

اثر ضریب شکل چاهک در برآورد هدایت هیدرولیکی با پرماترگلف

عباس خوارزمی^{1*}، محمود مشعل، قاسم زارعی و مریم وراوی پور

کارشناسی ارشد دانشگاه تهران؛

a.kharazmi@ut.ac.ir

استادیار دانشگاه تهران؛

mmashal@ut.ac.ir

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج؛

ghzare45@yahoo.com

استادیار دانشگاه تهران؛

mvaravy@ut.ac.ir

چکیده

روش نفوذسنج گلف یکی از روش‌های مناسب جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_f) در بالای سطح ایستابی است. این مطالعه به وسیله دستگاه پرماتر گلف مدل 2800k1، برای 20 چاهک در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان انجام شد. بافت رسی خاک مزرعه تحقیقاتی با روش هیدرومتری مشخص گردید. دبی خروجی از پرماتر در چهار مرحله تحت بار ثابت آبی (H)، 5، 10، 15 و 20 سانتی متر اندازه‌گیری شد. سپس هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی (K_{fs}) و پتانسیل جریان ماتریک (ϕ_m) بر اساس آزمایش‌های موفق و توسط آنالیز دو عمقی گلف مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده مشخص شد که در خاک‌های سنگین افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 ، راهکاری مناسب برای کاهش نتایج ناموفق آنالیز دو عمقی گلف جهت تعیین هدایت هیدرولیکی خاک می‌باشد. در این مطالعه همچنین ضریب شکل چاهک (C) با پنج روش متفاوت محاسبه شد و تأثیر ضرایب C بدست آمده از راه حل‌های مختلف در نتایج آنالیز دو عمقی گلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که وقتی اثر غیر اشباع در محاسبات قرار گیرد، امکان بدست آوردن مقادیر منفی K_{fs} و ϕ_m با استفاده از راه حل زیانگ کمتر است و همبستگی بسیار زیادی بین مقادیر آنالیزهای موفق دو عمقی گلف که از دو راه حل زیانگ و عددی در تعیین ضریب C استفاده شده است، وجود دارد ($r=0/98$).

واژه‌های کلیدی: بافت سنگین، پرماتر گلف، ضریب شکل چاهک، هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی

مقدمه

مورد توجه قرار می‌گیرد. اولین بار گلوور (توسط زانگر، 1953) روش پمپاژ به درون چاهک کم عمق (Sallow Well Permeameter Method) را به کار برد که

هدایت هیدرولیکی در مطالعات آبیاری و زهکشی، طرح‌های آبشویی و ارزیابی حرکت آب‌های آلوده در خاک

آدرس نویسنده مسؤول: کرمان، بافت، خیابان طالقانی شرقی، کوچه 16، انتهای کوچه منزل آقای بحرینی، کدپستی: 18319-78517
* دریافت: اسفند، 1390 و پذیرش: شهریور، 1391

با افزایش نسبت H_2/H_1 ، ضمن کاهش قابل توجه تعداد مقادیر منفی و غیر منطقی K_{fs} و θ_m ، تغییرات زیادی در میانگین این مقادیر ایجاد نخواهد شد. همچنین خوارزمی و همکاران (1390)، تاثیر کاهش یا افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 در ایجاد نتایج منفی و غیر منطقی K_{fs} و θ_m ، در خاک‌های سنگین را بررسی کردند که نتایج آنها با نتایج مشعل و همکاران (2007)، مطابقت داشت.

سهرابی و همکاران (1388)، در تحقیقی تاثیر روش‌های مختلف حل ضریب چاهک (C) را در آنالیز دو عمقی گلف بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد چنانچه در محاسبه K_{fs} از ضریب چاهک با روش پورشه استفاده شود، کمترین تعداد نتایج منفی به دست می‌آید و سایر روش‌های حل C، فشار، گلور، عددی و یک طرفه به ترتیب از کم به زیاد، تعداد نتایج منفی K_{fs} را در بر دارند. از تحقیقات انجام شده می‌توان فهمید که نتایج منفی روش گلف همچنان به عنوان یک محدودیت این روش باقی است. آنالیز دو عمقی گلف، به علت فرضی نبودن α^* ، دقت قابل اعتمادتری نسبت به سایر آنالیزهای گلف دارد.

