مقایسه روش‌های مختلف آنالیزهای پرمامترگلف با روش چاهک وارونه در عمق‌های مختلف جهت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

علی اصغرمیرزایی[۱*]، یاسر یکانی مطلق[۲]، غلامعلی سبعه[۳]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری آبیاری وزهکشی دانشگاه تبریز Mirzaie62@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری آبیاری وزهکشی دانشگاه تبریز

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه رازی کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۶

چکیده

روش پرمامترگلف یک روش ساده اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بوده و در عین حال از پایه تئوری بسیار قوی برخوردار است با این حال تنها مشکل این روش، در آزمایشات دو عمقی می‌باشد که به علت ناهمگونی در حل معادلات، باعث ایجاد جواب‌های منفی و پوچ در بعضی از مقادیر K_{fs}می‌گردد، که این مشکل هم با آنالیزهای تک عمقی دستگاه گلف قابل حل است. این مطالعه بر مبنای نتایج به دست آمده حاصل از آنالیزهای تک عمقی روش گلف و آنالیز چند عمقی و مقایسه آن‌ها با نتایج حاصل از روش چاهک معکوس در سه عمق مختلف می‌باشد.در این تحقیق همچنین تغییرات عمقی هدایت هیدرولیکی خاک با هر دو روش چاهک معکوس و پرمامترگلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. آزمایش‌ها در ۳۰ چاهک و در سه عمق مختلف ٦٠، ۹۰ و ۱۲۰ انجام شد و همزمان با حفر چاهک‌ها نمونه برداری از محل حفر چاهک‌ها جهت انجام آزمایش‌های شناسایی انجام شد. نتایج آزمایشات نشان داد که آنالیزهای پرمامتر گلف مقدار هدایت هیدرولیکی را به میزان ۳ برابر در عمق ٦٠ سانتی متر و ٥ برابر در اعماق ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متری کمتر از نتایج به دست آمده از روش چاهک معکوس محاسبه می‌کند. در میان آنالیزهای مختلف پرمامترگلف، آنالیز لاپلاس بزرگ‌ترین مقادیر را به دست می‌دهد و نتایج به دست آمده از آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز دارای کم‌ترین میزان تغییرات بوده و به آنالیز دو عمقی بسیار نزدیک است. در اراضی مورد مطالعه تغییرات هدایت هیدرولیکی با عمق روندی نزولی دارد. اما این تغییرات ثابت نبوده و گرادیان این تغییرات نیز با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها : هدایت هیدرولیکی- پرمامترگلف- آنالیز تک عمقی -چاهک معکوس

Comparison of Various Guelph Permeameter Analyses and Inverted Auger Hole Method at Different Depths in Estimation of Hydraulic Conductivity of Saturated Soil

A. A. Mirzaiee[1], Y. Yekanimotlagh[2], G. A. Sabeh[3]

1- Phd student, Department of Water Engineering,Faculty of Agricalture,University of Tabriz
2- Phd student, Department of Water Engineering,Faculty of Agricalture,University of Tabriz
3- MSC student, Department of Water Engineering,Faculty of Agricalture,University of Razi Kermanshah

Received:14March2012 Accepted:5Feb.2013

Abstract

Hydraulic conductivity coefficient of saturated soil as one of its important physical properties indicates water movement in soil. However Guelph permeameter method is very simple, it has a robust theoretical fundamental. The main difficalty of the Guelph method is the double depth experiments which causes negative or irrational results in some of K_{fs} values because of its heterogeneous equations This difficalty can be resolved by single depth analyses of Guelph equation set. This research is based upon the results of single and multiple depth analysis of Guelph method in comparison to inverted auger hole method at three

different depths. Hydraulic conductivity depth variation was assessed by both inverted auger hole and Guelph permeameter methods. The experiments were performed in 30 holes at three different depths of 60, 90 and 120 centimeters and simultaneously the samplings were done at the holes for exploration experiments. The experimental results show that Guelphpermeameter analyses estimates three times at 60 centimeter depth and five times at 90 and 120 centimeters depth less than the results got by inverted auger hole method. Laplace analysis gets higher values and the results made by basic regression analysis of Richards have the least variations and were close to the two depth analysis. The variation of hydraulic conductivity had a decreasing trend with depths This lands. But, this variation was not constant and its gradient decreases through depth.

Keywords: Hydraulic conductivity, Guelph permeameter, Inverted auger hole, Single depth analyses

مقدمه

هدایت هیدرولیکی از خصوصیات بسیار مهم فیزیکی خاک است که کاربردهای وسیعی در علوم آب و خاک دارد به طوری که در اکثر پروژه‌های آبیاری و زهکشی، آب‌های زیرزمینی، برخی از پروژه‌های عمرانی، مهندسی رودخانه و محیط زیست، هدایت هیدرولیکی از ملزومات طراحی بوده و در هزینه اجرایی طرح‌ها تاثیر گذار است، به همین دلیل برآورد دقیق این ویژگی خاک حائز اهمیت است. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بسته به شرایط مختلف از قبیل جنس خاک، فاصله سطح آب زیرزمینی تا سطح زمین و غیره، روش‌های متفاوتی ارائه شده است. این روش‌ها به طور کلی در دو دسته روش‌های صحرایی و روش‌های آزمایشگاهی قرار می‌گیرند. روش‌های صحرایی بسته به موقعیت سفره آب زیرزمینی ممکن است در بالا یا زیر سطح ایستابی انجام شوند. روش‌های بالای سطح ایستابی هدایت هیدرولیکی را ۰/۵ تا ۳۲ برابر روش‌های زیر سطح ایستابی محاسبه می‌کنند. این تفاوت به دلیل متفاوت بودن کیفیت آب مصرفی با آب زیر زمینی، محبوس شدن هوا در خلل و فرج خاک در روش‌های بالای سطح ایستابی و متفاوت بودن الگوی جریان در دو روش فوق هستند (سهرابی، ۱۳۸۸). در روش‌های بالای سطح ایستابی، نمی‌توان خاک را به طور کامل اشباع کرد، بلکه درجه اشباع خاک ۲۵ درصد کمتر از اشباع کامل است، به همین دلیل هدایت هیدرولیکی اشباع به دست نمی‌آید و مقدار به دست آمده به هدایت هیدرولیکی اشباع صحرایی معروف است (رینولدزو همکاران[1]، ۱۹۸۵). در سال ۱۹۸۷ رینولدز و همکاران وسیله عملی و کم خرجی به نام پرمامترگلف ساختند که یک سیستم ماریوت ساده است و با استفاده از آن می‌توان هدایت هیدرولیکی اشباع(K_{fs})و پتانسیل ماتریک خاک(φ_m)را در هر عمقی در بالای سطح ایستابی محاسبه کرد (رینولدز و الریک، ۱۹۸۷). روش مذکور از مبنای تئوری قوی برخوردار است. تسریع در زمان انجام آزمایش، کاهش مصرف آب و کاهش نیروی انسانی به یک نفر در انجام آزمایش از جمله مزایای دیگر روش گلف می‌باشد (قبادیان و محمدی، ۱۳۸۹). در روش گلف دو فاکتور هدایت هیدرولیکی اشباع صحرایی (K_{fs})پتانسیل ماتریک جریان (φ_m) از حل همزمان دو معادله دو مجهولی مربوط به دو عمق استغراق به دست می‌آید که به روش آنالیز دو عمقی ریچاردز معروف است (رینولدز و زبچوک[2]، ۱۹۹۶).ناهمگن بودن دستگاه معادلات دو مجهولی و ضرایب ماتریس حداقل مجذورات باعث تولید جواب‌های منفی می‌گردد (فیلیپ[3]، ۱۹۸۵). برای جلوگیری از بروز جواب‌های منفی، الریک و همکاران[4] (۱۹۸۹) روش استغراق تک عمقی را پیشنهاد نمودند که می‌توان مقادیر K_{fs} و φ_m را با داشتن دبی ثابت خروجی از چاهک از یک عمق استغراق را به دست آورد و در نتیجه امکان بروز مقادیر منفی منتفی می‌باشد. آنالیزهای روش پرمامتر گلف شامل آنالیز تک عمقی لاپلاس، رگرسیون پایه‌ای ریچاردز، تک عمقی ریچاردز و دو عمقی ریچاردز می‌باشد. تا کنون محققین زیادی مبادرت به اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با روش پرمامتر گلف و چاهک معکوس نموده‌اند. کاسیانی[5] (۱۹۹۸) یک روش نیمه تحلیلی جدید برای روش پرمامتر با بار ثابت معرفی کرد که بر خلاف همه روش‌های تحلیلی منتشر شده، شرط مرزی درستی در چاهک در نظر می‌گرفت. کارپنا[6] و همکاران (۲۰۰۲) پرمامتر فیلیپدان (PD) را با روش آزمایشگاهی نفوذ سنج با بار ثابت (LP)و روش صحرایی پرمامتر گلف (GP) برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با هم مقایسه کردند. هدایت هیدرولیکی PD سه برابر هدایت LP و هدایت LP سه برابر هدایت GP بود. آن‌ها روش PD را روش ساده و دارای زمان کاربرد کم و کاربرد آسان توصیف کردند. جابرو و ایوانز[7] (۲۰۰۶) آنالیزهای ریچاردز و لاپلاس پرمامتر گلف را با راه حل گلور پرمامتر فشرده با بارثابت[8](CCPH)برای محاسبه هدایت هیدرولیکی اشباع صحرایی (K_{fs}) مقایسه کردند. راه حل‌های گلور و لاپلاس هیچ کدام تاثیر جریان کاپیلاری غیر اشباع را به حساب نیاورده و از این رو K_{fs} محاسبه شده تقریباً ۱/۵ تا ۲ برابر بزرگ‌تر از K_{fs} به دست آمده از روش ریچاردز بود.

