همگن رضایت‌بخش است، اما در مواردی که خاک مطبق باشد، درصد زیادی از نتایج K_{fs} و ϕ_m منفی و غیر منطقی خواهد شد (Philip, 1985; Reynolds & Elrick, 1985; Reynolds *et al.*, 1983). این روش به منظور دستیابی به نتایج صحیح و منطقی در روش گلف تاکنون بررسی‌های زیادی شده است. رینولدز و الریک (Reynolds & Elrick, 1985) با صفر فرض کردن کاپیلاریته خاک، مقدار هدایت هیدرولیکی را تخمین زدند. مطالعات آنها نشان داد که نتایج آنالیز لاپلاس در برآورد هدایت هیدرولیکی، بسیار بالاتر از نتایج K_{fs} آنالیز دو عمقی است. الریک و همکاران (Elrick *et al.*, 1989)، برای حذف جواب‌های غیر منطقی روش دو عمقی گلف در تخمین هدایت هیدرولیکی، آنالیز تک‌عمقی ریچارد را با ارائه توصیه‌هایی برای تخمین شماره جذب خاک¹ (پارامتر α^*)، پیشنهاد کردند. ویرا و همکاران (Vieira *et al.*, 1988)، آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچارد (آنالیز ویرا) را برای اصلاح مقادیر هدایت هیدرولیکی منفی و غیرمنطقی به وجود آمده از روش دو عمقی ارائه کردند. الریک و رینولدز (Elrick & Reynolds, 1992) آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچارد (آنالیز ویرا) را ارزیابی و آن را به عنوان روشی مناسب برای تعیین هدایت هیدرولیکی توصیه کردند. رینولدز و زبچوک (Reynolds & Zebchuk, 1996) در یک خاک رسی سیلتی، از سه آنالیز تک‌عمقی لاپلاس، رگرسیون پایه‌ای ریچارد، و آنالیز تک‌عمقی ریچارد استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که میانگین هندسی آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچارد، در مقایسه با سایر روش‌های ذکر شده، به روش چاهک نزدیک‌تر است. دافونت و همکاران (Dafonte *et al.*, 1999) آنالیزهای تک‌عمقی و آنالیز ویرا را به عنوان آنالیزهای مناسب در برآورد هدایت هیدرولیکی معرفی کردند. باگاریلو و گیوردن

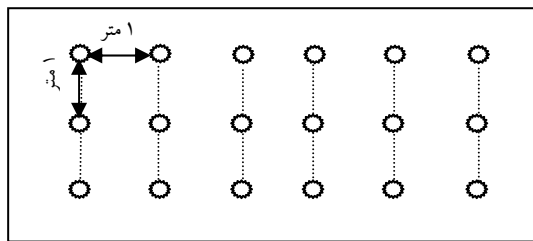
(Bagarello & Giordano, 1999) به منظور بهبود اندازه‌گیری K_{fs} روش گلف، با مقایسه فرایندهای تخمین جریان ماندگار، بین مقدار نفوذ اولیه و مقدار هدایت هیدرولیکی رابطه‌ای به دست آوردند. دایز و همکاران (Daiz *et al.*, 2003) مقادیر K_{fs} به دست آمده از آنالیزهای گلف در دو نوع خاک را بررسی و پرماتر گلف را به عنوان وسیله مناسب اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک توصیه کردند. ریگالدو و مونز (Regaldo & Munoz, 2004) با در نظر گرفتن ساختار فضایی خاک، مقادیر هدایت هیدرولیکی به دست آمده از آنالیزهای گلف را با روش‌های فیلپ-دونان و روش آزمایشگاهی مقایسه کردند. مطالعه آنها نشان داد که مقادیر به دست آمده از آنالیزهای گلف از دو روش دیگر بسیار کمتر است. کشکولی و مشعل (Kashkoli & Mashal, 1995) در دو نوع خاک ماسه لومی و رسی سیلتی، آنالیزهای گلف را با دو روش چاهک معکوس و نفوذ به چاهک کم عمق² مقایسه و پرماتر گلف را به عنوان وسیله مناسب اندازه‌گیری K_{fs} توصیه کردند.

تاکنون در اکثر مطالعات انجام شده پیرامون روش گلف، به منظور اجتناب از نتایج منفی و غیر منطقی، استفاده از دیگر آنالیزهای گلف توصیه شده اما بررسی‌های اولیه نشان‌دهنده این است که در آنالیز دو عمقی گلف صرف نظر از مقادیر منفی K_{fs} ، به دلیل فرضی نبودن مقادیر α^* ، نتایج هدایت هیدرولیکی نسبت به سایر آنالیزهای گلف دقیق‌تر است (Elrick *et al.*, 1989). چنانچه با مطالعه بیشتر دلائل حصول نتایج منفی و غیر منطقی K_{fs} شناخته و راهکارهای مناسب برای کسب نتایج منطقی ارائه شود گام موثری در گسترش استفاده از این وسیله مفید برداشته خواهد شد. مطالعات الریک و همکاران (Elrick *et al.*, 1989) نشان داد که آنالیز دو عمقی ریچارد بستگی زیادی به عمق‌های استغراق H_1 و H_2 و مقادیر

اثر افزایش عمق استغراق ثانویه در بهبود دقت ...

