

**EXTENDED ABSTRACT**

**Calibration of the Guelph Permeameter Method Using Shallow Well Pump-in Test (SWPT) for Hydraulic Conductivity Measurement and Derivation of single depth Laplace and Richards Equation for a Loam Soil**

A. A. Naseri<sup>1\*</sup>, Z. Naderi<sup>2</sup> and H. Kashkuli<sup>3</sup>

- 1\* - Corresponding Author, Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (*abdalinaseri@yahoo.com*).
- 2- Former Grad. Student, Faculty of Water Sciences and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
- 3- Retired Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received: 14 May 2016

Revised: 15 June 2017

Accepted: 20 June 2017

**Keywords:** Saturated hydraulic Conductivity, Guelph Permeameter, Single Depth Analysis.  
**DOI:** 10.22055/jise.2017.17898.1298.

**Introduction**

Saturated hydraulic conductivity is a vital soil propriety in controlling infiltration and runoff, drainage, extracting pesticides, and herbicides from soil profile and transfer them to ground water. The auger-hole method is the most famous and the most common method to measure the hydraulic conductivity (K) that have been used normally for years. Using this method is possible where the water table is high and in a one-meter range from the soil surface. In the measurement of saturated hydraulic conductivity some problems occur when the water table of the soil is very deep. In arid and semi-arid areas especially in summer, the water table is so low making it impossible to use ideal methods. To determine the hydraulic conductivity rates of soils above the water table, different methods are used. These methods have always been faced with weakness in theoretical bases or practical problems as well as being time consuming and costly. One of these methods is the shallow well pump-in test which is the most adaptable method used for this purpose. However, a new method has been developed to measure the hydraulic conductivity above water table which is called the Guelph Permeameter method. As the Guelph method was introduced by Reynolds and Elricks (1985), great changes have been made in this field, and due to the strong theoretical bases, being less time-consuming and cheaper to perform, Guelph method attracted lots of attention. The aim of this research was to calibrate the Guelph Permeameter for the measurement of saturated hydraulic conductivity using the Shallow Well Pump-in Test (SWPT) method at an experimental farm in Shahid Chamran University of Ahvaz. This research examines the calibration of Guelph Permeameter method by using shallow depth pumping test method for a loam soil in this region.

**Materials and Methods**

The research was conducted in the experimental farm of Water Science Engineering Faculty of Shahid Chamran University of Ahvaz. For this research, some auger holes 30 and 60 centimeters deep were excavated in 5 meter intervals and altogether contained an area of 0.8 hectares. In order to

conduct the Guelph Permeameter test, 20 auger holes with different names were excavated with the intended depths and 5 auger holes with a depth of 1 meter were dug out in order to conduct the shallow depth pumping test. Moreover, in order to specify the type of soil texture, auger holes with the depth of 1 meter were excavated in 5 points of the testing area, and soil samples were taken from depths of (0-30) centimeters, (30-60) centimeters and (60-100) centimeters to be analyzed. After ramming and sieving the soil by hydrometric method, the percentage of its constituents were specified. Table (1) shows the results of the soil texture analysis.

**Table (1). Results of Soil Texture Analysis**

Type of soil texture	% clay	% Loam	% Sand	Depth of soil (cm)	Experiment location
Loam	22.1	41.80	36.1	0-30	Shahid Chamran University of Ahvaz
Loam	18.44	41.52	38.04	30-60	
Loam	18.95	42.00	38.35	60-100	

### Results and Discussion

The soil texture in this farm was loam. 20 wells with depths of 30 and 60 were used for the Guelph permeameter method, and 5 wells with a depth of one meter for (SWPT) method. The results indicated that at the Shahid Chamran University farm, there were 11 negative value of saturated hydraulic conductivity ( $K_{fs}$ ) and  $\phi_m$ . A single analysis of Laplace ( $K_L$ ) assuming zero capillarity and a single analysis of Richards with  $\alpha^* = 12$  and regression based Richards method ( $K_R$ ) were used for resolving the negative values. It was noticed that the geometric means for the regression based on Richards and the double depth method of Guelph were equal. It was also noted that the regression based on Richards's method had a lower standard deviation compared to other methods especially the two depth method. Coefficient for this analysis were derived using minimum square and mean  $\alpha^*$ . It was shown in this research that for correct results, regression based on Richards method can be used and due to a high standard deviation of  $\alpha^*$  values, it is better to table it as constant. The results showed that a loamy soil hydraulic conductivity with SWPT method was 80% higher than the Guelph method. Therefore, values of K from Guelph Method should be multiplied by 4.87 in loamy soils to be comparable to SWPT method results.

