

## کاربرد نفوذسنج گلف در ارزیابی هدایت هیدرولیکی خاک‌های شور و دارای مواد آلی (مطالعه موردی بستر دریاچه ارومیه)

مهدی ولی زاده حسنلویی<sup>۱</sup>، حجت احمدی\*<sup>۲</sup>، سیدحمید لاجوردی<sup>۱</sup>، حمیدرضا صبا<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹)

### چکیده

خشک شدن سطح وسیعی از دریاچه ارومیه چالش زیست محیطی بزرگی برای منطقه و کشور است. بنابراین لزوم شناخت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مصالح بستر دریاچه ارومیه جهت انجام فعالیتهای مهندسی در راستای احیای آن ضروری است. از عمده‌ترین مشکلات مربوط به رسوبات بستر دریاچه، تأثیر درصد بالای مواد آلی با مقاومت برشی کم، غلظت نمک زیاد و حلالیت برخی مواد بر رفتار خاک است. در مقاله حاضر بعد از انجام آزمایش‌های مختلف صحرایی و آزمایشگاهی برای تعیین خصوصیات خاک، آزمایش نفوذسنج گلف مدل 2800KI، تا فاصله یک کیلومتری از عرض دریاچه و در مناطق مختلف دریاچه (منطقه حیدرآباد نقده، منطقه چیچست ارومیه و منطقه پل میان گذر ارومیه به تبریز) انجام شد. در این سه منطقه از دریاچه، با ایجاد ۲۰ حلقه چاهک به شعاع ۴ سانتی متر و عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی متر در فواصل مختلف به صورت زیگزاگ تا طول ۱ کیلومتری به سمت داخل دریاچه، هدایت هیدرولیکی با دستگاه نفوذسنج گلف در دو بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی متر برای هر گمانه با دو بار تکرار اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی نشان داد که هدایت هیدرولیکی برای دو منطقه حیدرآباد نقده و چیچست ارومیه، به‌طور میانگین برای خاک‌های لای عمدتاً در نزدیکی ساحل دریاچه ۰/۱۷۵ سانتیمتر بر ساعت و ماسه لای دار ۵/۳۴ سانتیمتر بر ساعت و برای منطقه پل میان گذر ارومیه به تبریز، مقدار هدایت هیدرولیکی بطور میانگین ۱/۸۹ سانتیمتر بر ساعت برآورد گردید.

**واژه‌های کلیدی:** دریاچه ارومیه، رسوبات، نفوذسنج گلف، مواد آلی، هدایت هیدرولیکی

ولی زاده حسنلویی، م. احمدی، ح. لاجوردی، س. ح. صبا، ح. ۱۴۰۲. کاربرد نفوذسنج گلف در ارزیابی هدایت هیدرولیکی خاک‌های شور و دارای مواد آلی (مطالعه موردی بستر دریاچه ارومیه). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۳. صفحه: ۶۰-۷۴.

۱- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران

۲- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

\*پست الکترونیک: [h.ahmadi@urmia.ac.ir](mailto:h.ahmadi@urmia.ac.ir)

## مقدمه

دریاچه ارومیه یک دریاچه بسته است، رودخانه‌ها همه ساله، به خصوص در سالهای پرباران، مقدار زیادی آب شریں وارد آن می‌کنند. از ابتدای بهار تا اواخر تیرماه تعادل شیمیایی و غلظت آب دریاچه به هم می‌خورد و از حالت فراشور به شور تبدیل می‌شود. با افزایش پدیده ی تبخیر در فصل گرما دوباره محیط آبی فراشور می‌شود. به این ترتیب شرایط الکترولیتی آب دریاچه مرتباً تغییر می‌کند. در واقع تر و خشک شدن رسوبات بستر و خاک موجب تغییر خصوصیات مکانیکی آن می‌شود (Ahmadi et al., 2009). این تغییرات بر پیوند بین ذرات نهشته شده در بستر تأثیر می‌گذارد و به همین سبب لایه‌های رسوب گذاری شده ریزدانه از سالی به سال دیگر متفاوت هست و مواد آلی در تکامل تدریجی رسوبات کف دریاچه و همزمان با آن پیش می‌روند (Aflaki, 2004)، با تحقیقات انجام شده در شمال و جنوب دریاچه ارومیه، مواد بستری در هر دو مسیر مشابه هم و بسیار سست و با درصد بالای مواد آلی بوده و دارای مقاوت برشی پایین در دامنه ۶ تا ۱۲ kPa است (Rostami et al., 2022). بطوریکه در بسیاری از موارد این رسوبات ناپایدار و قابل حمل با باد می‌باشند (Asghari et al., 2021). در واقع وجود نمکهای مختلف و خصوصیات شیمیایی املاح دریاچه از عوامل اصلی فرسایش‌پذیری رسوبات دریاچه ارومیه است (Mola ali et al., 2020). احداث پل میان گذر ارومیه به تبریز، یکی از عواملی هست که باعث تخریب اکوسیستم غنی دریاچه و دست خوردگی زیاد، به سبب جریان نداشتن آب، شده است (Hemmati et al., 2021; Soudi et al., 2019). یکی از روشهای مورد قبول در احیای دریاچه‌های خشک در شرایط کاهش جریانهای ورودی تغذیه کننده دریاچه‌ها، تقسیم دریاچه به چند ناحیه و احیای مرحله ای آن است که برای انجام آن لازمست شناخت کافی از خصوصیات مواد بستری دریاچه حاصل شود (Rostami et al., 2022). از بین خصوصیات مواد رسوبی در این راستا، هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری مواد بستری به جهت تعیین میزان تلفات نفوذ و نشست در نواحی تحت احیا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بطوریکه در خاکهای شور با افزایش میزان شوری هدایت هیدرولیکی کاهش پیدا می‌کند (Goli kalanpa et al., 2018). برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی انواع خاکها

روشهای مختلف و متنوعی ابداع شده است. اما قابل اعتماد بودن و مفید بودن این روش‌ها برای شرایط مختلف، موضوع نگرانی مهندسان و هیدرولوژیست‌ها است. مطالعات (Elrick & Reynolds., 1992)، (Gupta et al., 1993)، (Kanvar et al., 1989) و (Lee et al., 1985) این مشکل را برای روش‌های مختلف تحت شرایط میدانی مختلف مطرح کرده‌اند. (Gupta et al., 1993) مطالعه مشابهی را با روش‌های مختلف درجا (نفوذسنج دو حلقه، شبیه ساز بارش، نفوذسنج گلف) در اتاوا کانادا انجام داد. (Kanvar et al., 1989) عملکرد نفوذسنج گلف را در خاک یخبندان در مرکز آیووا انجام داده است. (Lee et al., 1985) یک مطالعه مقایسه ای را برای ارزیابی عملکرد نفوذسنج ورودی هوا، نفوذسنج گلف و نفوذسنج هسته خاکی در حال سقوط در جنوب انتاریو، کانادا انجام داد. جالب توجه است که روش‌های مختلف در همه این مطالعات روندهای متفاوتی را در انواع مختلف خاک و شرایط زمین نشان دادند. بررسی مناسب بودن یا صحیح بودن این روش‌ها برای انواع مختلف خاک (بافت) و شرایط زمین (مانند خاک کشاورزی، خاک متخلخل، عمق خاک) موضوعی برای تحقیقات بیشتر است. آزمونهای انجام شده روی خاکهای متاثر از شوری دریاچه ارومیه نشان داده که هدایت هیدرولیکی رابطه مستقیم با اندازه ذرات و با شاخص سله‌بندی و تراکم رابطه عکس دارد (Shaker Shahmarbeigloo et al., 2019). پیش از این، خواص هیدرولیکی در اعماق مختلف خاک (Kanvar et al., 1991; Mohaty et al., 1989) در مکان‌های فضایی مختلف با استفاده از تکنیک‌های اندازه‌گیری مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. (Luthin, 1987; Schilfgaarde, 1974) در روش نفوذسنج گلف هدایت هیدرولیکی افقی خاک اندازه‌گیری می‌شود. زیرا مقدار زیادی از آب از جداره چاهک و مقدار کمی از کف چاه نفوذ می‌کند. مطالعات انجام شده نشان داده است که قطر و ارتفاع چاهک در روش گلف برای محاسبه هدایت هیدرولیکی خاک تأثیر چندانی در نتایج ندارد (Asadollahzadeh et al., 2014). (Reynolds & Zebchuk, 1996) آزمایش نفوذسنج گلف و روش چاهک را روی خاک رس و لای انجام دادند. (Gallichand et al., 1990) روش گلف را با روش چاهک در خاک رسی با هم مقایسه کرده‌اند. (Kashkuli & Mirbehersee, 2001) آزمایش نفوذسنج گلف را در یک نوع خاک لای انجام داده است. (Kanvar et al.,

داد. هدف از این مطالعه برآورد هدایت هیدرولیکی از روش اندازه‌گیری گلف درجا، برای این نوع خاک خاص از بستر دریاچه ارومیه در چندین عمق بود.

