

## مقایسه روش‌های نفوذسنج گلف و دیسک مکشی در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

یاسر حسینی\*\*

\* نگارنده مسئول: دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، مغان، ایران. تلفن: ۰۴۵)۲۷۴۶۳۴۱۷

پایان‌نگار: yaser\_hoseini@ymail.com

\*\* دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۷

### چکیده

در این پژوهش، دو روش صحرایی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع با نفوذسنج گلف و نفوذسنج مکشی در مزرعه‌ای با خاک لومی-شنی در دانشکده کشاورزی مغان مقایسه شدند. آزمایش‌های گلف با دستگاه نفوذسنج گلف مدل k2800 اجرا شد. به این منظور، ۱۵ چاهک با شعاع ۵ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر در شبکه ۲×۲ متر حفر و دبی خروجی از دستگاه در بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و ۱۵ تکرار دنبال شد. در روش نفوذسنج مکشی، آزمایش‌ها در همان شبکه و در مکش‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ (سانتی‌متر) اجرا شد. میانگین هدایت هیدرولیکی برای روش نفوذسنج مکشی، گلف با بار آبی ۵، گلف با بار آبی ۱۰ (سانتی‌متر)، و آنالیز دو عمقی گلف به ترتیب برابر ۳، ۴، ۷ و ۶/۲ (سانتی‌متر بر ساعت) به دست آمد. نتایج آزمون فیشر نشان داده است که روش‌های مختلف در یک گروه قرار گرفته‌اند و تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد با یکدیگر ندارند. میانگین مقادیر به دست آمده برای عکس طول درشت موینگی خاک برابر ۰/۰۷+ (بر سانتی‌متر) است و با افزایش میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، روند افزایشی آن در خاک دیده شد.

### واژه‌های کلیدی

آنالیز تک عمقی، آنالیز دو عمقی، بار آبی، پتانسیل ماتریک، طول درشت موینگی

### مقدمه

عملی و در مزرعه، استفاده از دستگاه نفوذسنج مکشی<sup>۲</sup> است که روشی مناسب برای اندازه‌گیری نفوذ آب و خصوصیات هیدرولیکی خاک در شرایط مزرعه است (Perroux & White, 1988). دستگاه نفوذسنج دیسک مکشی وسیله‌ای مناسب برای اندازه‌گیری در جای خصوصیات هیدرولیکی غیراشباع در خاک‌های نزدیک به اشباع است (Ankeny et al., 1991; Elrick & Reynolds, 1992).

به‌طور کلی دستگاه‌های نفوذسنج مکشی در سه گروه جای می‌گیرند: تک‌دیسکی با یک مکش (Perroux &

هدایت هیدرولیکی خاک ضریبی است که سرعت حرکت آب را در خاک نشان می‌دهد. این ضریب، یکی از خصوصیات مهم فیزیکی خاک است که کاربردهای وسیعی در علوم خاک از جمله در طرح‌های زهکشی، مطالعات هیدرولوژیکی و آب‌های زیرزمینی دارد. یکی از روش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی، روش نفوذسنج گلف<sup>۱</sup> است که به‌طور معمول از آن استفاده می‌شود، یکی دیگر از روش‌های معمول برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی خاک به‌صورت

حبیب‌زاده آذر و همکاران (Habibzadeh-Azar *et al.*, 2008) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه، مقدار هدایت هیدرولیکی به دست آمده از روش‌های چاهک وارونه و نفوذسنج گلف را با یکدیگر مقایسه کردند و نشان دادند که روش نفوذسنج گلف، نسبت به روش چاهک معکوس، مقدار هدایت هیدرولیکی بیشتری برآورد کرده است. یمین مشرفی و همکاران (Yamin-Moshrefi *et al.*, 2008) در منطقه دوشان سندرچ در تحقیقاتی دو روش استوانه‌های دوگانه و تک استوانه در سه قطعه زمین آزمایشی، و سه نمونه برای هر روش را مقایسه کردند. نتایج مطالعات این محققان نشان داد که بین این دو روش در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

در تحقیقات اسداله‌زاده و همکاران (Asadollahzadeh *et al.*, 2014)، تأثیر قطر و طول چاهک در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از روش گلف بررسی شد و نتایج نشان داد که قطر و طول چاهک در تخمین‌ها تأثیر چندانی ندارند و می‌توان از هر طول و قطری در حل معادله رینولدز استفاده کرد. کشکولی و مختاران (Kashkuli & Mokhtaran, 2014) در تحقیقی نتایج کاربرد روش نفوذسنج گلف و روش پمپاژ به درون چاهک کم عمق را در پنج نقطه در استان خوزستان مقایسه کردند. نتایج بررسی‌های این محققان نشان داد که در مناطقی با بافت خاک متوسط، هدایت هیدرولیکی به روش پمپاژ به چاهک کم عمق، ۴ تا ۵ برابر هدایت هیدرولیکی روش گلف است و در مناطقی با بافت خاک سنگین، این ضریب به ۲/۵ تا ۳ برابر می‌رسد. قبادیان و همکاران (Ghobadian *et al.*, 2014) در بررسی تغییرات عمقی هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی را در اعماق ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متری عمق خاک، با استفاده از روش نفوذسنج گلف به دست آوردند. این محققان نتایج کاهش هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده را با افزایش عمق نشان دادند و همچنین از میان آنالیزهای تک‌عمقی

White, 1988) تک‌مکشی با دیسک‌های با شعاع مختلف (Smettem & Clothier, 1989)، و تک‌دیسکی با مکش‌های مختلف (Angulo-Jaramillo *et al.*, 2000). دستگاه نفوذسنج دیسک مکشی به علت سهولت در کاربرد و سادگی محاسبات، امروزه یکی از وسایل بسیار مفید برای بررسی خصوصیات هیدرولیکی اشباع و غیراشباع خاک در مزرعه است (Mohanty *et al.*, 1991). این دستگاه با دارا بودن سیستم ماریوت قابل تنظیم، به راحتی می‌تواند مکش‌های ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر را اعمال کند.

برای اولین بار آنکنی و همکاران (Ankeny *et al.*, 1991) اندازه‌گیری‌های نفوذسنج دیسکی را با استفاده از مکش‌های متعدد در یک نقطه مطالعه کردند. نتایج آزمایش‌های صحرایی نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده در روش گلف در خاک‌های لومی و رسی نسبت به روش‌های دیگر نتایج مختلفی دارد و در خاک‌های رسی، روش گلف نسبت به آزمایش پمپاژ دارای مقادیر کمتر و نسبت به نفوذسنج مکشی و استوانه دوگانه دارای مقادیر مساوی یا بیشتر است (Gupta *et al.*, 1993; Mohanty *et al.*, 1994). ترابی (Torabi, 2004) روش‌های مختلف تعیین هدایت آبی اشباع خاک شامل روش چاهک، نفوذسنج استوانه‌های دوگانه و نفوذسنج گلف را بررسی کرد و نشان داد که بالاترین ضریب تغییرات در روش استوانه‌های دوگانه دیده می‌شود. نتایج آزمون دانکن نشان داد که به جز روش استوانه‌های دوگانه و نفوذسنج گلف، بین سایر روش‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده می‌گردد.

مشعل و همکاران (Mashal *et al.*, 2007) با استفاده از آنالیز دو عمقی گلف، عوامل مؤثر در بهبود اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را بررسی و اعلام کردند که با افزایش نسبت دو عمق، تعداد مقادیر K منفی کاهش می‌یابد به طوری که در نسبت‌های بزرگتر از ۲، تقریباً ۷۰ درصد از نتایج آزمایش‌ها منطقی و غیرمنفی است.

