مجله علوم كشاورزي ايران
جلد ۳۸، شماره ۱، سال ۱۳۸٦ (۹۲-۸۵)

# ارزيابي روش چاهک وارونه و آناليزهاي پرمامتر گلف به منظور برآورد هدايت هيدروليکي اشباع خاکهاي لومي

عبدا درزي[۱]، مجتبی شقاقی[۲]، عقيل ياری*[۳] و رستم پهلوان[۴]
۱، ۲، ۳، ۴، دانشجويان کارشناسي ارشد پرديس ابوريحان، دانشگاه تهران
(تاريخ دريافت: ۸۴/۷/۱۹- تاريخ تصويب: ۸۵/۴/۱۴)

## چکيده

اين تحقيق جهت تعيين روشي مناسبتر براي اندازه گيري هدايت هيدروليکي اشباع نسبي خاکهاي لومي بوسيله پرمامتر گلف، انجام شد. براي اين کار مقادير هدايت هيدروليکي آناليزهاي گلف با مقادير اندازه‌گيري شده به روش چاهک وارونه مقايسه گرديد. آزمايشها در مزرعه تحقيقاتي پرديس ابوريحان دانشگاه تهران انجام شد. برطبق اين تحقيق مشخص شد که تفاوت معني داري بين ميانگين نتايج روش چاهک وارونه و نتايج روش هاي دو عمقي، تک عمقي و رگرسيون پايه‌اي ريچاردز وجود دارد و تنها در صورتي که نتايج بدست آمده از روشهاي مذکور را در ضريب ۳ ضرب کنيم نتايج بدست آمده معادل نتايج روش چاهک وارونه خواهد شد. همچنين در سطح ۰/۰۵ تفاوت معني داري بين ميانگين آناليزهاي دوعمقي و رگرسيون پايه‌اي ريچاردز وجود ندارد و اين آناليزها براي اين نوع خاک لومي روشهاي معادلي هستند. نتايج اين تحقيق بيانگر آن است که آناليز رگرسيون ريچاردز به منظور تعيين هدايت هيدروليکي بوسيله پرمامتر گلف در خاکهاي لوم منطقه مورد مطالعه قابل توصيه بوده و از نظر کاربرد مناسبت بيشتري دارد. همچنين در صورت انتخاب مناسب شماره جذبي خاک ($\alpha^*$)، روش تک عمقي نيز روش معادلي با روش دو عمقي خواهد بود.

واژه‌هاي کليدي: پرمامترگلف، چاهک وارونه، خاکهاي لوم، هدايت هيدروليکي.

## مقدمه

هدايت هيدروليکي افقي يکي از مهمترين مشخصه‌هاي هيدرودناميکي خاک است که در ارزيابي جريان آب زيرزميني و محاسبه فواصل زهکشي زيرزميني مورد نياز بوده و در مطالعات زهکشي مورد توجه قرار مي‌گيرد. استفاده از مقادير بزرگتر يا کوچکتر از مقدار واقعي سبب افزايش يا کاهش فاصله زهکشها مي شود که اولي به دليل فراهم نکردن شرايط مناسب جهت خروج زه آبها و دومي با افزايش هزينه‌هاي اجرايي طرح، خسارات زيادي را در پي خواهند داشت. با توجه به اينکه اندازه گيري دقيق مقدار اين پارامتر به دلايل مختلف امکان پذير نمي‌باشد چاره‌اي جز بهبود دقت آن نخواهد بود.

روشهاي متعددي براي اندازه‌گيري صحرايي هدايت هيدروليکي افقي خاک وجود دارد که اساس کليه آنها بر اندازه‌گيري سرعت جريان افقي آب در خاک استوار است. بر حسب اينکه اندازه گيري سرعت جريان آب در خاک در زير سطح ايستابي يا در بالاي آن صورت گيرد روشهاي تعيين هدايت هيدروليکي نيز متفاوت خواهد بود. اين روشها به طورکلي‌به‌دو دسته روشهاي صحرايي و روشهاي‌آزمايشگاهي تقسيم مي‌شوند که روشهاي صحرايي نيز خود به دو گروه کلي روشهاي تعيين هدايت هيدروليکي در زير سطح ايستابي و بالاي سطح ايستابي تقسيم‌بندي مي‌شوند (۲).