نسبت $\frac{H_i}{a}$ بستگی دارد، به این ضریب فاکتور شکل چاهک نیز گفته می‌شود، هستند. با تشکیل دستگاه معادلات دومجهولی و حل معادله ۱ برای دو عمق استغراق H_1 و H_2 ، مقدار ϕ_m و K_{fs} را می‌توان تعیین کرد.

ضرایب فاکتور شکل چاهک C برای عمق‌های استغراق مذکور از نمودار ارائه شده به همین منظور، تعیین شد. این نمودار از حل عددی معادله ۱ حاصل شده است. این ضرایب متناسب با نسبت $\frac{H_i}{a}$ ، به ترتیب برابر ۰/۸۵، ۱/۰، ۱/۲۸، ۱/۴۳، ۱/۶۲، ۱/۸، ۱/۹ و ۱/۱۸ به دست آمده‌اند (Reynolds & Elrick, 1985). همچنین به منظور تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شده است.



شکل ۱- موقعیت چاهک‌های مورد مطالعه در مزرعه تحقیقاتی

نتایج و بحث

با استفاده از آنالیز دو عمقی گلف، برای کلیه چاهک‌ها در استغراق‌های مختلف H_1 و H_2 مقادیر K_{fs} و ϕ_m محاسبه شد. مطابق انتظار، در تعدادی از آزمایش‌ها مقادیر K_{fs} و در برخی دیگر نتایج ϕ_m منفی شدند. با توجه به این‌که طبق معادله ۱ دبی خروجی از چاهک‌ها (Q)، تابعی از مقدار هدایت هیدرولیکی K_{fs} و پتانسیل جریان ماتریک ϕ_m است، نتایج منفی به دست آمده از این آزمایش‌ها منطقی و قابل قبول نیستند. لذا برای دستیابی به نتایج منطقی و صحیح باید تحلیل‌ها نیز بر اساس آزمایش‌هایی صورت گیرد که در آن‌ها هر دو مقدار K_{fs} و ϕ_m

متناظر دبی ورودی به چاهک در این عمق‌ها دارد. تحقیق حاضر تأثیر کاهش یا افزایش عمق استغراق H_2 را نسبت به H_1 در ایجاد نتایج منفی و غیر منطقی K_{fs} و ϕ_m بررسی و تجزیه و تحلیل می‌کند.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق از مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان واقع در منطقه پاکدشت استان تهران استفاده شد. بافت خاک مزرعه براساس آزمایش‌ها از نوع لومی (شن ۳۷ درصد، لای ۴۶ درصد و رس ۱۷ درصد) بود.

در این تحقیق برای اجرای آزمایش‌های پرماتر گلف در مزرعه تحقیقاتی، ۱۸ چاهک (برابر شکل ۱) به صورت شبکه منظم 6×3 با شعاع 0.03 متر تا عمق 0.6 متری حفر و در هر چاهک میزان دبی خروجی از پرماتر گلف (با سطح مقطع مخزن ترکیبی معادل $34/97$ سانتی‌متر مربع)، در هفت عمق استغراق 0.05 ، 0.07 ، 0.1 ، 0.12 ، 0.15 ، 0.18 و 0.2 متری قرائت شد. به منظور کاهش اثر ناهمگنی خاک، فواصل چاهک‌ها 1 متر در نظر گرفته شده است.

در روش نفوذ سنج گلف، کل جریان ماندگار خروجی از چاهک از معادله زیر قابل تخمین است:

$$Q_i = \left[\left(\frac{2\pi H_i^2}{C_i} \right) + \pi a^2 \right] K_{fs} + \frac{2\pi H_i}{C_i} \phi_m \cdot \alpha = \frac{K_{fs}}{\phi_m} \quad (1)$$

که در آن، K_{fs} = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (بر حسب متر بر ثانیه)؛ ϕ_m = پتانسیل جریان ماتریک (بر حسب متر مربع بر ثانیه)؛ Q_i = دبی ثابت ورودی به چاهک (بر حسب متر مکعب بر ثانیه) هنگامی که عمق آب در چاهک H_i (بر حسب متر) است؛ α = ضریبی که بیانگر میزان کاپیلاریته خاک است (بر حسب یک بر روی متر)، a = شعاع چاهک (بر حسب متر)، و C_i = ضریب تناسب بدون بعدی که به

مثبت و منطقی هستند. در این تحقیق، به آزمایش‌هایی که در آن‌ها مقادیر K_{fs} و ϕ_m به صورت همزمان مثبت هستند، آزمایش موفق اطلاق می‌شود. با توجه به این تعریف، در استغراق‌های مختلف مقادیر موفق K_{fs} و ϕ_m مشخص شد. خلاصه پارامترهای آماری مقادیر موفق K_{fs} و ϕ_m و همچنین تعداد آزمایش‌های موفق آنالیز دو عمقی متناسب با استغراق‌های H_1 و H_2 به ترتیب صعودی نسبت (H_2/H_1) ، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری مقادیر موفق K_{fs} و ϕ_m آنالیز دو عمقی متناسب با H_1 و H_2 ، برای مزرعه تحقیقاتی (به ترتیب صعودی (H_2/H_1))