### Reference

1-Reynolds, W.D. and Elrick D.E., 1985. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity sorptivity, parameter using Guelph permeameter. *Soil Science*, 140(4), pp. 292-302.



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## واسنجی روش گلف با روش پمپاژ به داخل چاهک کم عمق (SWPT) برای اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی واستخراج معادله تک عمقی لاپلاس و ریچاردز برای یک خاک لوم

عبدعلی ناصری<sup>۱\*</sup>، زینب نادری<sup>۲</sup> و حیدرعلی کشکولی<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز abdalinaseri@yahoo.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استاد بازنشسته گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۳۰

بازنگری: ۱۳۹۶/۳/۲۵

دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۵

### چکیده

یکی از روش‌های مناسب برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در بالای سطح ایستابی، روش پرماترگلف است. هدف از این پژوهش، واسنجی روش پرماترگلف با استفاده از روش پمپاژ به داخل چاهک کم عمق (SWPT) برای یک خاک لوم بود. این تحقیق برای اعماق خاک ۳۰ و ۶۰ سانتی متری در مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. با انجام آزمایش گلف با استفاده از تحلیل دو عمقی می‌توان ضرایبی نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع ( $K_{fs}$ ) و پارامتر مربوط به خصوصیات خاک غیر اشباع ( $\alpha^*$ ) را، از حل دستگاه معادلات دو مجهولی به دست آورد. از آنجا که تعدادی از جواب‌های تحلیل دو عمقی گلف به علت ناهمگن بودن دستگاه معادلات توأم، غیرمنطقی می‌باشند، در این تحقیق از تحلیل‌های تک عمقی لاپلاس ( $K_L$ ) با فرض صعود موینگی صفر، تک عمقی ریچاردز با فرض  $\alpha^* = 12$  و تک عمقی رگرسیون پایه‌ای ریچاردز ( $K_R$ ) برای رفع جواب‌های غیرمنطقی دستگاه پرماترگلف استفاده شد. در این تحقیق مشخص گردید که به علت بالا بودن انحراف معیار مقادیر  $\alpha^*$  در آزمایش‌های گلف، بهتر است مقدار آن را ثابت در نظر گرفت. در اراضی مورد آزمایش با بافت خاک لومی، هدایت هیدرولیکی با روش پمپاژ به چاهک سطحی ۸۰ درصد بیشتر از هدایت هیدرولیکی با روش گلف به دست آمد. در صورتی که نتایج به دست آمده از روش گلف در ضریب ۴/۸۷ ضرب شوند، نتایج روش گلف معادل روش پمپاژ به چاهک سطحی خواهند بود. ضمناً بر پایه نتایج حاصله، روش گلف، مناسبترین روش تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در بافت لوم می‌باشد.

کلید واژه‌ها: هدایت هیدرولیکی اشباع، پرماترگلف، پتانسیل ماتریک خاک، تحلیل‌های تک عمقی.

### مقدمه

واقع گردید. به کمک روش گلف یک نفر قادر است به تنهایی هدایت هیدرولیکی را در بالای سطح ایستابی در مدت کمتر از یک ساعت برای اغلب خاک‌ها به انجام برساند (Mokhtaran, 2004). در روش گلف دو فاکتور هدایت هیدرولیکی اشباع صحرایی ( $K_{fs}$ ) و پتانسیل جریان ماتریکس ( $\phi_m$ ) از حل هم‌زمان دو معادله دو مجهولی مربوط به دو عمق استغراق به دست می‌آیند. با دو عمق استغراق متوالی در یک چاهک بر اساس قانون دارسی معادله جریان خروجی از چاهک به صورت معادله (۱) نوشته می‌شود.

$$Q_s = \left[ \left( \frac{2\pi H^2}{C} \right) + \pi a^2 \right] K_{fs} + \frac{(2\pi H/C)}{\phi_m} \quad (1)$$

که در آن  $H(m)$  ارتفاع آب در چاهک،  $Q_s(m^3/s)$  دبی ثابت خروجی از چاهک با عمق استغراق  $a(m)$  شعاع چاهک و  $C$