به همین دلیل چنانچه راهکارهایی در جهت کاهش نتایج منفی گلف توسط این روش ارائه شود، در گسترش و استفاده مفید از این دستگاه، گام موثری برداشته می‌شود. از این جهت در این تحقیق ابتدا افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 ، برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع صحرايي (K_{fs}) و پتانسیل جریان ماتریک (θ_m) در خاکهای سنگین، براساس آزمایش‌های موفق و توسط آنالیز دو عمقی گلف مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، ضریب شکل چاهک (C) نیز با پنج روش متفاوت محاسبه شد و تاثیر ضرایب C بدست آمده از راه حل‌های مختلف در نتایج آنالیز دو عمقی گلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محل و مشخصات خاک و چاهک‌های آزمایشی

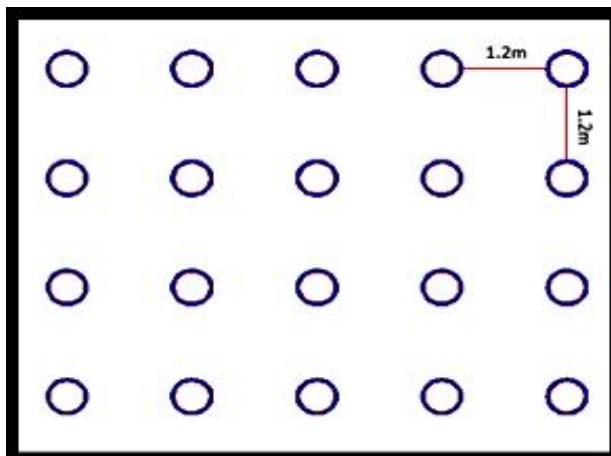
این مطالعه در اردیبهشت 1390، به وسیله دستگاه پرماتر گلف مدل 2800k1 در مزرعه تحقیقاتی پردیس

به دلیل محدودیت عملی، کمتر استفاده می‌شود. در سال‌های بعد تالسم و حلام (1980)، روش چاهک معکوس را ارائه دادند که از معایب این روش می‌توان به زمان بر بودن آزمایشات و همچنین هزینه‌های اجرایی زیاد اشاره کرد. رینولدز و همکاران (1983)، یک وسیله عملی و کم‌خرجی به نام پرماتر گلف در دانشگاه گلف کانادا ابداع کردند. سپس این روش به وسیله الریک و همکاران در سال 1989، تکامل یافت. روش پرماتر گلف (GP)، بسیاری از موارد برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی چاهک با هد ثابت در محل مورد نظر به کار می‌رود که روشی برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع صحرايي (K_{fs}) و پتانسیل جریان ماتریک (θ_m) ، می‌باشد. این روش ضمن برخورداری از مبانی تئوریک قوی، دارای مزایایی همچون کاهش مصرف آب، تسریع در انجام آزمایش و کاهش نیروی انسانی نیز می‌باشد.

کشکولی و مختاران (1383)، آنالیزهای تک عمقی پرماتر گلف جهت تعیین سریع هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در یک خاک با بافت متوسط را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با انجام آزمایش گلف و با استفاده از آنالیز دو عمقی، می‌توان ضرایبی نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع و پارامترهای مربوط به خاک غیر اشباع را بطور همزمان بدست آورد. کشکولی و همکاران (1385)، در تحقیقی برای جلوگیری از جواب‌های منفی و غیر منطقی آنالیز دو عمقی گلف، از آنالیزهای تک عمقی لاپلاس (K_L) با فرض کاپیلاریته صفر، تک عمقی ریچاردز با فرض $\alpha^* = 12$ و تک عمقی رگرسیون پایه‌ای ریچاردز (K_R) استفاده کردند. در این تحقیق مشخص شد برای به دست آوردن جواب‌های صحیح، می‌توان از آنالیز رگرسیون پایه‌ای ریچاردز، استفاده کرد. مشعل و همکاران (2007)، با اشاره به این موضوع که در خاک‌های مطبق درصد زیادی از مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و پتانسیل ماتریک منفی و غیر منطقی می‌باشد به بررسی تاثیر افزایش عمق استغراق ثانویه بر جوابهای منفی و غیر منطقی پرداختند. نتایج آنها نشان داد

شماتیک چاهک‌های مورد مطالعه در شکل زیر نشان داده شده است (شکل 1).

ابوریحان انجام شد. برای انجام آزمایشات تعداد 20 چاهک به صورت یک شبکه منظم 4x5 متر با فاصله 1/2 متر از یکدیگر و به شعاع سه سانتی‌متر حفر شدند.



شکل 1- شماتیک چاهک‌های حفر شده

متری چاهک‌های مورد آزمایش در مزرعه انتخاب شد و با روش هیدرومتری درصد مواد تشکیل دهنده آن مشخص گردید. سپس با استفاده از مثلث بافت خاک، نوع بافت نمونه‌های خاک مطابق با جدول زیر تعیین شد (جدول 1).