$\phi_m \times 10^6$ (متر مربع بر ثانیه)				$K_{fs} \times 10^6$ (متر بر ثانیه)				تعداد آزمایش موفق	$\frac{H_2}{H_1}$	$H_2 - H_1$ متر
ضریب تغییرات (درصد)	انحراف معیار	دامنه تغییرات	میانگین حسابی	ضریب تغییرات (درصد)	انحراف معیار	دامنه تغییرات	میانگین حسابی			
۵۵/۴	۰/۲۰	۰/۴۸	۰/۳۶	۶۴/۲	۱/۷۲	۵/۱۶	۲/۶۸	۶	۱/۱	۰/۲۰-۰/۱۸
۵/۸۳	۰/۲۶	۰/۷۳	۰/۳۱	۵۷/۹	۱/۸۵	۵/۲۲	۳/۱۹	۷	۱/۲	۰/۱۲-۰/۱۰
۳۷/۶	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۳۸	۲۳/۶	۰/۳۵	۰/۵۰	۱/۵۰	۲	۱/۲	۰/۱۸-۰/۱۵
۸۵	۰/۴۴	۱/۲۰	۰/۵۲	۶۱/۶	۲/۵۵	۶/۹۱	۴/۱۴	۷	۱/۲۵	۰/۱۵-۰/۱۲
۴۲/۷	۰/۱۷	۰/۴۸	۰/۴۰	۶۴/۴	۲/۵۶	۵/۹۹	۳/۹۷	۷	۱/۳	۰/۲۰-۰/۱۵
۶۰/۳	۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۳۴	۵۹/۹	۲/۶۸	۸/۵۰	۳/۷۹	۹	۱/۴	۰/۰۷-۰/۰۵
۹۲/۶	۰/۲۷	۰/۸۷	۰/۲۹	۵۲/۵	۲/۰۲	۶/۴۳	۳/۸۵	۹	۱/۴۳	۰/۱۰-۰/۰۷
۶۶/۵	۰/۱۴	۰/۴۲	۰/۲۱	۵۹/۱	۲/۹۶	۷/۱۶	۵/۰	۸	۱/۵	۰/۱۸-۰/۱۲
۶۴/۵	۰/۲۵	۰/۷۷	۰/۳۹	۴۳/۸	۱/۷۳	۵/۱۳	۳/۹۴	۸	۱/۶۷	۰/۲۰-۰/۱۲
۱۰۲/۹	۰/۳۳	۱	۰/۳۲	۲۹/۲	۰/۹۶	۳/۲۵	۳/۲۸	۱۱	۱/۷	۰/۱۲-۰/۰۷
۷۷/۸	۰/۲۵	۰/۸۸	۰/۳۲	۵۹/۱	۲/۰۹	۷/۴۶	۳/۵۴	۹	۱/۸	۰/۱۸-۰/۱۰
۶۵/۲	۰/۲۳	۰/۵۷	۰/۲۶	۴۵/۲	۱/۷۴	۵/۳۹	۳/۸۵	۱۲	۲	۰/۱۰-۰/۰۵
۷۰/۷	۰/۲۵	۰/۸۸	۰/۳۶	۵۳	۱/۷۹	۶/۲۵	۳/۳۷	۱۰	۲	۰/۲۰-۰/۱۰
۷۱/۳	۰/۲۷	۰/۸۶	۰/۳۷	۵۳/۱	۱/۹۰	۷/۰۶	۳/۵۷	۱۲	۲/۱۴	۰/۱۵-۰/۰۷
۶۳/۱	۰/۱۷	۰/۶۱	۰/۲۷	۶۱/۸	۲/۱۴	۸/۲۹	۳/۴۷	۱۱	۲/۴	۰/۱۲-۰/۰۵
۵۰/۹	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۳۵	۴۸/۶	۱/۹۸	۶/۲۴	۴/۰۷	۱۰	۲/۴	۰/۱۸-۰/۰۷
۵۱	۰/۱۸	۰/۶۰	۰/۳۵	۵۶	۲/۲۸	۷/۵۳	۴/۰۸	۱۰	۲/۸	۰/۲۰-۰/۰۷
۶۸/۶	۰/۲۱	۰/۶۷	۰/۳۱	۴۹/۱	۱/۶۷	۳/۵۵	۳/۳۹	۱۳	۳	۰/۱۵-۰/۰۵
۶۳/۲	۰/۲۰	۰/۵۳	۰/۳۲	۴۳/۹	۱/۶۸	۵/۳۰	۳/۸۲	۱۰	۳/۶	۰/۱۸-۰/۰۵
۶۲/۷	۰/۲۱	۰/۵۹	۰/۳۳	۴۰	۱/۵۱	۴/۳۸	۳/۷۸	۱۲	۴	۰/۲۰-۰/۰۵

آنالیز دو عمقی پرداخته شد. طبق نظر الریک و همکاران (Elrick *et al.*, 1989)، آنالیز دو عمقی در استغراق ۵ و ۱۰ سانتی متر به تغییرات (Q_2/Q_1) حساسیت زیادی دارد. با توجه به این مطلب میانگین، حداقل، حداکثر، و دامنه تغییرات مقادیر (Q_2/Q_1) به ازای نسبت‌های مختلف (H_2/H_1) در چاهک‌های مورد آزمایش محاسبه و نتایج آن در جدول ۲ وارد شده است. طبق این جدول مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت (H_2/H_1) دامنه تغییرات مقادیر (Q_2/Q_1) بیشتر شده است. این امر بیانگر آن است که در نسبت‌های بالای (H_2/H_1)، حساسیت مقادیر K_{fs} و ϕ_m به تغییرات (Q_2/Q_1) کاهش یافته است و در محدوده‌ای وسیع‌تر از (Q_2/Q_1)، نتیجه آزمایش‌ها موفق خواهد بود.