1- Reynolds et al.

2- Reynolds and Zebchuk.
3- Philip
4- Elrick et al.
5- Cassiani
6- Carpena
7- Jabro and Evans
8- Compact Constant Head Permeameter

یاری و همکاران[1] (۲۰۰۶) مناسب بودن آنالیزهای پرامتر گلف را برای مناطق خشک و نیمه خشک ایران مطالعه کردند. برای این منظور هدایت هیدرولیکی محاسبه شده از روش گلف با نتایج حاصل از روش چاهک معکوس مقایسه گردید. نتایج نشان داد آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز بهترین آنالیز در خاک‌های لومی با روش گلف می‌باشد. کشکولی و همکاران در (۱۳۸۵) آنالیزهای تک عمقی پرامتر گلف را برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع در یک خاک با بافت متوسط را با هم مقایسه کردند و مشخص گردید که برای به دست آوردن جواب‌های صحیح می‌توان از آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز استفاده نمود. همچنین به علت بالا بودن انحراف معیار مقادیر α^* در آزمایش‌های گلف، بهتر است که مقدار آن را ثابت در نظر گرفت. درزی و همکاران (۱۳۸۵) روش چاهک وارونه را با آنالیزهای پرامتر گلف در خاک لومی با هم مقایسه کرده و دریافتند که تفاوت معنی دار بین میانگین نتایج روش چاهک وارونه و نتایج روش‌های دو عمقی، تک عمقی و رگرسیون پایه‌ای ریچاردز وجود دارد و تنها در صورتی که نتایج به دست آمده از روش‌های مذکور را در ضریب سه ضرب کنیم، نتایج به دست آمده معادل نتایج روش چاهک وارونه خواهد شد. سهرابی و همکاران (۱۳۸۹) تاثیر روش‌های مختلف حل ضریب چاهک را در آنالیز دو عمقی پرامتر گلف مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد چنانچه در محاسبه K_{fs} از ضریب چاهک با روش پورشه استفاده شود، کم‌ترین تعداد نتایج منفی به دست می‌آید. قبادیان و محمدی (۱۳۸۹) روش‌های مختلف آنالیز پرامتر گلف را جهت محاسبه هدایت هیدرولیکی خاک لوم سیلتی با هم مقایسه کردند. نتایج تحقیقات نشان داد از بین روش‌های آنالیز تک عمقی، نزدیک‌ترین روش به روش آنالیز دو عمقی، روش رگرسیون پایه‌ای ریچاردز می‌باشد.

مبانی نظری

آزمایش چاهک معکوس در بالای سطح ایستابی انجام گردیده و در منابع فرانسوی به نام پورشه معروف است. این روش شامل حفر چاهک در یک عمق معین و پر کردن آن به وسیله آب تا عمق مورد نظر و اندازه گیری میزان نفوذ آب می‌باشد. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر از سادگی خاصی برخوردار می‌باشد

$$K = 1.15r\frac{log\left[h(t_1)+\frac{r}{2}\right]-log\left[h(t_n)+\frac{r}{2}\right]}{t_n-t_1} \qquad (۱)$$

که در آن، K: ضریب هدایت هیدرولیکی (سانتی متر بر ساعت)، r: شعاع چاهک (سانتی متر)، $h(t_1)$ و $h(t_n)$: سطح آب در زمان اولیه و ثانویه (سانتی متر)، t_1 و t_n : زمان اولیه و ثانویه می‌باشد.

با کاربرد روش نفوذ سنج با بار ثابت که توسط تالسما و حلام (۱۹۸۰) و سپس توسط رینولدز و همکاران۱۹۸۳ و رینولدز و الریک ۱۹۸۷ تکمیل شد. به طوری که آنالیزهای روش پرامترگلف بسط داده شده و بهبود یافتند که شامل رویه‌های تک عمقی، دو عمقی و چند عمقی می‌شوند (رینولدز و همکاران، ۱۹۸۵; رینولدز و الریک، ۱۹۸۶; الریک و همکاران، ۱۹۸۹). این آنالیزهای به روز شده هر سه مؤلفه جریان خروجی از چاهک را در نظر می‌گرفتند و در نتیجه مقادیر دقیق‌تری از K_{fs} به علاوه تخمین هم زمان پارامترهای کاپیلاریته ارائه می‌دادند.

آنالیز تک عمقی توسعه یافته (که مستقیما با آنالیز تک عمقی گلور قابل مقایسه است) K_{fs} را با این رابطه محاسبه می‌کند:

$$K_{fs} = \frac{C_w Q_s}{\left[2\pi H^2 + C_w \pi a^2 + \left(2\pi \frac{H}{\alpha^*}\right)\right]} \qquad (۲)$$

H:ارتفاع آب در چاهک (متر)، a: شعاع چاهک Q_s :دبی مربوط به عمق استغراق H که از چاهک خارج می‌شود(متر مکعب بر ثانیه).

a^*: نماینگر میزان تاثیر عوامل اشباع و غیر اشباع خاک در اطراف محل چاهک است که با توجه به نوع بافت و ساختمان خاک تخمین زده می‌شود. C_w فاکتور بدون بعد شکل چاهک است، که به نسبت H/a و بافت خاک بستگی دارد (قبادیان و محمدی ۱۳۸۹).

در آنالیز دو عمقی پرامترگلف اگر دو عمق استغراق H_1 و H_2 در یک چاهک موجود باشد، در نتیجه دو شدت جریان Q_1 و Q_2 به دست می‌آید. با توجه به اینکه K_{fs}، α^*، φ_m و S برای هر دو معادله ثابت است، می‌توان با حذف α^* مقدار K_{fs} را به دست آورد.

$$K_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \qquad (۳)$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi[2H_1H_2(H_2-H_1)+a^2(H_1C_2-H_2C_1)]} \qquad (۴)$$

$$G_1 = G_2\left(\frac{H_2C_1}{H_1C_2}\right) \qquad (۵)$$

که C_1 و C_2 مقادیر متناظر با H_1 و H_2 هستند.