در مواقعي که سطح آب زيرزميني بالا است، روش چاهک روش ساده و قابل اعتمادي براي اندازه گيري ضريب

* نويسنده مسئول: عقيل ياری    تلفن: ۰۹۱۲-۲۵۳۰۷۳۴    E-mail: ayari@ut.ac.ir

هدايت هيدروليکي مي‌باشد و هنگامي که سطح آب زيرزميني افت مي‌کند، روشهاي ديگري براي اندازه گيري ضريب هدايت هيدروليکي مورد استفاده قرار مي‌گيرند که از پيچيدگي بيشتري برخوردارند (۱). اولين بار گلور (۱۹۵۶) روش نفوذ در چاهک کم عمق را به کار برد که به دليل محدوديت عملي کمتر استفاده مي‌شود. در سالهاي بعد روش چاهک وارونه مورد توجه قرار گرفت در اين روش آزمايش در مدت زمان کمتري نسبت به روش پمپاژ به درون چاهک کم عمق انجام مي‌شود. اين روش در حال حاضر متداولترين روشي است که مورد استفاده قرار مي‌گيرد، اما در عين حال زمان بر بودن آزمايشها و هزينه‌هاي اجرايي زياد از جمله معايب اين روش مي‌باشد. رينولدز و همکاران (۱۸، ۱۹) وسيله عملي و کم خرجي را به نام پرمامتر گلف[1] ساختند که يک سيستم ماريوت ساده است. اين روش ضمن برخورداري از مباني تئوريک قوي، انجام آزمايشها را با سرعت عمل بيشتر و صرف هزينه‌هاي بسيار کمتر ميسر ساخته است.

روش چاهک وارونه

در اين روش فرض مي‌شود که آب از ديواره‌ها و کف چاهک نفوذ مي‌نمايد و افت سطح آب در چاهک مبناي تعيين ضريب آبگذري قرار مي‌گيرد (۱). در اين صورت خواهيم داشت:

$$K_P = 1.15r \frac{\log\left[h(t_1)+\frac{r}{2}\right]-\log\left[h(t_2)+\frac{r}{2}\right]}{t_2\_t_1} \quad (۱$$

$K_P$: هدايت هيدروليکي بر حسب متر بر روز

r: شعاع چاهک بر حسب سانتيمتر

$h(t_i)$: ارتفاع سطح آب درون چاهک در زمان $t_i$

آناليزهاي پرمامتر گلف

با کاربرد روش نفوذسنج گلف که توسط رينولدز و همکاران (۱۸، ۱۹) ابداع شد مقدار هدايت هيدروليکي اشباع ($K_{fs}$) را مي‌توان محاسبه نمود. در تئوري اوليه پرمامتر گلف، فشار منفذي صفر فرض گرديده يا به عبارتي تأثير محيط غير اشباع در اطراف چاهک ناديده گرفته شده

1. Guelph permeameter

بود. در نتيجه در عمل جواب‌هاي نادرستي بدست مي‌آمد که اين موضوع بوسيله فيليپ (۱۵، ۱۶) پيش بيني شده بود. و عملاً تالسما و حلام (۲۴) ، استفان و نيومن (۲۳) و لي (۱۱) با انجام آزمايشاتي آن را تاييد کردند. همچنين رينولدز و همکاران (۲۰) نشان دادند که دبي ورودي به خاک به بار فشاري اوليه خاک غير اشباع ($\psi_i$) بستگي دارد. آنها با تخمين ضريب جذبي خاک ($S$) و شماره جذبي خاک $\alpha$ (پارامتري که به خصوصيات خاک بستگي دارد) در رابطه $k(\psi) = k_{fs}e^{\alpha\omega}$ ارائه شده توسط گاردنر (۷) به حل مسئله پرداختند.

الريک و همکاران آخرين پيشرفتهاي حاصله در روش خود را در سال ۱۹۸۹ ارائه کردند (۶). طبق نظر آنها کل جريان خروجي آب از چاهک را مي‌توان به صورت دو مؤلفه فشاري، يکي در جهت شعاعي وارد بر ديواره چاهک ($\bar{V}_{rp}$)، ديگري در جهت عمودي وارد بر کف چاهک ($\bar{V}_{zp}$) و همچنين به صورت يک مؤلفه ثقلي وارد بر کف چاهک ($\bar{V}_g$) دانست و اگر فرض شود که جريان در حالت ماندگار اتفاق مي‌افتد و محيط متخلخل صلب، همگن و ايزوتوپ است و همچنين جريان نيمه نامحدود به حالت اشباع وجود دارد، کل جريان ماندگار آب از يک چاهک استوانه اي در يک عمق استغراق معين را بطور کلي به وسيله معادله زير مي توان تعيين نمود:

$$Q_s = \left[\left(\frac{2\pi H^2}{C}\right)+\pi a^2\right]K_{GP} + \frac{2\pi H}{C}\phi_m \quad (۲$$

در معادله (۲)، $K_{GP}$ هدايت هيدروليکي اشباع خاک (متر بر ثانيه)، $\phi_m$ پتانسيل جريان ماتريک (متر مربع بر ثانيه)، $Q_S$ دبي ثابت ورودي به چاهک(متر مکعب بر ثانيه) هنگامي که عمق آب در چاهک H (متر) است، $a$ شعاع چاهک (متر) و C ضريب تناسب بدون بعدي که به نسبت $\frac{H}{a}$ بستگي دارد، به اين ضريب فاکتور شکل چاهک نيز گفته مي شود. قسمت اول سمت راست معادله (۲) مربوط به «جزء اشباع جريان» خروجي از چاهک و قسمت دوم مربوط به «جزء غير اشباع يا کاپيلاري جريان» مي‌باشد (۲۰). از نظر فيزيکي $\phi_m$، کاپيلاريته خاک يا توانايي خاک در جذب رطوبت را مشخص مي کند. با