معروفترین و متداول‌ترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی ( $K$ ) روش چاهک می‌باشد که سالهاست به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zanger, 1953). استفاده از این روش در جاهایی امکان‌پذیر است که سطح ایستابی بالا و در محدوده یک متری سطح زمین باشد. در مناطق خشک و نیمه خشک به خصوص در فصل تابستان سطح ایستابی معمولاً بسیار پائین بوده و استفاده از روش چاهک امکان‌پذیر نمی‌باشد. به همین منظور، چندین روش برای اندازه‌گیری  $K$  در بالای سطح ایستابی تا کنون معرفی گردیده‌اند که همیشه با ضعف در مبانی تئوریک یا مشکلات عملی و بالا بودن زمان و هزینه انجام کار مواجه بوده‌اند (Kashkuli, 1992). با معرفی روش گلف توسط Reynolds و Elrick (1985) تحول بسیار مهمی در این زمینه صورت گرفت و روش گلف به دلیل برخورداری از مبانی تئوریک قوی، سرعت عمل در انجام آزمایش و هزینه بسیار کم مورد توجه

ساختمان خوب مقادیر  $\alpha^*$  بیشتری دارند. آزمون روش تک عمقی بر مبنای تکنیک پیشنهادی (Vieira et al., 1988) برای روش چند عمقی مورد استفاده قرار گرفته است. از ترکیب رابطه لاپلاس:

$$K_L = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2)} \quad (5)$$

با رابطه (۲) نتیجه می شود:

$$K_{fs} = \left[ \frac{2\pi H_m^2 + Ca^2}{2H_m^2 + Ca^2 + \frac{2H_m}{a}} \right] K_L \quad (6)$$

که در معادله (۶)،  $H_m$  (m) بیشترین عمق استغراق در چاهک است. مقایسه معادلات (۱)، (۲) و (۵) نشان می دهد که  $K_L$  تخمینی از هدایت هیدرولیکی اشباع در زمانی است که مؤلفه صعود مویبگی حذف شده باشد. در نتیجه  $K_L \geq K_{fs}$  (برای  $\psi_m \geq 0$ ). در ضمن مشاهده شده که رابطه بین  $K_L$  و  $K_{fs}$  یک رابطه مستقیم است، در صورتی که رابطه  $K_{fs}$  و صعود مویبگی معکوس می باشد. به عبارتی با افزایش  $\phi_m$  مقدار  $K_{fs}$  کاهش می یابد. Vieira et al. (1988) معادله (۶) را به صورت کلی زیر بیان کردند:

$$K_{fs} = \beta K_L^\omega \quad (7)$$

که در آن  $\beta$  و  $\omega$  پارامترهای بدون بعد هستند. آن ها معادله (۷) را با تغییراتی به صورت زیر ارائه نمودند:

$$\frac{1}{\alpha^*} = \frac{(2H_m^2 + Ca^2)}{2H_m} \left[ \frac{K_L}{K_{fs}} - 1 \right] \quad (8)$$

که پارامترهای  $\beta$  و  $\omega$  از طریق برازش با لگاریتم داده های  $K_L$  و  $K_{fs}$  به روش حداقل مجزورات، به دست می آیند. جفت داده های ( $K_L$  و  $K_{fs}$ ) برای این منظور از چاهک هایی انتخاب می شوند که به اصطلاح «موفق» نامیده شده اند و در آنها  $\phi_m$  و  $K_{fs}$  هر دو مثبت هستند. سپس معادله های (۵)، (۷) و (۸) در مورد همه چاهک ها بدون استثنا به کار رفته و تخمینی از  $K_{fs}$ ،  $\alpha^*$  و  $\phi_m$  به دست می آید. در این روش فرض می شود که پراکندگی آزمایش های دو عمقی موفق، به خاطر غیرهمگنی خاک در مقیاس کوچک بوده است. مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع به روش گلف در خاک های لومی و رسی توسط محققین بسیاری از جمله Lee et al. (1985)؛ Reynolds و Zhang et al. (1985)؛ Stephens et al. (1987)؛

فانتور شکل چاهک که بدون بعد می باشد. کاربرد روش تحلیل دو عمقی فوق که به روش «ریچاردز» معروف است (Reynolds et al., 1985)، در خاک های یکنواخت و بدون ساختمان رضایت بخش بوده ولی در مواردی که خاک ها غیریکنواخت و لایه لایه که حاوی درز و شکاف، کرم راهه و ریشه راهه باشد، درصد زیادی نتایج منفی و غیرمنطقی برای هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی ( $K_{fs}$ ) و پتانسیل فلوی ماتریکس ( $\phi_m$ ) تولید می کند (Reynolds et al., 1992). در یک خاک لوم با ساختمان کامل، در به دست آوردن جواب های مثبت و منطقی فقط ۲۷ درصد موفقیت داشتند. اطلاعات کنونی حاکی است که در حدود ۲۰ تا ۷۰ درصد جواب ها در اغلب خاک هایی که ساختمان کاملی دارند با موفقیت همراه است (Vieira et al., 1988).