تمام چاهک‌ها توسط آگر تا عمق 60 سانتی‌متر حفر شد و دیواره چاهک‌ها توسط برس مخصوص خراش داده شد، تا از حالت صاف و صیقلی بودن خارج شده و مانع نفوذ آب به داخل چاهک نشود. به طور کاملاً تصادفی تعدادی نمونه خاک از اعماق 30 تا 60 سانتی

جدول 1- نتایج بافت خاک

ذرات تشکیل دهنده خاک (%)				
شماره چاهک	رس	سیلت	شن	بافت خاک
BH3	57/6	32/4	10	رسی
BH6	57/6	38	4/4	رسی
BH9	59/4	35	5/6	رسی
BH11	62/8	33/4	3/8	رسی

ارزیابی قرار گرفت (آزمایش‌هایی را موفق گویند، که در آنها پارامتر α مقداری مثبت باشد $(\alpha = \frac{K_{fs}}{\phi_m})$).

معادلات پرماتر گلف

الریک و همکاران در سال 1989، آخرین پیشرفت‌های حاصل شده در روش خود را ارائه کردند.

دبی خروجی از پرماتر در چهار مرحله، تحت بار ثابت آبی (H)، 5، 10، 15 و 20 سانتی‌متر، اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمایش‌ها، هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی (K_{fs}) و پتانسیل جریان ماتریک (ϕ_m)، بر اساس آزمایش‌های موفق و توسط آنالیز دو عمقی گلف مورد

$$Q = \left(\frac{2\pi H^2}{c} + \pi a^2 \right) K_{fs} + \left(\frac{2\pi H}{c} \right) \phi_m \quad (2)$$

در معادله فوق ضریب C پارامتر بدون بعدی است که بستگی به نسبت $\frac{H}{a}$ و بافت خاک دارد. در نتیجه مقادیر

ϕ_m و K_{fs} نیز از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{2\pi H^2 + C\pi a^2 + \frac{2\pi H}{a}} \quad (3)$$

$$\phi_m = \frac{K_{fs}}{\alpha^*} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C)\alpha^* + 2\pi H} \quad (4)$$

همانطور که ملاحظه می‌گردد، معادله (3) دارای دو مجهول K_{fs} و α^* می‌باشد که برای حل آن‌ها بایستی همزمان دو معادله به وسیله دو عمق استغراق آب در یک چاهک و یا یک عمق استغراق آب در دو چاهک با قطرهای مختلف و یا ترکیبی از این دو روش، تشکیل داد. در آنالیز دوعمقی گلف که به تحلیل ریچاردز معروف است، می‌توان با حذف α^* مقادیر K_{fs} و ϕ_m از روابط زیر بدست آورد (رینولدز و الریک، 1985):

$$K_{fs} = \left(\frac{H_2 C_2}{\pi [2H_2 H_2 (H_2 - H_2) + a^2 (H_2 C_2 - H_2 C_2)]} \right) Q_2 - \left(\frac{H_2 C_2}{\pi [2H_2 H_2 (H_2 - H_2) + a^2 (H_2 C_2 - H_2 C_2)]} \right) Q_1 \quad (5)$$

$$\phi_m = \left(\frac{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_2}{2\pi [(2H_2 H_2 (H_2 - H_2) + a^2 (H_2 C_2 - H_2 C_2))]} \right) Q_1 - \left(\frac{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_2}{2\pi [(2H_2 H_2 (H_2 - H_2) + a^2 (H_2 C_2 - H_2 C_2))]} \right) Q_2 \quad (6)$$

دو عمقی گلف برای استغراق های مختلف H_1 و H_2 محاسبه شدند. با توجه به اینکه نتایج منفی حاصل از این آزمایشات منطقی و قابل قبول نیستند، در این تحقیق نیز آزمایش‌هایی را که هر دو مقادیر K_{fs} و ϕ_m مثبت و منطقی داشته‌اند، به عنوان «آزمایش موفق» در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که بدلیل وجود درز و شکاف‌های در خاک رسی منطقه آزمایش، 3 چاهک (BH1، BH14 و BH19) از هدایت هیدرولیکی خیلی زیاد و غیر منطقی برخوردار بودند که به طور کامل از محاسبات کنار گذاشته شدند. خلاصه پارامترهای آماری مقادیر موفق K_{fs} ، ϕ_m و همچنین تعداد آزمایش‌های موفق آنالیز دو عمقی متناسب با استغراق های H_1 و H_2 به ترتیب نسبت صعودی H_2/H_1 ، برای مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان در جدول (2) ارائه شده است.