تشکیل دستگاه معادلات دو مجهولي و حل معادله براي دو عمق استغراق $H_1$ و $H_2$ مقدار $K_{GP}$ و $\phi_m$ را مي‌توان تعيين نمود (۲). در روش دو عمقي ممکن است در اثر دست نيافتن به جريان ماندگار و ناهمگن بودن خاک، درصد بالايي از نتايج منفي $K_{GP}$ و $\phi_m$ ايجاد شود (۶، ۱۳). براي جلوگيري از بروز جوابهاي منفي روش استغراق تک عمقي پيشنهاد شده است (۶). در آناليز تک عمقي ريچاردز مقدار هدايت هيدروليکي و پتانسيل جريان ماتريک با استفاده از رابطه زير بدست مي آيد.

$$K_S = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2 + \frac{2\pi H}{\alpha_E^*})} \qquad (۳$$

$$\phi_m = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2)\alpha_E^* + 2\pi H}$$

$K_S$ : تخمين آناليز تک عمقي ريچاردز از مقدار $K_{GP}$

$\alpha_E^*(m^{-1})$ : تخمين مقدار $\alpha^*$ که از جداول ارائه شده بدست مي‌آيد (۱۷). رابطه (۳) در واقع همان رابطه $K_{GP}$ است به جز اينکه مقدار $\alpha^*$ (يا به عبارتي $\alpha_E^*(m^{-1})$) مشخص گرديده و در نتيجه معادله يک مجهولي است و از مقادير $K_{fs}$ منفي جلوگيري مي گردد.

هدايت هيدروليکي در آناليز لاپلاس (۱۶) به صورت زير محاسبه مي‌شود.

$$K_L = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2)} \qquad (۴$$

$K_L$: تخمين لاپلاس از $K_{GP}$ است(m/s)

در آناليز لاپلاس فرض مي‌گردد که کاپيلاريته خاک صفر است و در نتيجه $\alpha^*$ حذف مي‌گردد. در اين روش $K_L$ نتايج بسيار بزرگتري نسبت به $K_{GP}$ مي‌دهد زيرا کاپيلاريته خاک به حساب نمي‌آيد (۱۶).

در سالهاي بعد آناليز رگرسيون پايه اي ريچاردز مورد توجه قرار گرفت که مي تواند از جوابهاي غير واقعي (منفي) جلوگيري کند. در آناليز تک عمقي رگرسيون پايه‌اي ريچاردز (۱۶) مقدار $K_{GP}$ با استفاده از رابطه زير محاسبه مي‌شود.

$$K_R = \beta K_L^{\omega} \qquad \omega \geq 1 \qquad (۵$$

$K_R$ : تخمين رگرسيون پايه اي ريچاردز از مقدار $K_{GP}$ برحسب (m/s)

$K_L$ : تخمين لاپلاس از $K_{GP}$ (m/s)

$\omega$ و $\beta$ : پارامترهاي بدون بعد که از طريق روابط رگرسيون حداقل مربعات بين $K_L$ و $K_{GP}$ بدست مي‌آيند.

مطالعات انجام شده در رابطه با تعيين هدايت هيدروليکي نشان مي‌دهد که مقادير اندازه‌گيري شده از روش گلف در خاکهاي لومي و رسي نسبت به روش چاهک، نمونه دست نخورده و پرمامتر ورودي هوا داراي نتايج مختلفي است (۸، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۸) يعني در خاکهاي رسي، روش گلف داراي مقادير کمتري نسبت به آزمايش پمپاژ به داخل چاهک (۵) و داراي مقادير مساوي يا بيشتر نسبت به پرمامتر ورود هوا (۱۱، ۱۸) و استوانه مضاعف (۷) مي‌باشد. رينولدز و زبچوک (۱۳) براي حذف جوابهاي غير منطقي روش دو عمقي گلف در خاک رسي سيلتي؛ از سه آناليز تک عمقي لاپلاس، رگرسيون پايه اي ريچاردز و آناليز تک عمقي ريچاردز استفاده کردند. در اين مطالعه آناليز رگرسيون پايه اي ريچاردز نسبت به ساير روشها ميانگين هندسي تقريبا نزديکي با روش چاهک داشت. کشکولي و مشعل (۳) در دو نوع خاک ماسه لومي و رسي سيلتي، روش گلف را با دو روش چاهک وارونه و SWPI مقايسه کردند. در هر دو منطقه مورد آزمايش روش چاهک وارونه نتايج نسبتاً زيادتري نسبت به روش SWPI و پرمامتر گلف داد. کشکولي و همکاران (۴) در يک نوع خاک رسي و سيلتي دو روش گلف و چاهک را با هم مقايسه کردند که نتايج آزمايشها حاکي از آن بود که روش گلف با روش چاهک همبستگي زيادي دارد (r=۰/۹۷).