ناهمگن بودن دستگاه معادله های دو مجهولی و ضرایب ماتریس حداقل مجزورات باعث تشدید این مشکل و تولید جواب های منفی می گردد (Elrick et al., 1989)؛ (Philip, 1987).

برای جلوگیری از بروز جواب های منفی Elrick et al. (1989) روش استغراق تک عمقی را پیشنهاد نمودند. در این روش معادله (۱) به صورت زیر بازنویسی می شود:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2 + 2\pi H/\alpha^*)} \quad (2)$$

$$\phi_m = \frac{CQ}{[(2\pi H^2 + C\pi a^2) \alpha^* + 2\pi H]} \quad (3)$$

$$\alpha^* = \frac{K_{fs}}{\phi_m} \quad (4)$$

در معادله های فوق، پارامتر مربوط به خصوصیات خاک غیر اشباع ( $\alpha^*$ ) از جدول (۱) تعیین و جایگزین می گردد، ضمناً پارامترهای این معادله ها در معادله (۱) تعریف شده اند. بنابراین می توان معادله های (۲) و (۳) را با داشتن  $Q_s$  از یک عمق استغراق به دست آورد و در نتیجه امکان حصول مقادیر منفی  $K_{fs}$  و  $\phi_m$  منتفی می باشد. مبنای فیزیکی روش تک عمقی ارتباط بین مقدار پارامتر مربوط به خصوصیات خاک غیر اشباع ( $\alpha^*$ )، صعود مویبگی خاک و نوع محیط متخلخل می باشد. مقدار پارامتر مربوط به خصوصیات خاک غیر اشباع ( $\alpha^*$ ) اهمیت نسبی مؤلفه های اشباع و غیر اشباع خاک اطراف را نشان می دهد (Reynolds et al., 1985). هر چه پارامتر مربوط به خصوصیات خاک غیر اشباع ( $\alpha^*$ ) کوچکتر باشد سهم دبی خروجی ثابت از پرماتر و در نتیجه تأثیر صعود مویبگی خاک بیشتر می شود.

نظر به این که خاک های ریزبافت و نیز خاک های بدون ساختمان، صعود مویبگی بالایی دارند، مقدار  $\alpha^*$  در آن ها کمتر است و به همین ترتیب خاکهای درشت بافت یا خاک های با

برای تعیین عمق لایه محدودکننده یا نفوذناپذیر Tu نیاز به یک چاهک مشاهده‌ای نزدیک چاهک آزمایش می‌باشد. از بازدید ظاهری هر لایه که به نظر می‌رسد هدایت هیدرولیکی خیلی کمتری نسبت به لایه بالا دارد، بایستی به‌عنوان یک لایه محدودکننده برای تعیین Tu استفاده شود. اگر یک آزمایش هدایت هیدرولیکی صحرائی در یک لایه نشان بدهد که آن لایه محدودکننده نیست، هدایت هیدرولیکی یا Tu بزرگتر دوباره بایستی محاسبه گردد.

هدف از این پژوهش، واسنجی روش پرماتر گلف با استفاده از روش پمپاژ به داخل چاهک کم عمق (SWPT) برای یک خاک لوم در منطقه خوزستان بود.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در اراضی مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. برای این تحقیق چاهک‌هایی به عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر در فواصل ۵ متری از هم حفر گردید که مساحتی معادل ۰/۸ هکتار را در بر گرفت. در محدوده آزمایشی، ۲۰ عدد چاهک به اسامی مختلف در اعماق مورد نظر، جهت انجام آزمایش پرماتر گلف و ۵ عدد چاهک به عمق یک متر جهت انجام پمپاژ به داخل چاهک سطحی (SWPT) حفر گردید، هم‌چنین جهت تعیین بافت خاک در ۵ قسمت از محل مورد آزمایش، چاهک‌هایی به عمق یک متر حفر شد که نمونه خاک در اعماق (۰-۳۰) سانتی‌متری، (۳۰-۶۰) سانتی‌متری و (۶۰-۱۰۰) سانتی‌متری جهت تجزیه بافت خاک برداشت شد که بعد از کوبیدن و الک کردن، با روش هیدرومتری، درصد مواد تشکیل دهنده‌ی آن‌ها مشخص گردید. سپس با استفاده از مثلث خاک، بافت خاک منطقه معلوم گردید. نتایج بافت خاک در جدول (۲) ارائه شده است.

