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

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

عبدالله 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 پرامتر 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 پرامتر 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 (α^*)، روش تک عمقي نيز روش معادلي با روش دو عمقي خواهد بود.

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

مقدمه

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

روش چاهک وارونه

در اين روش فرض مي‌شود كه آب از ديواره‌ها و كف 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 هيدروليكي بر حسب متر بر روز

r: شعاع چاهک بر حسب سانتيمتر

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

آناليزهاي پرامامتر گلف

با كاربرد روش نفوذسنج گلف كه توسط رينولدز و همكاران (۱۸، ۱۹) ابداع شد مقدار هدايت هيدروليكي اشباع (K_{fs}) را مي‌توان محاسبه نمود. در تئوري اوليه پرامامتر گلف، فشار منفذي صفر فرض گرديده يا به عبارتي تأثير محيط غير اشباع در اطراف چاهک ناديده گرفته شده بود. در نتيجه در عمل جواب‌هاي نادرستي بدست مي‌آمد كه 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 كردند. همچنين رينولدز و همكاران (۲۰) نشان دادند كه دبي ورودي به خاک به بار فشاري اوليه خاک غير اشباع (ψ_i) بستگي دارد. آنها با تخمين ضريب جذبي خاک (S) و شماره جذبي خاک α (پارامتري كه 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 همكاران آخرين پيشرفتهاي حاصله در روش خود را در سال ۱۹۸۹ ارائه كردند (۶). طبق نظر آنها كل جريان خروجي آب از چاهک را مي‌توان به صورت دو مؤلفه فشاري، يكي در جهت شعاعي وارد بر ديواره چاهک ($\overline{V}_{rp}$)، ديگري در جهت عمودي وارد بر كف چاهک ($\overline{V}_{zp}$) و همچنين به صورت يک مؤلفه ثقلي وارد بر كف چاهک ($\overline{V}_g$) دانست و اگر فرض شود كه جريان در حالت ماندگار اتفاق مي‌افتد و محيط متخلخل صلب، همگن و ايزوتوپ است و همچنين جريان نيمه نامحدود به حالت اشباع وجود دارد، كل جريان ماندگار آب از يک چاهک استوانه اي در يک عمق استغراق معين را بطور كلي 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 هيدروليكي اشباع خاک (متر بر ثانيه)، ϕ_m پتانسيل جريان ماتريک (متر مربع بر ثانيه)، Q_S دبي ثابت ورودي به چاهک(متر مكعب بر ثانيه) هنگامي كه عمق آب در چاهک H (متر) است، a شعاع چاهک (متر) و C ضريب تناسب بدون بعدي كه به نسبت $\frac{H}{a}$ بستگي دارد، به اين ضريب فاكتور شكل 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 كاپيلاري جريان» مي‌باشد (۲۰). از نظر فيزيكي ϕ_m، كاپيلاريته خاک يا توانايي خاک در جذب رطوبت را مشخص مي كند. با

1. Guelph permeameter

تشکیل دستگاه معادلات دو مجهولي و حل معادله براي دو عمق استغراق H_1 و H_2 مقدار K_{GP} و ϕ_m را مي‌توان تعیین نمود (۲). در روش دو عمقي ممکن است در اثر دست نیافتن به جریان ماندگار و ناهمگن بودن خاک، درصد بالايي از نتايج منفي K_{GP} و ϕ_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 α^* که از جداول ارائه شده بدست مي‌آيد (۱۷). رابطه (۳) در واقع همان رابطه K_{GP} است به جز اينکه مقدار α^* (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 α^* 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)

ω و β : 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 پرامتر 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 پرامتر 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 پرامتر 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).

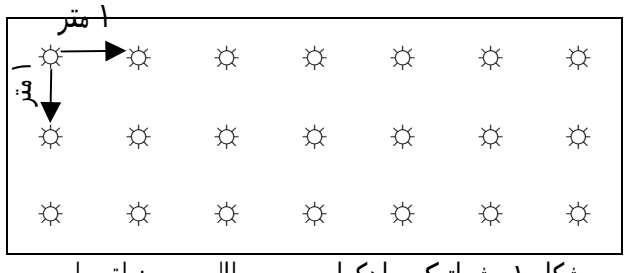
در اين تحقيق براي انتخاب مناسبترين روش تعيين هدايت هيدروليکي از بين آناليزهاي تک عمقي و دو عمقي پرامتر گلف، مقادير اندازه گيري شده اين پارامتر از روش چاهک وارونه، با روشهاي گلف مورد مقايسه قرارگرفت.