آن‌ها جریان ماندگار آب از یک چاهک استوانه‌ای در یک عمق استغراق معین را به طور کلی به وسیله معادله زیر قابل تخمین دانستند:

$$Q = f(H, a)K_{fs} + g(H, a)\phi_m \quad (1)$$

در رابطه فوق Q ، H و a به ترتیب دبی خروجی (cm^3/s)، عمق آب (cm) و شعاع چاهک (cm) بوده و f و g (cm^2) توابعی عمومی هستند که به H و a و فرم ویژه برای هر راه‌حل بستگی دارند. همچنین K_{fs} ، هدایت هیدرولیکی اشباع صحرايي (cm/s) و ϕ_m پتانسیل جریان ماتریک (cm^2/s) هستند. قسمت اول سمت راست معادله (1) مربوط به "جزء اشباع جریان" خروجی از چاهک و قسمت دوم مربوط به "جزء غیراشباع" یا "جریان کاپیلاری" است (رینولدز و الریک، 1985). با توجه به مطالب ذکر شده، دبی خروجی از پرماترگلف در حالت کلی به صورت زیر نوشته می‌شود:

در معادلات بالا C_1 و C_2 متناسب با مقادیر C ، به ترتیب برای نسبت های H_1/a و H_2/a هستند که از روی نمودار بدست می‌آیند. روش دو عمقی به خوبی در خاک‌های همگن و بدون ساختار جواب می‌دهد، ولی به علت وجود لایه‌های مختلف خاک و همچنین ترک‌ها و حفره‌های موجود در خاک که منجر به کاهش یا افزایش دبی می‌شوند، درصد زیادی از مقادیر K_{fs} و ϕ_m پوچ و منفی می‌شود. این جواب‌ها غیر منطقی بوده و باید از آنها صرف نظر کرد (ویرا و همکاران، 1988؛ ویلسون و همکاران، 1989).

نتایج و بحث

برای 20 چاهک حفر شده در مزرعه تحقیقاتی، مقادیر K_{fs} و ϕ_m با استفاده از معادلات (5) و (6) آنالیز

جدول 2- پارامترهای آماری مقادیر تعداد آزمایش موفق K_{fs} و ϕ_m آنالیز دو عمقی گلف متناسب با استغراق های H_1 و H_2 .

H_1-H_2	$\frac{H_2}{H_1}$	تعداد آزمایش موفق	$K_{fs} \times 10^7$ (m/s)				$\phi_m \times 10^7$ (m ² /s)			
			میانگین حسابی	دامنه تغییرات	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	میانگین حسابی	دامنه تغییرات	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
15-20	1/33	5	3/35	3/28	1/33	39/71	0/7	1/05	0/43	61/24
10-15	1/5	12	3/58	5/8	1/77	49/45	0/23	0/5	0/16	70/5
5-10	2	15	4/51	6/18	1/91	42/29	0/16	0/46	0/12	70/3
10-20	2	7	4/53	9/23	3/11	68/61	0/25	0/4	0/16	64/41
5-15	3	16	4/57	10/81	2/52	55/1	0/13	0/31	0/09	71/12
5-20	4	15	5/3	7/89	2/34	44/16	0/12	0/36	0/11	92/68

دارد (الریک و همکاران، 1989). به همین دلیل چنانچه راهکارهایی در جهت کاهش نتایج منفی گلف ارائه شود، در گسترش و استفاده مفید از این دستگاه، گام موثری برداشته می‌شود. یکی از دلایل کاهش تعداد نتایج منفی تأثیر H_1 و H_2 در مقادیر C_1 و C_2 است. مقادیر C_1 و C_2 از پارامترهای مؤثر در آنالیزهای گلف هستند. به همین دلیل انتخاب روش مناسب حل C که سبب کاهش نتایج منفی روش گلف شود، موجب گسترش کاربرد این دستگاه و کاهش هزینه در برآورد مقدار هدایت هیدرولیکی خاک خواهد شد. در این مطالعه ضریب شکل چاهک (C) با پنج روش متفاوت محاسبه شد که معادلات آنها در زیر آمده است:

معادله زیانگ (1994):

$$C = \sinh^{-1} \frac{H}{a}$$

معادله گلوور (زانگر، 1953):

$$C = \sinh^{-1} \frac{H}{a} - \left[\left(\frac{a}{H} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{a}{H}$$

$$C = \frac{2\pi \ln \left(\frac{2H}{a} \right)}{5.443}$$

ترلتسکی (1954):

رینولدز و همکاران (1983):

همانطور که از جدول (2) مشاهده می‌شود، با افزایش نسبت $\frac{H_2}{H_1}$ مقادیر میانگین حسابی K_{fs} نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش این نسبت، تعداد آزمایش‌های موفق افزایش یافته است. به طوریکه در نسبت‌های $\frac{H_2}{H_1}$ کوچکتر از دو تقریباً 40-45 درصد آزمایش‌ها به صورت موفق بوده است ولی در نسبت‌های بزرگتر از دو تقریباً 65-70 درصد و در نسبت‌های بزرگتر از سه تقریباً 75-80 درصد از آزمایش‌ها به صورت موفق بوده است. با توجه به نتایج فوق به نظر می‌رسد که در خاک‌های سنگین افزایش عمق استغراق H_2 نسبت به H_1 ، راهکاری مناسب برای کاهش نتایج ناموفق آنالیز دو عمقی گلف در تعیین هدایت هیدرولیکی می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط شقاقی و همکاران (1386)، در خاک‌های لومی مطابقت دارد.