Mohanty et al. (1988)؛ Darcy et al. (1990)؛ Reynolds et al. (1994)؛ Kashkuli و Zebchuk (1996)؛ Kashkuli و Mashal (1995) و Kashkuli et al. (2001) گزارش گردیده است. Reynolds et al. (1992) ارزیابی مفیدی از تحلیل تک عمقی پایه‌ای ریچاردز برای پرماتر گلف در چهار نوع خاک انجام دادند که مقدار پارامتر  $\alpha^*$  برای این چهار نوع خاک برابر  $11(m^{-1})$  برآورد گردید. هم‌چنین Reynolds و Zebchuk (1996) در یک خاک رسی سیلتی برای مقایسه دو روش چاهک و گلف، برای رفع جواب‌های غیرمنطقی در روش دو عمقی گلف از سه تحلیل تک عمقی لاپلاس، رگرسیون پایه‌ای ریچاردز و تحلیل تک عمقی ریچاردز استفاده کردند. در این مطالعه تحلیل رگرسیون پایه‌ای ریچاردز میانگین هندسی تقریباً نزدیکی نسبت به سایر روش‌ها با روش چاهک داشت.

### روش پمپاژ به درون چاهک کم عمق

برای محاسبه مقدار هدایت هیدرولیکی از معادله‌های زیر استفاده می‌شود:

$$K = \frac{1440 \ln\left(\frac{h}{r} + \left(\frac{h}{r}\right)^2 + 1\right) - 1}{2} Q \quad Tu > 3h \quad (9)$$

$$K = 1440 \frac{3 \ln\left(\frac{h}{r}\right)^h}{h(h + 2Tu)} Q \quad 3h > Tu > h \quad (10)$$

که در روابط فوق

K: ضریب آب‌گذری بر حسب متر در روز

Q: بده خروجی آب از منبع آب بر حسب مترمکعب در روز

h: عمق آب در چاهک در طول مدت آزمایش بر حسب متر

r: شعاع چاهک بر حسب متر

T<sub>u</sub>: فاصله سطح ایستایی یا لایه غیرقابل نفوذ بر حسب متر

### جدول ۱- تخمینی از مقادیر $\alpha^*$ برای انواع خاکها با بافت و ساختمان متفاوت (Reynolds et al., 1985)

Table 1- Estimated  $\alpha^*$  for soils with different texture and structure (Reynolds et al., 1985)

$\alpha^*$	Soil type
1	condensed clays
4	structure less and heavy texture clays
12	Most structured clay soils and clay loam soils and also structure less medium texture and fine sand and loam sand (First estimate suitable for most soils)
36	Coarse sand and gravel, strong structured soils with cracks and macro pores

### جدول ۲- نتایج تجزیه بافت خاک در منطقه مورد آزمایش

Table 2- Soil texture analysis results of experiment location

Type of soil texture	% clay	% Loam	% Sand	Depth of soil (cm)	Experiment location
Loam	22.1	41.80	36.1	0-30	Shahid Chamran University of Ahvaz
Loam	18.44	41.52	38.04	30-60	
Loam	18.95	42.00	38.35	60-100	

## نتایج و بحث

در محدوده آزمایشی، ۲۰ عدد چاهک به اسامی مختلف در اعماق مورد نظر جهت انجام آزمایش پرماتر گلف و پنج عدد چاهک به عمق یک متر برای انجام پمپاژ به داخل چاهک سطحی (SWPT) حفر گردید. آزمایش‌های پرماترگلف در کلیه چاهک‌های آزمایشی با دو بار ثابت ۵ و ۱۰ سانتی‌متری و در خاک سنگین با دوبار ثابت ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری برای هر چاهک انجام شد. در هر چاهک به ازای دو بار ثابت مقدار  $\bar{R}$  (افت ثابت سطح آب درون مخزن در واحد زمان) محاسبه شد. معادله‌های هدایت هیدرولیکی، پتانسیل ماتریک خاک و پارامتر آلفا بر اساس دستگاه معادلات دو مجهولی برای هر چاهک آزمایشی به صورت روابط ۱۱ الی ۱۳ خلاصه می‌شوند.

