

مطالعات آزمایشگاهی تغییرات نفوذپذیری هسته رسی
سد خاکی - سنگریزه‌ای ارومیه تحت اثر تنش‌های موثر
وارد شده توسط دستگاه نفوذپذیری سه‌محوری
با دیواره انعطاف پذیر (Tri Flex2)

سیامک زادکریم

کارشناس ارشد مهندسی عمران ، مکانیک خاک و پی
عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب
s_zadkarim@yahoo.com

کاظم بدو

دانشیار گروه عمران دانشگاه ارومیه، کد پستی ۱۶۵
k.badv@mail.urmia.ac.ir

چکیده:

سد خاکی - سنگریزه‌ای شهرچای ارومیه بر روی رودخانه شهرچای در ۱۵ کیلومتری غرب شهرستان ارومیه با هسته آببند رسی در حال ساخت است. در این مطالعه با استفاده از یک سری آزمایشات آزمایشگاهی، نفوذپذیری مصالح هسته مرکزی سد توسط دستگاه نفوذپذیری سه‌محوری با دیواره انعطاف پذیر (TriFlex2) مورد بررسی قرار گرفت. در هر سری آزمایش، سه نمونه بطور همزمان در داخل محفظه دستگاه قرار گرفته و تحت تنش موثر مشخص و گرادیان هیدرولیکی ۱۰ مورد آزمایش قرار گرفتند. برای هر سری آزمایش با سه نمونه ثابت، تنشهای موثر از ۵۰ تا ۲۵۰ کیلوپاسکال با بازه تغییراتی ۵۰ کیلوپاسکال، متغیر بودند. منحنی‌های حاصل از تغییرات تنش موثر- نفوذپذیری برای هر نمونه آزمایش نشان دادند که با افزایش تنش موثر از ۵۰ به ۲۵۰ کیلوپاسکال، نفوذپذیری نمونه‌ها به ترتیب از $4/3 \times 10^{-11}$ (m/s) به $1/24 \times 10^{-11}$ (m/s) کاهش می‌یابد. نتایج هر سه سری از آزمایشات بیانگر کاهش اثر تنش موثر بر روی نفوذپذیری در تنش‌های بالای ۲۵۰ کیلوپاسکال بود.

واژه‌های کلیدی :

سد شهرچای، ضریب نفوذپذیری، هسته مرکزی، آزمایش سه‌محوری

مقدمه

شامل نشانگر دیجیتالی فشار، منبع فشار هوا، رگلاتور کنترل فشار، کنترل آب هواگیری شده، اتصالات سریع (آب، هوا و مکش) و سه کانال بورت و آنولوس به همراه یک محفظه آزمایش می‌باشد که فشارهای وارد بر محفظه توسط بورت‌های مذکور به صورت جانبی و همچنین به بالا و پایین نمونه اعمال می‌شوند. پانل کنترل کمکی شامل شش بورت و آنولوس به همراه دو محفظه آزمایش می‌باشد که نحوه اعمال فشارهای وارده بر آن نیز مانند پانل اصلی می‌باشد. محفظه آزمایش نیز شامل سرپوش بالائی و پایینی، محفظه شیشه‌ای، بولتها و کلاهک می‌باشد شکل (۲). با استفاده از این دستگاه شرایط واقعی نمونه در زیر زمین را از نظر تنش و گرادیان هیدرولیکی می‌توان مدل نمود

(Operating Instructions, Tri-Flex2 Permeability Apparatus).

تا کنون مطالعات زیادی در زمینه بررسی نفوذپذیری در خاکهای اشباع در حالت یک محوری صورت پذیرفته است، ولی با توجه به اهمیت موضوع و مدل کردن شرایط طبیعی خاک محل در آزمایشگاه، نیاز به انجام آزمایشات سه محوری از اهمیت خاصی برخوردار است (Daniel ۱۹۸۶). انجام آزمایشات سه محوری به دلیل امکان اعمال تنش محلی محدود کننده و گرادیان هیدرولیکی مورد نظر بر روی نمونه، جهت میل به شرایط واقعی نمونه در زیر خاک حائز اهمیت فراوان می‌باشد. از جمله مطالعاتی که در این زمینه انجام گرفته است، می‌توان به بررسی اثر شکل و اندازه دانه‌ها، نسبت تخلخل، درجه اشباع و تراکم بر نفوذپذیری اشاره نمود (Carpenter and Stephenson, ۱۹۸۶).