و برای φ_m نیز به همین ترتیب:

$$\phi_m = J_1Q_1 - J_2Q_2 \qquad (۶)$$

$$J_1 = \frac{(2H_2^2+a^2C_2)C_1}{2\pi[2H_1H_2(H_2-H_1)+a^2(H_1C_2-H_2C_1)]} \qquad (۷)$$

1- Yari et al.

(۸)

$$J_1J_2 = J_1\left[\frac{(2H_1^2 + a^2C_1)C_2}{(2H_2^2 + a^2C_2)C_1}\right]$$

و پارامتر α^*:

$$\alpha^* = \frac{M_2Q_2 - M_1Q_1}{N_2Q_2 - N_1Q_1} \qquad (۹)$$

هر چند که آنالیز دو عمقی معروف به آنالیز ریچاردز به خوبی در خاک‌های ثابت و بدون ساختار نتیجه می‌دهد، ولی به علت وجود لایه‌های مختلف خاک و همچنین ترک‌ها و حفره‌های موجود در خاک که منجر به توقف یا کاهش دبی می‌شود درصد بالایی از مقادیر پوچ و منفی K_{fs} و φ_m ایجاد می‌شود که غیر منطقی بوده و باید از آن‌ها صرف نظر کرد (ویلسون و همکاران[1]، ۱۹۸۹). این جواب‌های منفی به خاطر ناهماهنگ بودن دستگاه معادلات توام می‌باشد (الریک و همکاران، ۱۹۸۹). در چاهک‌هایی که با افزایش عمق، کاهش دبی یا توقف نفوذ آب به وجود آید مقادیر K_{fs} منفی خواهد شد و اگر با افزایش عمق افزایش ناگهانی دبی رخ دهد، باعث منفی شدن مقادیر φ_m خواهد گردید (مشعل و همکاران، ۱۳۸۵). مزیت آنالیز دو عمقی گلف این است که صرف نظر از مقادیر منفی K_{fs}، به علت فرضی نبودن مقادیر α^*، نتایج هدایت هیدرولیکی از دقت قابل اعتمادتری نسبت به سایر آنالیزهای گلف برخوردار است. آنالیز دو عمقی ریچاردز بستگی زیادی به عمق‌های استغراق H_1 وH_2 و مقادیر متناظر دبی ورودی به چاهک در این عمق‌ها دارد (الریک و همکاران، ۱۹۸۹). در نسبت‌های بالای H_2/H_1 حساسیت مقادیر محاسبه شده K_{fs} و φ_m به تغییرات Q_2/Q_1، کاهش یافته و در نتیجه در محدوده وسیع‌تری از Q_2/Q_1، نتایج آزمایش‌ها به صورت موفق خواهد بود. ضمن اینکه با افزایش نسبت H_2/H_1، تغییرات قابل توجهی در میانگین حسابی مقادیر K_{fs} و φ_m ایجاد نخواهد شد (مشعل و همکاران، ۱۳۸۵).

به دلیل وجود جواب‌های منفی و غیر منطقی در روش دو عمقی، الریک و همکاران (۱۹۸۹) روش استغراق تک عمقی را پیشنهاد کردند. در این روش مقدار α^* با استفاده از اطلاعات و انجام آزمایش‌های قبلی که در محل انجام گرفته است ثابت فرض می‌گردد و در معادله پرامتر به عنوان یک عدد ثابت قرار می‌گیرد و در نتیجه معادله دو مجهولی به معادله تک مجهولی تبدیل می‌گردد.

هدایت هیدرولیکی در آنالیز تک عمقی لاپلاس به صورت زیر قابل محاسبه است (رینولدز و الریک[2]، ۱۹۸۵) :

$$K_L = \frac{CQ}{2\pi H^2 + C\pi a^2} \qquad (۱۲)$$

که K_L تخمین لاپلاس از K_{Gp} است. در آنالیز لاپلاس فرض می‌گردد که کاپیلاریته خاک صفر بوده و در نتیجه α^* حذف گردیده و محیط غیر اشباع در اطراف چاهک نادیده گرفته می‌شود. به همین دلیل، K_L نتایج بسیار بالاتری از K_{fs} ارائه می‌دهد (درزی و همکاران، ۱۳۸۵). در آنالیز تک عمقی رگرسیون پایه‌ای ریچاردز مقدار K_{Gp} با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رینولدز و همکاران، ۱۹۹۲) :

$$K_R = \beta K_L^{\omega}\ ; \qquad \omega \geq 1 \qquad (۱۳)$$

که در آن K_R: تخمین رگرسیون پایه‌ای ریچاردز از مقدار K_{Gp}، K_L :تخمین لاپلاس از K_{Gp} و βو ω: پارامترهای بدون بعد هستند. مقادیر β و ω از طریق رگرسیون حداقل مربعات بین K_L و K_{fs} به دست می‌آید که K_{fs} با روش چند عمقی به دست آمده باشد. مقدار کاپیلاریته خاک توسط عدد بدون بعد ω نشان داده می‌شود:

$$(\alpha^*)^{-1} = \left[\frac{2H^2 + Ca^2}{2H}\right]\left[\frac{K_L}{\beta K_L^{\omega}} - 1\right] \qquad (۱۴)$$

در رابطه بالا اگر ω برابر یک باشد، آنگاه مقدار عددی α^* ثابت می‌شود. به عبارت دیگر کاپیلاریته خاک ثابت است. اگر $\beta=\omega=1$ باشد، آنگاه α^* به سمت بی نهایت میل کرده و مقدار کاپیلاریته خاک صفر است و اگر $\omega\geq1$ باشد، آنگاه $\alpha^*=f(K_L)$ و یا α^* تابعی از نفوذپذیری خاک خواهد بود (مختاران، ۱۳۸۳).

در آنالیز تک عمقی ریچاردز مقدار K_{Gp} با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (الریک و رینولدز[3]، ۱۹۹۲) :

$$K_S = \frac{CQ}{2\pi H^2 + C\pi a^2 + {2\pi H}/{\alpha_E^*}} \qquad (۱۵)$$

که K_s :تخمین آنالیز تک عمقی ریچاردز از مقدار K_{Gp} و

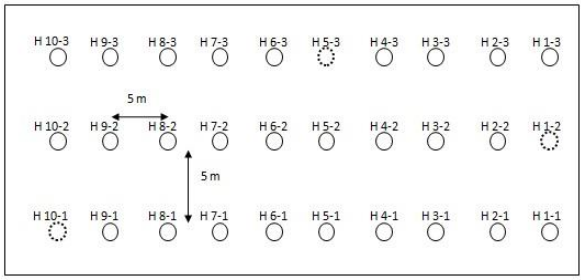
1- Wilson et al.

2- Reynolds and Elrick

3- Elrick and Reynolds



الف



ب

شکل ۱- الف: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

ب: شماتیک چاهک‌های مورد مطالعه

a_E^* : تخمین مقدار α^* از جدول ارائه شده توسط الریک و همکاران (۱۹۸۹) می‌باشد. رابطه (۱۴) در واقع همان رابطه K_{Gp} است به جز اینکه مقدار α^* (یا به عبارتی α_E^*) مشخص گردیده و در نتیجه یک معادله یک مجهولی بوده و از مقادیر منفی K_{fs} جلوگیری می‌کند.

در این تحقیق تغییرات عمقی هدایت هیدرولیکی خاک با روش چاهک معکوس و آنالیزهای مختلف پرامترگلف مورد بررسی قرار گرفته که در تحقیقات قبلی مورد توجه نبوده است، بدین منظور از آنالیزهای مختلف پرامتر گلف شامل آنالیزهای تک عمقی و چند عمقی پرامتر با نتایج حاصل از روش چاهک معکوس در سه عمق مختلف مورد بحث قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق منطقه‌ی مورد بررسی در استان مرکزی در جنوب شرقی شهرستان ساوه بین ´ ۴۵ °۳۴ تا ´ ۱۰ °۳۵ عرض شمالی ´ ۱۰ °۵۰ تا ´ ۵۰ °۵۰ طول شرقی واقع گردیده است. برای این منظور ۳۰ چاهک در سه ردیف، به فواصل ۵*۵ متر مطابق شکل (۱) برای انجام آزمایش ها حفر گردید.