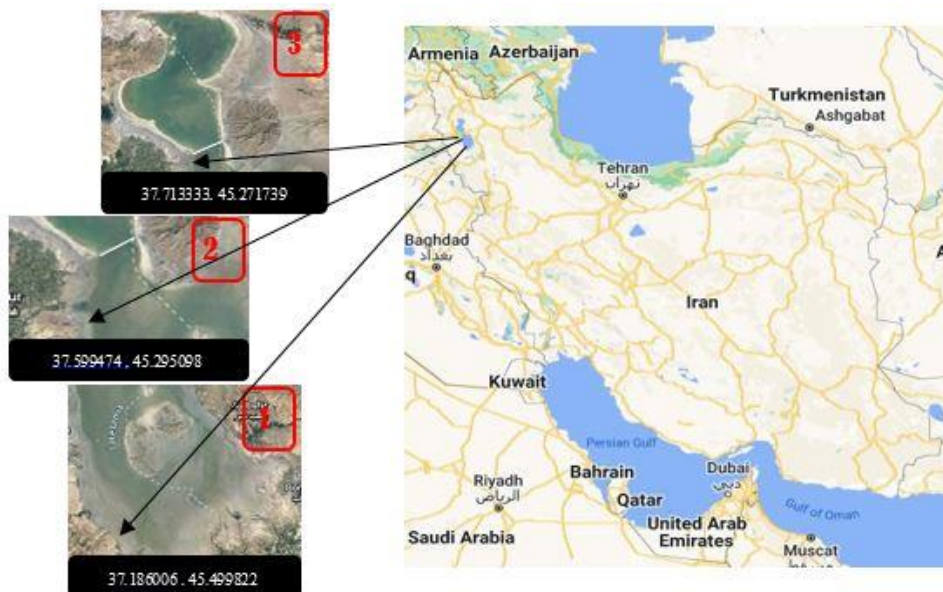
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ در قسمت نوار غربی و جنوب غربی دریاچه ارومیه انجام شده است. این دریاچه با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۶ درجه طول شرقی در ارتفاع ۱۲۶۷ متری از سطح دریا واقع شده است. دریاچه مانند یک گودال تقریباً مستطیل شکل است که از شمال به جنوب در غرب فلات آذربایجان امتداد دارد. دریاچه ارومیه که باعث تقسیم طبیعی آذربایجان غربی و شرقی شده است، آب حوضه ای به وسعت حدود ۵۲۰۰۰ کیلومتر مربع از فلات آذربایجان را به خود جذب می‌کند (Soudi et al., 2019). مختصات مکانی تحقیقات در شکل (۱) آورده شده است.

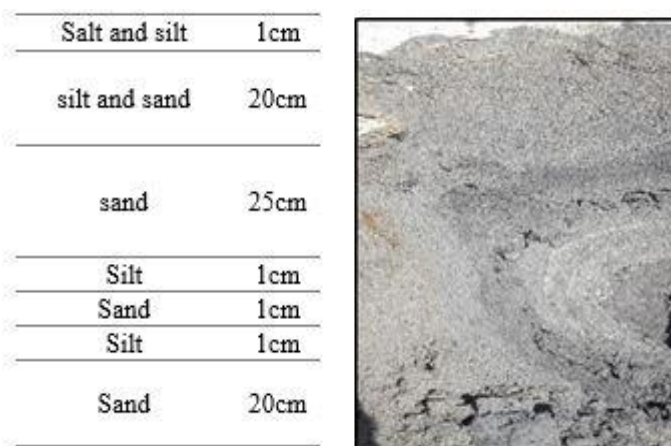
در این تحقیق، ۴۰ مورد نمونه برداری و انجام آزمایش نفوذسنج گلف با ایجاد ۶۰ چاهک با دو بار تکرار در سه منطقه شامل: منطقه شماره ۱ حیدر آباد نرده- منطقه شماره ۲ چیچست ارومیه و منطقه شماره ۳ میان‌گذر ارومیه به تبریز، انجام شد. نمونه برداری از سه منطقه یاد شده با لوله‌های پی وی سی در عمق‌های مختلف تا ۱ متر انجام و نمونه‌ها برای انجام آزمایشات به آزمایشگاه منتقل شدند. آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد دانه‌بندی هیدرومتری شماره ASTM D 422-AASHTO-T88 انجام شد. در این روش توزیع ذرات خاک با اندازه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. توزیع ذرات بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی متر (باقیمانده روی الک شماره ۲۰۰) به روش الک و توزیع ذرات کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی متر به روش ته نشینی با استفاده از هیدرومتر استاندارد تعیین شد. نیم رخ لایه‌های تشکیل‌دهنده بستر دریاچه ارومیه تا عمق ۷۰ سانتیمتری در شکل ۲ نشان داده شده است.

۱۹۸۷، ۱۹۹۰، ۱۹۸۹؛ Darcy et al., 1990; Stephens et al., 1987) آزمایش گلف را در خاک رس انجام داده‌اند. (Yaser, 2017) هدایت هیدرولیکی اشباع را با نفوذسنج مکشی، نفوذسنج گلف با بار آبی ۵ سانتیمتر، نفوذسنج گلف با بار آبی ۱۰ سانتیمتر و آنالیز دو عمقی گلف در مزرعه‌ای با نوع خاک لومی و شنی انجام داد، که نتایج آن به ترتیب ۷، ۳، ۴ و ۶/۲ (سانتیمتر بر ساعت) بدست آمده است. (Reynolds & Elrick, 1985) روش گلف به دلیل بر خورداری از مبانی تئوریک قوی، سرعت عمل در انجام آزمایش، هزینه بسیار کم، مورد توجه بیشتر مهندسان آب و ژئوتکنیک واقع گردیده و استفاده از این روش، برای تعیین هدایت هیدرولیکی در آزمایش‌های صحرایی توصیه شده است. هدایت هیدرولیکی تنها پارامتر هیدرولیکی مهم برای پدیده‌های مربوط به جریان در خاک است. یکی از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی، روش چاهک است (Zanger, 1953). هدایت هیدرولیکی اشباع (Kfs) به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک حاوی هوای محبوس شده اشاره دارد. رسانایی هیدرولیکی اشباع شده در میدان مناسب تر از هدایت واقعی اشباع شده برای بررسی ناحیه غیراشباع است. زیرا هیدرولیکی طبق تعریف، فشار مثبت در شرایط غیراشباع به اندازه کافی برای حل شدن هوای محبوس باقی نمی‌ماند. در حضور سطح ایستابی، روش روزنه یک تکنیک ساده و قابل اعتماد برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های نسبتاً یکنواخت است. اما اگر سطح ایستابی در منطقه مورد نظر وجود نداشته باشد، نمی‌توان از این روش استفاده کرد. روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در غیاب سطح آب پیچیده‌تر است. با افزایش مکش آب خاک، هدایت هیدرولیکی کاهش می‌یابد. این رابطه را رابطه هدایت - فشار می‌نامند. همانطور که ملاحظه می‌شود، مطالعات، بیشتر روی خاک‌های رسی انجام شده است. نتایج این مطالعات در مورد تغییرپذیری هدایت هیدرولیکی در انواع خاکها بجز خاک‌های آلی شور می‌باشد، که این موضوعات ما را به بررسی تکنیک گلف برای اندازه‌گیری تغییرپذیری هدایت هیدرولیکی در مصالح بستری دریاچه ارومیه که دارای نوع خاک خاص (خاک‌های دارای مواد آلی شور) می‌باشد سوق



شکل ۱- مختصات مکانی موقعیت مورد مطالعه در بستر خشک شده دریاچه ارومیه

Figure 1. The spatial coordinates of the study position on the bed of Lake Urmia



شکل ۲- برش مقطعی از عمق گودال در منطقه چیچست ارومیه.