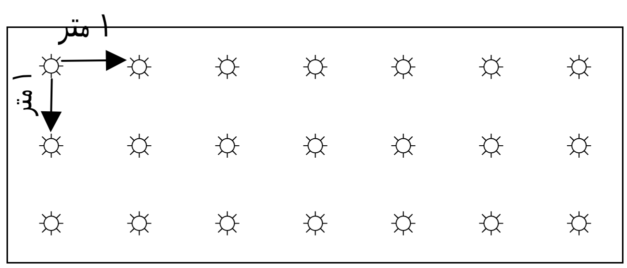
در اين تحقيق براي انتخاب مناسبترين روش تعيين هدايت هيدروليکي از بين آناليزهاي تک عمقي و دو عمقي پرمامتر گلف، مقادير اندازه گيري شده اين پارامتر از روش چاهک وارونه، با روشهاي گلف مورد مقايسه قرارگرفت.

## مواد و روش‌ها

بخشي از مزرعه تحقيقاتي پرديس ابوريحان - واقع در منطقه پاکدشت استان تهران- براي انجام طرح انتخاب شد. اين منطقه داراي اقليم خشک و نيمه خشک بوده و بارندگي

متوسط سالانه آن در حدود ۱۸۰ ميليمتر مي‌باشد. ارتفاع متوسط اين منطقه از سطح دريا ۱۰۲۱ متر و عرض و طول جغرافيايي آن به ترتيب ′۲۸ °۳۵ درجه شمالي و ′۴۱ °۵۱ درجه شرقي است. بافت خاک مزرعه براساس آزمايش‌ها انجام گرفته براي اعماق ۰ تا ۹۰ سانتيمتر از نوع لومي، وزن مخصوص ظاهري و حقيقي خاک به ترتيب ۱/۴ و ۲/۵۵ و مقدار PH خاک نيز برابر ۷/۹۸ بود.

آزمايشهاي تعيين ضريب آبگذري در قالب طرح بلوکهاي کامل تصادفي با ۵ تيمار (روش چاهک وارونه و روشهاي پرمامتر گلف شامل آناليز تک عمقي لاپلاس، رگرسيون پايه اي ريچاردز و آناليز تک عمقي و دو عمقي ريچاردز) و ۲۱ تکرار به صورت نامتعادل انجام شد. تجزيه و تحليل آماري نتايج آزمايشها با استفاده از نرم افزار آماري SAS نسخه ۸/۲ انجام گرديد و مقايسه ميانگين داده ها بر اساس آزمون چند دامنه‌اي دانکن صورت گرفته است. با توجه به حساسيت روشهاي گلف به بافت و ساختمان خاک و به منظور اجتناب از اثر ناهمگني خاک، آزمايشها در چاهکهايي با فواصل نزديک به هم انجام گرفتند. براي افزايش دقت، اندازه گيري‌ها در هر چاهک سه بار تکرار شدند. در روشهاي گلف، بر اساس $H_1$ ، $H_2$ برابر ۵ و ۱۵ سانتي‌متر و a (شعاع چاهک) برابر ۳ سانتي‌متر و با استفاده ازنمودار ارائه شده در منبع (۱۴)، مقادير $C_1$ و $C_2$ مورد استفاده در آناليزهاي دو عمقي و تک عمقي به ترتيب برابر ۰/۸۵ و ۱/۶۲ بدست آمده است. همچنين از مخزن ترکيبي دستگاه پرمامتر گلف جهت نشان دادن تغييرات جزئي سطح آب استفاده شده که سطح مقطع آن معادل ۳۴/۹۷ سانتي‌متر مربع مي‌باشد. شماتيک چاهکهاي مورد مطالعه در منطقه طرح در شکل ۱ آورده شده است.




شکل ۱- شماتيک چاهکهاي مورد مطالعه در منطقه طرح

در آناليز لاپلاس (با فرض $\alpha^* = \infty$) و آناليز تک عمقي ريچاردز (با فرض اوليه $\alpha^* =$ ۱۲)، بار ثابت ۵ سانتي متر، جهت انجام محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. همچنين مقادير $K_{GP}$ از آناليزهاي دو عمقي ريچاردز و آناليز رگرسيون پايه اي ريچاردز به ازاي بارهاي ثابت ۵ و ۱۵ سانتي متر محاسبه گرديدند. جهت تعيين $K_R$ مقادير $\beta$ و $\omega$ به روش حداقل مربعات با استفاده از نرم افزار SAS بدست آمد ($\beta =$ ۱/۰۵ و $\omega =$ ۱/۰۱).