زمان نفوذ با افزایش فشار کاهش می‌یابد. همچنین، مقدار ضریب جذب در دیسک با شعاع  $2/5$  سانتی‌متر بیش از مقدار ضریب جذب در دیسک  $5$  سانتی‌متری است. این محققان دیسک‌های با شعاع بیشتر را به دلیل افزایش سطح تماس با خاک، برای مطالعات نفوذ مناسب‌تر ارزیابی کردند. مرادی‌باصری و همکاران (Moradi-Basri *et al.*, 2012) پارامتر هدایت آبی اشباع را در خاک‌های ورتیسول و انتیسول با سه روش بار افتان ساده‌سازی شده، بار ثابت چندگانه، و نفوذسنج مکشی اندازه گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که در رطوبت اولیه، بین مقادیر هدایت آبی اشباع حاصل از سه روش مذکور، در سطح احتمال  $5$  درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. قانی و همکاران (Ghani *et al.*, 2012) با مقایسه چهار روش میدانی (Ks) اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، شامل استوانه‌های دوگانه، تک استوانه، نفوذسنج گلف، و نفوذسنج مکشی در مزرعه‌ای با خاک لوم در دانشگاه شهرکرد دریافتند که، جز روش نفوذسنج گلف، بین سه روش دیگر در سطح اطمینان  $99$  درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

رضایی‌پور و قبادی‌نیا (Rezaiepour & Ghobadinea, 2012) دو روش نفوذسنج مکشی و استوانه‌های دوگانه را برای اندازه‌گیری پارامتر هدایت آبی اشباع خاک به کار بردند. نتایج مطالعات این دو محقق نشان می‌دهد که بین مقادیر هدایت آبی اشباع حاصل از دو روش مذکور در سطح احتمال  $5$  درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. وربیست و همکاران (Verbist *et al.*, 2013) با مقایسه روش‌های مختلف تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع از جمله استوانه تک‌گانه و دوگانه و چاهک معکوس و نفوذسنج مکشی در خاک شنی نشان دادند که روش چاهک معکوس نتایج مناسبی در بر ندارد و روش‌های استوانه‌های تک‌گانه و دوگانه نیز مقادیر هدایت هیدرولیکی را بالاتر از مقدار واقعی نشان می‌دهند. پارامتر عکس طول درشت موینگی

دستگاه گلف، بیشترین و کمترین هدایت هیدرولیکی اشباع را که به دست آوردند، به ترتیب مربوط بود به آنالیز لاپلاس به‌ازای عمق استغراق  $5$  سانتی‌متر و آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز با عمق استغراق  $15$  سانتی‌متر. همان‌طور که مطالعات نشان می‌دهند، در روش نفوذسنج گلف استفاده از روش‌های تک‌عمقی یا دوعمقی با قطر چاهک‌های مختلف نتایج متفاوت دارد. برای مقایسه روش نفوذسنج مکشی با سایر روش‌ها، مطالعاتی صورت گرفته و نتایج متفاوت از این روش‌ها به دست آمده است. غفاری و همکاران (Ghaffari *et al.*, 2007) هدایت آبی اشباع را در خاک متوسط رسی - لومی در عمق  $40$  تا  $50$  سانتی‌متر از خاک با استفاده از روش‌های نفوذسنج گلف و نفوذسنج مکشی اندازه گرفتند. برای اندازه‌گیری‌های نفوذسنج گلف از دو بار فشاری  $5$  و  $10$  سانتی‌متری و برای اندازه‌گیری‌های نفوذسنج مکشی از چهار بار مکشی  $1$ ،  $3$ ،  $6$  و  $10$  سانتی‌متری استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین هدایت آبی اندازه‌گیری شده در روش نفوذسنج مکشی بیش از میانگین هدایت آبی اندازه‌گیری شده در نفوذسنج گلف است. رئوف و همکاران (Rauf *et al.*, 2010)، نتایج آزمایش‌های نفوذ را با استفاده از دستگاه‌های نفوذسنج استوانه دوگانه و نفوذسنج مکشی در دو حالت اشباع و غیراشباع مقایسه کردند و نشان دادند که دستگاه نفوذسنج مکشی مقدار نفوذ را کمتر از مقدار نفوذ دستگاه استوانه دوگانه برآورد می‌کند اما از لحاظ آماری اختلاف این دو روش در سطح اطمینان  $10$  درصد معنی‌دار نیست.

هو و همکاران (Hu *et al.*, 2011) برای تخمین زمان نفوذ جهت برآورد ضریب ثابت جذب معادله فیلیپ، با استفاده از دستگاه دیسک‌مکشی با شعاع  $2/5$  و  $5$  سانتی‌متر، آزمایشی را در مکش‌های  $0$ ،  $3$ ،  $6$ ،  $9$  و  $15$  سانتی‌متر بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان نفوذ، مقدار ضریب جذب افزایش می‌یابد و

درشت مویبگی در بافت رسی- لومی- سیلتی تعیین کردند. نتایج نشان داد، با افزایش میزان رس خاک، پارامتر طول درشت مویبگی افزایش و به تبع آن هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش می‌یابد. همچنین، در تحقیقات کلیشادی و همکاران (Kelishadi et al., 2014) برای تعیین میزان عکس طول درشت مویبگی بافت سیلتی- کلی- لوم، مقدار این پارامتر برابر ۰/۱۴ (بر سانتی‌متر) برآورد شد. با توجه به مطالب بیان شده، از آنجا که هر دو روش فوق عمومی‌ترین و ساده‌ترین روش‌های تعیین پارامتر هدایت هیدرولیکی در خاک‌هاست مقایسه نتایج این دو روش و بررسی هر یک از آنها می‌تواند به استفاده صحیح‌تر از روش‌های مذکور کمک کند.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهرستان پارس‌آباد مغان استان اردبیل و در دانشکده کشاورزی مغان در بهار سال ۱۳۹۵ اجرا شده است. طول جغرافیایی شهر پارس‌آباد  $55^{\circ} 47'$  شرقی و عرض جغرافیایی آن  $38^{\circ} 39'$  شمالی و ارتفاع آن از سطح دریا ۳۲ متر است. این منطقه با متوسط بارندگی سالانه  $284/6$  میلی‌متر و دمای متوسط سالانه  $14/7$  درجه سلسیوس طبق روش آمبرژه اقلیمی است نیمه‌مرطوب معتدل و طبق روش دومارتن اقلیمی است نیمه خشک. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان را نشان می‌دهد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. در این تحقیق از نرم‌افزار MINITAB نسخه ۱۶ برای تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد. همچنین از طرح کاملاً تصادفی متعادل با چهار تیمار (روش‌های مختلف برآورد) و ۱۵ تکرار برای بررسی روش‌های مختلف استفاده شد.