نتایج محاسبات  $K_{fs}$ ،  $\phi_m$  و  $\alpha^*$  بر اساس تحلیل دو عمقی پرماترگلف از حل دستگاه معادله‌های دو مجهولی در ۲۰ چاهک آزمایشی نشان داد که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و پتانسیل ماتریک. در محل آزمایش ۱۱ عدد چاهک آزمایشی دارای مقادیر منفی و پوچ (غیرمنطقی) از  $K_{fs}$  و  $\phi_m$  می‌باشند و تنها ۹ عدد چاهک دارای جواب معنی‌داری (منطقی) بودند. برای رفع جواب‌های غیر منطقی مقادیر  $K_{fs}$  و  $\phi_m$ ، حاصل از تحلیل دو عمقی پرماترگلف، از تحلیل‌های تک عمقی لاپلاس ( $K_L$ ) با فرض  $\alpha^* = \infty$ ، تحلیل رگرسیون پایه‌ای ریچاردز ( $K_R$ ) و تحلیل تک عمقی ریچاردز ( $K_S$ ) با فرض اولیه  $\alpha^* = 12$  به ازای بار ثابت ۱۰ سانتی‌متری استفاده گردید (جدول ۳). لازم به ذکر می‌باشد که برای تعیین  $K_R$ ، به روش حداقل مجزورات با

استفاده از نرم‌افزار SPSS مقادیر  $\omega$  و  $\beta$  به دست آمد ( $\omega = 1.048$  و  $\beta = 0.657$ ). در نقاطی که توزیع فراوانی نرمال برای خواص خاک مناسب تشخیص داده شد، از این توزیع برای بررسی و تعیین پارامترهای آماری روی داده‌های هدایت هیدرولیکی استفاده گردید. در بررسی توزیع فراوانی آماری، داده‌ها، با دو معیار تمرکز (میانگین حسابی و هندسی) و پراکندگی (واریانس، انحراف معیار) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از توزیع فراوانی نرمال برای منطقه مورد آزمایش در جدول (۳) ارائه شده است.

تمامی مقادیر  $K_{fs}$  و  $K_L$  و  $K_R$  و  $K_S$  که با احتمال ۹۵ درصد ( $P > 0.05$ ) فرض نرمال بودن آن‌ها قابل قبول می‌باشد، برای محاسبات در نظر گرفته شدند. همانطور که در جداول (۴) و (۵) مشاهده می‌گردد، تحلیل تک عمقی لاپلاس دارای مقادیر متوسط بسیار بیشتری نسبت به سایر تحلیل‌ها، به خصوص تحلیل دو عمقی گلف دارد. این، به علت فرض  $\alpha^*$  بی‌نهایت (صعود مویستگی صفر) در تحلیل تک عمقی لاپلاس می‌باشد. فرض  $H_0$  که برابر بودن میانگین‌ها می‌باشد، در سطح معنی‌دار بودن ۹۵ درصد، بین مقادیر متوسط هر سه تحلیل تک عمقی ریچاردز ( $K_S$ )، رگرسیون پایه‌ای ریچاردز ( $K_R$ ) و تحلیل دو عمقی گلف برقرار می‌باشد. با این وجود تحلیل رگرسیون پایه‌ای ریچاردز، میانگین هندسی تقریباً برابری با تحلیل دو عمقی گلف دارد. همچنین این تحلیل انحراف معیار (SD) و خطای استاندارد (SEM) بسیار کمتری نسبت به سایر تحلیل‌ها دارا می‌باشد.

$$K_{fs}(cm/sec) = (0.00425)(35.39)_{cm^2}(\bar{R}_2)cm/sec - (0.00554)(35.39)_{cm^2}(\bar{R}_1)cm/sec \quad (11)$$

$$\phi_m(cm/sec) = (0.0588)(35.39)_{cm^2}(\bar{R}_1)cm/sec - (0.9245)(35.39)_{cm^2}(\bar{R}_2)cm/sec \quad (12)$$

$$\alpha^* = \frac{K_{fs}}{\phi_m} \quad (13)$$

## جدول ۳- مقادیر توزیع نرمال بر روی داده‌های ضرایب آبگذری تحلیل‌های تک عمقی و دو عمقی گلف

Table 3- Normal distribution amounts of Gulph single and double depth analyses of hydraulic conductivity data

Coefficient of Variation	Standard Deviation	Geometric Mean	Arithmetic Mean	Hydraulic Conductivity Parameters
0.69	0.30	1.16	0.43	$K_{GP}$
0.57	0.56	1.27	0.98	$K_L$
0.55	0.18	1.12	0.33	$K_R$
0.55	0.26	1.17	0.48	$K_S$

$K_{GP}$ : Calculated hydraulic conductivity from double depth method of Guelph Permeameter

Elrick (1985) صورت گرفته، اولین و بهترین فرض برای اکثر خاک‌ها، فرض  $\alpha^* = 12$  می‌باشد. مقادیر  $\phi_m$  به‌دست آمده از روش دو عمقی پرماتر گلف در جدول (۵) اراضی مزرعه آزمایشی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در این اراضی مقادیر  $\phi_m$  انحراف معیار (SD) بسیار پایینی نسبت به مقادیر  $k_{fs}$  دارا می‌باشند. همچنین ضریب تغییرات مقادیر  $\phi_m$  نسبت به مقادیر  $\alpha^*$  و حتی  $k_{fs}$  بسیار کمتر می‌باشد، این مسئله نشان‌دهنده حساسیت پایین مقادیر  $\phi_m$  نسبت به تغییرات افت سطح آب در پرماتر گلف می‌باشد.