بررسی نتایج آنالیز دو عمقی گلف با پنج روش متفاوت حل C

آنالیز دو عمقی گلف، به علت فرضی نبودن α ، دقت قابل اعتمادتری نسبت به سایر آنالیزهای گلف

$$\Phi_m = \int_{\psi_i}^0 k(\psi) d\psi \quad (7)$$

در این رابطه $\Phi(\Psi)$ پتانسیل جریان $[L^2T^{-1}]$ و Ψ_i پتانسیل اولیه آب خاک $[L^2T^{-1}]$ است. به عنوان مثال، اثر غیر اشباع با فرض اینکه پتانسیل جریان ماتریک برابر صفر است، بررسی شد. پنج چاهک از مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان برای مقایسه راه‌حل‌های مختلف استفاده شده است. در هر چاهک از دو عمق استفاده شده که در جدول (3) نشان داده شده است. همچنین، فاکتورهای شکل برای راه‌حل‌های مختلف و عمق چاهک‌ها در جدول (3) گزارش شده است.

$$C = 4 \left\{ \frac{1}{2} \sinh^{-1} \frac{H}{2a} - \left[\left(\frac{a}{H} \right)^2 + \frac{1}{4} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{a}{H} \right\}$$

همچنین، رینولدز در سال 1983، نمودارهایی برای سه نوع خاک شن، لوم و رس (با ساختمان و بدون ساختمان)، ارائه داد که از طریق این نمودارها و با داشتن یک نسبت خاص H/a ، مقدار C راه حل عددی به دست می‌آید.

تأثیر ضرایب C بدست آمده از راه حل عددی مرسوم در نتایج آنالیز دو عمقی گلف با نتایج سایر راه‌حل‌ها از جمله راه‌حل زیانگ در دو حالت زیر مورد بررسی قرار گرفت:

1- نادیده گرفتن اثر غیر اشباع

وقتی که درصد رطوبت اولیه زیاد باشد، مکش آب در خاک کم است و پتانسیل ماتریک ممکن است طبق معادله (7) نادیده گرفته شود.

جدول 3- محاسبه فاکتور شکل C بوسیله راه‌حل‌های زیانگ (X)،

گلوور (C^G)، ترلتسکی (C^T)، رینولدز (C^R) و عددی (C^N)، هنگامی که شعاع چاهک 3 سانتی‌متر است.

H (cm)	H/a	C^X	C^G	C^T	C^R	C^N
5	1/667	1/28	0/72	1/39	0/79	0/85
10	3/33	1/92	1/17	2/19	1/44	1/28
C_2/C_1	*	1/50	1/637	1/572	1/81	1/506

مبنای معادله (8) ارزیابی شد که در جدول (4) نشان داده شده است.

$$K_{fs} = \frac{C Q_s}{2 \pi H^2 \left[1 + \frac{C}{2} \left(\frac{a}{H} \right)^2 \right]} \quad (8)$$

ضریب هدایت هیدرولیکی بوسیله راه‌حل‌های مختلف و با فرض نادیده گرفته شدن اثر غیر اشباع بر

جدول 4- محاسبه هدایت هیدرولیکی اشباع با نادیده گرفتن اثر غیر اشباع توسط راه حل های زیانگ (K^X)، گلوور (K^G)، ترلتسکی (K^T)، رینولدز (K^R) و عددی (K^N)، طبق معادله (8).

شماره چاهک	H (m)	Q (cm ³ /s)	$K \times 10^7$ (m/s)				
			K^X	K^G	K^T	K^R	K^N
BH2	0/05	0/0196	13/0	7/9	13/9	8/7	9/2
	0/1	0/0392	11/0	7/0	12/4	8/4	7/6
BH4	0/05	0/0196	13/0	7/9	13/9	8/7	9/2
	0/1	0/0442	12/4	7/9	14/0	9/5	8/5
BH6	0/05	0/009	6/0	3/6	6/4	4/0	4/2
	0/1	0/016	4/5	2/8	5/1	3/4	3/1
BH8	0/05	0/0178	11/8	7/2	12/6	7/9	8/4
	0/1	0/0339	9/5	6/0	10/7	7/3	6/5
BH10	0/05	0/0054	3/6	2/2	3/8	2/4	2/5
	0/1	0/0107	3/0	1/9	3/4	2/3	2/1

$$2\pi H_1^2 K_{fs} + C_1 \pi a^2 K_{fs} + 2\pi H_1 \phi_m = C_1 Q_{r1} \quad (9)$$

$$2\pi H_2^2 K_{fs} + C_2 \pi a^2 K_{fs} + 2\pi H_2 \phi_m = C_2 Q_{r2}$$

وقتی اثر غیر اشباع در محاسبات قرار گیرد، از معادله (10) برای ارزیابی ناهمگنی خاک استفاده می شود.