روش نفوذسنج تک‌عمقی گلف در بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر و دو عمقی گلف و نفوذسنج مکشی، به‌عنوان

نشانگر رابطه بین پتانسیل ثقلی و مویبگی خاک است به‌طوری‌که با افزایش عکس طول درشت مویبگی، پتانسیل ثقلی بر پتانسیل مویبگی غلبه می‌کند. با توجه به اهمیت تعیین طول درشت مویبگی در مدل‌سازی جریان آب و انتقال املاح در خاک، برای تعیین طول درشت مویبگی مطالعاتی شده است که از آن جمله می‌توان به کارهای استروس‌نایدنر (Stroosnijder, 1976) اشاره کرد که در هلند مقادیر طول درشت مویبگی را بین  $1/7$  تا  $22/4$  ( $m^{-1}$ ) برای ۲۰ نوع خاک به‌دست آورد. رینولدز و الریک (Reynolds & Elrick, 1985) طول درشت مویبگی را برای شن ۰/۶ و برای شن نرم ۹/۵ (بر متر) به‌دست آوردند. بر اساس تحقیقات رینولدز و الریک (Reynolds & Elrick, 1985)، مقدار طول درشت مویبگی در حدود ۱ تا ۱۲ برای بیشتر خاک‌ها مناسب است و ۱۲ احتمالاً مناسب‌ترین عدد است.

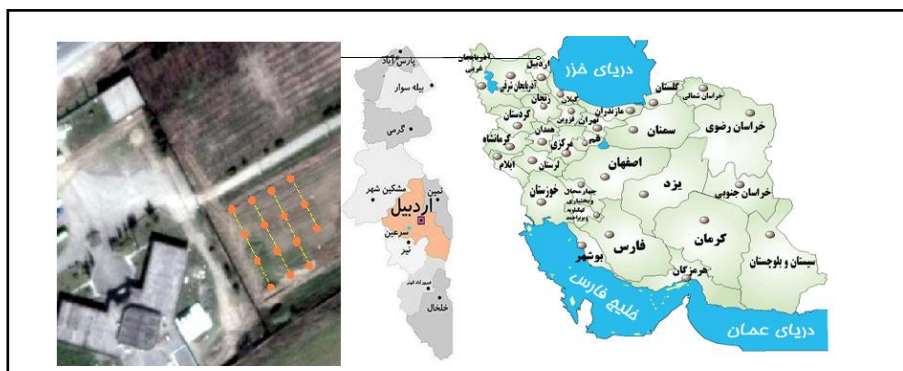
رینولدز و زبچوک (Reynolds & Zebchuk, 1996) در یک خاک رسی- سیلتی، جهت مقایسه بین دو روش گلف و چاهک و همچنین برای رفع جواب‌های منفی و غیرمنطقی روش دو عمقی گلف، از سه آنالیز تک عمقی لاپلاس، رگرسیون پایه‌ای ریچاردز و آنالیز تک عمقی ریچاردز استفاده کردند. در این تحلیل، آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز میانگین هندسی تقریباً نزدیکی نسبت به سایر آنالیزها با روش چاهک داشت. در این تحلیل، مقدار برآورد شده برای طول درشت مویبگی در حدود ۱ تا ۱۲ تعیین گردید که با فرض الریک و همکاران (Elrick et al., 1989) همخوانی دارد. در تحقیقی، قربانی دشتکی و همکاران (Ghorbani-Dashtaki et al., 2012) عکس طول درشت مویبگی دو لایه سطحی و زیرسطحی خاک را در ۶۰ نقطه از دشت آزدگان واقع در شهرستان شهرکرد با استفاده از استوانه و به روش بار ثابت چندگانه اندازه‌گیری و با استفاده از ویژگی‌های زودیافت اندازه‌گیری شده، به روش رگرسیون گام به گام تابعی برای برآورد عکس طول

بهینه‌سازی برنامه تخصیص آب در شبکه آبیاری بيله‌وار...

تیمار در نظر گرفته شدند. تجزیه واریانس<sup>۱</sup> بر مبنای طرح کاملاً تصادفی متعادل اجرا شد. هدف از تجزیه واریانس محاسباتی برای جداسازی تأثیرات تیمار و خطای آزمایش در پراکنش میان مشاهدات است. برای مقایسه پراکنش تیمارها و گروه‌بندی آنها در تجزیه واریانس صورت گرفته، از آزمون F (فیشر)<sup>۲</sup> با فرض خطای ۱ درصد ( $\alpha=0/01$ ) استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت	شن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	چگالی حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	درصد کربن	درصد آهک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	فسفر (قسمت در میلیون)
لوم- شنی	۵۴	۱۱	۳۵	۲/۳۹	۱/۳۲	۰/۷۶	۱۶/۱	۱/۴۹۳	۶/۹۵	۷/۱۸



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

اتصال مناسب صفحه نفوذسنج با خاک، پس از برداشت سنگ‌ریزه‌های سست سطحی و آماده‌سازی سطح خاک، یک لایه شن مرطوب با اندازه ذرات  $0/25 - 0/1$  میلی‌متر به ضخامت ۲ تا ۳ میلی‌متر در زیر صفحه نفوذسنج درون حلقه مخصوص همراه دستگاه (نصب‌شده روی خاک) ریخته شد. ابتدا مکش ۱۵ سانتی‌متر و پس از آن به ترتیب مکش‌های ۱۰ و ۵ سانتی‌متر اعمال شدند. در ۳ دقیقه اول هر مکش، هر ۲۰ ثانیه یک قرائت و پس از آن تا هفت دقیقه پس از شروع آزمایش، هر ۳۰ ثانیه و سپس در هر یک دقیقه سطح آب مخزن یادداشت شد و برداشت داده‌ها برای هر مکش تا زمانی ادامه یافت که در پنج قرائت متوالی یک دقیقه‌ای، میزان افت سطح آب مخزن یکسان شود آنگاه صفحه نفوذسنج از روی لایه شن برداشته شد.

### روش کار با دستگاه نفوذسنج دیسک مکشی

اندازه‌گیری‌های صحرایی نفوذ آب به خاک با دستگاه نفوذسنج مکشی (شرکت Soil Measurement Systems, Tucson, AZ 85704 USA) در مکش‌های مرز ورودی ۱۵، ۱۰ و ۵ سانتی‌متر انجام گرفت. مدت زمان لازم برای رسیدن به شدت جریان ماندگار از ۱۰ دقیقه تا ۲۵ دقیقه در خاک‌ها و مکش‌های مختلف متفاوت است. بر اساس دستورالعمل دستگاه نفوذسنج مکشی، هنگامی که در پنج بازه زمانی یک دقیقه‌ای نفوذ مشابه به دست آید فرض می‌شود که شدت جریان ماندگار حاصل شده است. مدت زمان لازم برای رسیدن به جریان ماندگار در مکش‌های ۱۵ و ۵ سانتی‌متر به ترتیب در دامنه‌های ۱۸-۲۲ و ۱۶-۱۲ دقیقه نوسان داشت. برای برقراری

1- Analysis of Variance (ANOVA)

2- Fisher

معادله گاردنر در معادله جریان ماتریک، رابطه ۴ به‌دست می‌آید.

$$\varphi_h = \left[ \frac{K_h}{\alpha} \right] \quad (4)$$

با جایگزین کردن رابطه به‌دست آمده در معادله وودینگ، رابطه ۵ به‌دست می‌آید.

$$q_0 = \left[ \varphi_{h_0} / \pi r^2 \right] = \left[ 1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] K_s \exp(\alpha h_0) \quad (5)$$

که در آن، دو مجهول  $K_s$  و  $\alpha$  به روش حداقل کردن میانگین مربعات خطا با داشتن مقادیر  $h_i$  و  $\varphi_i$  به‌دست می‌آیند.