Figure 2. A cross -section cut from the depth of the pit in the Chichest area of Urmia

داخل دریاچه و در عمق (۵ الی ۴۰ سانتیمتر) بر اساس استاندارد شماره AASHTO: T191-02(2006) انجام شد. توزیع اندازه ذرات موقعیت های مورد مطالعه در شکل (۳) ارائه شده است.

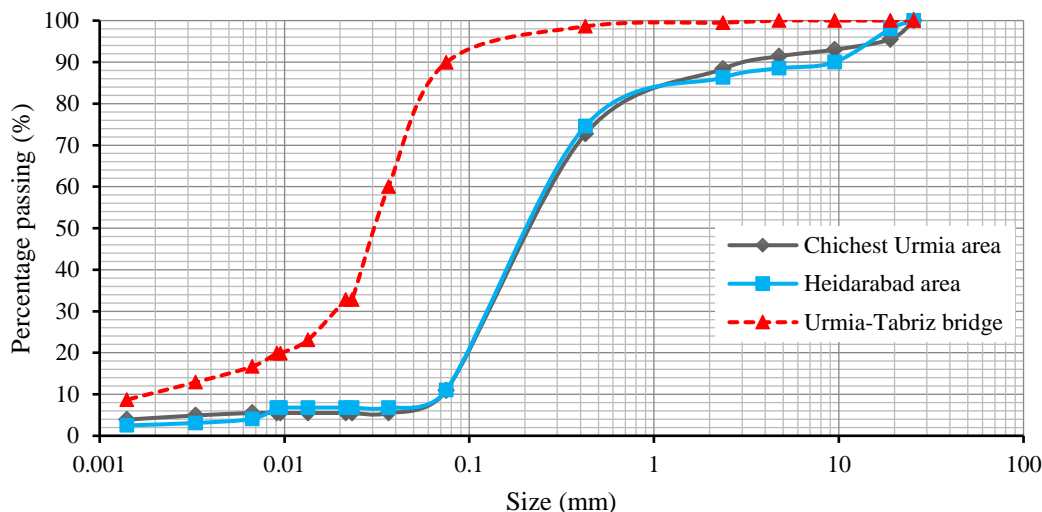
#### مواد آلی

در این تحقیق ۴۰ نمونه از فواصل مختلف در عرض دریاچه از سه منطقه تا عمق یک متر با تفکیک ماسه و لای، برداشته شد. که برای تشخیص درصد مواد آلی از روش تعیین اختلاف وزن خاک ناشی از قرار گرفتن در یک کوره الکتریکی (روش افت حرارتی) طبق استاندارد آزمایش AASHTO

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، نوع خاک های بستر دریا در منطقه چیچست به عمق حدود ۱ متر از لای و ماسه تشکیل شده و رنگ آنها بیشتر سیاه مایل به سبز است و دلیل آن می تواند اثر شوری بیش از حد آب دریا و مواد آلی باشد. ضخامت رسوبات طبق شکل (۲) متفاوت است و دلیل آن ورود رسوبات در سال های پرآبی و کم آبی است که رسوبگذاری سال به سال متفاوت بوده است. به منظور تکمیل اطلاعات و پارامترهای لازم در این مرحله، آزمایش دانسیته خاک در محل (۱۰ آزمایش) نیز با استفاده از ماسه و مخروط در مناطق چیچست ارومیه و حیدرآباد در فاصله ۱ کیلومتری به

میانی ارومیه- تبریز به دلیل وجود آب، نمونه برداری تا فاصله ۸۰۰ متری انجام شد.

DESIGNATION:T267-86(2008). در دمای حدود ۴۵۵ درجه سانتیگراد استفاده شد. نمونه برداری در مناطق چیچست و حیدرآباد تا فاصله ۵ کیلومتری و در محدوده پل



شکل ۳- نمودار دانه‌بندی مواد بستری منطقه چیچست ارومیه، حیدرآباد نرده و میان گذر ارومیه تبریز

Figure 3. Grading curves of the studied materials of Lake Urmia bed at the three different locations (Chichest, Heydar-Abad, Tabriz-Urmia cause way)

درجه سانتیگراد، رعایت شد که تضمین می‌کند که مواد آلی از بین نمی‌روند (Yan et al, 2011).

#### نفوذسنج گلف

نفوذسنج گلف (Reynolds & Elrick., 1990; Reynolds & Elrick., 1986) یک دستگاه نفوذسنج سر ثابت است که از اصل ماریوت برای اندازه‌گیری نرخ جریان استفاده می‌کند. این روش سرعت جریان حالت پایدار  $Q$  ( $m^3/s$ ) مورد نیاز برای حفظ عمق آب ثابت  $H$  (m) را در یک چاه استوانه‌ای غیر محفظه‌ای به شعاع  $(m)$  در عمق خاک آزمایشی اندازه‌گیری می‌کند. تحت شرایط جریان پایدار، هدایت هیدرولیکی اشباع  $(Kfs(m/s))$  با استفاده از دو یا چند جفت اندازه‌گیری شده  $Q$  و  $H$  برای هر محل آزمایش با شعاع  $a$ ، پتاسیل ماتریک و پارامتر  $(\alpha)$  با استفاده از معادلات ۱، ۲، ۳ و ۴ پیشنهاد شده توسط رینولدز، آلریک و کاتالوگ دستگاه محاسبه شده است. نفوذسنج گلف برای تعیین  $Kfs$  برای یک خاک خاص استفاده می‌شود. هدایت هیدرولیکی  $(Ks)$  بر اساس رابطه ریچاردز برای روش تک عمقی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

#### وزن مخصوص ذرات جامد (Gs)

یکی از پرکاربردترین پارامترهای مکانیکی خاک در روابط وزنی و حجمی، چگالی مخصوص یا وزن مخصوص ذرات جامد خاک است و یکی از عوامل اصلی تفاوت در وزن مخصوص ذرات جامد در خاک‌های مختلف، وجود کانی‌های مختلف است. اندازه‌گیری وزن مخصوص واقعی تنها بر اساس وزن ذرات جامد است، بنابراین وزن مخصوص واقعی در یک نوع خاک همیشه ثابت است و با تغییر مقدار منافذ خاک تغییر نمی‌کند. این وزن مخصوص وزن ذرات جامد در واحد حجم است و معمولاً بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب بیان می‌شود. برای تعیین وزن مخصوص ذرات جامد خاک، آزمایش پیکنومتر بر اساس استاندارد ASTM D854 انجام شد. این آزمایش در فواصل مختلف از دریاچه در مناطق حیدرآباد و چیچست انجام و عمدتاً از نمونه‌های ماسه با درصد‌های مختلف مواد آلی استفاده شد. به منظور تعیین تأثیر واقعی مواد آلی در محاسبه چگالی ویژه، قبل از آزمایش شرایط خاصی از جمله شستشوی نمونه در سطل برای حذف املاح موجود و در فرآیند آزمایش، خشک کردن نمونه در دمای ۶۰

$$K_s = \frac{CQ}{2\pi H^2 + C\pi a^2 + \frac{2\pi H}{\alpha}} \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) پارامتری است که شیب منحنی مربوط به حالت طبیعی هدایت هیدرولیکی را نشان می‌دهد.  $H$  (cm) ارتفاع ثابت آب در گمانه و  $a$  (cm) شعاع گمانه بوده و  $C$  یک عدد ثابت بوده که ارتباط مستقیم با نسبت  $\frac{H}{a}$  دارد. نفوذسنج گلف می‌تواند پتانسیل ماتریکی ( $\phi_m$ ) را اندازه‌گیری کند. این پارامتر اندازه‌گیری توانایی خاک برای کشیدن آب توسط نیروی مویرگی از طریق سطح مقطع واحد در واحد زمان را نشان می‌دهد. پتانسیل ماتریک ( $\phi_m$ ) بر حسب سانتی متر مربع بر ثانیه با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\phi_m = (0.0572 * X * R1) - (0.0237 * X * R2) \quad (2)$$