در این تحقیق برای طبقه بندی بافت خاک از دو روش هیدرو متری و از روش طبقه بندی بر اساس سیستم یونیفاید استفاده شد. بدین منظور در محدوده مورد مطالعه، تعداد ۱۲ آزمایش هیدرو متری در اعماق۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی متر و در سه تکرار در چاهک‌های H 1-2، H 5-3 و H 10-1 بر اساس استاندارد ASTM انجام شد. پس از ترسیم منحنی دانه بندی برای هر یک از ۱۲ آزمایش، درصد رس، سیلت و ماسه بر اساس روش وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) تعیین و نهایتاً طبقه بندی خاک به روش مثلث بافت خاک انجام شد. برای رده بندی خاک در سیستم یونیفاید، علاوه بر منحنی دانه بندی، پارامترهای خمیرایی خاک نیز شامل حد روانی (LL) و شاخص خمیرایی (PI)، برای تعیین گروه خاک استفاده می‌شود لذا برای تعیین حدود اتربرگ خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک از سه چاهک و در چهار عمق مختلف استفاده شد.

به منظور دسترسی به اهداف تحقیق، آزمایش‌های چاهک معکوس و پرامترگلف در چاهک‌هایی به عمق ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ سانتی متر، جهت بررسی روند تغییرات عمقی هدایت هیدرولیکی انجام گرفت.

آزمایش های پرامترگلف در چاهک به ازای سه عمق استغراق ۵، ۱۵و ۲۵ سانتی متری انجام شد. در این تحقیق به منظور داشتن حداقل جواب‌های منفی حالت‌های مختلف در نظر گرفته شد بدین صورت که به روش سه عمقی و دو عمقی مقادیر K_{fs} و φ_m محاسبه شد و حالتی که بیشترین چاهک موفق در برآوردن پارامترهای اشاره شده را داشت به عنوان مبنای محاسبات قرار گرفت.

بدین صورت که در چاهک با عمق ۶۰ سانتی متری $h_1= 5$ $h_2= 25$ با ۱۵ چاهک موفق و در عمق ۹۰ سانتی متری $h_1=15$ $h_2=25$, با ۱۶ چاهک موفق و در عمق ۱۲۰ سانتی متری $h_1=15$, $h_2=25$با ۱۹ چاهک موفق مبنای محاسبات قرار گرفت. همچنین آنالیز واریانس و بررسی اختلاف بین آنالیزهای پرامتر گلف و همچنین روش چاهک معکوس در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گردید.

نتایج و بحث

طبق نتایج به دست آمده از آزمایش‌های هیدرومتری، بافت خاک منطقه سنگین و از نوع رسی می‌باشد. همچنین بر طبق طبقه بندی یونیفاید، خاک منطقه مورد آزمایش در اعماق مختلف در گروه ML قرار می‌گیرد که از خصوصیات این منطقه می‌توان به لای و رس بسیار ریز غیر آلی، ماسه ریز رسی یا لای دار و لای رسی با خمیرایی اندک اشاره کرد.

آزمایش تعیین جرم مخصوص ظاهری در اعماق ۳۰ و ۶۰ و ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر در سه چاهک مختلف، نشان دهنده تغییرات میانگین جرم مخصوص ظاهری از ۱/۴۲ gr/cm در عمق ۳۰ سانتی تا ۲/۰۳ gr/cm^3 در عمق ۱۲۰ سانتی متر می‌باشد که نشان می‌دهد که با افزایش عمق، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد. برای تشخیص معنی دار بودن اختلاف بین مقادیر این پارامترها در اعماق مختلف آزمون LSD انجام گرفت که نشان داد بین مقادیر میانگین وزن مخصوص ظاهر خاک در اعماق مختلف در سطح یک درصد اختلاف معنی دار وجود دارد که این نشان دهنده این است که خاک با افزایش عمق متراکم‌تر شده و مقدار تخلخل آن کمتر می‌شود. طبیعی است که با کاهش تخلخل خاک، مقدار هدایت هیدرولیکی آن نیز کاهش می‌یابد. اندازه گیری مقدار مواد آلی خاک نشان داد که میزان مواد آلی خاک با افزایش عمق، از ۲/۴۴ درصد تا ۳/۶۶ درصد تغییر می‌کند که آزمون LSD برای معنی دار بودن تفاوت مقدار مواد آلی خاک در اعماق مختلف، اختلاف معنی دار بین مقدار مواد آلی در هر عمق با اعماق دیگر را نشان نداد. نتایج آزمایش‌های مقدار سدیم و کلسیم خاک نشان داد که میزان کلسیم خاک در عمق های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ با مقادیر آن در اعماق ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی متر در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار دارد، همچنین مقدار سدیم خاک در عمق‌های مختلف با هم اختلاف معنی دار نشان نداد.

آزمایش های چاهک معکوس در ۳۰ چاهک در سه عمق ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ سانتی متری انجام گرفت که در جدول (۱) نتایج آزمایش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی به روش چاهک معکوس در سه عمق مختلف مشخص شده است. به منظور بررسی اینکه آیا توزیع‌های فراوانی ضرایب آبگذری محاسبه شده با روش‌های مورد نظر دارای توزیع نرمال هستند از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف با استفاده از نرم افزار SPSS استفاده شد. نتایج نشان داد به ازای تمام مقادیر آبگذری با احتمال ۹۵درصد ($P>0/05$) فرض نرمال بودن داده‌ها در سه عمق به طور قطعی قابل قبول است. برای مشخص کردن اینکه مقادیر هدایت هیدرولیکی در عمق‌های مختلف دارای اختلاف معنی دار می‌باشند از نتایج جدول تجزیه واریانس استفاده شد که نشان داد اختلاف میانگین بین سه عمق مورد نظر این تحقیق در برآورد ضریب آبگذری وجود دارد. جهت بررسی اینکه اختلاف بین کدام عمق‌ها برقرار است از آزمون‌های LSD و دانکن استفاده شد. مطابق آزمون‌های LSD و دانکن مقدار هدایت هیدرولیکی به روش چاهک معکوس با افزایش عمق کاهش می‌یابد و بین مقادیر ضریب آبگذری در عمق ۶۰ سانتی متری با این مقادیر در اعماق ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر اختلاف معنی دار وجود دارد و بین مقادیر آن در اعماق ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متری اختلاف معنی دار مشاهده نشد.

آزمایش های تعیین هدایت هیدرولیکی به روش پرامترگلف در ۳۰ چاهک و در عمق‌های ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ سانتی متری با عمق‌های استغراق ۱۵،۵، ۲۵ سانتی متری در جدول (۲) تا (۴) ارائه شده است با توجه به عمق‌های استغراق و اینکه شعاع چاهک ۴ سانتی متر می‌باشد مقادیرc_3,c_2 c_1 به ترتیب ۰،۶۷،۱،۳۷، ۱،۸۳محاسبه شده است. آنالیز واریانس و بررسی اختلاف بین آنالیزهای پرامتر گلف و همچنین روش چاهک معکوس در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم افزار spss انجام شد با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس که برای عمق ۶۰ سانتی متری که در جدول (۵) آورده شده

و با توجه به اینکه عدد f که نشان دهنده اختلاف معنی دار بین برآورد هدایت هیدرولیکی بین روش‌های مورد نظر می‌باشد. که نتایج مشابه برای عمق‌های ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متری نیز بدست آمد که نشان دهنده اختلاف معنی دار بین برآورد هدایت هیدرولیکی در بین روش‌های انجام گرفته است. به همین جهت آزمون‌های LSD و دانکن برای تشخیص این مقدار اختلاف به کار رفت که در جدول (۶) (۷) نتایج آزمون LSD و دانکن در عمق ۶۰ سانتی متری آورده شده است طبق نتایج آزمون‌های LSD و دانکن در عمق ۶۰ سانتی متری آنالیزهای رگرسیون پایه‌ای ریچاردز، دو عمقی و تک عمقی ریچاردز با عمق استغراق ۲۵ سانتی متر در یک گروه بوده و با هم اختلاف معنی داری نداشته و آنالیزهای تک عمقی ریچاردز با اعماق استغراق ۵ و ۱۵ سانتی متر و لاپلاس نیز در یک گروه قرار گرفته و با هم اختلاف معنی داری ندارد قابل ذکر است که روش چاهک معکوس به تنهایی در یک گروه قرار گرفته و با آنالیزهای پرامتر گلف اختلاف معنی دار دارد در عمق ۹۰ سانتی متری نیز بنا بر آزمون دانکن به جز روش چاهک معکوس که به تنهایی در یک گروه قرار گرفته و همچنین آنالیز لاپلاس با اعماق استغراق ۵ و ۱۵ سانتی متر، بقیه آنالیزها در یک گروه قرار گرفته و اختلاف معنی داری با هم ندارند.