#### روش کار با دستگاه نفوذسنج گلف

آزمایش‌های گلف با دستگاه نفوذسنج گلف مدل k2800 دنبال شد. برای این کار، ۱۵ چاهک به‌صورت شبکه منظم مربعی شکل با فواصل  $2 \times 2$  متر و به عمق ۲۵ سانتی متر و شعاع ۵ سانتی متر حفر گردید. دبی خروجی از دستگاه در بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی متر اندازه‌گیری شد و اندازه‌گیری تا زمانی ادامه داشت که افت سطح آب در چهار فاصله زمانی متوالی دو دقیقه‌ای مساوی شود (Reynolds & Elrick, 1985). در مرحله بعد، لوله هوا ۵ سانتی متر بالاتر کشیده شد تا بار آبی به ۱۰ سانتی متر افزایش یابد؛ میزان دبی خروجی در فواصل زمانی ثابت یادداشت شد تا دبی به مقدار ثابت برسد. پس از اجرای آزمایش‌ها به دو روش آنالیز تک‌عمقی و دو عمقی گلف و با استفاده از رابطه ۶، مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع، پتانسیل جریان ماتریک، و طول درشت موپینگی خاک محاسبه شد (Reynolds et al., 1985). اگر دو عمق استغراق  $H_1$  و  $H_2$  در یک چاهک موجود باشد در نتیجه دو شدت جریان  $Q_1$  و  $Q_2$  به‌دست می‌آید.

معمولاً آنالیز داده‌های به‌دست آمده از نفوذسنج مکشی، بر اساس معادله جبری وودینگ (Wooding, 1968) برای نفوذ به خاک از یک منبع دایره‌ای در شرایط سه‌بعدی با مرز نامحدود و جریان پایدار، مطابق رابطه ۱ است:

$$Q(h_0) = \pi r_0^2 K(h_0) + 4r_0 \varphi(h_0) \quad (1)$$

که در آن،  $Q(h_0)$  = دبی نفوذ جریان ماندگار  $[L^3 T^{-1}]$  در مکش  $h_0$ ؛ شعاع دیسک  $[L]$ ؛  $K(h_0)$  = هدایت هیدرولیکی غیراشباع  $[L T^{-1}]$ ؛ و  $\varphi(h_0)$  = پتانسیل جریان ماتریک  $[L^2 T^{-1}]$  که به‌صورت رابطه ۲ بیان می‌شود (Gardner, 1958):

$$\varphi(h_0 \& h_i) = \int_{h_i}^{h_0} K(h) dh \quad (2)$$

که در آن،  $h_i$  = مقدار مکش اولیه خاک  $[L]$ ؛ و  $h_0$  = مکش اعمال شده طی آزمایش نفوذ  $[L]$ . لوگسدن و جینیز (Logsdon & Jaynes, 1996) از معادله گاردنر (Gardner, 1958) که بر اساس رابطه فشار و هدایت هیدرولیکی  $K(h)$  است برای حل معادله وودینگ<sup>۱</sup> استفاده کردند (رابطه ۳). در این تحقیق  $H \leq 0$  است.

$$K(h) = K_s \exp(\alpha h) \quad (3)$$

$$H \leq 0, K(h) = K_s, H \geq 0$$

که در آن،  $\alpha$  ضریبی است که برای هر نوع خاک مقداری ثابت فرض می‌شود.

برای رطوبت‌های اولیه خیلی کمتر از رطوبت‌هایی که به  $h_0$  مربوط می‌شوند ( $K_{h_0} \gg K_{h_i}$ )، بعد از جایگذاری

مقایسه روش‌های نفوذسنج گلف و دیسک مکشی در...

در آنالیز تک عمقی ریچاردز، مقدار  $K_s$  با استفاده از رابطه ۱۳ به دست می‌آید.

$$K_s = CQ / (2\pi H^2 + C\pi a^2 + 2\pi H / \alpha_E^*) \quad (13)$$

که در آن،

$K_s =$  تخمین آنالیز تک عمقی ریچاردز؛  $(m^{-1}) \alpha_E^*$  تخمین مقدار  $\alpha^*$  از جدول‌هایی که الریک و همکاران (Elrick et al., 1989) و رینولدز و همکاران (Reynolds et al., 1992) ارائه داده‌اند. رابطه ۱۳ در واقع همان رابطه  $K_{fs}$  است جز اینکه مقدار  $\alpha^*$  (یا به عبارتی  $\alpha_E^*$ ) مشخص گردیده و در نتیجه معادله یک مجهولی است و از مقادیر  $K_{fs}$  منفی جلوگیری می‌شود.

### نتایج و بحث

در جدول ۲، نتایج هدایت هیدرولیکی اشباع به دست آمده در بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر و طول درشت موینگی و پتاسیل جریان ماتریک خاک در روش گلف به همراه نتایج هدایت هیدرولیکی اشباع و طول درشت موینگی حاصل از روش بهترین خط برازشی حاصل از روش نفوذسنج مکشی ارائه شده است. در شکل ۲ بهترین خط برازشی به دست آمده از روش وودینگ جهت تعیین میزان هدایت هیدرولیکی خاک و طول درشت موینگی در نقطه ۱۵ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس برای روش‌های مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. مهمترین قسمت در نتایج تجزیه واریانس، مقادیر به دست آمده برای  $P_{value}$  است که بر اساس آن بین روش‌ها مقایسه می‌شود. باید توجه کرد که جدول‌های تجزیه واریانس مقایسه کلی بین روش‌ها را ارائه می‌دهند.

$$K_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad (6)$$

که در آن،

مقادیر  $G_1$  و  $G_2$  از رابطه ۷ محاسبه می‌شوند. در معادلات ارائه شده مقادیر  $C_1$  و  $C_2$  متناسب با  $H_1$  و  $H_2$  هستند.

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad (7)$$

$$G_1 = G_2 \left( \frac{H_2 C_1}{H_1 C_2} \right)$$

پتاسیل جریان ماتریک خاک ( $\phi_m$ ) از روابط ۸ و ۹ محاسبه می‌شود.

$$\phi_m = J_1 Q_1 - J_2 Q_2 \quad (8)$$

$$J_1 = \frac{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_1}{\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad (9)$$

$$J_2 = J_1 \left[ \frac{(2H_1^2 + a^2 C_2) C_2}{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_1} \right]$$

شاخص طول درشت موینگی ( $\alpha^*$ ) از رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد:

$$\alpha^* = \frac{M_2 Q_2 - M_1 Q_1}{N_2 Q_2 - N_1 Q_1} \quad (10)$$

که در آن،

مقادیر  $M_1, M_2, N_1, N_2$  از روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌شوند.

$$M_1 = 2H_2 C_1, N_1 = (H_2^2 + a_2^2 C_2) C_1 \quad (11)$$

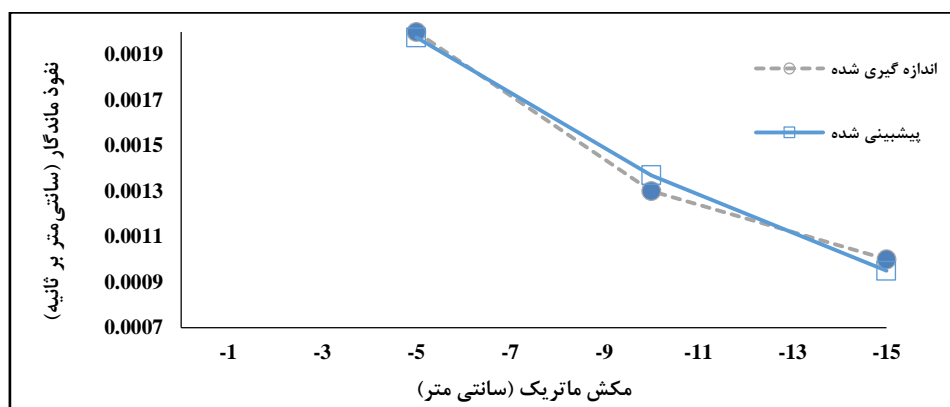
$$M_2 = 2H_1 C_2, N_2 = -(2H_1^2 + a^2 C_1) C_2 \quad (12)$$