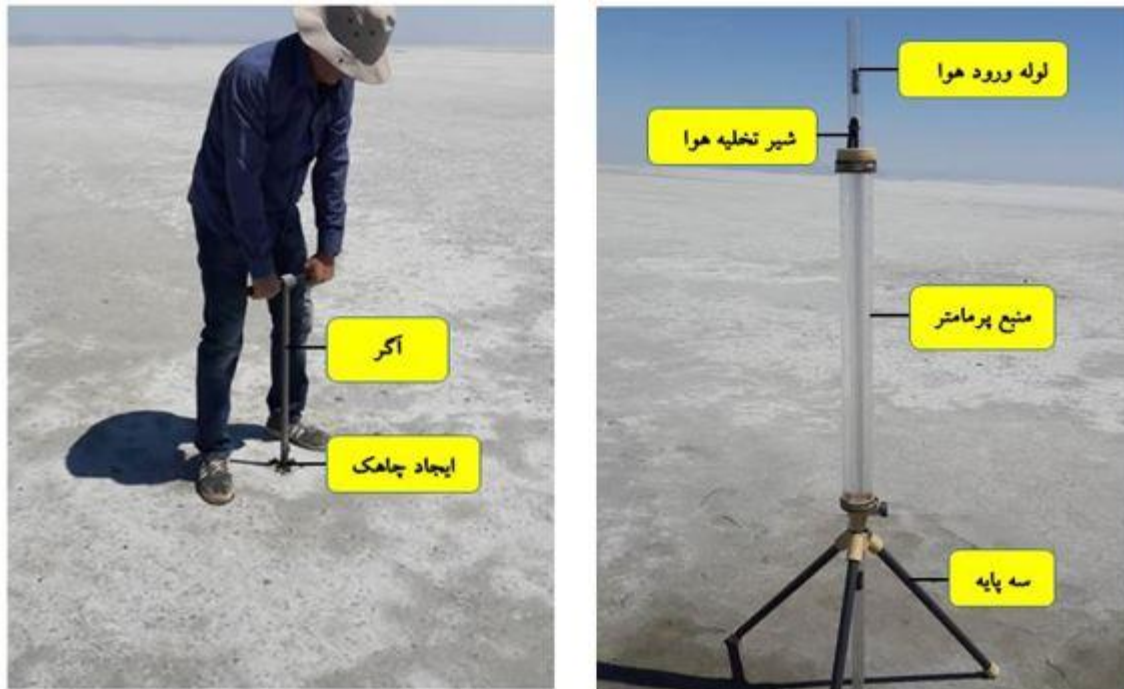
که در آن  $R1$  و  $R2$  نرخ سقوط حالت پایدار در مجموعه مخزن به ترتیب برای بار آبی ۵ سانتی متر و ۱۰ سانتی متر هستند و  $X$  ثابت است. پارامتر آلفا ( $\alpha$ )، نسبت هدایت هیدرولیکی ( $K_{fs}$ ) به پتانسیل ماتریکی بر حسب  $\text{cm}^{-1}$  است که با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\alpha = K_{fs} / \Phi_m \quad (3)$$

(Reynolds & Elrick, 1986) مقدار  $C$ ، یک فاکتور شکل بدون بعد است که عمدتاً به نسبت  $H/a$  و نوع خاک مورد آزمایش بستگی دارد. در این تحقیق از دستگاه نفوذسنج Guelph 2800KI ساخت شرکت SOIL MOISTURE استفاده شد. (Reynolds *et al.*, 1983) (Elrick *et al.*, 1989) روش اندازه‌گیری نفوذپذیری با بار ثابت با استفاده از نفوذسنج گلف را توسعه داد. در این روش ابتدا با استفاده از اگر دستی، چاهی به قطر ۵ سانتی متر در کف دریاچه ایجاد و کف گودال را با اگر مخصوص دیگری بدون فشار دادن صاف می‌کنند. دیواره چاه با برس مخصوص مالیده می‌شود، تا وضعیت دیواره چاه به حالت عادی ساختار خاک برگردد. با تهیه دستگاه گلف،

محور دستگاه عمود بر چاه و در عمق مورد نظر قرار گرفت. نفوذسنج گلف یک استوانه ماریوتی است. که از لوله‌های پلاستیکی شفاف متحدالمرکز ساخته شده است. این دستگاه شامل یک مجموعه سه پایه، لوله های پشتیبانی و اتصالات لوله هوای پایین، مجموعه مخزن، مقیاس سر چاه و اتصالات لوله هوای بالایی، و ابزارهای کمکی است. مجموعه سه پایه شامل یک پایه سه پایه با سه پایه قابل جدا شدن برای پشتیبانی از نفوذسنج در موقعیت عمودی است. لوله های پشتیبانی و اتصالات لوله هوای پایینی آب را از مجموعه مخزن به سوراخ چاه هدایت و وسیله ای را برای ایجاد و حفظ یک هد ثابت آبی در چاه فراهم می‌کنند. مجموعه مخزن وسیله ای برای ذخیره آب و اندازه‌گیری سرعت خروجی در زمانی که نفوذسنج گلف در حال استفاده است فراهم می‌کند. لوله هوای بالایی با بستن لوله هوا به لوله هوای میانی متصل می‌شود. این به عنوان یک ابزار برای تسهیل تنظیم سر چاه عمل می‌کند. نمایی از نفوذسنج گلف در شکل (۴) نشان داده شده است. این آزمایش، هم برای لایه های دارای خاک لای و هم برای خاک ماسه لای دار در سه منطقه حیدرآباد نقده، چیچست ارومیه و پل میانگذر ارومیه به تبریز در دریاچه ارومیه، انجام شد. برای این کار ۲۰ چاهک در فواصل ۵۰ متر از هم در عرض دریاچه به صورت زیگزاگ به عمق ۳۵ سانتیمتر حفر گردید. دبی خروجی در دو مرحله اندازه‌گیری شد. در مرحله اول، در بار آبی ۵ سانتیمتر و در مرحله دوم لوله هوا ۵ سانتیمتر بالا کشیده شد تا بار آبی به ۱۰ سانتیمتر افزایش یابد، اندازه‌گیری برای هر دو بار آبی ۵ و ۱۰ سانتیمتر، تا زمانی ادامه داشت که شدت افت سطح آب در سه زمان متوالی مساوی شود. بعد از محاسبه میزان تغییرات سطح آب یا سرعت نفوذ  $R1$  برای بار آبی ۵ سانتیمتر و  $R2$  برای بار آبی ۱۰ سانتیمتر ( $\text{cm}/\text{min}$ )، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از معادله (۴) بدست آمد.

$$K_{fs} = (0.0041) * (35.22) * R_2 - (0.0054) * (35.22) * R_1 \quad (4)$$



شکل ۴- نحوه قرارگیری دستگاه نفوذسنج گلف (الف) و ایجاد چاهک (ب) در محل تحقیقات (بستر دریاچه ارومیه)  
Figure 4. Installation of Guelph permeameter and creating wells at the research place

به دست خوردگی بسیار زیاد منطقه دانست که در اثر ساخت پل طی چندین سال ایجاد شده است (Hemmati *et al.*, 2021; Soudi *et al.*, 2019).