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی به روش چاهک معکوس در سه عمق

شماره چاهک	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)		
	۶۰Cm	۹۰Cm	۱۲۰Cm
۱-۱	۰/۲۵۹	۰/۱۷۱	۰/۱۰۴
۱-۲	۰/۳۴۳	۰/۲۹۲	۰/۲۸۱
۱-۳	۰/۳۶۱	۰/۳۵۸	۰/۳۴۵
۲-۱	۰/۲۱۷	۰/۱۴۰	۰/۰۶۹
۲-۲	۰/۴۵۲	۰/۳۴۴	۰/۳۳۳
۲-۳	۰/۲۹۵	۰/۲۲۵	۰/۱۹۲
۳-۱	۰/۳۵۴	۰/۲۳۸	۰/۱۵۷
۳-۲	۰/۴۱۳	۰/۳۴۶	۰/۳۲۲
۳-۳	۰/۲۰۸	۰/۱۴۸	۰/۱۳۰
۴-۱	۰/۳۹۲	۰/۳۰۹	۰/۲۶۵
۴-۲	۰/۲۳۰	۰/۱۶۲	۰/۱۰۷
۴-۳	۰/۲۴۵	۰/۱۸۱	۰/۱۷۷
۵-۱	۰/۲۱۸	۰/۱۵۵	۰/۱۴۷
۵-۲	۰/۳۱۱	/۲۴۰	۰/۲۲۱
۵-۳	۰/۲۹۴	۰/۲۲۶	۰/۱۷۸
۶-۱	۰/۳۵۲	۰/۳۰۶	۰/۲۹۰
۶-۲	۰/۴۲۹	۰/۳۰۷	۰/۲۷۳
۶-۳	۰/۲۷۳	۰/۲۶۱	۰/۲۵۰
۷-۱	۰/۳۳۵	۰/۲۶۰	۰/۲۰۹
۷-۲	۰/۲۶۹	۰/۲۲۴	۰/۲۰۷
۷-۳	۰/۱۷۲	۰/۱۵۳	۰/۱۳۶
۸-۱	۰/۳۵۸	۰/۲۶۸	۰/۲۴۷
۸-۲	۰/۲۸۱	۰/۱۶۷	۰/۱۰۷
۸-۳	۰/۲۶۵	۰/۲۴۳	۰/۲۲۸
۹-۲	۰/۳۷۱	۰/۱۹۷	۰/۳۵۱
۹-۳	۰/۳۳۵	۰/۳۴۸	۰/۱۹۱
۱۰-۱	۰/۴۷۳	۰/۲۴۳	۰/۳۰۱
۱۰-۲	۰/۳۷۸	۰/۳۴۱	۰/۲۷۷
۱۰-۳	۰/۲۶۹	۰/۲۶۴	۰/۱۸۳
میانگین	۰/۳۱۶	۰/۲۴۵	۰/۲۱۶

جدول ۲- نتایج ضریب آبگذری اشباع خاک حاصل از آنالیز مختلف پرامترگلف در چاهک‌های موفق در عمق ۶۰ سانتی متری

شماره چاهک	$K_L(m/day)$			K_R(m/day)			K_s(m/day)		
	۲ d ۱۵/۲۵	H=۵ cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm	H=۵ cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm	H=۵cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm
۱-۱	۰/۰۵۱	۰/۰۳۲	۰/۰۵۴	۰/۱۴۹	۰/۰۰۶	۰/۰۱۳	۰/۰۶۱	۰/۰۵۵	۰/۱۰۴	۰/۰۳۴
۳-۲	۰/۱۷۹	۰/۳۹۸	۰/۴۶۰	۰/۲۵۸	۰/۱۷۱	۰/۱۷۳	۰/۱۵۱	۰/۲۸۰	۰/۲۶۷	۰/۱۵۳
۲-۳	۰/۰۵۸	۰/۱۱۱	۰/۱۰۵	۰/۱۳۳	۰/۰۳۱	۰/۰۲۹	۰/۰۵۱	۰/۰۹۷	۰/۰۷۱	۰/۰۰۷
۳-۳	۰/۰۷۶	۰/۱۸۵	۰/۰۷۲	۰/۱۰۳	۰/۰۶۱	۰/۰۱۸	۰/۰۳۳	۰/۱۶۳	۰/۱۴۷	۰/۰۷۵
۲-۴	۰/۰۱۴	/۱۸۰	۰/۲۹۳	۰/۰۶۵	۰/۰۵۹	۰/۱۰۰	۰/۰۱۶	۰/۰۸۴	۰/۰۸۹	۰/۰۲۹
۲-۵	۰/۰۵۸	۰/۰۸۵	۰/۱۲۶	۰/۱۷۷	۰/۰۲۲	۰/۰۳۶	۰/۰۸۱	۰/۰۱۲	۰/۱۹۵	۰/۰۵۸
۳-۶	۰/۰۴۸	۰/۲۰۸	۰/۰۴۸	۰/۱۶۰	۰/۰۷۲	۰/۰۱۱	۰/۰۶۹	۰/۱۶۸	۰/۰۸۱	۰/۱۳۸
۱-۷	۰/۰۶۷	۰/۱۷۳	۰/۱۷۹	۰/۰۹۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۵	۰/۰۳۰	۰/۱۶۸	۰/۱۲۴	۰/۰۸۴
۲-۷	۰/۰۶۱	۰/۲۳۱	۰/۰۵۱	۰/۰۶۳	۰/۰۸۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۴۲	۰/۱۸۵	۰/۱۱۷
۱-۸	۰/۰۲۹	۰/۲۱۱	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹	۰/۰۷۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۸۳	۰/۱۴۳	۰/۱۰۷
۳-۸	۰/۰۸۱	۰/۲۲۶	۰/۲۱۱	۰/۱۶۲	۰/۰۸۰	۰/۰۶۷	۰/۰۷۰	۰/۰۰۱	۰/۱۰۶	۰/۱۵۸
۲-۹	۰/۰۶۷	۰/۰۵۰	۰/۱۳۷	۰/۰۶۸	۰/۰۱۱	۰/۰۳۹	۰/۰۱۷	۰/۰۶۰	۰/۰۵۱	۰/۰۸۶
۱-۱۰	۰/۰۶۳	۰/۱۳۹	۰/۱۲۴	۰/۱۴۷	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۰/۰۶۰	۰/۰۲۲	۰/۰۴۷	/۰۵۰
۳-۱۰	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۸	۰/۲۳۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۶	۰/۱۳۲	۰/۱۸۶	۰/۰۴۸	۰/۰۷۴
میانگین	۰/۰۶	۰/۱۶۵	۰/۱۴۱	۰/۱۳۱	۰/۰۵۶	۰/۰۴۴	۰/۰۵۶	۰/۱۰۸	۰/۱۱۸	۰/۰۸۳