جدول ۲- نتایج هدایت هیدرولیکی و پارامترهای خاک حاصل از روش گلف و نفوذسنج مکشی

شماره نقاط														پارامتر	روش اندازه‌گیری	
پانزدهم	چهاردهم	سیزدهم	دوازدهم	یازدهم	دهم	نهم	هشتم	هفتم	ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول		اندازه‌گیری شده
۵/۲۳	۳/۹۲	۳/۱۴	۲/۳۵	۱/۵۷	۱۰/۴۶	۱/۸۳	۱/۸۳	۱/۰۵	۱/۵۷	۷/۸۵	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	$K_{fs}$ (cm/hr)	نفوذسنج گلف تک عمقی
۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	$\alpha^*$ (cm <sup>-1</sup> )	( ۵ سانتی‌متر بار آبی)
۰/۷۲	۰/۵۴	۰/۴۳	۰/۳۲	۰/۲۱	۱/۴۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۲۱	۱/۶۶	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	$\Phi_m$ (cm <sup>2</sup> /hr)	( ۵ سانتی‌متر بار آبی)
۵/۶۶	۴/۸۵	۴/۰۴	۳/۲۳	۲/۴۲	۱۲/۹۳	۱/۴۵	۲/۱۰	۱/۹۴	۱/۹۴	۸/۰۸	۰/۸۱	۸/۰۸	۱/۶۲	۱/۶۲	$K_{fs}$ (cm/hr)	نفوذسنج گلف تک عمقی
۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	$\alpha^*$ (cm <sup>-1</sup> )	( ۱۰ سانتی‌متر بار آبی)
۱/۷۸	۱/۶۷	۱/۵۶	۰/۴۴	۰/۳۳	۱/۷۹	۰/۲	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۲۶	۱/۸۸	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۳۸	$\Phi_m$ (cm <sup>2</sup> /hr)	( ۱۰ سانتی‌متر بار آبی)
۶/۱۹	۶/۸۵	۶/۰۷	۵/۲۹	۴/۵۱	۱۸/۲۸	۰/۲۵	۲/۰۲	۴/۱۸	۲/۷۴	۷/۸۲	۰/۶۶	۲۵/۸۴	۲/۲۸	۲/۲۸	$K_{fs}$ (cm/hr)	نفوذسنج گلف دو عمقی
۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	$\alpha^*$ (cm <sup>-1</sup> )	( ۵ و ۱۰ سانتی‌متر بار آبی)
۰/۵۴	۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۱۸	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۱/۲۲	۰/۱۹	۰/۹۶	۰/۰۸	۰/۰۸	$\Phi_m$ (cm <sup>2</sup> /hr)	( ۵ و ۱۰ سانتی‌متر بار آبی)
۳/۷۴	۵/۵۵	۳/۴۸	۸/۲۹	۳/۱۸	۷/۴۸	۱۳/۹۹	۶/۹۵	۶/۹۶	۶/۴۵	۱۱/۱۸	۱۰/۱۱	۹/۸	۵/۳۷	۲/۸۱	$K_{fs}$ (cm/hr)	نفوذسنج مکشی (بهترین خط برازشی)
۰/۰۷	۰/۶۳	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۸۳	$\alpha^*$ (cm <sup>-1</sup> )	(بهترین خط برازشی)

>





شکل ۲- بهترین خط برازشی وودینگ برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع نقطه ۱۵

۲ سانتی متر بر ساعت است که نشان می‌دهند روش گلف ۲ عمقی به دلیل تولید جواب‌های منفی، پراکنش بیشتری دارد و روش گلف با بار آبی ۵ سانتی متر کمترین پراکندگی را دارد.

بررسی نتایج همچنین نشان می‌دهد که میانگین هدایت هیدرولیکی به روش نفوذ سنج مکشی برابر ۷ سانتی متر بر ساعت و به روش گلف تک عمقی با بار آبی ۵ سانتی متر برابر ۳ سانتی متر بر ساعت و به روش گلف تک عمقی با بار آبی ۱۰ سانتی متر برابر ۴ سانتی متر بر ساعت است. در روش گلف دو عمقی، میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع برابر ۶/۲ سانتی متر بر ساعت به دست آمده است که نشان‌دهنده بالا بودن نتایج حاصل از روش نفوذسنج مکشی، نسبت به روش های مختلف گلف است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که از لحاظ آماری بین میانگین مقادیر هدایت آبی اشباع حاصل از دو روش مذکور در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. این نتیجه‌گیری با گزارش‌های یمین مشرفی و همکاران (Yamin-Moshrefi *et al.*, 2008) و علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2009) همخوانی دارد. در تحقیق این پژوهشگران نیز مقادیر به دست آمده از روش‌های مختلف تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع در سطح معنی‌داری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند که این موضوع نیز با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار MINITAB، بر اساس آزمون فیشر در شکل ۳ و با استفاده از حروف نشان داده شده است. حروف مشترک بیانگر نبود تفاوت بین میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ۱ درصد (سطح احتمال ۹۹ درصد) است. نتایج آزمون فیشر نیز نشان می‌دهد که تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از ۴ روش فوق در سطح احتمال ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری ندارد. برای بررسی تأثیر نقاط مختلف روی داده‌های هدایت هیدرولیکی خاک، آنالیز واریانس روی نتایج حاصل از نقاط مختلف اجرا شد که در شکل ۴ و جدول ۴ بیان شده است. در این جدول مشخص است که نتایج هدایت هیدرولیکی به دست آمده در ۱۵ نقطه مورد نظر، در سطح یک درصد نتایج متفاوتی دارند. با اجرای آزمون فیشر برای گروه‌بندی نقاط مشخص شد که این نقاط به ۳ گروه تقسیم می‌شوند. در این میان نقطه ۱۰ با هدایت هیدرولیکی ۱۲/۲۸ سانتی متر بر ساعت بیشترین هدایت هیدرولیکی را دارد و نقطه ۱ با میانگین ۲ سانتی متر بر ساعت دارای کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی در روش‌های مختلف است. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان انحراف معیار برای روش گلف دو عمقی برابر ۷، برای روش گلف با ۱۰ سانتی متر بار آبی برابر ۳/۳۷، و برای گلف با ۵ سانتی متر بار آبی برابر ۲/۷۶، و برای روش نفوذسنج مکشی برابر ۳/۲۲

هیدرولیکی در نفوذسنج مکشی، برای تعیین هدایت هیدرولیکی از پارامترهای جریان در حالت ماندگار استفاده می‌شود، اما ممکن است به دلیل مکش اولیه اعمال شده و سطح تماس بیشتر آب و محیط متخلخل خاک، مقدار آب بیشتری از محیط خاک جریان یابد و میزان هدایت هیدرولیکی بیشتر برآورد گردد. دلیل دیگر می‌تواند لیسهای نشدن خاک در روش نفوذسنج، نسبت به روش گلف، باشد زیرا در هنگام حفر گودال برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش گلف، به دلیل رطوبت اولیه، خاک اطراف چاهک لیسهای و خلل و فرج خاک مسدود می‌شود که ممکن است با خراش دادن سطح چاهک نیز نتوان خلل و فرج خاک را به حالت اولیه درآورد؛ این موضوع در خاک‌های سنگین‌تر تأثیر بیشتری دارد و به همین دلیل رئوف و همکاران (Rauf *et al.*, 2011) در خاک‌های سنگین روش نفوذسنج مکشی را پیشنهاد می‌کنند که موجب می‌شود ساختمان خاک در حین آزمایش حفظ شود.