مطابق این جدول، مشاهده می‌شود که تعداد آزمایش‌های موفق K_{fs} در نسبت‌های (H_2/H_1) کوچک‌تر از ۲، کمتر از تعداد آن‌ها در نسبت‌های بزرگتر از ۲ است. به طوری که در نسبت‌های بزرگ‌تر از ۲ تقریباً ۶۵-۷۰ درصد و در نسبت‌های کوچک‌تر تقریباً ۳۵-۴۰ درصد از آزمایش‌ها موفق بوده است. همچنین، مقدار میانگین‌های K_{fs} تقریباً در اکثر نسبت‌های (H_2/H_1)، نزدیک به هم هستند و تغییرات قابل توجهی در مقدار میانگین‌ها، دامنه تغییرات، و انحراف معیار ایجاد نشده است. به منظور مقایسه میانگین‌ها، آزمون دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد که در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها وجود ندارد. به منظور بررسی تأثیر افزایش عمق استغراق در افزایش تعداد آزمایش‌های موفق، به بررسی دقیق‌تر معادلات

جدول ۲- پارامترهای آماری مقادیر (Q_2/Q_1) در نسبت‌های مختلف (H_2/H_1)

دامنه تغییرات	(Q_2/Q_1)			$\frac{H_2}{H_1}$	$H_2 - H_1$
	حداکثر	حداقل	میانگین		
۰/۰۸	۱/۱۵	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱	۰/۲۰-۰/۱۸
۰/۱۶	۱/۲۷	۱/۱۱	۱/۱۷	۱/۲	۰/۱۲-۰/۱۰
۰/۲۴	۱/۳۷	۱/۱۳	۱/۲۵	۱/۲	۰/۱۸-۰/۱۵
۰/۳۶	۱/۵۰	۱/۱۴	۱/۲۶	۱/۲۵	۰/۱۵-۰/۱۲
۰/۳۸	۱/۶۲	۱/۲۴	۱/۴۱	۱/۳	۰/۲۰-۰/۱۵
۰/۲۶	۱/۴۰	۱/۱۴	۱/۲۷	۱/۴	۰/۰۷-۰/۰۵
۰/۳۲	۱/۵۷	۱/۲۵	۱/۴۱	۱/۴۳	۰/۱۰-۰/۰۷
۰/۲۴	۱/۷۴	۱/۵	۱/۶۱	۱/۵	۰/۱۸-۰/۱۲
۰/۱۵	۱/۹۰	۱/۷۵	۱/۸۲	۱/۶۷	۰/۲۰-۰/۱۲
۰/۶۳	۲/۰	۱/۳۷	۱/۶۹	۱/۷	۰/۱۲-۰/۰۷
۰/۷۸	۲/۱۷	۱/۳۸	۱/۸۲	۱/۸	۰/۱۸-۰/۱۰
۰/۶۳	۲/۲۰	۱/۵۷	۱/۸۶	۲	۰/۱۰-۰/۰۵
۱/۲۵	۲/۶۷	۱/۴۱	۲/۰۷	۲	۰/۲۰-۰/۱۰
۱/۲۵	۲/۷۵	۱/۵	۲/۰۶	۲/۱۴	۰/۱۵-۰/۰۷
۱/۲۴	۲/۶۷	۱/۴۳	۲/۱۷	۲/۴	۰/۱۲-۰/۰۵
۱/۱۳	۳/۲۵	۲/۱۳	۲/۵۴	۲/۴	۰/۱۸-۰/۰۷
۱/۳۲	۳/۵۰	۲/۱۸	۲/۸۵	۲/۸	۰/۲۰-۰/۰۷
۲/۱۳	۳/۸۰	۱/۶۷	۲/۶۸	۳	۰/۱۵-۰/۰۵
۲/۷۷	۵/۲۰	۲/۴۳	۳/۴۲	۳/۶	۰/۱۸-۰/۰۵
۳/۷۳	۶/۴۰	۲/۶۷	۴/۰۴	۴	۰/۲۰-۰/۰۵

برای Q_1 و Q_2 فرض شد و با استفاده از این مقادیر فرضی، مقادیر K_{fs} و ϕ_m در عمق‌های استغراق مختلف H_1 و H_2 محاسبه شد. مقادیر فرضی Q_1 و Q_2 طبق شرایط زیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

۱- در عمق استغراق $H_1 = 0.5$ متر، مقدار Q_1 برابر $10^{-6} \times 0.291$ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است که تقریباً متوسطی از مقادیر Q_1 آزمایش‌های انجام شده در مزرعه تحقیقاتی است.