مقادیر  $\alpha^*$  به‌دست آمده از روش دو عمقی پرماتر گلف در جدول (۴) منعکس شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، این مقادیر دارای انحراف معیار و ضریب تغییرات بالایی می‌باشند. بالا بودن تغییرات و انحراف معیار داده‌ها به علت حساسیت بالای مقادیر  $\alpha^*$  نسبت به تغییرات افت سطح آب در پرماتر گلف می‌باشند. میانگین مقادیر  $\alpha^*$  به‌دست آمده در مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز معادل  $(m^{-1})$  ۱۴/۰۶ می‌باشد که با فرض اولیه ما یعنی  $\alpha^* = 12$ ، با احتمال ۹۵ درصد برابر می‌باشند. در مطالعاتی که توسط Reynolds و

جدول ۴- تجزیه و تحلیل مقدار  $\alpha^*$  در سایت آزمایشیTable 4- Analysis of  $\alpha^*$  Amount in Experiment site

Arithmetic Mean	14.06
Minimum	1.31
Maximum	32.34
Variance	112.88
Standard Deviation	10.33
Coefficient of Variation	75.6

جدول ۵- تجزیه و تحلیل مقدار  $\phi_m$  در سایت آزمایشیTable 5- Analysis of  $\phi_m$  amount in experiment site

Arithmetic Mean	$4.86 \times 10^{-7}$
Minimum	$6.07 \times 10^{-8}$
Maximum	$1.50 \times 10^{-6}$
Variance	$2.68 \times 10^{-13}$
Standard Deviation	$5.17 \times 10^{-7}$

جدول ۶- توصیف آماری ضریب هدایت هیدرولیکی

Table 6- Statistical descriptions of hydraulic conductivity coefficient

	$K_s$	$K_R$	K (SWPT)
Arithmetic Mean	$0.48 \times 10^{-5}$	$0.33 \times 10^{-5}$	$6.62 \times 10^{-7}$
Standard Deviation	$0.26 \times 10^{-5}$	$0.18 \times 10^{-5}$	$1.57 \times 10^{-7}$
Coefficient of Variation	0.55	0.55	0.2372
Variance	$6.80 \times 10^{-12}$	$3.20 \times 10^{-12}$	$2.46 \times 10^{-14}$
Minimum	$0.65 \times 10^{-5}$	$0.04 \times 10^{-5}$	$4.39 \times 10^{-7}$
Maximum	$1.12 \times 10^{-5}$	$0.79 \times 10^{-5}$	$8.10 \times 10^{-7}$
Geometric mean	$1.17 \times 10^{-5}$	$1.12 \times 10^{-5}$	$6.38 \times 10^{-7}$

### نتیجه گیری

هیدرولیکی اشباع صحرایی منطقه مورد نظر را تعیین کرد. همچنین با توجه به حساسیت بالای پارامتر  $\alpha^*$  نسبت به تغییرات افت سطح آب در چاهک، باید مقدار آن را ثابت (معادل ۱۲) در نظر گرفت. با مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی روش گلف با روش پمپاژ به چاهک سطحی مشاهده شد هدایت هیدرولیکی به روش پمپاژ به چاهک سطحی به مراتب مقدار بیشتری از هدایت هیدرولیکی به روش گلف را نشان می دهد. به طوری که در سایت مورد آزمایش با بافت خاک لومی هدایت هیدرولیکی با روش پمپاژ به چاهک سطحی ۸۰ درصد بیشتر از هدایت هیدرولیکی با روش گلف می باشد. در روش پرماتر گلف با چاهک عمودی و دارای قطر کم انتظار می رود که خلل و فرج درشت از لحاظ هیدرولیکی فعالیت کمتری را نشان داده و در نتیجه جوابهای کمتری ارائه دهند.