## نتايج و بحث

قبل از ارايه پارامترهاي آزمون‌هاي آماري ضرورت دارد که توزيع فراواني آماري مناسب که بر داده هاي ضريب هدايت هيدروليکي مطابقت داشته باشد، انتخاب گردد. از آنجا که توزيع نرمال و لوگ نرمال براي خواص خاک و بخصوص هدايت هيدروليکي مناسب تشخيص داده شده است (۴، ۵)، بنابراين جهت مقايسه مقادير هدايت هيدروليکي بدست آمده از هريک از روشهاي اندازه گيري هدايت هيدروليکي، تنها اين دو نوع توزيع بررسي شده است. نتايج حاصله از تجزيه واريانس براي توزيع نرمال و لوگ نرمال در جدول ۱ نشان داده شده است.

در جدول ۱ مشاهده مي‌شود که هر دو توزيع نرمال و لوگ نرمال مقادير هدايت هيدروليکي، نتايج مشابهي را در پي دارند يعني بين ميانگين تيمارها (روش چاهک وارونه و روشهاي پرمامتر گلف شامل آناليز تک عمقي لاپلاس، رگرسيون پايه اي ريچاردز و آناليز تک عمقي و دو عمقي ريچاردز) و تکرارها (۲۱ تکرار بصورت نا متعادل) تفاوت معني‌داري ($P \leq$ ۰/۰۱) وجود دارد. اما چون مقدار ضريب تغييرات توزيع لوگ نرمال کمتر است براي تجزيه و تحليل نتايج از توزيع لوگ نرمال استفاده شده است.

در مقايسه‌ها از معيارهاي تمرکز (ميانگين حسابي و هندسي) و پراکندگي (واريانس، انحراف معيار) استفاده گرديد. نتايج حاصل از توزيع فراواني لوگ نرمال در جدول ۲ داده شده است.

با توجه به اينکه روش چاهک وارونه متداولترين روش تعيين هدايت هيدروليکي در بالاي سطح ايستابي مي باشد؛ آناليزهاي دوعمقي، تک عمقي، لاپلاس و رگرسيون پايه اي

ريچاردز بر پايه ميانگين، دامنه تغييرات، ضريب تغييرات[1]، انحراف معيار[2] و خطاي معيار[3] با روش چاهک وارونه مقايسه شدند. در ميان آناليزهاي گلف آناليز لاپلاس ميانگين بسيار بيشتري نسبت به ساير آناليزها دارد به نظر مي‌رسد اين وضعيت به علت فرض $\alpha^*$ بينهايت (کاپيلاريته صفر) در آناليز تک عمقي لاپلاس ايجاد شده باشد.

مطابق جدول ۲ ميانگين آناليزهاي دوعمقي و رگرسيون پايه‌اي ريچاردز بسيار نزديک به هم هستند. البته آناليز رگرسيون پايه‌اي ريچاردز انحراف معيار و خطاي معيار و دامنه تغييرات کمتري را نشان مي‌دهد. در روش تک عمقي مقدار ميانگين‌هاي حسابي و هندسي کمتر از ساير آناليزهاي گلف بدست آمده است. از طرفي روش تک عمقي نسبت به ساير آناليزهاي پرمامتر گلف داراي کمترين انحراف معيار و خطاي معيار و دامنه تغييرات مي باشد. همچنين همانطور که از جدول مشاهده مي شود مقدار $K_P$ روش چاهک وارونه تفاوت زيادي با نتايج روش‌هاي دو عمقي، تک عمقي و رگرسيون پايه‌اي ريچاردز دارد به همين جهت در صورتي که نتايج بدست آمده از روشهاي مذکور را در ضريب ۳ ضرب کنيم نتايج بدست آمده معادل روش نتايج روش چاهک وارونه خواهد شد.

مقايسه ميانگين روشهاي مختلف تعيين ضريب هدايت هيدروليکي در جدول ۳ آورده شده است. به علت نامساوي بودن تکرارها در تيمارهاي مورد آزمايش از ميانگين حداقل مربعات به جاي ميانگين عادي استفاده شد. با توجه به اين جدول مشاهده مي‌شود که در سطح ۰/۰۵ تفاوت‌معني‌داري بين ميانگين آناليزهاي دوعمقي و رگرسيون پايه‌اي ريچاردز وجود ندارد و اين آناليزها براي اين نوع خاک لومي روشهاي معادلي هستند. براي تشريح اين مسأله بايد گفت در آناليز رگرسيون پايه‌اي ريچاردز، بين مقادير $K_{GP}$ دو عمقي و $K_L$ لاپلاس رابطه‌اي رگرسيوني برقرار مي‌شود و در اين حالت امکان دستيابي به نتايج صحيح و منطقي ايجاد مي‌گردد. به همين جهت آناليز دو عمقي و آناليز رگرسيون پايه‌اي ريچاردز براي اين نوع خاک لومي روشهاي معادلي هستند. همچنين در مقايسه ميانگين روش چاهک وارونه با روشهاي گلف در سطح ۰/۰۵ تفاوت معني داري مشاهده شد.