جدول ۳- نتایج ضریب آبگذری اشباع خاک حاصل از آنالیز مختلف پرامترگلف در چاهک‌های موفق در عمق ۹۰ سانتی متری

شماره چاهک	$K_L(m/day)$			K_R(m/day)			K_s(m/day)		
	۲ d ۱۵/۲۵	H=۵ cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm	H=۵ cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm	H=۵cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm
۱-۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۲۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵
۱-۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹
۲-۳	۰/۰۰۱	۰/۳۸۲	۰/۳۰۲	۰/۱۸۶	۰/۰۵۵	۰/۰۶۸	۰/۰۷۷	۰/۱۶۱	۰/۱۹۷	۰/۱۴۰
۳-۱	۰/۰۵۷	۰/۴۲۰	۰/۱۷۷	۰/۱۳۱	۰/۰۶۱	۰/۰۳۷	۰/۰۴۹	۰/۱۷۷	۰/۱۱۶	۰/۰۹۹
۳-۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
۴-۱	۰/۰۰۳	۰/۰۵۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵
۵-۱	۰/۰۱۳	۰/۱۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۴۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰
۵-۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۹	۰/۰۲۲
۶-۲	۰/۰۲۴	۰/۰۳۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸
۶-۳	۰/۰۲۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۰
۷-۱	۰/۰۵۸	۰/۰۷۶	۰/۰۶۰	۰/۰۵۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۸	۰/۰۳۲	۰/۰۳۹	۰/۰۴۵
۷-۲	۰/۰۱۸	۰/۰۶۹	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۲۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴
۸-۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
۸-۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۳۶	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۲۱	۰/۰۲۴	۰/۰۲۰
۲-۱۰	۰/۱۲۳	۰/۱۶۱	۰/۱۲۷	۰/۱۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۶	۰/۰۴۷	۰/۰۶۸	۰/۰۸۳	۰/۰۹۵
۳-۱۰	۰/۰۵۵	۰/۰۷۳	۰/۰۵۸	۰/۰۵۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۳۸	۰/۰۴۳
میانگین	۰/۰۲۸	۰/۰۹۱	۰/۰۵۸	۰/۰۴۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۵

جدول ٤- نتایج ضریب آبگذری اشباع خاک حاصل از آنالیز مختلف پرمامترگلف در چاهک‌های موفق در عمق ۱۲۰ سانتی متری

شماره چاهک	K_L(m/day)			K_R(m/day)				K_s(m/day)		
	۲ d ۱۵/۲۵	H=۵ cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm	H=۵ cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm	H=۵cm	H=۱۵ cm	H=۲۵ cm
۱–۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴
۲–۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۹۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۹۵	۰/۰۰۱
۲–۲	۰/۰۱۰	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸
۲–۳	۰/۰۰۳	۰/۳۸۰	۰/۲۹۹	۰/۱۸۳	۰/۰۵۳	۰/۰۶۱	۰/۰۷۳	۰/۱۶۰	۰/۱۹۶	۰/۱۴۰
۳–۱	۰/۰۵۵	۰/۴۱۹	۰/۱۷۶	۰/۱۳۰	۰/۰۵۹	۰/۰۳۴	۰/۰۴۷	۰/۱۷۶	۰/۱۱۵	۰/۰۹۷
۳–۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
٤–۱	۰/۰۰۲	۰/۰۵۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲
٤–۲	۰/۰۱۲	۰/۱۱۵	۰/۰۵۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۱۹۹	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲
۵–۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹
۵–۳	۰/۰۲۷	۰/۰۱۲	۰/۰۲۶	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۹	۰/۰۲۰
٦–۳	۰/۰۲۲	۰/۰۹۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۸۴	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸
۷–۱	۰/۰۵۶	۰/۰۷۱	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۳۲	۰/۰۳۸	۰/۰۴۳
۷–۲	۰/۰۱۵	۰/۰۶۸	۰/۰۱۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳
۷–۳	۰/۰۲۴	۰/۰۵۸	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۵۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲
۸–۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
۸–۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰
۸–۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۸
۹–۲	۰/۰۲۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰
۱۰–۲	۰/۱۲	۰/۱۶۱	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲	۰/۰۴۴	۰/۰۶۶	۰/۰۸۳	۰/۰۹۴
میانگین	۰/۰۲۳	۰/۰۸	۰/۰۵۳	۰/۰۳۶	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۴۹	۰/۰۳۸	۰/۰۲

جدول ٥- تجزیه واریانس بین روش چاهک معکوس و پرمامتر گلف در عمق ٦٠ سانتی متر

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
تیمار	۰/۹۱۶	۱۰	۰/۰۹۲	۱۹/۸۲۰**
خطای آزمایشی	۰/۷۱۱	۱۵۴	۰/۰۰۵	
کل	۱/۶۲۷	۱۶۴		

در عمق ۱۲۰ سانتی متری، آنالیز لاپلاس با اعماق استغراق ۵ و ۱۵ سانتی متر با آنالیز تک عمقی ریچاردز در یک گروه و مابقی آنالیزها در یک گروه قرار گرفته و اختلاف معنی داری با هم ندارند و چاهک معکوس به تنهایی در یک گروه قرار گرفته که نشان می‌دهد چاهک معکوس اختلاف معنی داری در هر سه عمق با نتایج آنالیزهای پرامامتر گلف دارند. شایان ذکر است که بر اساس نتایج بدست آمده در عمق ۶۰ سانتی متری نتایج آنالیزهای پرامامترگلف ۳برابر و در عمق ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متری ۵ برابر کمتر از نتایج به دست آمده از روش چاهک معکوس می‌باشد که با نتایج بدست آمده توسط یاری و همکاران (۲۰۰۶)مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که آنالیز لاپلاس در هر سه عمق بزرگ‌ترین مقادیر میانگین را داراست که می‌توان آن را به دلیل در نظر نگرفتن کاپیلاریته خاک دانست.(رینولدز و همکاران ۱۹۸۵) . نتایج بدست آمده از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف نیز نشان داد داده‌ها در هر سه عمق از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند این نتایج با نتایج بدست آمده توسط کشکولی و همکاران (۱۳۸۵) و درزی و همکاران (۱۳۸۵) مطابقت کامل دارد.

جدول ٦- نتایج آزمون دانکن بین روش چاهک معکوس و آنالیزهای پرامامتر گلف در عمق ٦٠ سانتی متر

تیمار	N	مقدار آلفا = ۰/۰۵			
		۱	۲	۳	٤
Kr ۱۵	۱۵	۰/۰۴۸			
Kr ۵	۱۵	۰/۰۵۵			
Kr ۲۵	۱۵	۰/۰۵۷			
۲ d ۵,۲۵	۱۵	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸		
Ks ۲۵	۱۵	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳		
Ks ۱۵	۱۵		۰/۱۱۴	۰/۱۱۴	
Ks ۵	۱۵		۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	
Kl ۲۵	۱۵			۰/۱۳۴	
Kl ۱۵	۱۵			۰/۱۵۱	
Kl ۵	۱۵			۰/۱۶۳	
K auger	۱۵				۰/۳۱۹
Sig.		۰/۳۶۳	۰/۰۶۵	۰/۰۷۸	۱/۰۰۰

جدول ۷- نتایج آزمون LSD بین روش چاهک معکوس و آنالیزهای پرامتر گلف در عمق ۶۰ سانتی متر