در این تحقیق مشخص شد که تحلیل تک عمقی لاپلاس، به علت فرض صعود موینگی صفر و نادیده گرفتن محیط غیراشباع در اطراف چاهک، مقادیر بسیار بیشتری از هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نسبت به سایر تحلیلها، به خصوص تحلیل دو عمقی گلف می دهد. با توجه به یکسان بودن هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در دو تحلیل رگرسیون پایه ای ریچاردز و دو عمقی گلف و هم چنین با توجه به این که تحلیل رگرسیون پایه ای ریچاردز دارای انحراف معیار و خطای استاندارد بسیار کمتری نسبت به سایر تحلیلها، بخصوص تحلیل دو عمقی گلف است، این تحلیل به عنوان روش برتر جهت تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در بالای سطح ایستابی با دستگاه پرماترگلف پیشنهاد می گردد. بنابراین با استفاده از تحلیل رگرسیون پایه ای ریچاردز، می توان با داشتن جوابهای مثبت برای همه مقایر  $K_{fs}$ ، میانگین هدایت

### References

- 1- Darcy, J.D., Ward, A.D., Fausey, N.R., and Bair, E.S., 1990. A comparison of four field methods for measuring saturated hydraulic conductivity. *Transaction of ASAE*, 33, pp. 1925-1931.
- 2- 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, pp. 184-193.
- 3- Kashkuli, H., 1992. Simultaneous determination of soil hydraulic properties above the water table using Gulph method. *Proceeding of 3th Iranian Soil Congress, Soil Science Association of Iran, Tehran, Iran*. (In Persian).
- 4- Kashkuli, H. and Mashal, M., 1995. Comparison of the methods of field measurements of hydraulic conductivity above the water table with the Guelph method in two different soil types in Khuzestan province. *The Scientific Journal of Agriculture*, 18(1 and 2), pp. 1-24. (In Persian).
- 5- Kashkuli, H., Mirbehersee, H. and Nori-Emamzadehee, M., 2001. Using single-depth and Multi-depth analyzes of Guelph permeameter method to determine hydraulic conductivity and  $\alpha$  coefficient and comparing them with auger hole method. *Journal of Soil Science Association of Iran, Selective papers of 7th Iranian Soil Congress*, pp. 82-84. (In Persian).
- 6- Lee D.M., Reynolds, W.D., Elrick, D.E. and Clothier, B.E., 1985. A comparison of three field methods for measuring saturated hydraulic conductivity. *Soil Science*, 65, pp. 563-573.
- 7- Mohanty, B.P., Kanwer, R.S. and Everts, C.J., 1994. Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till. *Soil Science Society American Journal*, 58, pp. 672-677.
- 8- Mokhtaran, R., 2004. *Evaluation of single-depth analyzes Guelph permeameter method for determination of saturated hydraulic conductivity above the water table in a medium texture soil*. Master's Thesis. Shahid Chamaran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, 121 p. (In Persian).
- 9- Philip, J.R., 1987. The quasilinear analysis, the scattering analogue and other aspects of infiltration and seepage. In Y.S. For (Ed.), *Infiltration Development and Application*, Water Resources Research Center, Honolulu. pp. 1-27.
- 10- Reynolds, W.D., Elrick, D.E. and Clothier B.E., 1985. The constant head well permeameter Effect on unsaturated flow. *Soil Science*, 139(2), pp. 172-180.
- 11- Reynolds, W.D. and Elrick D.E., 1985. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity sorptivity, parameter using Guelph permeameter. *Soil Science*, 140(4), pp. 292-302.



- 
- 12-Reynolds, W.D., Vieira, S.R. and Topp G.C., 1992. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. *Canadian Journal of Soil Science*, 72, pp. 489-501.
  - 13-Reynolds, W.D. and Zebchuk, W.D., 1996. Hydraulic conductivity in a clay soil two measurement techniques and spatial characterization. *Soil Science Society American Journal*, 60, pp. 1679-1685.
  - 14-Stephens, D.B., Lamert, K. and Watson, D., 1987. Regression models for hydraulic conductivity and field test of the borehole permeameter. *Water Resource Research*, 23, pp. 2207-2214.
  - 15-Vieira, S.R., Reynolds, W.D., and Topp G.C. 1988. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. *Proceeding Symprian Validation of Flow and Transport Models for Unsaturated Zone, Ruidoso, NM*.
  - 16-Zanger, C.N., 1953. Theory and problems of water percolations. *Engineering Monograph No. 8*, Bur. of Reclamation, U.S. Dep. of Interior, 76 p.
  - 17-Zhang, Z.F., Groenevelt, P.H., and Grayw, P., 1988. The well shape factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph permeameter. *Soil & Tillage Research* 49, pp. 219-221.