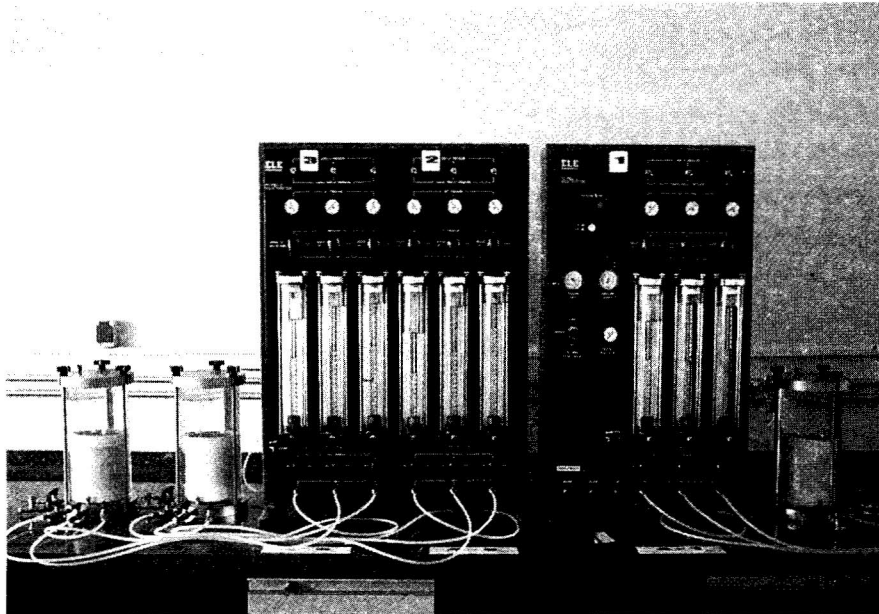
در این تحقیق، اثر تنش موثر بر روی نفوذپذیری در نمونه‌های خاک رس شنی (GC) هسته سدخاکی و همچنین اثر نحوه اختلاط مصالح و نیز اثر اعمال فشارهای مختلف در نفوذپذیری بتن پلاستیک پرده آببند سد، توسط دستگاه نفوذپذیری سه محوری با دیواره انعطاف پذیر (Tri-Flex2)، مورد بررسی قرار گرفته است.

سد شهرچای ارومیه

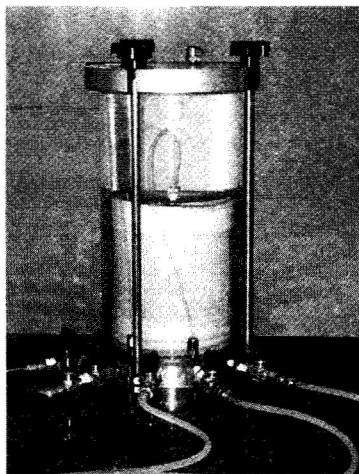
سد خاکی- سنگریزه‌ای شهرچای ارومیه بر روی رودخانه شهرچای در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب غربی و در بالادست شهرستان ارومیه در حال ساخت است. این رودخانه منبع اصلی تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه طرح می‌باشد. محل در نظر گرفته شده برای احداث سد شهرچای دارای مختصات جغرافیایی ۴۴۵۵ طول شرقی و ۳۷۲۸ عرض شمالی می‌باشد (گزارش سیمای طرح سد شهرچای ارومیه، ۱۳۷۸). تراز تاج سد ۱۵۸۸ متر از سطح آزاد دریا و طول آن حدود ۵۵۰ متر می‌باشد. مقطع خاکریز بدنه سد شامل هسته آببند رسی، لایه‌های فیلتر و زهکش، پوسته‌های سنگریزه‌ای بالادست و پائین دست می‌باشد. هسته آببند رسی در مرکز تقارن مقطع سد دارای شیب شیروانه‌های بالادست و پائین دست ۱:۳ (افقی به قائم) بوده و جنس مصالح مورد استفاده رسی شنی می‌باشد. همچنین سد دارای دو پرده آببند از نوع بتن پلاستیک در بالادست و پائین دست سد در زیر فرازبند و نشیب‌بند جهت ممانعت از تراوش آب، خصوصاً در هنگام ساخت پی سدر ناحیه هسته رسی، می‌باشد (مشخصات فنی و اختصاصی سد شهرچای ارومیه، ۱۳۷۸).