#### محتویات مواد آلی

خاک‌های آلی به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص و عدم استحکام و ظرفیت بارگذاری مناسب عملاً جزو خاک‌های نامطلوب و مشکل ساز محسوب می‌شوند و هر گونه کار ساختمانی روی این نوع خاک قطعاً مشکل ساز خواهد بود. در دریاچه ارومیه مواد آلی از مرگ تدریجی جلبک‌ها، و سخت پوستانی مانند آرتمیا که نقش مهمی در رفتار ژئوتکنیکی رسوبات نرم کف دریاچه دارند، تشکیل می‌شود (Aflaki, 2004). نوع نمونه‌ها در منطقه پل میان گذر ارومیه به تبریز عمدتاً لای و درصد مواد آلی بدست آمده از ۳/۱۸ درصد تا ۷/۴۸ درصد متغیر بوده است. درصد مواد آلی برای مناطق حیدرآباد و چیچست ارومیه به تفکیک برای خاک‌های ماسه و لای در شکل‌های ۶ و ۷ مشخص شده است.

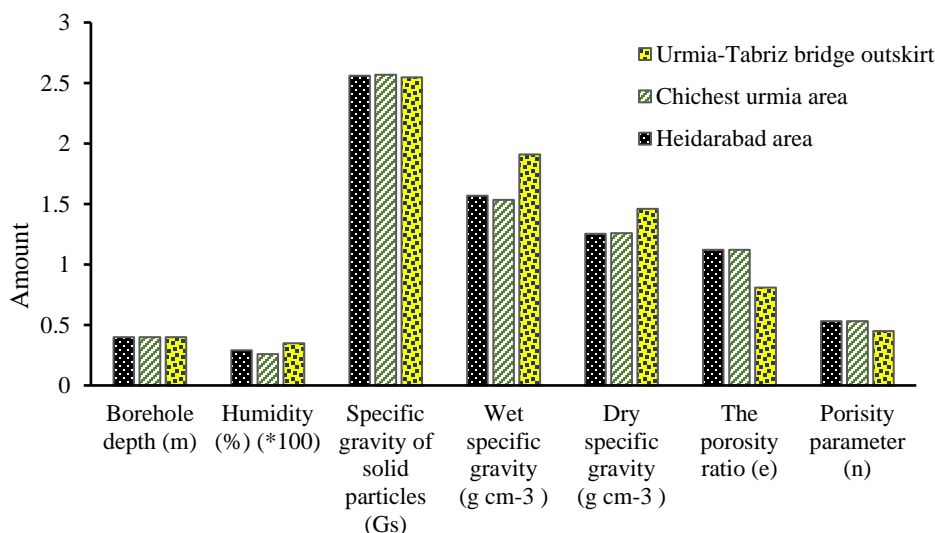
#### نتایج و بحث

##### مشخصات و خواص مکانیکی خاک

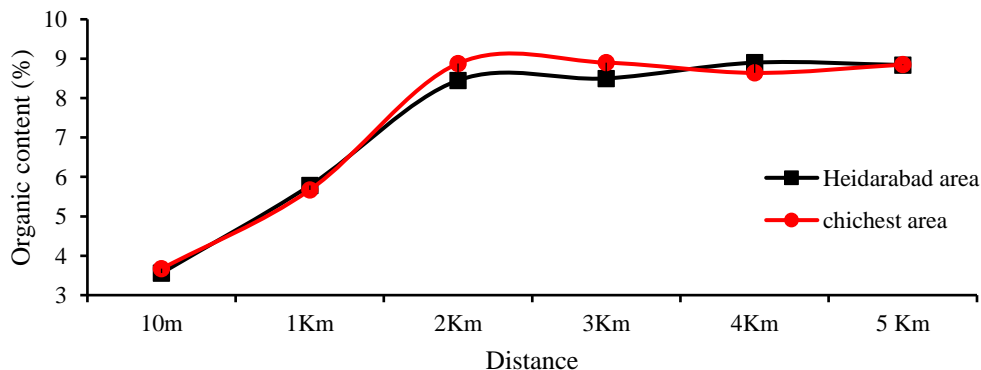
در جدول ۱ نتایج آزمایش‌های انجام شده (دانه بندی با الک و هیدرومتری، پیکنومتر و دانسیته در محل)، برای مشخص شدن پارامترهای مکانیک خاک، شامل: طبقه بندی خاک، وزن مخصوص تر، وزن مخصوص خشک، وزن مخصوص ذرات جامد (Gs)، نسبت تخلخل، پوکی و درصد رطوبت برای سه منطقه مورد نظر ارائه شده و در شکل ۵ این نتایج برای سه منطقه مورد نظر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد، که پارامترهای مکانیک خاک مناطق چیچست و حیدرآباد ارومیه تقریباً مشابه هم بوده و نوع خاک آنها ماسه بدانه بندی لایدار می‌باشد. و با پارامترهای مکانیک خاک منطقه میان گذر ارومیه به تبریز تفاوت دارند. فاصله دو منطقه حیدرآباد و چیچست در امتداد دریاچه ارومیه حدود ۸۰ کیلومتر است. و فاصله منطقه چیچست تا پل میانگذر ارومیه به تبریز حدود ۱۰ کیلومتر می‌باشد. یکی از دلایل تفاوت پارامترهای مکانیک خاک در این دو منطقه همانطور که گفته شد، می‌توان

جدول ۱- پارامترهای مکانیکی خاک رسوبات دریاچه ارومیه در عمق ۴۰ سانتی متر  
Table 1. Mechanical parameters of Lake Urmia sediments in the depth of 40 cm

Zone	Void ratio (e)	Special dry weight (gr cm <sup>-3</sup> )	Special wet weight (gr cm <sup>-3</sup> )	Specific gravity (Gs)	Soil classification	Humidity (%)	Depth (cm)	Porosity (n)
Urmia-Tabriz bridge	0.81	1.46	1.91	2.584	ML	35	40	0.45
Chichest	1.12	1.258	1.535	2.567	SP-SM	26	40	0.53
Heidarabad	1.12	1.254	1.568	2.559	SP-SM	29	40	0.53

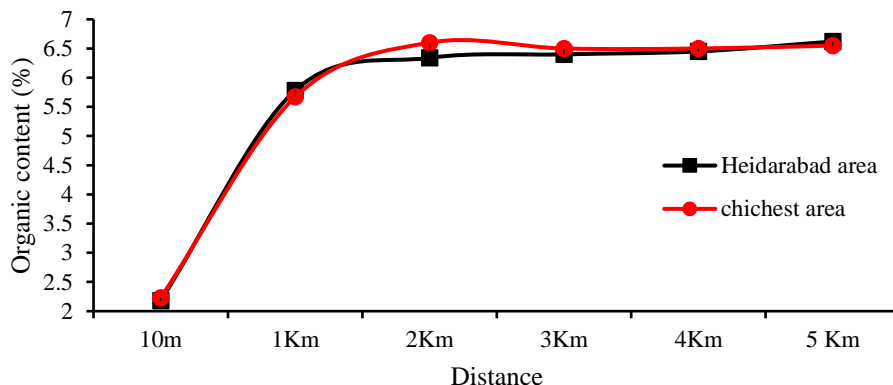


شکل ۵- مقایسه خواص ویژه خاک در عمق ۴۰ سانتی متر  
Figure 5. Comparison of special properties of soil at depth of 40 cm



شکل ۶- مقایسه محتوای آلی برای خاک لای دار مناطق چیچست ارومیه و حیدرآباد  
Figure 6. Comparison of organic content of sandy soil in the areas of Chichest and Hyderabad





شکل ۷- مقایسه محتوای آلی برای خاک ماسه مناطق چیچست ارومیه و حیدرآباد

Figure 7. Comparison of organic content for organic soil in chichest and hyderabad