۲- با توجه به افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 ، مقدار فرضی Q_2 نیز متناسب با مقدار Q_1 خواهد شد. این مقدار را از رابطه زیر می‌توان به دست آورد:

$$Q_2 \propto Q_1 \times \left(\frac{H_2}{H_1}\right) \quad (2)$$

با استفاده از γ ، تناسب (۲) به تساوی (۳) تبدیل خواهد شد:

$$Q_2 = \gamma \times Q_1 \times \left(\frac{H_2}{H_1}\right) \quad (3)$$

با توجه به رابطه ۳، مقدار γ برابر خواهد بود با معادله ۴:

$$\gamma = \frac{(Q_2 / Q_1)}{(H_2 / H_1)} \quad (4)$$

در رابطه ۴، $\gamma =$ ضریب بدون بعدی است که وضعیت ساختمان و قطر منافذ خاک را در لایه‌های مرتبط با عمق استغراق H_2 را نسبت به وضعیت ساختمان و قطر منافذ خاک در لایه‌های مرتبط با عمق استغراق H_1 ، مشخص می‌کند. طبق توضیحات فوق می‌توان این گونه بیان کرد که: - چنانچه $\gamma = 1$ باشد با افزایش عمق استغراق H_2 مقدار Q_2 نیز متناسب با مقدار (H_2/H_1) افزایش خواهد یافت.

طبق نظر الریک و همکاران (Elrick *et al.*, 1989)، فاکتورهای مؤثر در مقادیر Q_1 و Q_2 که در ایجاد خطا در این مقادیر نیز دخالت دارند عبارت‌اند از:

- بی‌توجهی به جریان ماندگار واقعی و صحیح در خاک که سبب می‌شود مقدار Q_1 و Q_2 در خاک‌های همگن با نفوذپذیری بالا حدود ۱۰ درصد و در خاک‌های با نفوذپذیری کم در حدود ۵۰ درصد بیش از اندازه واقعی تخمین زده شود.

- خطا در اندازه‌گیری مقادیر Q_1 و Q_2 در حین آزمایش به دلیل وجود حباب‌های هوا و خطای قرائت.

- حبس هوا در داخل خاک به هنگام پر کردن مجدد پرماتر (در صورتی که نیاز به این کار باشد).

با توجه به مطالب فوق، مقادیر Q_1 و Q_2 به دست آمده از آزمایش‌ها ممکن است با مقادیر Q_1 و Q_2 تئوریک خاک‌های همگن تفاوت داشته باشد. به همین منظور الریک و همکاران (Elrick *et al.*, 1989) در بررسی‌های خود فرض کردند که با توجه به شرایط موجود در خاک و دقت اندازه‌گیری‌ها، ممکن است دبی خروجی از پرماتر در عمق استغراق دوم، مقداری معادل ωQ_2 شود که در این حالت Q_2 مقدار دبی است که باید رخ بدهد تا K_{fs} و ϕ_m در هر مقدار Q_1 و Q_2 اندازه‌گیری شده، یکسان شوند. با این فرض،

$$\text{مقدار } K_{fs} \text{ به ازای } \left[\frac{C_1 H_2 Q_1}{C_2 H_1 Q_2} \right] \omega < \text{ و مقدار } \phi_m \text{ به ازای } \left[\frac{C_1 (2H_2^2 + aC_2) Q_1}{C_2 (2H_1^2 + a^2 C_1) Q_2} \right] \omega >$$

منفی خواهد شد.

در این تحقیق نیز با ایده گرفتن از فرضیات الریک و همکاران (Elrick *et al.*, 1989) به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر نسبت‌های مختلف (Q_2/Q_1) بر مقادیر K_{fs} و ϕ_m در نسبت‌های یکسان (H_2/H_1) و به منظور اعمال تغییرات ناشی از ناهمگونی ساختمان و بافت خاک با استفاده از روش دو عمقی ریچارد در محدوده آزمایش‌های انجام شده، مقادیری

اثر افزایش عمق استغراق ثانویه در بهبود دقت ...

- مقادیر $\gamma > 1$ نشان‌دهنده افزایش ماکروپورها و افزایش شعاع منافذ در لایه‌های خاک مرتبط با عمق استغراق H_2 است و مقادیر $\gamma < 1$ بیانگر کاهش ماکروپورها و کاهش شعاع منافذ در لایه‌های خاک مرتبط با عمق استغراق H_2 است. در این حالت با افزایش H_2 مقدار Q_2 متناسب با مقدار $(\gamma \times (H_2/H_1))$ افزایش خواهد یافت. با توجه به فرضیات فوق به عنوان نمونه مقادیر ϕ_m, K_{fs} و α برای استغراق ۰/۱۰-۰/۰۵ متر محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر ϕ_m, K_{fs} و α آنالیز دو عمقی گلف با مقادیر فرضی Q ، برای استغراق ۰/۱۰-۰/۰۵ متر