$$\alpha_{min} \leq \frac{Q_2}{Q_1} \leq \alpha_{max} \quad (10)$$

مقادیر مینیمم و ماکزیمم برای روش های مختلف و نسبت های $\frac{H_2}{H_1}$ در جدول (5) نشان داده شده است. همچنین،

این جدول نشان می دهد که دامنه ضرایب α_{min} تا α_{max} محاسبه شده بوسیله راه حل زیانگ بیشتر از سایر راه حل ها است. به این معنی که، امکان بدست آوردن مقادیر منفی k_{fs} و ϕ_m با استفاده از راه حل زیانگ کمتر است.

راه حل زیانگ مقدار K_{fs} را همانند فاکتور شکل C که در جدول (3) نشان داده شده است، بیشتر از سایر راه حل ها برآورد می کند. بجز راه حل ترلتسکی که این مقادیر را خیلی زیاد برآورد می کند. طبق جدول (4) برای $\frac{H}{a} = 1/667$ راه حل زیانگ مقدار K_{fs} را به ترتیب حدود 64%، 50% و 41% بیشتر از راه حل های گلوور، رینولدز و عددی برآورد می کند. همچنین برای $\frac{H}{a} = 3/33$ ، راه حل زیانگ مقدار K_{fs} را به ترتیب حدود 58%، 31% و 46% بیشتر از راه حل های گلوور، رینولدز و عددی برآورد می کند.

2- بررسی اثر غیر اشباع

طبق معادله (9) وقتی $\frac{H}{a}$ کوچک است، پتانسیل جریان ماتریک ممکن نیست نادیده گرفته شود، زیرا اثر غیر اشباع بر جریان حکمفرما است.

جدول 5- مقادیر مینیمم و ماکزیمم α که برای نسبت های مختلف H_2/H_1 بوسیله راه حل های زیانگ (X)، گلوور (G)، ترلتسکی (T)، رینولدز (R) و عددی (N) محاسبه شده است.

H_2/H_1	α_{min}^X	α_{max}^X	α_{min}^G	α_{max}^G	α_{min}^T	α_{max}^T	α_{min}^R	α_{max}^R	α_{min}^N	α_{max}^N
1/5	1/247	1/801	1/181	1/732	1/235	1/776	1/109	1/624	1/185	1/735
2	1/333	2/355	1/222	2/28	1/272	2/235	1/105	2/059	1/328	2/436
3	1/662	4/24	1/442	3/946	1/571	3/97	1/226	3/343	1/574	4/228

(BH4)، چون که نسبت $\frac{Q_2}{Q_1} = 2/255$ برای راه حل زیانگ، گلوور و عددی ϕ_m مثبت بدست می آید، اما برای راه حل رینولدز و ترلتسکی ϕ_m طبق جدول (5) منفی می شود. برای BH6 و BH8 نسبت $\frac{Q_2}{Q_1}$ به ترتیب 1/778 و 1/9 می باشد که هر دو در محدوده α_{min} تا α_{max} قرار دارند، در نتیجه پارامترهای K_{fs} و ϕ_m آنها مثبت اند.

از این جدول مشاهده می شود که در چاهک 2 و 10 (BH2 و BH10)، نسبت $\frac{Q_2}{Q_1} = 2$ در محدوده رنج $(\alpha_{min}$ و $\alpha_{max})$ همه روش ها می باشد، بنابراین هر دو ضریب هدایت هیدرولیکی و پتانسیل جریان ماتریک مثبت اند که در جدول (6) نشان داده شده است. نتایج جدول (6) از معادله (11) محاسبه شده اند. در چاهک 4

$$K_{fs} = \frac{H_1 C_2 Q_2 - H_2 C_1 Q_1}{\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]}, \quad \phi_m = \frac{2C_1 H_2^2 Q_1 - 2C_2 H_1^2 Q_2 + a^2 C_1 C_2 (Q_1 - Q_2)}{2\pi [(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))]} \quad (11)$$

جدول 6- هدایت هیدرولیکی (k) و پتانسیل جریان ماتریک (ϕ_m) محاسبه شده توسط راه حل های زیانگ (X)، گلوور (G)، ترلتسکی (T)، رینولدز (R) و عددی (N).