ترابی (Torabi, 2004) و غفاری و همکاران (Ghaffari *et al.*, 2007) به نتایج مشابهی دست یافتند اما گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 1993) در تحقیقات خود مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع را در روش استوانه‌های دوگانه بیشتر برآورد کردند تا در روش نفوذسنج مکشی. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، برای تعیین میزان هدایت هیدرولیکی اشباع به روش گلف با توجه به تحقیقات رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 1992)، با در نظر گرفتن اینکه بافت خاک منطقه لوم- شنی است، میزان عکس طول درشت موینگی برابر ۰/۱۲ در نظر گرفته شده است، با این همه، مقادیر به‌دست آمده برای این پارامتر با استفاده از روش نفوذسنج مکشی در این آزمایش متفاوت است و از ۰/۰۲ در نقطه دوازدهم تا ۰/۶ در نقطه چهاردهم تغییر می‌کند. میانگین مقادیر به‌دست آمده برای عکس طول درشت موینگی خاک برابر

رئوف و همکاران (Rauf *et al.*, 2011) و رضایی‌پور و قبادی‌نیا (Rezaiepour & Ghobadina, 2012) برای محاسبه هدایت آبی اشباع با استفاده از روش‌های استوانه‌های دوگانه و نفوذسنج مکشی، به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافته‌اند. در تحقیقات مرادی‌باصری و همکاران (Moradi-Basri *et al.*, 2012)، میزان هدایت هیدرولیکی به‌دست‌آمده از روش نفوذسنج مکشی بیش از روش‌های دیگر، از جمله بار افتان ساده‌سازی شده و بارافتان چندگانه، به‌دست آمده است که نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیقات این محققان نیز همخوانی دارد. شاید یکی از دلایل تفاوت‌ها، به تعبیر بوم (Boom, 1983)، در مقایسه نادرست روش‌ها باشد. روش‌های مختلف دارای محدوده کاربرد، هندسه جریان، شرایط مرزی، و اندازه نمونه متفاوتی هستند و اگر این عوامل به‌درستی مشخص نشوند، به مقایسه‌ای اشتباه در اندازه‌گیری‌ها می‌انجامد. موهانتی و همکاران (Mohanty *et al.*, 1994) دلیل این امر را بزرگ‌تر بودن سطح تماس آب و خاک، در روش نفوذسنج مکشی، نسبت به روش گلف، می‌دانند. در تحقیق اسداله‌زاده و همکاران (Asadollahzadeh *et al.*, 2014)، در تعیین هدایت هیدرولیکی به روش گلف قطر چاهک تأثیر چندانی ندارد و از آنجا که در این تحقیق نیز نتایج نفوذسنج تک‌عمقی در ارتفاع آبی ۱۰ سانتی‌متر بیش از نتایج حاصل از نفوذسنج تک‌عمقی در ارتفاع آبی ۵ سانتی‌متر محاسبه شده است، افزایش بار آبی می‌تواند دلیل اصلی در افزایش میزان جریان و در نتیجه افزایش برآوردهای هدایت هیدرولیکی باشد.

در تحقیق قبادیان و همکاران (Ghobadian *et al.*, 2014) نیز مقدار هدایت هیدرولیکی برآورد شده با استفاده از روش گلف در بار آبی ۵ سانتی‌متر کمتر به‌دست آمده است تا در بار آبی ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در روش‌های تعیین هدایت

۰/۰۷ و کمتر از مقادیر پیشنهادی رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 1992)، الریک و رینولدز (Elrick & Reynolds, 1986) و رینولدز و زبچوک (Reynolds & Zebchuk, 1996) است. در تحقیق کلشادی و همکاران (Kelishadi *et al.*, 2014) برای بافت مشابه، میزان عکس طول درشت موپینگی برابر ۰/۱۴ برآورد شده که بیش از برآوردهای حاصل از این تحقیق است.

در شکل ۵، تغییرات مقدار عکس طول درشت موپینگی نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع نشان داده شده است؛ در این شکل، روند افزایشی عکس طول درشت موپینگی با افزایش میزان هدایت هیدرولیکی اشباع دیده می‌شود که این موضوع با تحقیقات رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 1992)، الریک و رینولدز (Elrick & Reynolds, 1986) و رینولدز و زبچوک (Reynolds & Zebchuk, 1996) مطابقت دارد. در تحقیقات هو و همکاران (Hu *et al.*, 2011)، میزان عکس طول درشت موپینگی برای یک خاک لوم - شنی برابر ۰/۰۴ به دست آمده که کمتر از نتایج این تحقیق است. البته در تحقیق این محققان نشان داده شده است که میزان عکس طول درشت موپینگی به شعاع دیسک مکشی ارتباط دارد و با افزایش آن افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش شعاع دیسک مکشی به میزان دو برابر، مقادیر به دست آمده برای پارامتر عکس طول درشت موپینگی حدود دو برابر افزایش خواهد یافت. از این رو بالا بودن مقادیر طول درشت موپینگی حاصل از این تحقیق، نسبت به نتایج تحقیقات هو و همکاران (Hu *et al.*, 2011)، می‌تواند به دلیل بالا بودن شعاع دیسک مکشی (۱۵ سانتی‌متر) باشد که در این تحقیق از آن استفاده شده است. اگر افزایش عکس طول درشت موپینگی را با افزایش شعاع دیسک مکشی خطی فرض کنیم، میزان طول درشت موپینگی حدود ۰/۱۲ (بر سانتی‌متر) به دست می‌آید که نزدیک به میانگین طول درشت موپینگی حاصل از این تحقیق، یعنی ۰/۱۰۶ (بر سانتی‌متر)، است.

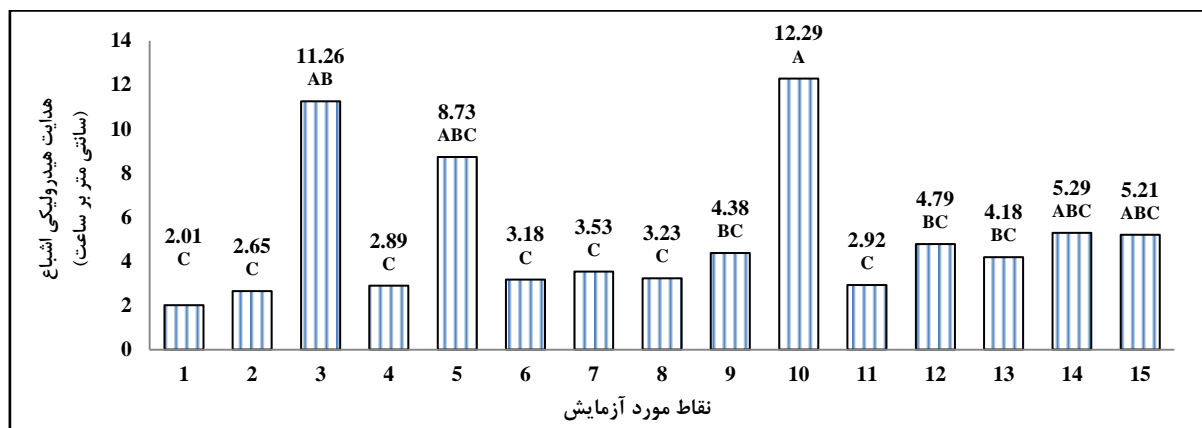
میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت)