α	$\phi_m \times 10^6$	$K_{fs} \times 10^6$	$Q_2 \times 10^6$	$\frac{H_2}{H_1}$	γ	$Q_1 \times 10^6$	H_2	H_1
(یک بر متر)	(متر مربع بر ثانیه)	(متر بر ثانیه)	(متر مکعب بر ثانیه)			(متر مکعب بر ثانیه)	(متر)	(متر)
-	۰/۷۹	-۰/۰۰	۰/۳۹	۲	۰/۶	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵
۱/۲	۰/۷۴	۰/۸۹	۰/۴۱	۲	۰/۷	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵
۵/۶۴	۰/۶۰	۳/۳۵	۰/۴۷	۲	۰/۸	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵
۱۲/۶۸	۰/۴۵	۵/۸۲	۰/۵۲	۲	۰/۹	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵
۲۶/۷	۰/۳۱	۸/۲۹	۰/۵۸	۲	۱	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵
۶۳/۹۶	۰/۱۷	۱۰/۷۶	۰/۶۴	۲	۱/۱	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵
۵۰۹/۸۱	۰/۰۳	۱۳/۲۳	۰/۷۰	۲	۱/۲	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵
-	-۰/۰۰	۱۳/۷۰	۰/۷۱	۲	۱/۲۲	۰/۲۹۱	۰/۱۰	۰/۰۵

می‌توان گفت چنانچه آزمایش‌های دو عمقی در نسبت‌های بالای (H_2/H_1) اجرا شوند، تعداد آزمایش‌های موفق افزایش خواهد یافت.

به منظور نمایش نحوه تغییرات ϕ_m و K_{fs} محاسبه شده با مقادیر فرضی Q در مقابل تغییرات γ ، با توجه به نتایج جداول ۴ و ۵ مقادیر ϕ_m و K_{fs} به ازای H_1 برابر ۰/۰۵ متر و مقادیر مختلف H_2 ، به صورت شکل‌های ۲ و ۳ ترسیم شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در نسبت‌های مختلف (H_2/H_1) ، با افزایش مقدار γ ، مقدار K_{fs}

همچنین، با توجه به فرضیاتی که در بالا به آن اشاره شد، مقادیر ϕ_m و K_{fs} همانند جدول ۳ برای H_1 برابر ۰/۰۵ متر و مقادیر مختلف H_2 محاسبه شد. خلاصه مقادیر ϕ_m و K_{fs} به ترتیب در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

با توجه به جداول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که در کلیه نسبت‌های (H_2/H_1) ، با افزایش مقدار γ ، مقدار K_{fs} افزایش و مقدار ϕ_m کاهش یافته است. همچنین، با افزایش نسبت (H_2/H_1) ، در بازه وسیع‌تری از γ ، امکان دستیابی به نتایج منطقی و غیر منفی ϕ_m و K_{fs} ایجاد شده است. بنابراین

افزایش یافته است. همچنین با افزایش عمق استغراق H_2 ، مقدار γ ، مقدار ϕ_m کاهش یافته است. البته در نمودارهای ضمن کاهش شیب نمودار، دامنه اعتبار γ وسیع تر و در $H_2 = 0/20$ متر، کمترین شیب ایجاد شده است. همچنین مطابق شکل ۳ در نسبت‌های مختلف (H_2/H_1)، با افزایش شیب (شیب منفی) ایجاد شده است.

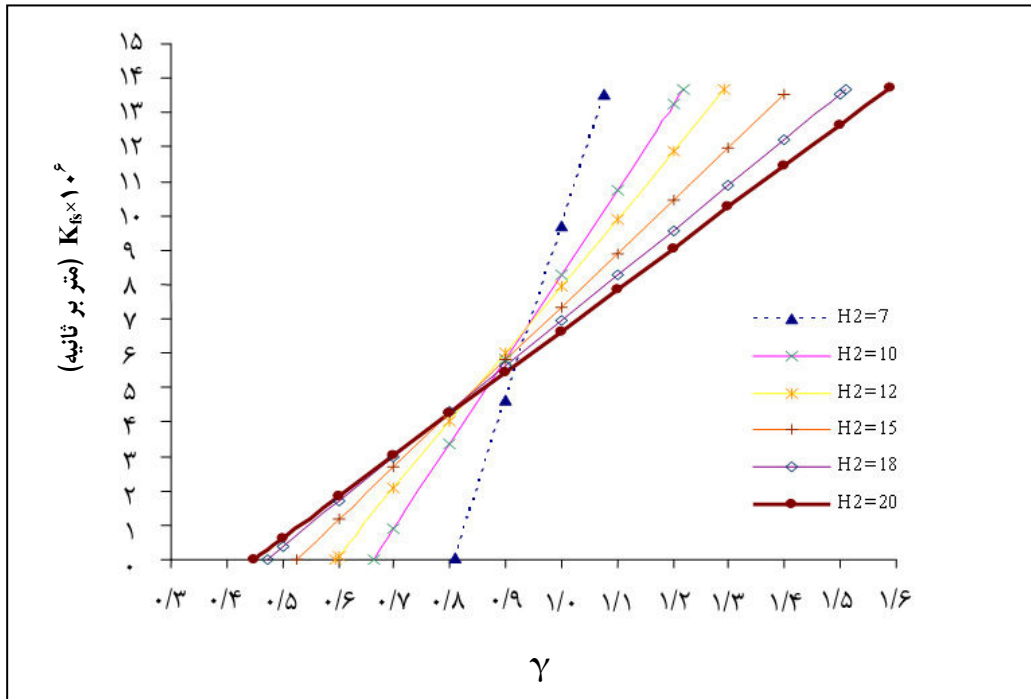
جدول ۴- خلاصه مقادیر K_{fs} آنالیز دو عمقی با مقادیر فرضی Q