1. Coefficient of Variation
2. Standard Deviation
3. Standard Error

جدول ۱- تجزيه واريانس اعداد واقعي و لگاريتم طبيعي اعداد واقعي هدايت هيدروليکي

| منابع تغييرات | درجه آزادي | اعداد واقعي<br>ميانگين مربعات[1] | لگاريتم طبيعي اعداد واقعي<br>ميانگين مربعات[1] |
|---|---|---|---|
| تکرار(بلوک) | ۲۰ | ۹۵/۰۹** | ۰/۴۳** |
| تيمار | ۴ | ۸۲۲/۷۵** | ۲/۷۱** |
| اشتباه آزمايشي | ۶۸ | ۲۷/۳۳ | ۰/۰۹ |
| ضريب تغييرات (%) | | ۳۳/۶۶ | ۱۱/۵۴ |

* * معني دار در سطح احتمال ۱%

۱. براي بدست آوردن ميانگين مربعات از مجموع مربعات نوع سوم استفاده شده است.

جدول۲- خلاصه آمار توصيفي ضرايب هدايت هيدروليکي

| روشها | تعداد | ميانگين حسابي | | ميانگين هندسي | | خطاي معيار | انحراف معيار | ضريب تغييرات | دامنه تغييرات | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | m/day | mm/hr | m/day | mm/hr | | | (%) | m/day | mm/h |
| P | ۲۱ | ۰/۹۹۴ | ۴۱/۴ | ۰/۹۸ | ۴۰/۶۷ | ۰/۲۰ | ۰/۹۳ | ۳۱/۳۵ | ۰/۶۶ | ۲۶/۷۵ |
| PG | ۱۷ | ۰/۳۲۴ | ۱۳/۵ | ۰/۳۰۹ | ۱۲/۸۷ | ۰/۱۲ | ۰/۵۱ | ۱۹/۶ | ۰/۶۸۵ | ۲۸/۵۴ |
| S | ۱۸ | ۰/۲۴۵ | ۱۰/۲ | ۰/۲۳۷ | ۹/۸۷ | ۰/۰۹۳ | ۰/۳۹۷ | ۱۷/۱ | ۰/۳۱۴ | ۱۳/۰۸ |
| L | ۱۸ | ۰/۵۹۹ | ۲۴/۹۵ | ۰/۵۸۵ | ۲۴/۳۷ | ۰/۰۹۴ | ۰/۳۹۸ | ۱۲/۴ | ۰/۷۶ | ۳۱/۶۷ |
| R | ۱۸ | ۰/۳۲۷ | ۱۳/۶۲ | ۰/۳۳ | ۱۳/۷۵ | ۰/۱۰۴ | ۰/۴۳ | ۱۶/۴ | ۰/۴۵ | ۱۸/۷۵ |

P روش چاهک وارونه، PG روش دو عمقي، S روش تک عمقي، L روش لاپلاس و R روش رگرسيون پايه اي ريچاردز مي‌باشد.

جدول۳- مقايسه ميانگين روشهاي مختلف تعيين ضريب هدايت هيدروليکي

| روشها | تعداد | ميانگين حداقل مربعات m/day | ميانگين حداقل مربعات mm/hr | گروهبندي دانکن[1] |
|---|---|---|---|---|
| P | ۲۱ | ۱/۰۸ | ۴۵/۰۱ | A |
| L | ۱۸ | ۰/۶۶ | ۲۷/۵۷ | B |
| S | ۱۸ | ۰/۲۸ | ۱۱/۷۲ | C |
| R | ۱۸ | ۰/۳۸ | ۱۵/۸ | C |
| PG | ۱۷ | ۰/۳۹ | ۱۶/۱۴ | C |

P روش چاهک وارونه، PG روش دو عمقي، S روش تک عمقي، L روش لاپلاس و R روش رگرسيون پايه‌اي ريچاردز مي باشد.
ميانگين‌هاي داراي حروف يکسان در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معني داري (P≤ ۰/۰۵) ندارند.