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 β و ω 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 ($P \le ۰/۰۱$) 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

ریچاردز بر پایه میانگین، دامنه تغییرات، ضریب تغییرات[1]، انحراف معیار[2] و خطاي معیار[3] با روش چاهک وارونه مقایسه شدند. در میان آنالیزهاي گلف آنالیز لاپلاس میانگین بسیار بیشتري نسبت به سایر آنالیزها دارد به نظر مي‌رسد این وضعیت به علت فرض α^* بینهایت (کاپیلاریته صفر) در آنالیز تک عمقي لاپلاس ایجاد شده باشد.

مطابق جدول ۲ میانگین آنالیزهاي دوعمقي و رگرسیون پایه‌اي ریچاردز بسیار نزدیک به هم هستند. البته آنالیز رگرسیون پایه‌اي ریچاردز انحراف معیار و خطاي معیار و دامنه تغییرات کمتري را نشان مي‌دهد. در روش تک عمقي مقدار میانگین‌هاي حسابي و هندسي کمتر از سایر آنالیزهاي گلف بدست آمده است. از طرفي روش تک عمقي نسبت به سایر آنالیزهاي پرامتر گلف داراي کمترین انحراف معیار و خطاي معیار و دامنه تغییرات مي باشد. همچنین همانطور که از جدول مشاهده مي شود مقدار K_P روش چاهک وارونه تفاوت زیادي با نتایج روش‌هاي دو عمقي، تک عمقي و رگرسیون پایه‌اي ریچاردز دارد به همین جهت در صورتي که نتایج بدست آمده از روشهاي مذکور را در ضریب ۳ ضرب کنیم نتایج بدست آمده معادل روش نتایج روش چاهک وارونه خواهد شد.

مقایسه میانگین روشهاي مختلف تعیین ضریب هدایت هیدرولیکي در جدول ۳ آورده شده است. به علت نامساوي بودن تکرارها در تیمارهاي مورد آزمایش از میانگین حداقل مربعات به جاي میانگین عادي استفاده شد. با توجه به این جدول مشاهده مي‌شود که در سطح ۰/۰۵ تفاوت‌معني‌داري بین میانگین آنالیزهاي دوعمقي و رگرسیون پایه‌اي ریچاردز وجود ندارد و این آنالیزها براي این نوع خاک لومي روشهاي معادلي هستند. براي تشریح این مسأله باید گفت در آنالیز رگرسیون پایه‌اي ریچاردز، بین مقادیر K_{GP} دو عمقي و K_L لاپلاس رابطه‌اي رگرسیوني برقرار مي‌شود و در این حالت امکان دستیابي به نتایج صحیح و منطقي ایجاد مي‌گردد. به همین جهت آنالیز دو عمقي و آنالیز رگرسیون پایه‌اي ریچاردز براي این نوع خاک لومي روشهاي معادلي هستند. همچنین در مقایسه میانگین روش چاهک وارونه با روشهاي گلف در سطح ۰/۰۵ تفاوت معني داري مشاهده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اعداد واقعي و لگاریتم طبیعي اعداد واقعي هدایت هیدرولیکي

منابع تغییرات	درجه آزادي	اعداد واقعي	لگاریتم طبیعي اعداد واقعي
		میانگین مربعات[1]	میانگین مربعات[1]
تکرار(بلوک)	۲۰	۹۵/۰۹**	۰/۴۳**
تیمار	۴	۸۲۲/۷۵**	۲/۷۱**
اشتباه آزمایشي	۶۸	۲۷/۳۳	۰/۰۹
ضریب تغییرات (%)		۳۳/۶۶	۱۱/۵۴

* * معني دار در سطح احتمال ۱%

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

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

جدول۲- خلاصه آمار توصیفي ضرایب هدایت هیدرولیکي

روشها	تعداد	میانگین حسابي		میانگین هندسي		خطاي معیار	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	دامنه تغییرات	
		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 رگرسیون پایه اي ریچاردز مي‌باشد.