دستگاه نفوذپذیری با دیواره انعطاف پذیر (Tri-Flex 2)

دستگاه نفوذپذیری با دیواره انعطاف پذیر (Tri-Flex2)، تولیدی شرکت‌های Soil Test و ELE بوده و دارای یک پانل اصلی و یک پانل کمکی به همراه سه محفظه آزمایش می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. قطر نمونه خاکها ۷ و یا ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع نمونه‌ها ۱ الی ۱/۵ برابر قطر نمونه‌ها می‌تواند باشد. پانل اصلی دستگاه



شکل (۱): دستگاه نفوذپذیری سه‌محوری با دیواره انعطاف‌پذیر شامل پانلهای اصلی و فرعی و سه محفظه حاوی نمونه‌های در حال آزمایش



شکل (۲): محفظه آزمایش شامل سربوش بالائی و پایینی، محفظه شیشه‌ای، بولتها و کلاهک

در داخل محفظه آزمایش قرار گرفته و اشباع گردید. سپس یک فشار برگشتی به اندازه ۲۰۰ کیلوپاسکال به مدت ۲۴ ساعت بر نمونه اعمال گردید تا از اشباع نمونه اطمینان کافی حاصل شود (ASTM-D5084, ۱۹۹۷) سپس تنشهای کل و فشار آب حفره‌ای به نمونه اعمال و به نمونه حدود ۲۴ ساعت استراحت داده شد تا تنشهای داخل نمونه به تعادل رسیده و بعد از ایجاد اختلاف پتانسیل بین بالا و پایین نمونه، آب در نمونه جریان یابد. بعد از ثبت مقادیر آب ورودی و خروجی از نمونه به مدت تقریباً ۱۰ روز، منحنی حجم جریان - زمان برای نمونه مورد آزمایش رسم و از شیب منحنی مقدار دبی جریان (q) محاسبه