شماره چاهک	Q_2/Q_1	$K \times 10^7 (m/s)$				
		K^X	K^G	K^T	K^R	K^N
BH2	2	8/48	5/84	10/50	8/13	5/58
BH4	2/255	11/70	7/75	14/20	10/40	7/70
BH6	1/778	2/60	1/91	3/35	2/81	1/71
BH8	1/9	6/56	4/63	8/24	6/57	4/32
BH10	2	2/31	1/59	2/87	2/22	1/52

شماره چاهک	Q_2/Q_1	$\phi \times 10^7 (m^2/s)$				
		ϕ_{m1}^X	ϕ_{m1}^G	ϕ_{m1}^T	ϕ_{m1}^R	ϕ_{m1}^N
BH2	2	0/28	0/12	0/21	0/03	0/21
BH4	2/255	0/08	0/01	-0/02	-0/10	0/09
BH6	1/778	0/21	0/10	0/19	0/07	0/15
BH8	1/9	0/32	0/15	0/28	0/07	0/23
BH10	2	0/08	0/03	0/06	0/01	0/06

منفی در روش زیانگ، پارامترهای آماری مقادیر تعداد آزمایش موفق K_{fs} و \emptyset_m آنالیز دو عمقی گلف متناسب با H_1 و H_2 ، با استفاده از ضرایب C_1 و C_2 روش زیانگ برای مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان محاسبه و در جدول (7) آورده شده است.

وقتی که درصد رطوبت اولیه زیاد است و تأثیر غیر اشباع نادیده گرفته شود، راه حل زیانگ و راه حل عددی ممکن است تخمین بهتری نسبت به سایر راه حل ها تهیه کنند. بررسی اثر غیر اشباع در ارزیابی K_{fs} بوسیله روش های متفاوت بر طبق مقادیر \emptyset_m خیلی سخت است. بنابراین، برای ارزیابی K_{fs} و \emptyset_m نیازمند یک تخمین دقیق از C می باشیم (زیانگ، 1994). با توجه به کاهش نتایج

جدول 7- پارامترهای آماری مقادیر تعداد آزمایش موفق K_{fs} و \emptyset_m آنالیز دو عمقی گلف متناسب با H_1 و H_2 با استفاده از ضرایب C_1 و C_2 روش زیانگ برای مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان.

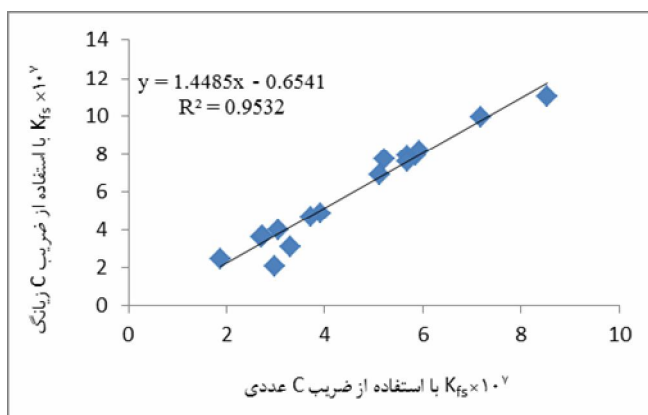
$\emptyset_m \times 10^7 (m^2/s)$				$K_{fs} \times 10^7 (m/s)$				تعداد آزمایش موفق	$\frac{H_2}{H_1}$	H_1-H_2
ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار	دامنه تغییرات	میانگین حسابی	ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار	دامنه تغییرات	میانگین حسابی			
100/82	0/72	2/2	0/72	47/13	2/62	6/14	5/56	10	1/33	15-20
65/1	0/27	0/85	0/41	60/01	2/35	7/68	3/92	13	1/5	10-15
60/15	0/15	0/58	0/26	45/65	3/04	9/41	6/66	13	2	5-10
79/89	0/29	0/83	0/36	62/86	3/72	11/49	5/92	11	2	10-20
69/39	0/14	0/5	0/21	56/05	3/53	15/09	6/3	16	3	5-15
80/7	0/18	0/54	0/22	44/99	3/12	10/35	6/94	15	4	5-20

معیار و ضریب تغییرات بدست آمده از آنالیز دو عمقی با استفاده از ضرایب C روش زیانگ بیشتر از مقادیر میانگین حسابی، دامنه تغییرات، انحراف معیار و ضریب تغییرات بدست آمده از آنالیز دو عمقی با استفاده از ضرایب C روش عددی می باشد.

در شکل زیر نمودار حاصل از رگرسیون خطی بین آنالیزهای دو عمقی گلف که از دو راه حل زیانگ و عددی در تعیین ضریب C استفاده کرده اند، برای مقادیر موفق چاهک های آزمایشی ترسیم شده است (شکل 4). همانطور که از شکل (4) مشخص است، همبستگی بسیار زیادی بین مقادیر آنالیزهای دو عمقی گلف که از دو راه حل زیانگ و عددی در تعیین ضریب C استفاده کرده اند، وجود دارد ($r=0/98$).