(I) تیمار	(J) تیمار	میانگین اختلافات (I-J)	(I) تیمار	(J) تیمار	میانگین اختلافات (I-J)	(I) t تیمار	(J) تیمار	میانگین اختلافات (I-J)
۲ d ۵,۲۵	Kl ۵	-/۰۹۵*	Kl ۵	۲ d ۵,۲۵	/۰۹۵*	Kr ۱۵	۲d ۵,۲۵	-/۰۲۰
	Kl ۱۵	-/۰۸۳*		Kl ۱۵	/۰۱۱		Kl ۵	-/۱۱۵*
	Kl ۲۵	-/۰۶۶*		Kl ۲۵	/۰۲۹		Kl ۱۵	-/۱۰۳*
	Ks ۵	-/۰۵۰*		Ks ۵	/۰۴۵		Kl ۲۵	-/۰۸۶*
	Ks ۱۵	-/۰۴۶		Ks ۱۵	/۰۴۹*		Ks ۵	-/۰۷۰*
	Ks ۲۵	-/۰۰۵		Ks ۲۵	/۰۸۹*		Ks ۱۵	-/۰۶۶*
	Kr ۵	/۰۱۲		Kr۵	/۱۰۸*		Ks ۲۵	-/۰۲۵
	Kr ۱۵	/۰۲۰		Kr ۱۵	/۱۱۵*		Kr ۵	-/۰۰۷
	Kr ۲۵	/۰۱۰		Kr ۲۵	/۱۰۵*		Kr ۲۵	-/۰۰۹
	K auger	-/۲۵۱*		K auger	-/۱۵۶*		K auger	-/۲۷۱*
Kl ۱۵	۲ d ۵,۲۵	/۰۸۳*	Kl ۲۵	۲ d ۵,۲۵	/۰۶۶*	Kr ۲۵	۲ d ۵,۲۵	-/۰۱۰
	Kl ۵	-/۰۱۱		Kl ۵	-/۰۲۹		Kl ۵	-/۱۰۵*
	Kl ۲۵	/۰۱۷		Kl ۱۵	-/۰۱۷		Kl ۱۵	-/۰۹۴*
	Ks ۵	/۰۳۳		Ks ۵	/۰۱۵		Kl ۲۵	-/۰۷۶*
	Ks ۱۵	/۰۳۷		Ks ۱۵	/۰۱۹		Ks۵	-/۰۶۰*
	Ks ۲۵	/۰۷۸*		Ks ۲۵	/۰۶۰*		Ks ۱۵	-/۰۵۶*
	Kr ۵	/۰۹۶*		Kr ۵	/۰۷۸*		Ks ۲۵	-/۰۱۶
	Kr ۱۵	/۱۰۳*		Kr ۱۵	/۰۸۶*		Kr ۵	/۰۰۲
	Kr ۲۵	/۰۹۴*		Kr ۲۵	/۰۷۶*		Kr ۱۵	/۰۰۹
	K auger	-/۱۶۷*		K auger	-/۱۸۵*		K auger	-/۲۶۱*
Ks ۵	۲ d ۵,۲۵	/۰۵۰*	Ks ۱۵	۲ d ۵,۲۵	/۰۴۶	K auger	۲ d ۵,۲۵	/۲۵۱*
	Kl ۵	-/۰۴۵		Kl ۵	-/۰۴۹*		Kl ۵	/۱۵۶*
	Kl ۱۵	-/۰۳۳		Kl 15	-/۰۳۷		Kl ۱۵	/۱۶۷*
	Kl ۲۵	-/۰۱۵		Kl 25	-/۰۱۹		Kl ۲۵	/۱۸۵*
	Ks ۱۵	/۰۰۴		Ks 5	-/۰۰۴		Ks ۵	/۲۰۱*
	Ks ۲۵	/۰۴۴		Ks 25	/۰۴۰		Ks ۱۵	/۲۰۵*
	Kr ۵	/۰۶۲*		Kr 5	/۰۵۸*		Ks ۲۵	/۲۴۵*
	Kr ۱۵	/۰۷۰*		Kr 15	/۰۶۶*		Kr ۵	/۲۶۴*
	Kr ۲۵	/۰۶۰*		Kr 25	/۰۵۶*		Kr ۱۵	/۲۷۱*
	K auger	-/۲۰۱*		K auger	-/۲۰۵*		Kr ۲۵	/۲۶۱*
Ks ۲۵	۲ d ۵,۲۵	/۰۰۵	Kr ۵	۲ d ۵,۲۵	-/۰۱۲			
	Kl ۵	-/۰۸۹*		Kl ۵	-/۱۰۸*			

Kl ۱۵	-/۰۷۸*	Kl ۱۵	-/۰۹۶*
Kl ۲۵	-/۰۶۰*	Kl ۲۵	-/۰۷۸*
Ks ۵	-/۰۴۴	Ks ۵	-/۰۶۲*
Ks ۱۵	-/۰۴۰	Ks ۱۵	-/۰۵۸*
Kr۵	/۰۱۸	Ks ۲۵	-/۰۱۸
Kr ۱۵	/۰۲۵	Kr ۱۵	/۰۰۷
Kr ۲۵	/۰۱۶	Kr ۲۵	-/۰۰۲
K auger	-/۲۴۵*	K auger	-/۲۶۴*

*در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار وجود دارد.

بررسی اثر متقابل فاکتورهای عمق و روش اندازه گیری

تغییرات عمقی هدایت هیدرولیکی به دست آمده از آنالیزهای مختلف پرامامترگلف در مقایسه با روش چاهک معکوس مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل دو فاکتوره و بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در این طرح اثر فاکتور روش کـه شـامل آنالیزهـای مختلـف پرامامتر گلف در سه عمق استغراق است و به صورت میانگین هـر روش در سه عمق بیان می‌شود، اثر فاکتور عمق که میانگین تمام روش‌ها در هر عمق است و اثر متقابل این دو فـاکتور مـورد بررسـی قـرار گرفـت. جدول آنالیز واریانس در جدول (۸) آمده است. با توجه بـه جـدول آنـالیز واریانس اثر فاکتور عمق معنی دار شده که نشان دهنده وجـود اخـتلاف معنی دار بین مقادیر میانگین هدایت هیدرولیکی در هر عمق اسـت. اثـر روش نیز معنی دار شده و نشان دهنـده وجـود اخـتلاف معنـی دار بـین میانگین روش‌های مختلف در سه عمق است. اثر متقابل دو فاکتور معنی دار نشده که نشان دهنده این است که این دو فاکتور اثر متقابلی بر هـم ندارند. به عبارتی دیگر افزایش یا کاهش عمـق تـأثیری بـر روش‌هـای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی ندارد.

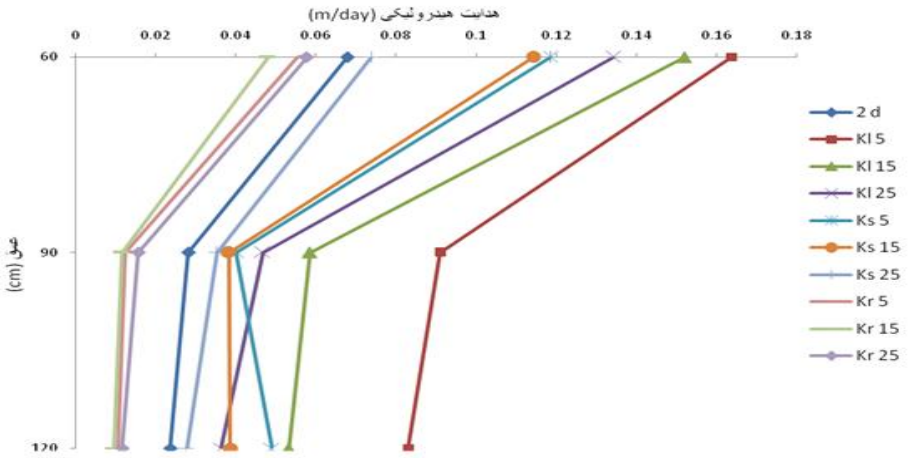
نتایج آنالیزهای پرامامترگلف در عمق‌های مختلف در شکل (۲) مشخص شده است همان‌طور که از شـکل مشـخص اسـت بـزرگ‌تـرین مقـادیر محاسبه شده هدایت هیدرولیکی از آنالیز لاپلاس و با عمـق اسـتغراق ۵ سانتی متر به دست آمده است. کم‌ترین مقادیر مربوط به آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز با عمق استغراق ۱۵ سانتی متر است. آنالیز تـک عمقـی ریچاردز با عمق‌های استغراق ۵ و ۱۵ سانتی متر با افزایش عمـق از ۹۰ به ۱۲۰ سانتی متر، افزایشی جزئی در مقدار هـدایت هیـدرولیکی دارنـد. همچنین میانگین مقادیر به دست آمده ضریب آبگذری از آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز به نتایج آنالیز دو عمقی نزدیک‌تر بوده و منحنی تغییرات عمق آن نیز به منحنی آنالیز دو عمقی بسیار شبیه است. قابل ذکر اسـت با توجه به تحقیقات انجام گرفته توسط قبادیان و محمدی (۱۳۸۹) مقدار میانگین بدست آمده از مقادیر α^* با فرض اولیه کـه توسـط رینولـدز و همکاران (۱۹۸۵) پیشنهاد گردیده است متفاوت می‌باشد و همین مسـئله باعث اختلاف مقادیر بدست آمده آنالیز تک عمقی ریچاردز بـا آنـالیز دو عمقی پرامامترگلف می‌باشد.