آزمایشات تعیین ضریب نفوذپذیری مصالح هسته رسی سد تحت تنش‌های موثر مختلف

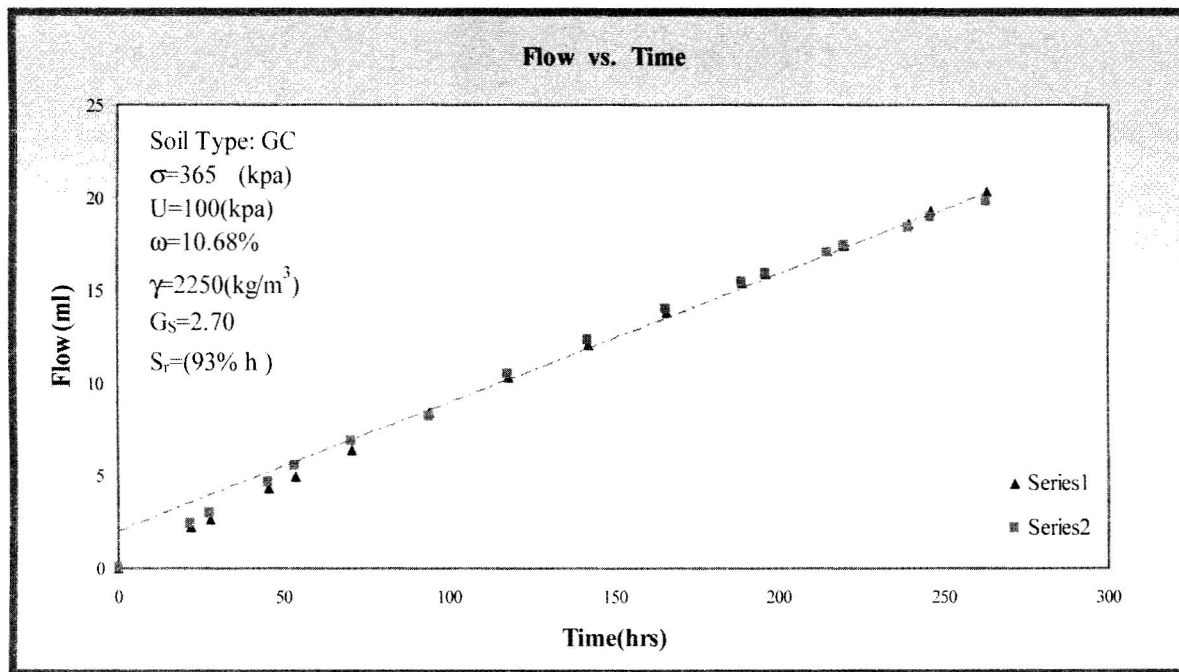
در هسته رسی سد از دانه‌های شنی بزرگتر از ۵ سانتی‌متر نیز استفاده می‌شود. لیکن استاندارد آزمایش نفوذپذیری سه‌محوری Daniel et al., ۱۹۹۸ حداکثر اندازه دانه‌ها را به (۱/۶) قطر نمونه محدود کرده است، بنابراین خاک رس مورد استفاده در هسته رسی از الک (۳/۴) گذرانیده شد. پس از رسم شبکه جریان برای هسته رسی سد شهرچای، نقاط نمونه‌برداری در آن مشخص و تنش کل و فشار آب حفره‌ای موجود در آن نقاط محاسبه گردید. سپس خاک رد شده از الک (۳/۴) با افزودن رطوبت طراحی در داخل قالب تراکم استاندارد متراکم شده،

انجام آزمایشات بر روی هر یک از نمونه‌ها ۴۵ روز به طول انجامید، ولی با توجه به اینکه در دستگاه فوق امکان انجام سه آزمایش هم‌زمان تحت کنترل پانل اصلی وجود داشت، آزمایشات در دو سری (سری آزمایشات B, C) و کلا به مدت ۹۰ روز انجام یافت. نتایج بدست آمده برای دو سری از نمونه‌ها در جدول (۲) آورده شده است. مطابق شکل (۴) که نمودار تنش موثر در برابر نفوذپذیری برای آزمایشات سری C می‌باشد، با افزایش تنش موثر، نفوذپذیری خاک مورد آزمایش کاهش می‌یابد ولی این کاهش در مقادیر تنش موثر تا ۲۰۰ کیلوپاسکال محسوس و برای مقادیر بالای آن ناچیز و قابل صرف‌نظر می‌باشد. یعنی در تنشهای موثر بالای ۲۰۰ کیلوپاسکال، تنش موثر اثر کمی بر نفوذپذیری دارد (Stover et al., ۲۰۰۱). با توجه به اینکه در هسته رسی سد خاکی مورد بحث، تنشهای موثر با توجه به ارتفاع هسته سد، بسیار بالاتر از مقادیر مورد آزمایش در مرحله دوم مطالعه می‌باشند، لذا ضریب نفوذپذیری هسته رسی سد کمتر از این مقادیر خواهد بود. در این نوع آزمایشات به علت ریز دانه بودن مصالح از گرا دیان هیدرولیکی ۱۰ کیلوپاسکال استفاده شده است، زیرا بکارگیری گرا دیان هیدرولیکی بالا باعث به هم خوردن بافت خاک و حرکت دانه‌های ریز رس به داخل منافذ گشته و موجب خطای آزمایشات می‌گردد (Daniel, ۱۹۸۶; ASTM-D5084, ۱۹۹۷).