$K_{fs} \times 10^6$ (متر بر ثانیه)											$\frac{H_2}{H_1}$	$H_1 - H_2$ متر
$\gamma=1/5$	$\gamma=1/4$	$\gamma=1/3$	$\gamma=1/2$	$\gamma=1/1$	$\gamma=1$	$\gamma=0/9$	$\gamma=0/8$	$\gamma=0/7$	$\gamma=0/6$	$\gamma=0/5$		
					۹/۷	۴/۶	-				۱/۴	۰/۰۵-۰/۰۷
			۱۳/۲	۱۰/۸	۸/۳	۵/۸	۳/۴	۰/۹	-		۲	۰/۰۵-۰/۱۰
			۱۱/۹	۹/۹	۷/۹	۶	۴	۲/۱	۰/۱	-	۲/۴	۰/۰۵-۰/۱۲
	۱۳/۵	۱۲	۱۰/۴	۸/۹	۷/۳	۵/۸	۴/۳	۲/۷	۱/۲	-	۳	۰/۰۵-۰/۱۵
۱۳/۵	۱۲/۲	۱۰/۹	۹/۶	۸/۳	۶/۹	۵/۶	۴/۳	۳	۱/۷	۰/۴	۳/۶	۰/۰۵-۰/۱۸
۱۲/۷	۱۱/۵	۱۰/۲	۹	۷/۸	۶/۶	۵/۴	۴/۲	۳	۱/۸	۰/۶	۴	۰/۰۵-۰/۲۰

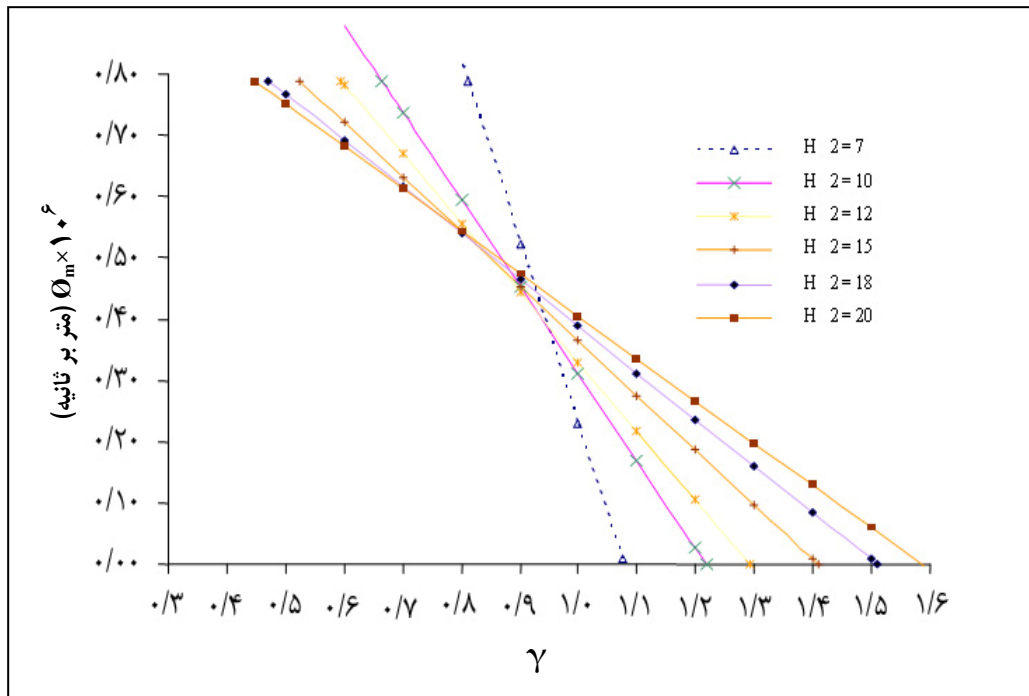
جدول ۵- خلاصه مقادیر ϕ_m آنالیز دو عمقی با مقادیر فرضی Q

$\phi_m \times 10^6$ (متر مربع بر ثانیه)											$\frac{H_2}{H_1}$	$H_1 - H_2$ متر
$\gamma=1/5$	$\gamma=1/4$	$\gamma=1/3$	$\gamma=1/2$	$\gamma=1/1$	$\gamma=1$	$\gamma=0/9$	$\gamma=0/8$	$\gamma=0/7$	$\gamma=0/6$	$\gamma=0/5$		
					۰/۲۳	۰/۵۲	-				۱/۴	۰/۰۵-۰/۰۷
			۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۳۱	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۷۴	-		۲	۰/۰۵-۰/۱۰
			۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۶۷	۰/۷۸	-	۲/۴	۰/۰۵-۰/۱۲
	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۷۲	-	۳	۰/۰۵-۰/۱۵
۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۷۷	۳/۶	۰/۰۵-۰/۱۸
۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۷۵	۴	۰/۰۵-۰/۲۰

اثر افزایش عمق استغراق ثانویه در بهبود دقت ...