روش	میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت)
پرماتر گلف دو عمقی	~3.2
پرماتر گلف تک عمقی	~4.2
۱۰ سانتی متر بار آبی	~6.2
پرماتر گلف دو عمقی	~7.2

شکل ۳ - مقایسه میانگین هدایت آبی اشباع اندازه‌گیری شده برای چهار روش (روش‌های اندازه‌گیری دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

جدول ۳ - نتایج آنالیز واریانس روش‌های مختلف برآورد هدایت هیدرولیکی در سطح یک درصد

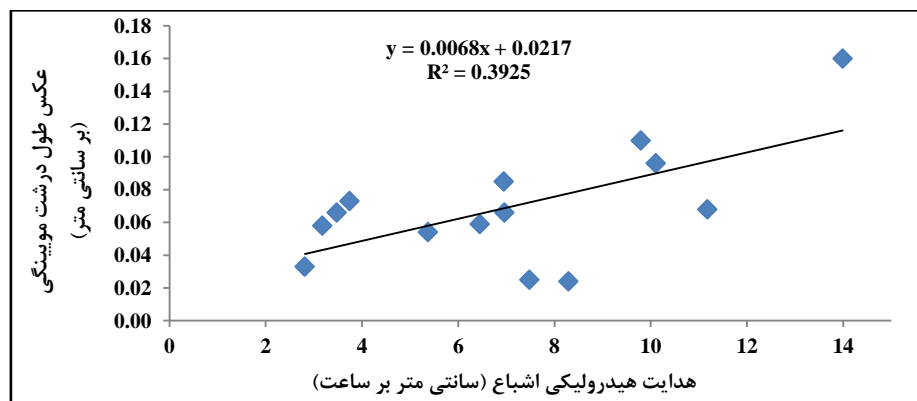
منبع پراکنش	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F محاسبه شده	F آستانه	P Value
تیمار	۳	۱۵۴/۰۷	۵۱/۳۵	۲/۶۱	۴/۱۵	۰/۰۵
خطا	۵۶	۱۰۹۸/۰۲	۱۹/۶۰			
خطای کل	۵۹	۱۲۵۲/۰۹				



شکل ۴ - مقایسه میانگین چهار روش اندازه‌گیری هدایت آبی اشباع در نقاط مختلف (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

جدول ۴ - نتایج آنالیز واریانس نقاط مختلف در برآورد هدایت هیدرولیکی در سطح یک درصد

منبع پراکنش	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F محاسبه شده	F آستانه	P Value
تیمار	۱۴	۵۵۶/۶۶	۳۹/۷۶	۲/۵۷	۲/۵	۰/۰۰۸
اشتباه	۴۵	۶۹۵/۴۲	۱۵/۴۵			
خطای کل	۵۹	۱۲۵۲				



شکل ۵- روند تغییرات مقدار طول درشت موئینی خاک نسبت به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

## نتیجه‌گیری

ندارند هرچند روش گلف دو عمقی به‌دلیل تولید جواب‌های منفی، دارای پراکنش بیشتری است و با کاهش بار آبی در روش گلف پراکنش نتایج کاهش می‌یابد که نشان از بالا بودن نتایج حاصل از روش نفوذسنج مکشی، نسبت به روش‌های مختلف گلف، دارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که از لحاظ آماری بین میانگین مقادیر هدایت آبی اشباع حاصل از دو روش مذکور در سطح

در این پژوهش، میزان هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده با دو روش صحرائی، یکی اندازه‌گیری نفوذسنج گلف و دیگری نفوذسنج مکشی، در مزرعه‌ای با خاک لومی- شنی بررسی شد و نتایج با هم مقایسه شدند. معلوم شد که روش‌های تک عمقی و دو عمقی گلف با نفوذسنج مکشی در سطح احتمال ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری

در روش گلف می‌شود و نیز اینکه عکس طول درشت مویبندی، با افزایش میزان هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش می‌یابد و پارامتر عکس طول درشت مویبندی محاسبه شده از روش نفوذسنج مکشی کمتر از مقادیر پیشنهادی رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 1992)، الریک و رینولدز (Elrick & Reynolds, 1986) و رینولدز و زیچوک (Reynolds & Zebchuk, 1996) است. با توجه به اهمیتی که این پارامتر در جهت حل جریان نفوذ آب در خاک و تعیین منحنی رطوبتی خاک دارد، تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری است.

احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. میزان هدایت هیدرولیکی اشباع برآورد شده به ترتیب از روش نفوذسنج مکشی، نفوذسنج دو عمقی، نفوذسنج گلف با بارآبی ۱۰ سانتی‌متر و نفوذسنج گلف با بارآبی ۵ سانتی‌متر کاهش داشت. دلیل بالا بودن نتایج نفوذسنج مکشی نسبت به سایر روش‌ها را می‌توان بزرگ‌تر بودن سطح تماس آب و خاک، در روش نفوذسنج مکشی، نسبت به روش گلف، دانست و دلیل دیگر می‌تواند لیسسه‌ای نشدن خاک در روش نفوذسنج نسبت به روش گلف باشد. نتایج تحقیق همچنین نشان می‌دهد که افزایش بار آبی باعث افزایش برآوردهای هدایت هیدرولیکی

## قدردانی

این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی مصوب طی قرار داد طرح شماره ۱۵۹۸ مورخ ۱۳۹۴/۹/۳ و با حمایت‌های معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید.

## مراجع

- Azar, A., Babazadeh, H. and Zinalzadeh, K. 2008. Comparison of two methods Guelph and inverse hole to measure the saturated hydraulic conductivity (case study: land college of agriculture university of Orumieh). 2<sup>th</sup> Irrigation and Drainage Network Management National Conference. Shahid Chamran University. Ahvaz, Iran. (in Persian)
- Alizadeh, H. A., Nazari, B. and Liaghat, A. 2009. Evaluation of simplified falling head (SFH) method for measuring saturated hydraulic conductivity. *J. Water Soil.* 23(2): 55-62. (in Persian)
- Angulo-Jaramillo, R., Vandervaere, J. P., Roulier, S., Thony, J. L., Gaudet, J. P. and Vauclin, M. 2000. Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers, a review and recent developments. *Soil Till. Res.* 55, 1-29.
- Ankeny, M. D., Ahmed, M., Kaspar, T. C. and Horton, R. 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 467-470.
- Asadollahzadeh, T., Mashal, M. and Karimzadgan, S. 2014. Investigating the precision of hydraulic conductivity and sorptive number estimation in cased boreholes by reynolds analysis: the cased of Pakdasht region. *J. Water Soil.* 28(4): 708-716. (in Persian)
- Boom, J. 1983. Use of soil survey data to select measurement techniques for hydraulic conductivity. *Agr. Water manage.* 6, 177-190.
- Elrick, D. E. and Reynolds, W. D. 1986. An analysis of the percolation test based on three dimensional saturated-unsaturated flows from a cylindrical test hole. *Soil Sci.* 142(5): 308-321.
- Elrick, D. E. and Reynolds, W. D. 1992. Infiltration from Constant Head Well Permeameters and Infiltrimeters. In: G. C. Topp., W. D. Reynolds and R. E. Green (Eds.) *Advances in the Measurement*