همانطور که از جدول (7) مشاهده می شود، با افزایش نسبت H_2/H_1 ، تعداد آزمایش های موفق افزایش یافته است. به طور متوسط مقادیر میانگین حسابی هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی و پتانسیل جریان ماتریک بدست آمده از آنالیز دو عمقی ریچاردز با استفاده از ضرایب C_1 و C_2 روش زیانگ در خاک رسی منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر $5/88 \times 10^{-7}$ متر بر ثانیه و $0/36 \times 10^{-7}$ متر مربع بر ثانیه می باشد، که به ترتیب 37 و 33 درصد بیشتر از مقادیر میانگین K_{fs} و \emptyset_m بدست آمده از آنالیز دو عمقی ریچاردز با استفاده از ضرایب C روش عددی مرسوم می باشد.

از مقایسه جدول (2) با جدول (7) مشاهده می شود که مقادیر میانگین حسابی، دامنه تغییرات، انحراف



شکل 4- نمودار حاصل از رگرسیون خطی بین آنالیزهای دو عمقی گلف با استفاده از دو راه حل زیانگ و عددی در تعیین ضریب C، برای مقادیر موفق چاهک‌های آزمایشی

غیر اشباع نادیده گرفته شود، راه‌حل زیانگ و راه حل عددی می‌توانند تخمین بهتری نسبت به سایر راه‌حل‌ها تهیه کنند. همچنین همبستگی بسیار زیادی بین مقادیر آنالیزهای موفق دو عمقی گلف که از دو راه حل زیانگ و عددی در تعیین ضریب C استفاده شده است، وجود دارد ($r=0/98$).

نتیجه گیری

همانطور که نتایج نشان داد، وقتی اثر غیر اشباع در محاسبات قرار گیرد، دامنه ضرایب α_{min} تا α_{max} محاسبه شده بوسیله راه حل زیانگ بیشتر از سایر راه‌حل‌ها است. به این معنی که، امکان بدست آوردن مقادیر منفی K_{fs} و ϕ_m با استفاده از راه‌حل زیانگ کمتر است. و هنگامی که درصد رطوبت اولیه زیاد است و تأثیر

منابع مورد استفاده

- 1- خوارزمی، ع. 1390. ارزیابی عوامل مؤثر در بهبود اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک‌های سنگین با روش نفوذسنج گلف. پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد. پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.
- 2- سهرابی، ح.، م. مشعل، ق. زارعی و م. شقاقی. 1388. تاثیر روش‌های حل مختلف ضریب چاهک در آنالیز دو عمقی گلف پرماتر. مجله آبیاری و زهکشی ایران. جلد 4. شماره 2. 232-241 ص.
- 3- شقاقی، م.، م. مشعل و ق. زارعی. 1386. اثر افزایش عمق استغراق ثانویه در بهبود دقت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با روش دو عمقی گلف. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد 8. شماره 1. 125-136 ص.
- 4- کشکولی، ح.ع.، ر. ابن‌جلال و ر. مختاران. 1385. ارزیابی آنالیزهای تک عمقی پرماتر گلف برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در یک خاک با بافت متوسط. مجله تحقیقات علوم کشاورزی. جلد 29. شماره 3. 1-10 ص.
- 5- مختاران، ر. 1383. ارزیابی آنالیزهای تک عمقی پرماتر گلف 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.

- 6- مشعل، م.، م. شقاقی و ز. زواره مقدم. 2007. بررسی عوامل مؤثر در بهبود اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از آنالیز دو عمقی گلف. مجله تحقیقات علوم کشاورزی. جلد 29. شماره 3. 12-20 ص.
- 7- Elrick, D. E., Reynolds, W. D. and Tan, K. A. 1989. Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated zone using improved well analysis. Ground water Moint. Rev. 9:184-193.
- 8- Reynolds, W. D., Elrick., D. E. 1985. In situ measurement of saturated hydraulic conductivity sorptivity α parameter using Guelph Permeameter. Soil Sci. 140(4): 292-302.
- 9- Reynolds, W. D., Elrick, D. E. and Topp, J. C. 1983. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. Soil Sci. 136: 250-268.
- 10- Talsma, T. and Hallam, P. M. 1980. Hydraulic conductivity measurement of forest catchments. Aust. J. of Soil Res. 18:139-148.
- 11- Viera, S. R., Reynolds, W. D. and Topp, G. C. 1988. Spatial variability of hydraulic properties in a high structured clay soil. Proc. Symp. Validation of flow and Transport models for unsaturated zone. Ruidoso, NM.
- 12- Wilson, G. V., Alfonsi, J. M. and Jardine, P. M. 1989. Spatial variability of saturated hydraulic conductivity of the subsoil of the forested watersheds. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:679-685.
- 13- Xiang, J. 1994. Improvements in evaluating constant head Permeameter test data. Journal of Hydrology 162: 77-97.
- 14- Zangar, C. N. 1953. Theory and problems of water percolation. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Eng. Monogr. No. 8, Denver, Colorado.