شکل ۲- مقادیر K_{fs} آنالیز دو عمقی با مقادیر فرضی Q برای $H_1 = \pm 0.5$ و مقادیر مختلف H_2



شکل ۳- مقادیر ϕ_m آنالیز دو عمقی با مقادیر فرضی Q برای $H_1 = \pm 0.5$ متر و مقادیر مختلف H_2

نتیجه‌گیری

طبق نتایج حاصل از این تحقیق، در آنالیز دو عمقی ریچارد در نسبت‌های بالای (H_2/H_1) حساسیت مقادیر K_{fs} و ϕ_m به تغییرات (Q_2/Q_1) کاهش می‌یابد و در محدوده وسیع‌تری از (Q_2/Q_1)، نتیجه آزمایش‌ها به صورت موفق خواهد بود. در ضمن با افزایش نسبت (H_2/H_1)، تغییرات چندانی در میانگین حساسی مقادیر K_{fs} و ϕ_m ایجاد نخواهد شد. بر اساس این تحقیق می‌توان گفت که در آنالیز دو عمقی با افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 تعداد نتایج موفق آزمایش‌ها افزایش خواهد یافت.

در آنالیز دو عمقی گلف، نتایج هدایت هیدرولیکی به دلیل فرضی نبودن مقادیر α^* دارای دقت قابل اعتمادتری است تا سایر آنالیزهای گلف (Elrick *et al.*, 1989). مطالعات نشان داد که آنالیز دو عمقی ریچارد به عمق‌های استغراق H_1 و H_2 و مقادیر دبی ورودی به چاهک در این عمق‌های استغراق، بستگی زیادی دارد. از این رو به منظور بررسی تأثیر کاهش یا افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 در ایجاد نتایج منفی و غیر منطقی K_{fs} و ϕ_m ، آزمایش‌های گلف در عمق‌های استغراق مختلف اجرا شد.

قدردانی

نگارندگان از راهنمایی‌های ارزشمند آقایان مهندس مجتبی اکرم، دکتر کیومرث ابراهیمی، مهندس عقیل یاری و مهندس عبدالله درزی سپاسگزارند.

مراجع

- Bagarello, V. and Giordano, G. 1999. Comparison of procedures to estimate steady flow rate in field measurement of saturated hydraulic conductivity by the Guelph permeameter method. *J. Agric. Eng. Res.* 74, 63-71.
- Dafonte, J., Armesto, V., X., Seijo, N. and Gonzalez, M. P. 1999. Analisis de Los Metodos de Calculo de la Conductividad Hidraulica Saturada de Campo Medida Con Permeametro Guelph. In: Munoz-Carpena, R., Ritter, A. and Tascon, C. (Eds). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. ICIA: Tenerife. ISBN 84-699-1258-5.
- Diaz, E., Cerana, D. O. and Fontanini, J. P. 2003. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. Vol VI. Alvarez, J. - Marinero, B. P. 153-157.
- Elrick, D. E. and Reynolds, W. D. 1992. Infiltration Form Constant-Head Well Permeameter and Infiltrimeters. SSSA Spec. Pub. 30. SSSA. Madison. WI.
- Elrick, D. E., Reynolds, W. D. and Tan, K. A. 1989. Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated zone using improved well analysis. *Ground Water Moint. Rev.* 9, 184-193.

- Kashkoli, H. A. and Mashal, M. 1995. Comparison of field measurement methods of hydraulic conductivity above the water table in two types soil in Khozestan province by the Guelph permeameter method. *Scientific J. Agric.* 18, 1-24. (in Farsi)
- Philip, J. R. 1985. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil. *Water Resource. Res.* 21, 1025-1033.
- Regaldo, C. M. and Munoz-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
- Reynolds, W. D. and Elrick, D. E. 1985. In situ measurement of saturated hydraulic conductivity sorpitivity α parameter using Guelph permeameter. *Soil Sci.* 140(4): 292-302.
- Reynolds, W. D. and Zebchuk, W. D. 1996. Hyraulic conductivity in a clay soil two measurement techniques and spatial characterization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1679-1685.
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E. and Topp, J. C. 1983. A re examination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. *Soil Sci.* 136, 250-268.
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E., Bumgratner, 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 Symp.* Sep. 2-5. Ottawa. Canada.
- Vieira, S. R., Reynolds, W. D. and Topp, G. C. 1988. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. *Proc. Symp. Validation of Flow and Transport Models for Unsaturated Zone.* Ruidoso. NM.

Effect of Ponding Depth Increasing on Improvement of Soil Hydraulic Conductivity Measuring Using Two Head Analysis of Guelph Permeameter

M. Shaghghi*, M. Mashal and Gh. Zarei

* Graduate Student, Irrigation and Drainage Engineering, Tehran University (Aborihan Campus), Pakdasht, Iran.
E-mail: mojtabashaghghi@yahoo.com

The Guelph Permeameter technique (GP) is a method for measurement of saturated hydraulic conductivity above the water table which has a strong theoretic base and enable the experiments to be done with low cost and high speed. In this method soil's saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) and matric flux potential (Θ_m) are determined by Richard's two head analysis. In the Homogenous soils the result of the GP is satisfactory, but in the heterogeneous soils a high percentage of K_{fs} and Θ_m values will be negative. GP analysis depended greatly on both the constant height of ponded water (H) and steady-state Q value in the hole. Therefore in this experiment the influence of increase or decrease of first and second ponding height (H_1 and H_2) on producing the negative values, in loam soils was studied. Results showed that the increasing H_2 ratio to H_1 caused a large number of K_{fs} and Θ_m values to be positive, while there was no significant difference between their means.

Key word: Guelph Permeameter, Hydraulic Conductivity, Matric Flux Potential, Two Head Analysis