نتیجه گیری

در تحقیقات قبلی بررسی روند عمقی تغیرات هدایت هیدرولیکی در چاهک معکوس و قیاس آن با نتایج آنالیزهای مختلف پرامامترگلف در عمق‌های مختلف مورد توجه قرار نگرفته بود بدین منظور ۳۰ چاهک با عمق‌های مختلف ۶۰ ۹۰ ۱۲۰ سانتی متری حفر گردید و نتایج آزمایشات چاهک معکوس و پرامامترگلف استخراج گردید از میان آنالیزهای سه عمقی و دو عمقی پرامامترگلف در عمق ۶۰ سانتی متری ۱۵ چاهک موفق در عمق ۹۰ سانتی متری، ۱۶چاهک موفق و همچنین در عمق ۱۲۰ سانتی متری ۱۹ چاهک موفق بدست آمد تجزیه تحلیل آماری نشان داد که بین نتایج چاهک معکوس در عمق‌های مختلف با نتایج حاصل از آنالیزهای مختلف پرامامترگلف اختلاف معنی داری وجود دارد و آنالیزهای پرامامتر گلف مقدار هدایت هیدرولیکی را به میزان ۳ برابر در عمق ۶۰ سانتی متر و ۵ برابر در اعماق ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متری کمتر از نتایج به دست آمده از روش چاهک معکوس ارائه می‌دهد. همچنین در میان آنالیزهای مختلف پرامامترگلف، آنالیز لاپلاس بزرگ‌ترین مقادیر را به دست می دهدمی توان آن را به دلیل در نظر نگرفتن کاپیلاریته خاک دانست و همچنین نتایج به دست آمده از آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز در عمق‌های مختلف دارای کم‌ترین میزان تغییرات بوده و به آنالیز دو عمقی بسیار نزدیک است.

جدول ۸- تجزیه واریانس جهت بررسی تغییرات عمقی روش‌های محاسبه هدایت هیدرولیکی

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
Depth	۰/۴۹۵	۲	۰/۲۴۷	۶۴/۲۸۴**
Method	۲/۲۵۲	۱۰	۰/۲۲۵	۵۸/۵۱۰**
Depth*method	۰/۰۷۳	۲۰	۰/۰۰۴	۰/۹۴۳ Nσ
خطای آزمایشی	۱/۹۹۰	۵۱۷	۰/۰۰۴	
کل	۴/۷۷۵	۵۴۹		



شکل۲- تغییرات عمقی هدایت هیدرولیکی محاسبه شده از آنالیزهای مختلف پرامتر گلف

منابع

۱- درزی، ع.، شقاقی، م.، یاری ع. و ر، پهلوان. ۱۳۸۶. ارزیابی روش چاهک وارونه و آنالیزهای پرامتر گلف به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لومی. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۸(۱): ۹۲-۸۵.

۲- سهرابی، ح.، مشعل، م.، زارعی، ق. و شقاقی، م. ۱۳۸۹. تاثیر روش‌های حل مختلف ضریب چاهک در آنالیز دو عمقی گلف پرامتر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۲): ۲۴۱-۲۳۲.

۳- سهرابی، ح. ۱۳۸۸. بررسی اثر روشهای مختلف تعیین فاکتور شکل چاهک (C) بر نتایج هدایت هیدرولیکی با آنالیزهای گلف. پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۴- قبادیان، ر. و ک. محمدی. ۱۳۸۹. مقایسه روش های مختلف آنالیز پرامتر گلف جهت محاسبه ضریب هدایت هیدرولیکی صحرایی خاک لوم سیلتی در بالای سطح ایستابی. نشریه آب و خاک، ۲۴(۳): ۵۱۱-۵۰۱.

۵- کشکولی، ح.، ابن جلال، ر. و ر. مختاران. ۱۳۸۵. ارزیابی آنالیز های تک عمقی پرامتر گلف برای هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی در یک خاک با بافت متوسط. مجله علمی کشاورزی، ۲۹(۳): ۱۰-۱.

۶- مختاران، ر.۱۳۸۳. ارزیابی آنالیزهای تک عمقی پرامترگلف جهت تعیین سریع هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در یک خاک با بافت متوسط.

پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۷- مشعل، م.، شقاقی، م. و ز. زواره مقدم. ۱۳۸۵. بررسی عوامل مؤثر در بهبود اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از آنالیز دو عمقی گلف. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی ، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

8- Cassiani, G., 1998. A new method for interpretation of the constant-head well permeameter. Journal of Hydrology, 210:11-20.

9- Carpena, R., Regalado, C.M., Álvarez, B., and B. Javier. 2002. Field Evaluation of the New Philip-Dunne Permeameter for Measuring Saturated Hydraulic Conductivity. Soil Science: 167(1): 9-24.

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

11- Elrick, D. E. and W. D. Reynolds, 1992. Infiltration from constant head well permeameter and anfiltrometers. In G. C. Topp et al. Advances in measurement of soil physica; properties: Bringing theory into practice. Soil Science Society of America Journal, 30: 1-24.

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

13- Jabro, J.D. and Evans, R.G. 2006. Discrepancies between analytical solutions of two borehole permeameters for estimating field-saturated hydraulic conductivity. Soil & Water Division of American Society of Agricultural and Biological Engineers 161(11), 735-739.

14- Philip, J. R. 1985. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil. Water Resources Research. 21:1025-1033.

15- Reynolds, W. D. and D. E Elrick. 1986. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity–pressure head relationship. Ground Water Monitoring Review, 6: 84–95.

16- Reynolds, W.D. and Elrick, D.E. 1987. A laboratory and numerical assessment of the Guelph permeameter method. Soil science, 144:282-299.

17- Reynolds, W.D. and W. D. Zebchuk. 1996. Hydraulic conductivity in a clay soil two measurement techniques and spatial characterization. Soil Science Society of America Journal, 60: 1679-1685.

18- Reynolds, W. D., Elrick, D. E. and B. E Clothier. 1985. The constant head well permeameter effect on unsaturated flow, Soil Science, 139(2) : 172-180.

19- Reynolds, W. D., Elrick, D. E. and J.C. Topp. 1983. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. Soil Science, 136: 250-268.

20- Reynolds, W. D., Vieira S.R. and G.C. Topp.1992. An assessment of the single head analysis for constant head well permeameter. Canadian Journal of Soil Science, 72:489-501.

21- Talsma, T. and Hallam, P.M. 1980. Hydraulic conductivity measurement of forest catchments. Australian Journal of Soil Research, 18: 139-148.

22- Wilson, G.V., Alfonsi, J.M. and P.M. Jardine. 1989. Spatial variability of saturated hydraulic

conductivity of the subsoil of two forested watersheds. Soil Science Society of American Journal, 53:679-685.

23- Yari, A., Shaghaghi, M., Darzi, A. and R. Pahlavan,. 2006. The best method of Guelph analyses for measuring loamy soils saturated hydraulic conductivity. Journal of Applied Sciences, 6(12) : 2657-2661.