گردید. این آزمایش در کلیه چاهک های آزمایش با دو بار آبی ۵ و ۱۰ سانتیمتر انجام شد. در هر چاهک برای دو بار ثابت، مقدار R1 و R2 (میزان تغییرات سطح آب درون مخزن در واحد زمان) محاسبه شد. شکل های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱، میزان تغییرات سطح آب (R1 و R2) در مخزن داخلی نفوذسنج گلف، با قرائت های با بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی متر، در دو چاهک ایجاد شده از ۲۰ چاهک برای این آزمایش در منطقه حیدرآباد، با نوع خاک ماسه لای دار نشان می دهد. میزان تغییرات سطح آب یا سرعت نفوذ R1 برای بار آبی ۵ سانتیمتر و R2 برای بار آبی ۱۰ سانتیمتر (cm/min)، از تقسیم ارتفاع بین دو قرائت در مخزن گلف به زمان نفوذ آب بین دو قرائت، محاسبه می شود. با توجه به شکل ۸ و ۱۱، تعداد قرائت های انجام شده در بار آبی ۱۰ سانتیمتر تا اینکه به مقدار ثابت برسند، برای محاسبه هدایت هیدرولیکی، بترتیب ۱۰ و ۲۰ قرائت بوده و با توجه به شکل ۹ و ۱۰، تعداد قرائت های انجام شده در بار آبی ۵ سانتیمتر تا اینکه به مقدار ثابت برسند، بترتیب ۲۰ و ۱۸ قرائت بوده است. این می تواند با نوع بافت خاک هر منطقه ارتباط داشته باشد. مقادیر R2 در بار آبی ۱۰ سانتیمتر، تقریباً ۲ برابر مقادیر R1 در بار آبی ۵ سانتی متر هست. و با توجه به برآزش انجام شده، سرعت نفوذ برای R2 در قرائت های صورت گرفته (شکل های ۸ و ۱۱)، پراکندگی داشته و بیشتر شده است. این در حالی هست سرعت نفوذ برای R1 (شکل های ۹ و ۱۰)، دامنه تغییرات کمتری داشته و کمتر بوده است.

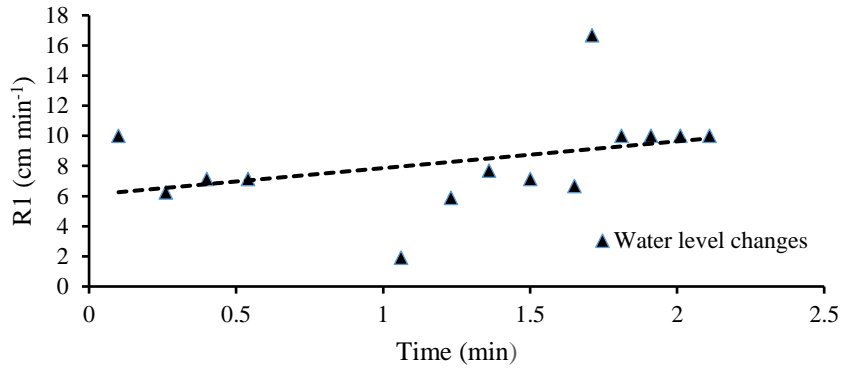
با توجه به شکل های ۶ و ۷، درصد مواد آلی برای هر دو منطقه حیدرآباد و چیچست ارومیه، به ترتیب از حدود ۳ تا ۹ درصد برای لای و از حدود ۲ تا ۷ درصد برای ماسه متغیر بود. اگرچه مواد آلی بخش کوچکی از رسوبات دریاچه را تشکیل می دهد، اما تأثیر زیادی بر خواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و مقاومت رسوبات دریاچه ارومیه دارد و یکی از شاخص های مهم در شناخت این رسوبات از نظر مقاومت برشی می باشد. علاوه بر این در تعیین میزان تخلخل و وزن مخصوص ذرات جامد خاک و هدایت هیدرولیکی خاک بستر دریاچه مؤثر بوده می تواند از دلایل تیرگی رنگ رسوبات دریاچه محسوب شوند

#### وزن مخصوص ذرات جامد (Gs) در رسوبات دریاچه

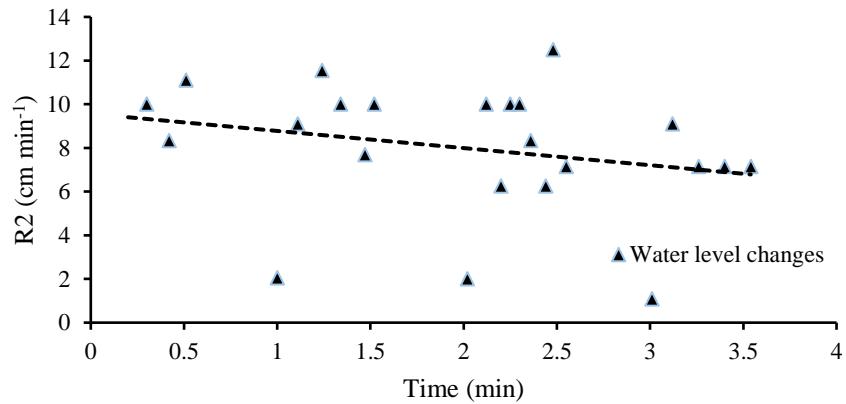
آزمایش پیکنومتر در سه حالت نمونه معمولی، نمونه پس از شستشو و نمونه پس از شستشو و سوزاندن مواد آلی در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد انجام شد. اعداد به دست آمده برای چگالی ویژه در مورد نمونه های نرمال از ۲/۱۲ تا ۲/۵۷ متغیر بود. درصد مواد آلی و در مواردی که نمونه ها قبل از آزمایش، شستشو و نمک حذف شده اند، نسبت به اعداد قبلی ۰/۰۳ الی ۰/۰۵ افزایش یافته است و در حالتی که هم نمونه شسته شده و هم مواد آلی سوزانده شده است. چگالی ویژه حدود ۲/۶۴ تا ۲/۶۶ بود.

#### میزان تغییرات سطح آب در مخزن داخلی نفوذسنج گلف (R1-R2)

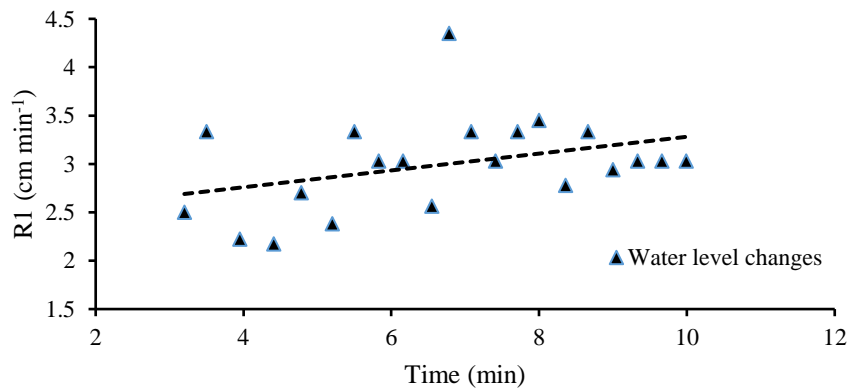
در مناطق مورد آزمایش، ۶۰ چاهک با فواصل تقریباً یکسان با عمق ۳۵ سانتیمتر جهت انجام آزمایش نفوذسنج گلف حفر



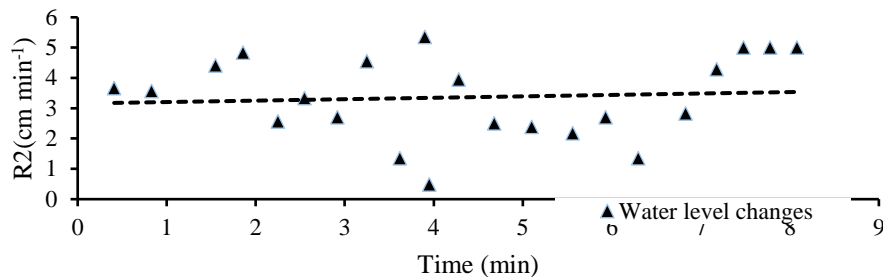
شکل ۸- میزان تغییرات سطح آب در مخزن نفوذسنج گلف در بار آبی ۱۰ سانتی متر.  
Figure 8. Changes of water level in the Guelph tank at 10 cm water load.



شکل ۹- میزان تغییرات سطح آب در مخزن نفوذسنج گلف در بار آبی ۵ سانتی متر.  
Figure 9. Changes of water level in the Guelph tank at 5 cm water load.



شکل ۱۰- میزان تغییرات سطح آب در مخزن نفوذسنج گلف در بار آبی ۵ سانتی متر.  
Figure 10. Changes in the water level in the Guelph tank at 5 cm water load.



شکل ۱۱- میزان تغییرات سطح آب در مخزن نفوذسنج گلف در بار آبی ۱۰ سانتی متر.  
Figure 11. Changes of water level in the Guelph tank at 10 cm blue load.