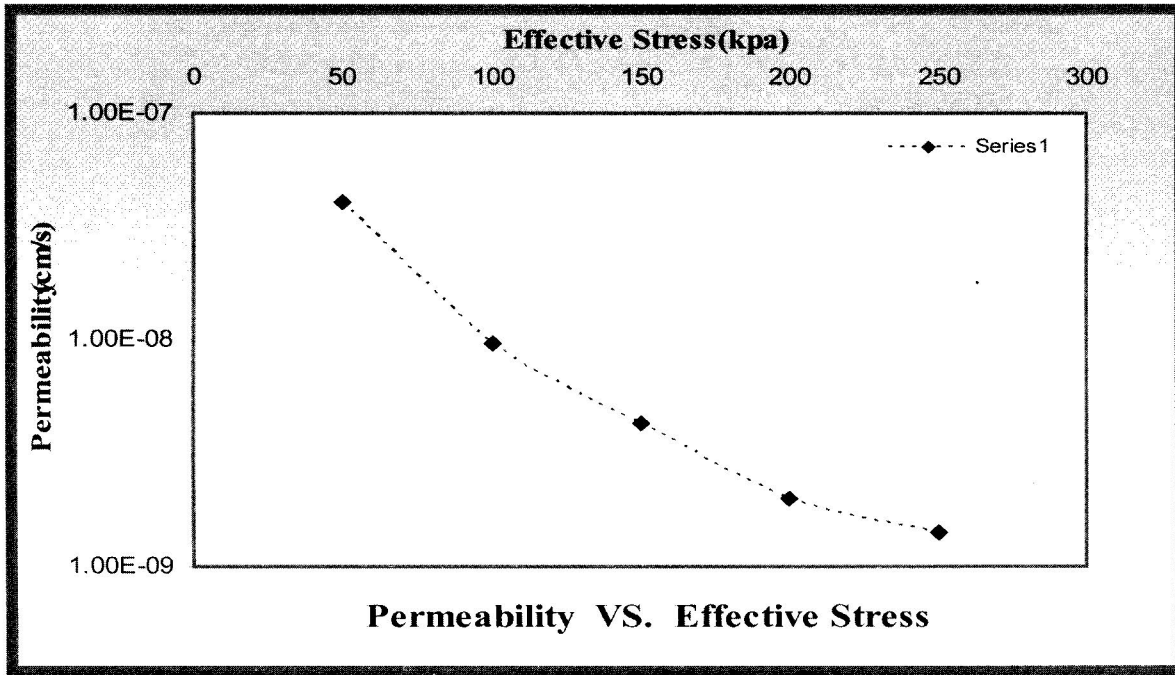
و از فرمول $K = \frac{q}{i.A}$ مقدار ضریب نفوذپذیری (K) بدست آمده و این ضرایب برای درجه حرارت اصلاح شدند (ASTM-D5084, ۱۹۹۷).

آزمایش شده در آزمایشگاه با نامهای A_۱ الی A_۶ نامگذاری شدند. (شکل ۳) منحنی حجم جریان - زمان را برای نمونه A_۴ نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این آزمایشات در جدول (۱) آمده است. مطابق این جدول تنش‌های موثر اعمال شده به نمونه‌های A_۱ تا A_۶ به ترتیب از ۵۰ کیلوپاسکال تا ۴۰۱ کیلوپاسکال افزایش داشته و به ترتیب ضرایب نفوذپذیری حاصله بر روی نمونه‌های مورد آزمایش از مقدار $1/16 \times 10^{-7}$ (cm/s) تا $2/29 \times 10^{-9}$ (cm/s) کاهش داشته است.

با توجه به اینکه در این مطالعه اثر تنش موثر بر روی نفوذپذیری هسته مرکزی مد نظر می‌باشد لذا در مرحله دوم مطالعه، اقدام به ساخت نمونه‌ها با همان رطوبت و وزن مخصوص در قالب تراکم استاندارد گردید، با این تفاوت که به جای اعمال تنش کل و فشار آب حفره‌ای واقعی به نمونه، فشار آب حفره‌ای برابر ۲۰۰ کیلوپاسکال، ثابت در نظر گرفته شده و با تغییر فشار جانبی از ۱۵۰ تا ۴۵۰ کیلوپاسکال با میزان افزایش ۵۰ کیلوپاسکال، ضریب نفوذپذیری برای هر یک از نمونه‌ها در بازه تنش موثر ۵۰ تا ۲۵۰ اندازه‌گیری شدند و نمودار تنش موثر در برابر ضریب نفوذپذیری برای هر یک از نمونه‌ها رسم گردید.