جدول ۴- تجزيه و تحليل مقادير $\alpha^*(m^{-1})$ و $\phi_m(m^2/s)$

| پارامترهاي آماري | $\alpha^*(m^{-1})$ | $\phi_m(m^2/s)$ |
|---|---|---|
| ميانگين | ۲۲/۴۴ | ۳/۳۲*۱۰ $^{-5}$ |
| حداقل | ۰/۷۷ | ۵/۰۰۷*۱۰ $^{-6}$ |
| حداکثر | ۹۰/۱۵ | ۸/۸٤*۱۰ $^{-5}$ |
| انحراف معيار | ۲۸/۷۸ | ۲/۳۷*۱۰ $^{-5}$ |
| خطاي استاندارد | ۸/۳۰ | ٦/۸٤*۱۰ $^{-6}$ |
| ضريب تغييرات | ۱/۲۸ | ۰/۷۱٤ |
| چولگي | ۱/٦٥ | ۱/۰۳۷ |
| کشيدگي | ۱/۷٦ | ۱/٤٤ |

در روش تک عمقي مقدار ميانگين‌هاي حسابي و هندسي کمتر از ساير آناليزهاي گلف بدست آمده است. به نظر مي‌رسد علت ايجاد اين وضعيت اختلاف مقدار $\alpha^*$ (مقدار فرضي معادل ۱۲ $m^{-1}$) با مقدار α (مقدار واقعي بدست آمده از روش دو عمقي) باشد. به همين جهت مقادير $\alpha(m^{-1})$ و $\phi_m(m^2/s)$ از روش دو عمقي محاسبه و در جدول ۴ درج گرديده است. در تعدادي از چاهک‌ها با افزايش عمق استغراق، به علت افزايش ويا کاهش ناگهاني دبي نوسانات زيادي در $\phi_m$ بوجود آمده است و باعث افزايش ضريب تغييرات $\phi_m$ شده است. از طرفي به علت وابستگي $\alpha^*$ به $\phi_m$ و حساسيت زياد مقادير $\alpha^*$ نسبت به تغييرات افت سطح آب در پرمامتر گلف ميزان ضريب تغييرات $\alpha^*$ بسيار زياد شده است. مقدار ميانگين α بدست آمده از روش دو عمقي برابر ۲۲/٤٤ مي‌باشد که با مقدار فرضي۱۲= $\alpha^*$ (مقدار پيشنهاد شده به عنوان اولين تخمين مناسب براي بيشتر خاکها) اختلاف دارد. البته از آنجا که حساسيت هدايت هيدروليکي به $\alpha^*$ کم است، تفاوت زيادي بين ميانگين مقادير $K_{GP}$ دو عمقي و $K_S$ تک عمقي ايجاد نشده است. لذا در مورد اين روش نيز مي‌توان گفت در صورت انتخاب مناسب مقدار $\alpha^*$، روش تک عمقي نيز روش معادلي با روش دو عمقي خواهد بود.

## نتيجه گيري

با در نظر گرفتن اينکه روش چاهک وارونه متداولترين روش تعيين هدايت هيدروليکي در بالاي سطح ايستابي مي‌باشد، براي انتخاب مناسبترين روش تعيين هدايت هيدروليکي از بين آناليزهاي تک عمقي و دو عمقي پرمامتر گلف، مقادير اندازه‌گيري شده اين پارامتر از روش چاهک وارونه با روشهاي گلف مقايسه شد. برطبق اين تحقيق مشخص شد که آناليز لاپلاس، به علت فرض کاپيلاريته صفر و ناديده گرفتن محيط غير اشباع در اطراف چاهک، مقادير بسيار بيشتري نسبت به ساير آناليزها مي‌دهد. همچنين نتايج نشان داد که در سطح ۰/۰۵ تفاوت معني‌داري بين ميانگين آناليزهاي دوعمقي و رگرسيون پايه‌اي ريچاردز وجود ندارد و اين آناليزها براي اين نوع خاک لومي روشهاي معادلي هستند. همچنين نتايج نشان داد که مقادير هدايت هيدروليکي بدست آمده از روش چاهك معکوس بزرگتر از مقادير متناظر آناليزهاي گلف بوده است و تفاوت معني‌داري بين ميانگين نتايج روش چاهک وارونه و نتايج روش‌هاي دو عمقي، تک عمقي و رگرسيون پايه‌اي ريچاردز وجود دارد و تنها در صورتي که نتايج بدست آمده از روشهاي مذکور را در ضريب ۳ ضرب کنيم نتايج بدست آمده معادل نتايج روش چاهک وارونه خواهد شد. بر پايه نتايج، آناليز رگرسيون ريچاردز، مناسبترين روش تعيين هدايت هيدروليکي اشباع خاک لومي بوسيله پرمامتر گلف مي‌باشد. همچنين در صورت انتخاب مناسب مقدار $\alpha^*$، روش تک عمقي نيز روش معادلي با روش دو عمقي خواهد بود.

## سپاسگزاري

نگارندگان از راهنمايي‌هاي ارزشمند آقايان دکتر رضا اميري و دکتر محمود مشعل، اعضاي هيات علمي دانشگاه تهران، کمال تشکر را دارند.