هدایت هیدرولیکی در ۳ چاهک ابتدایی که در نزدیکی ساحل دریاچه به فاصله ۵۰ متر از همدیگر ایجاد شدند، بطور میانگین ۰/۱۷۵ سانتی متر بر ساعت بوده که این مقدار در چاهک‌های ۴ الی ۲۰، جهش قابل ملاحظه‌ای داشته و میانگین آن ۵/۱۸ سانتی متر بر ساعت رسیده است.

#### هدایت هیدرولیکی

در جدول ۲، نتایج هدایت هیدرولیکی بدست آمده با بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی متر، پتانسیل جریان ماتریک خاک و پارامتر  $\alpha$  به روش نفوذسنج گلف برای رسوبات کف دریاچه ارومیه برای منطقه حیدرآباد نقره، با استفاده از معادلات (۲)، (۳) و (۴)، نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲، مقدار هدایت

جدول ۲- پتانسیل ماتریک خاک، هدایت هیدرولیکی و پارامتر  $\alpha$  منطقه حیدرآباد

Table 2. Soil matrix potential, hydraulic conductivity and parameter  $\alpha$  Heidarabad

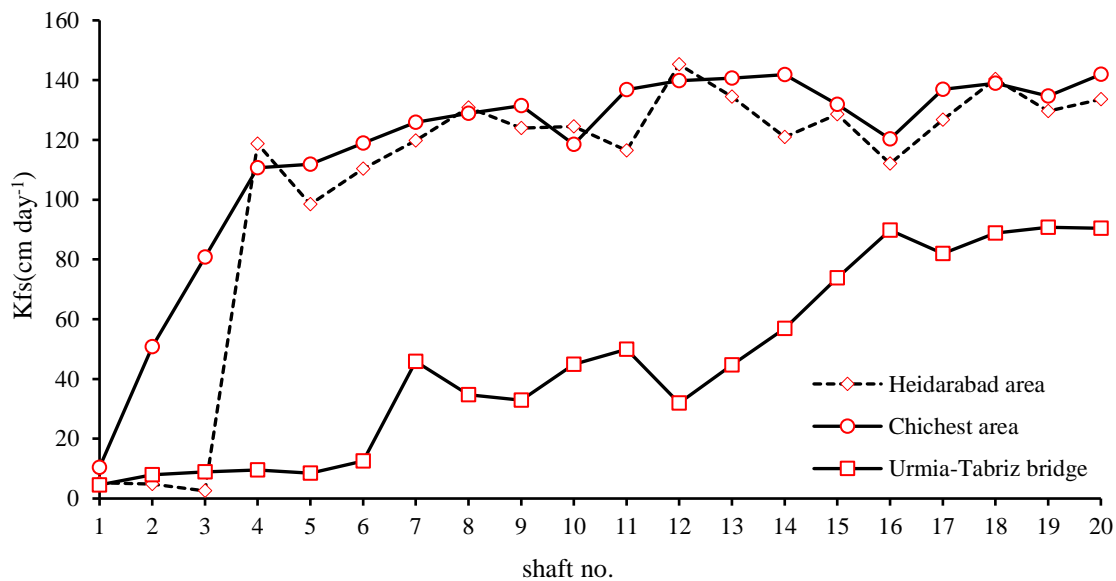
Parameter	Shaft no									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kfs (cm h <sup>-1</sup> )	0.218	0.203	0.106	4.948	4.102	4.6	4.99	5.45	5.164	5.19
$\Phi_m$ (cm <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> )	3.204	2.89	2.02	220.8	198.67	200.6	230	320	285.84	290.6
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	0.068	0.070	0.052	0.022	0.021	0.023	0.022	0.017	0.018	0.018

Parameter	Shaft no									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kfs (cm h <sup>-1</sup> )	4.85	6.05	5.6	5.04	5.36	4.68	5.28	5.847	5.4	5.56
$\Phi_m$ (cm <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> )	215.89	340.8	320.98	290.6	300.1	210	278.54	330.8	307.89	325
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	0.022	0.018	0.017	0.017	0.018	0.022	0.019	0.018	0.018	0.017

می‌شد. و بخشی دیگر، خاک بستر منطقه سوم بدلیل ساخت پل و خاک ریزی های متعدد، امکان دست خوردگی وجود داشته ولی در دو منطقه دیگر، خاک بستر از نوع ماسه لایدار و بدون دست خوردگی و با رطوبت کمتر بوده است. بخش زیادی از این تغییرات بدلیل تفاوت در بافت خاک و نوع خاک می‌باشد، که نوع خاک نزدیکی ساحل دریاچه بیشتر لجن و لای فشرده شده بوده و به سمت داخل دریاچه در این منطقه، ماسه و ماسه لایدار همراه با درصدی از مواد آلی می‌باشد.

همانطور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌گردد، ضریب هدایت هیدرولیکی برای هر چاهک در سه منطقه مد نظر در ۲۰ نقطه نشان داده شده است. که نمودار این ضریب برای دو منطقه حیدرآباد و چیچست ارومیه نزدیک به هم و نسبت به منطقه سوم دارای اختلاف بیشتری می‌باشد. بخش قابل توجه از این تفاوت و اختلاف به نوع خاک در منطقه پل میانگذر ارومیه به تبریز مربوط می‌شود، که نوع خاک آن لای و لجن بصورت فشرده با رطوبت زیاد بوده که گاهاً برای رسیدن به جواب منطقی، آزمایش با ۳ بار تکرار انجام



شکل ۱۲- میزان هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده با دستگاه نفوذسنج گلف در چاهکهای مطالعه شده  
Figure 12. Hydraulic conductivity via Guelph permeameter in the studied wells

مقدار هدایت هیدرولیکی بطور میانگین  $1/89$  سانتیمتر بر ساعت برآورد شد.

عمده خاک منطقه پل میان گذر ارومیه به تبریز لای یا ماسه لای دار با درصد بالای لای بوده، که با پیشروی به سمت داخل دریاچه از مقدار لای کاسته می‌شد. بسیاری از تغییرات به دلیل تفاوت در بافت خاک است. که با توجه به نمونه برداری و گمانه های ایجاد شده در سه منطقه مورد نظر از بستر دریاچه ارومیه، رسوبات کف دریاچه، نا همگن، شور، تخلخل بالا و تراکم پذیری بیشتر بوده و دارای درصدی از مواد آلی نیز می‌باشند. مواد آلی در منطقه پل میان گذر ارومیه به تبریز،  $3/18$  درصد تا  $7/48$  درصد متغیر بوده و در مناطق حیدرآباد و چیچست ارومیه، حدود ۲ تا ۷ درصد برای ماسه و از حدود ۳ تا ۹ درصد برای لای متغیر بود. همچنین مقادیر به دست آمده برای چگالی ویژه برای ماسه در مورد نمونه‌های دارای مواد آلی از  $2/12$  تا

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش میزان هدایت هیدرولیکی بستر دریاچه ارومیه بررسی شد. آزمایش تعیین هدایت هیدرولیکی به روش نفوذسنج گلف در دو بار آبی ۵ و ۱۰ سانتی متری در ۲۰ حلقه چاهک با ۲ تکرار و با فواصل ۵۰ متر از هم تا طول یک کیلومتر از عرض دریاچه ارومیه در مناطق حیدرآباد نقه، چیچست ارومیه و پل میانگذر ارومیه به تبریز انجام شد. مقادیر هدایت هیدرولیکی برای خاک های مناطق حیدرآباد و چیچست ارومیه تقریباً در یک حدود هستند و این می تواند به دلیل مشابه بودن نوع خاک بستر از نوع ماسه و ماسه بدانه‌بندی شده لای‌دار در دو منطقه باشد و هدایت هیدرولیکی برای این دو منطقه به‌طور میانگین برای خاک‌های لای عمدتاً در نزدیکی ساحل دریاچه  $0/175$  سانتیمتر بر ساعت و ماسه لای‌دار  $5/34$  سانتیمتر بر ساعت برآورد می‌شود و برای منطقه پل میان گذر ارومیه به تبریز،

۲/۵۷۸ متغیر بوده و برای نمونه‌های بدون مواد آلی از  
 ۲/۶۴۸ تا ۲/۶۶۷ متغیر بوده است. که درصد بالای مواد آلی  
 و کمتر شدن چگالی ویژه، می‌تواند تأثیر بسزایی در بیشتر  
 شدن میزان هدایت هیدرولیکی و همچنین بحرانی شدن  
 گرادیان هیدرولیکی در خاک بستر دریاچه ارومیه داشته  
 باشد.