جدول۳- مقايسه ميانگين روشهاي مختلف تعيين ضريب هدايت هيدروليكي

روشها	تعداد	ميانگين حداقل مربعات		گروهبندي دانكن[1]
		m/day	mm/hr	
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 يكسان در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معني داري ($P\leq$ 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 $^{-6}$
حداكثر	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	۱/٦۵	۱/۰۳۷
كشيدگي	۱/۷٦	۱/٤٤

در روش تک عمقي مقدار ميانگين‌هاي حسابي و هندسي كمتر از ساير آناليزهاي گلف بدست آمده است. به نظر مي‌رسد علت ايجاد اين وضعيت اختلاف مقدار α^* (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 كاهش ناگهاني دبي نوسانات زيادي در ϕ_m بوجود آمده است و باعث افزايش ضريب تغييرات ϕ_m شده است. از طرفي به علت وابستگي α^* به ϕ_m و حساسيت زياد مقادير α^* نسبت به تغييرات افت سطح آب در پرامتر گلف ميزان ضريب تغييرات α^* بسيار زياد شده است. مقدار ميانگين α بدست آمده از روش دو عمقي برابر ۲۲/٤٤ مي‌باشد كه با مقدار فرضي۱۲= α^* (مقدار پيشنهاد شده به عنوان اولين تخمين مناسب براي بيشتر خاكها) اختلاف دارد. البته از آنجا كه حساسيت هدايت هيدروليكي به α^* كم 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 α^*، روش تک عمقي نيز روش معادلي با روش دو عمقي خواهد بود.

نتيجه گيري

با در نظر گرفتن اينكه روش چاهک وارونه متداولترين روش تعيين هدايت هيدروليكي در بالاي سطح ايستابي مي‌باشد، براي انتخاب مناسبترين روش تعيين هدايت هيدروليكي از بين آناليزهاي تک عمقي و دو عمقي پرامتر گلف، مقادير اندازه‌گيري شده اين پارامتر از روش چاهک وارونه با روشهاي گلف مقايسه شد. برطبق اين تحقيق مشخص شد كه آناليز لاپلاس، به علت فرض كاپيلاريته صفر و ناديده گرفتن محيط غير اشباع در اطراف چاهک، مقادير بسيار بيشتري نسبت به ساير آناليزها مي‌دهد. همچنين نتايج نشان داد كه 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 كه مقادير هدايت هيدروليكي بدست آمده از روش چاهك معكوس 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 كه نتايج بدست آمده از روشهاي مذكور را در ضريب ۳ ضرب كنيم نتايج بدست آمده معادل نتايج روش چاهک وارونه خواهد شد. بر پايه نتايج، آناليز رگرسيون ريچاردز، مناسبترين روش تعيين هدايت هيدروليكي اشباع خاک لومي بوسيله پرامتر گلف مي‌باشد. همچنين در صورت انتخاب مناسب مقدار α^*، روش تک عمقي نيز روش معادلي با روش دو عمقي خواهد بود.

سپاسگزاري

نگارندگان از راهنمايي‌هاي ارزشمند آقايان دكتر رضا اميري و دكتر محمود مشعل، اعضاي هيات علمي دانشگاه تهران، كمال تشكر را دارند.

منابع مورد استفاده **REFERENCES**

۱. باي بوردي، م. ۱۳۷۸. اصول مهندسي زهكشي و بهسازي خاك. چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران.

۲. عليزاده، ا. ۱۳۸۲. زهكشي اراضي، طرح و برنامه‌ريزي سيستم‌هاي زهكشي در كشاورزي. چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوي، ۴۴۸ صفحه.

۳. كشكولي، ح. ع. و م. مشعل، ۱۳۷۴. مقايسه روشهاي اندازه گيري صحرايي هدايت هيدروليكي در بالاي سطح ايستابي با روش گلف در دو نوع خاك مختلف در استان خوزستان. مجله علمي كشاورزي دانشگاه شهيد چمران اهواز- جلد هجدهم، ۲۴-۱.

۴. كشكولي، ح. ع.، ح. ميربهرسي و م. نوري امامزاده‌اي، ۱۳۸۰. استفاده از آناليزهاي تك عمقي و چند عمقي گلف براي تعيين هدايت هيدروليكي و ضريب α و مقايسه آن با روش چاهك. مجله انجمن خاكشناسي ايران، گزيده مقالات ارائه شده درهفتمين كنگره علوم خاك 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 α 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