- of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice. Chapter.1. Special Publication No. 30. Soil Science Society of America. Madison, WIS, USA.
- 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. R.* 9, 184-193.
- Gardner, W. R. 1958. Some steady-stade solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evapopration form water table. *Soil Sci.* 85, 228-232.
- Ghaffari, P., Kashkouli, H. A. and Mokhtarian, R. 2007. Comparison of measuring hydraulic conductivity using the Guelph and tension infiltrometer. 9<sup>th</sup> National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration. Kerman University. Kerman, Iran. (in Persian)
- Ghani, F., Tabatabayi, S. H., Shayannejad, M. and Ghorbani-Dashtaki, Sh. 2012. Comparison of four field measurement methods of saturated hydraulics conductivity. *J. Water Resour. Eng.* 5(15): 55-66. (in Persian)
- Ghobadian, R., Shekari, P., Sabe, Gh. A. and Maleki, R. 2014. Depth gradient of saturated hydraulic conductivity by Guelph permeameter method in research farm of Agricultural Faculty, Razi University, Kermanshah. *J. Water Soil Conserv.* 21(2): 85-107. (in Persian)
- Ghorbani-Dashtaki, Sh., Dehghani-Baniani, S., Khodaverdiloo, H., Mohammadi, J. and Khalilmoghaddam, B. 2012. Estimation of saturated hydraulic conductivity and inverse of macroscopic capillary length using PTFS. *J. Water Soil Sci. (J. Sci. Technol. Agr. Natur. Resour.)*. 16(60): 145-157. (in Persian)
- Gupta, R. K., Rudra, R. P., Dickinson, W. T., Patni, N. K. and Wall, G. J. 1993. Comparison of saturated hydraulic conductivity measured by various field methods. *Trans. ASAE.* 36, 51-55.
- Hu, W., Wang, Q., Shao, M. and Ju, Zh. 2011. Effects of infiltration time on the calculated sorptivity with white method for a sandy loam soil. *Afr. J. Agr. Res.* 6(19): 4601-4606.
- Kashkuli, H. A. and Mokhtaran, A. 2014. Determination of soil saturated hydraulic conductivity above water table using guelph permeameter and its relationship with shallow well pumping method in five agricultural sites in Khuzestan province. *J. Water Res. Agr.* 28(2): 465-475. (in Persian)
- Kelishadi, H., Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A. and Ayoubi, S. 2014. Near-saturated soil hydraulic properties as influenced by land use management systems in Koohrang region of central Zagros, Iran. *Geoderma.* 213, 426-434.
- Logsdon, S. D. and Jaynes, D. B. 1996. Spatial variability of hydraulic conductivity in a cultivated field at different times. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 703-709.
- Mashal, M., Shaghghi, V. and Zavarehghaddam, Z. 2007. Factors affecting the improvement of soil saturated hydraulic conductivity measurements using two depths Guelph permeameter. *J. Agr. Eng. Res.* 29(3): 12-20. (in Persian)
- Mohanty, B. P., Kanwar, R. S. and Horton, R. 1991. A robust-resistant approach to interpret the spatial behavior of saturated hydraulic conductivity of a glacial till soil under no-tillage system. *Water Resour. Res.* 27, 2979-2992.
- Mohanty, B. P., Kanwer, R. S. and Eversts, C. J. 1994. Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods, for a glacial-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 672-677.
- Moradi-Basri, H., Ghorbani-Dashtaki, Sh., Givi, J., Khodaverdiloo, H. and Khalilmoghaddam, B. 2012. Comparison of three field methods for measuring saturated hydraulic conductivity in some vertisols and entisols. *J. Water Soil.* 26(1):173-182. (in Persian)

- Perroux, K. M. and White, I. 1988. Design for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1205-1215.
- Rauf, M., Nazemi, A. H., Sadraddini, S. A. A. and Maroofi, S. 2010. Estimating saturated and unsaturated hydraulic conductivities of sloping lands under steady and transient states. *J. Water Soil.* 20(4): 33-46. (in Persian)
- Rauf, M., Sadraddini, S. A. A., Nazenu, A.H. and Maroofi, S. 2011. Effect of land slope on infiltration and some physical properties of soil. *Water Soil Sci.* 1, 57-68. (in Persian)
- Reynolds, W. D. and Elrick D. E. 1985. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity sorptivity a parameter using Guelph permeameter. *Soil Sci.* 140(4): 292-302.
- 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.
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E. and Clothier, B. E. 1985. The constant head well permeameter Effect on unsaturated flow. *Soil Sci.* 139(2): 172-18.
- Reynolds, W. D., Vieira, S. R. and Topp, G. C. 1992. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. *Can. J. Soil Sci.* 72, 489-501.
- Rezaiepour, S. and Ghobadina, M. 2012. Investigating infiltration phenomenon process using a disk permeameter check and double ring. The 3<sup>rd</sup> Conference on Agriculture and Food Science. Islamic Azad University of Fasa. Iran. (in Persian)
- Smettem, K. and Clothier, B. 1989. Measuring unsaturated sorptivity and hydraulic conductivity using multi-disc permeameters. *J. Soil Sci.* 40, 565-568.
- Stroosnijder, L, 1976. Infiltratie en Herverdeling van Water in de Grond. *Versl. Land-bouwkw. Onderz.*
- Torabi, M. 2004. Assessment of five methods of measuring saturated hydraulic conductivity in a saline soil. 2<sup>nd</sup> Students Conference on Soil and Water Resources. Agricultural Faculty, Shiraz University. Shiraz, Iran. (in Persian)
- Verbist, K., Cornelis, W., Torfs, S. and Gabriel, D. 2013. Comparing methods to determine hydraulic conductivities on stony soils. *Soil Sci. Soc. America J.* 77(1): 25-42.
- Wooding, R. 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Resour. Res.* 4, 1259-1273.
- Yamin-Moshrefi, Gh., Marufpour, I., Bahramnezhad, B. and Faryabi, A. 2008. Assessment of infiltration process using a single & double ring. 3<sup>th</sup> Regional Conference on Research Achievements of Agricultural. Kordestan University. Iran. (in Persian)

## **Comparison of Guelph permeameter & Tension Disc Infiltrometer Methods for Measurement of Saturated Soil Hydraulic Conductivity**

**Y. Hoseini \***

\* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Faculty, Mohaghegh-Ardabili University, Moghan, Iran. Email: yaser\_hoseini@ymail.com

Received: 7 September 2016, Accepted: 29 July 2017

In this study two methods of measuring saturated hydraulic conductivity namely: Guelph permeameter and Tension Disc Infiltrometer were compared in the experimental field of Moghan Faculty of Agriculture containing Sandy-loam soil texture . Guelph experiments were performed by using Guelph penetrometer model k2800. In this regard, 15 boreholes each with 5 cm diameter and 25 cm depth were drilled in a grid of 2×2 m and discharge was measured at the hydraulic heads of 5 and 10 cm. .. Experiments were performed based on completely randomized design with 4 treatments and 15 replicates. Also in the Tension Disc Infiltrometer, determination of saturated hydraulic conductivity was performed on the same grid with 5, 10, 15 cm suction heads. The average hydraulic conductivity obtained for Tension Disc Infiltrometer, Guelph permeameter in 5,10 cm of hydraulic heads and Guelph two depths analysis was found to be 7, 3, 4, 6.2 cm per hour, respectively. Results of Fisher test revealed that all methods are classified in a group and not significantly different from each other at the 0.01 level and beyond, . Average values for the inverse of macroscopic capillary length parameter was obtained to be 0.07 cm<sup>-1</sup> and as the value of saturated soil hydraulic conductivity increased , an increase in the value of inverse macroscopic capillary length parameter was observed.

**Key words:** Depth Analysis Hydraulic head, Length One, Macroscopic Capillary, Matric potential, Two Depth Analysis