## منابع مورد استفاده REFERENCES

۱. باي بوردي، م. ۱۳۷۸. اصول مهندسي زهکشي و بهسازي خاک. چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. عليزاده، ا. ۱۳۸۲. زهکشي اراضي، طرح و برنامه‌ريزي سيستم‌هاي زهکشي در کشاورزي. چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوي، ۴۴۸ صفحه.
۳. کشکولي، ح. ع. و م. مشعل، ۱۳۷۴. مقايسه روشهاي اندازه گيري صحرايي هدايت هيدروليکي در بالاي سطح ايستابي با روش گلف در دو نوع خاک مختلف در استان خوزستان. مجله علمي کشاورزي دانشگاه شهيد چمران اهواز- جلد هجدهم، ۲۴-۱.
۴. کشکولي، ح. ع.، ح. ميربهرسي و م. نوري امامزاده‌اي، ۱۳۸۰. استفاده از آناليزهاي تک عمقي و چند عمقي گلف براي تعيين هدايت هيدروليکي و ضريب $\alpha$ و مقايسه آن با روش چاهک. مجله انجمن خاکشناسي ايران، گزيده مقالات ارائه شده درهفتمين کنگره علوم خاک ايران،۸۴-۸۲.
5. Darcy, J.D., A.D. Ward, N.R. Fausey & E.S. Bair. 1990. A comparison of four field methods for measuring saturated hydraulic conductivity. Trans. Of the ASAE., 33: 1925-1931.
6. Elrick, D.E., W.D. Reynolds & K.A. Tan. 1989. Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated zone using improved well analysis. Ground water moint. Rev. 9: 184-193.
7. Gardner, W.R. 1958. Some steady- state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from water table. Soil Sci. 85: 228-232.
8. Gupta, R.K., R.P. Rudra, W.T. Dickinson, N.K. Patni, & G. J. Wall. 1993. Comparison of saturated hydraulic conductivity measured by various field methods. Trans. Of the ASAE., 36: 51-55.
9. Hayashi, M. & L.Q. William. 2004. A constant- head well permeameter method for measuring field-saturated hydraulic conductivity above an impermeable layer. Canadian journal of soil science.255-264.
10. Kanvar, R. S., H. A. Rizvi, M. Ahmad, R. Horto & S. J. Marley. 1989. Measurements of field saturated hydraulic conductivity by using Guelph permeameter. Trans. ASAE 32: 1885-1890.
11. Lee D.M. 1984. A comparison of methods for measuring the saturated hydraulic conductivity of four field soils having a range of textures. M. Sc. Thesis, Uni V. of Guelph, Canada
12. Lee D.M., W.D. Reynolds, D.E. Elrick & B.E. Clothier, 1985. A comparison of three methods for measuring field-saturated hydraulic conductivity. Soil Sci. 65: 563-573.
13. Mirijat, M. S. & R. S. Kanvar. 1994. A comparison of two saturated hydraulic conductivity measuring techniques in relation to drain installation methods. Appl. Eng. Agric. 10: 65-68.
14. Mohanty B.P., R.S. Kanwar & C. J. Everts. 1994. Comparison of field-saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till. Soil Sci Soc. Am.J. 58: 672-677.
15. Philip, J.R. 1968. Absorp and infiltration in two- and three- dimensional system. In water in the unsaturated zane. R.E. Rijitema and H. Wassink (eds). LASH/AIHS (Vnesco)Symp., Wagening en, Vol. 1, PP.503-525.
16. Philip, J.R. 1969. Theory of infiltration. Adv. Hydrosci. 5: 215-296.
17. Philip, J.R. 1985. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil. Water Resour. Res.21:1025-1033.
18. Reynolds, W.D., D.E. Elrick, & J.C. Topp. 1983. Arexamination of the constsnt head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. Soil Sci. 136: 250-268.
19. Reynolds, W.D., D.E. Elrick, N. Bumgratner, & B.E. Clothier. 1984. The Guelph permeameter for measuring the field saturated soil hydraulic conductivity above the water table: 2 the apparatus. Proc. Canadian Hydrology Symposium.

20. Reynolds, W.D. & D.E. Elrick. 1985. In situ measurement of saturated hydraulic conductivity sorpitivity $\alpha$ parameter using Guelph permeameter. Soil Sci. 140(4): 292-302.
21. Reynolds, W.D. & W.D. Zebchuk. 1996. Hydraulic conductivity in a clay soil two measurement techniques and spatial characterization. Soil Sci Soc. Am.J. 60: 1679-1685.
22. Stephens, D.B., K. Lamert & D. Waston. 1987. Regression models for hydraulic conductivity and field test of the borehole permeamater. Water Resour. Res. 23: 2207-2214.
23. Stephens, D.B. & S.P. Neuman. 1982. Vadose Zone permeability tests. Summary. Am.Soc. Cn.Eng. proc. J. Hydrol. Div. 108:623-639.
24. Talsma, T. & Hallam. P.M. 1980. Hydraulic conductivity measurement of forest catchment. Aust, J. Soil Res., 18: 139-148