شکل (۳): نمودار جریان - زمان برای نمونه شماره A_۴



شکل(۴) : نمودار تنش موثر در برابر نفوذپذیری برای آزمایشات سری C

جدول ۱: نتایج آزمایشات نفوذپذیری سه محوری مصالح هسته رسی سد در شرایط تنش محلی

ضریب نفوذپذیری (cm/s) $T = 20^\circ C$ $K_{20} = k \cdot R_t$	ضریب اصلاحی درجه حرارت R_t	ضریب نفوذپذیری (cm/s) (k)	تنش موثر (Kpa)	ابعاد نمونه (ارتفاع * قطر, cm)	نوع خاک	شماره نمونه
$9/245 \times 10^{-8}$	$0/797$	$1/16 \times 10^{-7}$	۵۰	۱۰×۱۲	GC	A _۱
$3/24 \times 10^{-8}$	$0/797$	$4/02 \times 10^{-8}$	۱۰۰	۱۰×۱۲	GC	A _۲
$2/90 \times 10^{-8}$	$0/797$	$3/65 \times 10^{-8}$	۱۷۵	۱۰×۱۲	GC	A _۳
$1/91 \times 10^{-8}$	$0/797$	$2/40 \times 10^{-8}$	۲۶۵	۱۰×۱۲	GC	A _۴
$1/27 \times 10^{-8}$	$0/797$	$1/59 \times 10^{-8}$	۳۲۹	۱۰×۱۲	GC	A _۵
$1/03 \times 10^{-9}$	$0/797$	$1/29 \times 10^{-9}$	۴۰۱	۱۰×۱۲	GC	A _۶

جدول ۲: نتایج آزمایشات نفوذپذیری سهمحوری مصالح هسته رسی سد در شرایط تنشی مدل شده (۵۰ الی ۲۵۰ کیلوپاسکال)

شماره نمونه	نوع خاک	ابعاد نمونه (ارتفاع* قطر cm)	تنش موثر (Kpa)	ضریب نفوذپذیری (cm/s) (k)	ضریب اصلاحی درجه حرارت Rt	ضریب نفوذپذیری T=۲۰°C K۲۰=k.Rt
B _۱	GC	۱۰×۱۲	۵۰	۴/۶۹۹۲۲×۱۰ ^{-۸}	۰/۸۵۰	۳/۹۹۵×۱۰ ^{-۸}
B _۲	GC	۱۰×۱۲	۱۰۰	۱/۵۵۳۴۳×۱۰ ^{-۸}	۰/۸۳۲	۱/۳۰۰×۱۰ ^{-۸}
B _۳	GC	۱۰×۱۲	۱۵۰	۶/۳۳۴۰۴×۱۰ ^{-۹}	۰/۸۸۹	۵/۶۳۱×۱۰ ^{-۹}
B _۴	GC	۱۰×۱۲	۲۰۰	۲/۰۱۶۹۹×۱۰ ^{-۹}	۰/۸۸۹	۶/۲۳۸×۱۰ ^{-۹}
B _۵	GC	۱۰×۱۲	۲۵۰	۱/۲۳۸۵×۱۰ ^{-۹}	۰/۸۸۹	۱/۱۰۱×۱۰ ^{-۹}
C _۱	GC	۱۰×۱۲	۵۰	۶/۲۷۳۸۹×۱۰ ^{-۶}	۰/۸۸۹	۵/۵۷۷×۱۰ ^{-۹}
C _۲	GC	۱۰×۱۲	۱۰۰	۱/۵۳۲۲×۱۰ ^{-۸}	۰/۹۱۰	۱/۳۹۴×۱۰ ^{-۹}
C _۳	GC	۱۰×۱۲	۱۵۰	۵/۳۰۷۸×۱۰ ^{-۹}	۰/۹۵۳	۵/۰۵۴×۱۰ ^{-۹}
C _۴	GC	۱۰×۱۲	۲۰۰	۲/۵۲۳۸×۱۰ ^{-۹}	۱	۲/۵۲۳۸×۱۰ ^{-۹}
C _۵	GC	۱۰×۱۲	۲۵۰	۱/۵۹۲۳۶×۱۰ ^{-۹}	۱	۱/۵۹۲۳۶×۱۰ ^{-۹}

بحث و نتیجه گیری

بطور خلاصه نتایج این تحقیق را در چند جمله زیر می توان خلاصه نمود:

۱- در مصالح هسته رسی با افزایش تنش موثر، نفوذپذیری کاهش می یابد ولی این کاهش نفوذپذیری در مقادیر تنش موثر بالاتر از حدود ۲۵۰ کیلوپاسکال ناچیز می باشد.