## References

- Ahmadi H., Rahimi H., and Abdollahi J. 2009. Optimizing the location of contraction–expansion joints in concrete canal lining. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 58(1):116-25.
- Asadollahzadeh T., Mashal M., and Karimzadgan S. 2014. Investigating the precision of hydraulic conductivity and sportive number estimation in cased boreholes by Reynolds analysis: the case of Pakdasht region. *Journal of Soil and Water*, 28(4): 708-716. (In Persian)
- Asghari Sh., Hatamvand M., Hasanpour Kashani M. 2021. Estimating wet aggregate stability from easily available soil properties in north west of Urmia Lake. *Applied Soil Research*, 9(2): 102-115. (In Persian)
- 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: 1925-1931.
- Elrick D., Reynolds W., and Tan K. 1989. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Groundwater Monitoring and Remediation*, 9(3): 184-193.
- Elrick D.E., and Reynolds W.D. 1986. An analysis of the percolation test based on three dimensional saturated-unsaturated flows from a cylindrical test hole. *International journal of soil Science*, 142(5): 308-321.
- Elrick D.E., and Reynolds W.D. 1992. Infiltration from Constant Head Well Permeameters and Infiltrimeters. In: G. C. Topp., W. D. Reynolds and R. E. Green (Eds.) *Advances in the Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. Chapter 1. Special Publication No.30. *Soil Science Society of America. Madison, WIS, USA*.
- 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 and Remediation*, R. 9: 184-193.
- Gallichand j., Madramooto c.A., Enright P., and Barrington S.F. 1990. An evaluation of the Guelph permeameter for measuring saturated hydraulic conductivity. *Transaction of the ASAE*, 33: 1179-1184.
- Goli kalanpa R., Ahmadi H., Goli kalanpa E. 2018. The Effect of Salinity on the Swelling Behavior of Expansive Soils under Wetting and Drying Cycles. *Applied Soil Research*, 6(1): 85-97 (In Persian)
- Gupta R.K., Rudra R.P., Dickinson W.T., Patni N.K. and Wall G. J. 1993. Comparison of saturated hydraulic conductivity measured by various field methods. *Trans. ASAE*. 36: 51-55.
- Hemmati M., Ahmadi H., Hamidi S.A., and Naderkhanloo V. 2021. Environmental effects of the causeway on water and salinity balance in Lake Urmia. *Regional Studies in Marine Science*, 44: 101756.
- Kanwar R.S., Rivi H.A., Ahmed M., Horton R., and Marley S.J. 1989. Measurement of field
- 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)
- 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: 563-573.
- Luthin JN. 1978. *Drainage Engineering* R. E. Krieger Publ. Co. Huntington, N. Y. 281 P.
- Mohanty B.P., Kanwar R.S., and Horton R. 1991. A robust-resistant approach to interpret the spatial behavior of saturated hydraulic conductivity of a glacial till soil under no-tillage system. *Water Resources Research*, 27: 2979-2992.
- 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: 672-677.
- Mola Ali Abasiyan S., Karimpour M., Pirkharrati H., and Asadzadeh F. 2020. Investigation of cadmium adsorption potential by suspended sediments of the Rozeh-Chay River, Urmia region at different ionic strengths. *Applied Soil Research*, 8(1): 59-67. (In Persian)

- Rahimian M.H. 1996. Evaluation and modification of Inver Auger hole and Guelph methods comparing to Auger Hole method for measuring hydraulic conductivity. Research Report. *Agricultural Engineering Reserch Institute*, NO.49. (In Persian)
- Reynolds W.D., Elrick D.E., and Clothier B.E. 1985. The constant head well permeameter Effect on unsaturated flow. *Soil Science*, 139(2): 172-180.
- 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): 292-302.
- 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: 1679-1685.
- Reynolds W., and Elrick D. 1990. Poned infiltration from a single ring: I. Analysis of steady flow. *Soil Science Society of America Journal*, 54(5): 1233-1241.
- Reynolds W.D., and Elrick D.E. 1986. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 6(1): 84-95.
- Rostami S., Ahmadi H., and Ag N. 2022. Investigation on the Geotechnical Properties of Lake Urmia Bed Materials: with the Stepped Restoration Perspective. *Irrigation and Drainag Structures Engineering journal*, 22(85): 27-40.
- Schilfgaarde JV (Ed). 1974. Drainage for Agriculture. Agronomy No. 17. Amer. Sor. Agron. Madison. Wis, 700pp.
- Shaker Shahmarbeigloo P., Khodaverdiloo H., and Momtaz H.R. 2019. Testing of new inputs to predict nearsaturated soil hydraulic conductivity. *Applied Soil Research*, 7(1): 54-69. (In Persian)
- Soudi M., Ahmadi H., Yasi M. and Hamidi S.A. 2019. Water Balance of Urmia Lake and Estimation of the Volume of the Losses and Yields in Buffer Zone. *In World Environmental and Water Resources Congress 2019: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis* (166-177).
- 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: 2207-2214.
- Yan X., Cai Z., Wang S., and Smith P.2011. Direct measurement of soil organic carbon content change in the croplands of China. *Global Change Biology*, 17(3), pp.1487-1496.
- Zanger C.N. 1953. Theory and problems of water percolations. *Engineering Monograph No. 8*, Bur.of Reclamation, U.S. Dep. of Interior, 76 p.

## Application of Guelph Permeameter to Evaluate the Hydraulic Conductivity of Saline Soils Contain Organic Matter (Case Study: Lake Urmia)

Mehdi Valizadeh Hassanlou<sup>1</sup>, Hojjat Ahmadi<sup>1,2\*</sup>, Seyed Hamid Lajevardi<sup>1</sup>, Hamid Reza Saba<sup>3</sup>

(Received: July, 2022 Accepted: December, 2022)

### Abstract

Drying a large area of Lake Urmia is considered a serious environmental challenge for the region and the country. Therefore, the knowledge of the physical and mechanical characteristics of Lake Urmia bed material is necessary to do engineering activities to regenerate it. One of the major problems related to lake bed sediments is the effect of the high percentage of organic matter with low shear strength, high salt concentration, and solubility of some matters on soil behavior. In this article, after performing different field and laboratory tests to determine soil properties, the Guelph penetrometer (2800KI) was tested up to a distance of 1 km from the width of the lake and in different areas of the lake (Hyderabad in Naghadeh, Chichest in Urmia and the Urmia-Tabriz causeway). In these three areas of the lake, by digging 20 wells with a radius of 4 cm and a depth of 25-30 cm at different intervals in a zigzag pattern up to a length of 1 km towards the inside of the lake, hydraulic conductivity was measured using a Guelph permeameter in two hydraulic heads of 5 and 10 cm for each borehole with two replications. The study results showed that the hydraulic conductivity for the two areas of Hyderabad and Chichest of Urmia, on average, for loamy soils, mainly near the shore of the lake, was estimated to be 0.175 cm/h; 5.34 cm/h for layered sand and 1.89 cm/h for the area around Urmia-Tabriz causeway.

**Keywords:** Lake Urmia, sediments, Guelph penetrometer, Organic matter, Hydraulic conductivity

Valizadeh Hassanlouei, M. Ahmadi, H. Lajavardi, S.H., Saba, H. M. 2023. Application of Guelph Permeameter to Evaluate the Hydraulic Conductivity of Saline Soils Contain Organic Matter (Case Study: Lake Urmia). *Applied Soil Research*, 11(3):60-74.

1-Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Branch of Arak, Arak, Iran

2-Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3-Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

• Corresponding Author: [h.ahmadi@urmia.ac.ir](mailto:h.ahmadi@urmia.ac.ir)