۲- اشباع کردن نمونه ابتدا بایستی با یک اختلاف کم فشار صورت گرفته و سپس از فشار برگشتی جهت اطمینان از اشباع شدن نمونه استفاده شود. استفاده از گرادیان هیدرولیکی و فشار برگشتی بایستی بر اساس استاندارد نفوذپذیری باشد، چون اعمال فشار برگشتی بالا، باعث به هم خوردن بافت خاک می شود.

۳- در هنگام ساخت نمونه های آزمایشگاهی به صورت دست خورده، بایستی ضوابط استاندارد نفوذپذیری از نظر سایز دانه های مورد استفاده و ابعاد پیشنهادی نمونه کاملاً رعایت گردد. همچنین نحوه پوشش نمونه با ممبرین و اعمال فشارهای جانبی، بالا و پایین متناسب با روند افزایش تنش موثر بسیار حایز اهمیت است.

تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان غربی به جهت فراهم کردن امکان تهیه نمونه های خاک از هسته مرکزی سد شهرچای ارومیه جهت انجام آزمایشات تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

- ۱- گزارش سیمای طرح سد شهرچای ارومیه، سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی، ۱۳۷۸.
- ۲- مشخصات فنی و اختصاصی سد شهرچای ارومیه، شرکت مهندسی مشاور سکو، مهرماه، ۱۳۷۸.
- 3- ASTM, 1997. Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous materials using a flexible wall permeameter. Philadelphia (Am. Soc. Test. Mater), D5084.
- 4- David E. Daniel and Stephen J. Trautwien, 1998. " Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil ".

- 5- David E. Daniel, 1986. " Laboratory Hydraulic Conductivity Test For Saturated Soil ".
- 6- Greory W. Carpenter and Richard W. Stephenson, 1986. "Permeability Testing in the Triaxial Cell ". Geotechnical Testing Journal.
- 7- International, Operating Instructions, Tri-Flex2, Permeability Test System, ELE Ltd, 1997.
- 8- S.C. Stover, E.J. Sreaton, W.J. Likos, and S. Ge, S., 2001.data report: "Hidrologic characteristics of shallow marine sediments of Woodlark Basin, Site 1109".



The Laboratory study of the effect of the effective stress on decrease of permeability of the Urmia Earthfill Dam central clayey core, using the flexible wall permeability apparatus

Siamak Zadkaim

Member of Civil Faculty, Bonab Azad University
s_zadkarim@yahoo.com

Kazae Badv

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Urmia University
k.badv@mail.urmia.ac.ir

Abstract:

Shahr Chai Earth fill Dam is being constructed 15 km west of Urmia City, Iran. The dam comprises an impervious clayey core and two low permeability slurry Trench wall in upstream and downstream side of the dam. In this study the Permeability of the core was measured using the triaxial flexible wall permeability apparatus. Using the core material with 10.7% design water content, cylindrical Samples with 10 cm diameter and 12 cm height were compacted in the compaction Mold using the modified ASHTO method. In each test, Three samples were installed in the triaxial cell and then confining stress, and the hydraulic gradient of 10 were applied.

In each test series, with 3 identical samples, the applied effective stress was different From 50 kpa to 250 kpa, with 50 kpa stress difference between the tests. The effective stress-permeability diagram express that by increasing the effective stress from 50kpa to 250kpa, the hydraulic Conductivity of the samples decreased from 4.03×10^{-10} m/s to 1.24×10^{-11} m/s, respectively. The result Showed that the effect of effective stress over the permeability insignificant in higher than 250 kpa effective stresses.

Keywords:

Shahr Chai Earth fill Dam , Coefficient of Penetration ,Core ,triaxial test