شرکت آزمون ساز مبنا

طراحی و ساخت لوازم آزمایشگاهی

مکانیک خاک و مقاومت مصالح

دستگاه تحکیم آنالوگ

مدل: SO 660 و SO 660-1

تابستان ۹۴

فهرست:

۱- مقدمه ۳

۲- هدف ۳

۳- مشخصات فنی دستگاه و ملحقات آن ٤

۴- تهیه نمونه..... ۸

۵- روش آزمایش ۱۰

۶- محاسبات و گزارش..... ۱۲

۷- خطاهای آزمایش ۲۱

۸- مواردی که قبل و حین آزمایش می بایست توسط اپراتور رعایت شود..... ۲۲

دستگاه تحکیم

مدل :SO 660 و SO 660-1

استاندارد: ASTM D2435, D4546, D4186, D3877, BS 1377:5, ASHTO T216-6,

۱- مقدمه

این آزمایش برای تعیین نشست و تغییر شکل خاک اشباع شده بر اثر بارگذاری عمودی به کار می‌رود. در این آزمایش، تحت تأثیر بارگذاری محوری از تغییر شکل افقی خاک جلوگیری بعمل آمده و زهکشی نیز در جهت قائم انجام می‌شود. تحکیم فرایند خروج آب از نمونه خاک است.

مقدار تراکم پذیری خاک که با این آزمایش مشخص می شود از مهمترین خواصی است که از طریق تجارب آزمایشگاهی بدست می آید. اطلاعات بدست آمده از آزمایش تحکیم می تواند در گسترش یا تخمین سرعت و مقدار نشستهای غیر یکنواخت و نشست کل یک سازه یا یک توده خاک مورد استفاده قرار گیرد. این اطلاعات که از خاک بدست می آید در انتخاب نوع پی اهمیت بسیار دارد.

۲- هدف

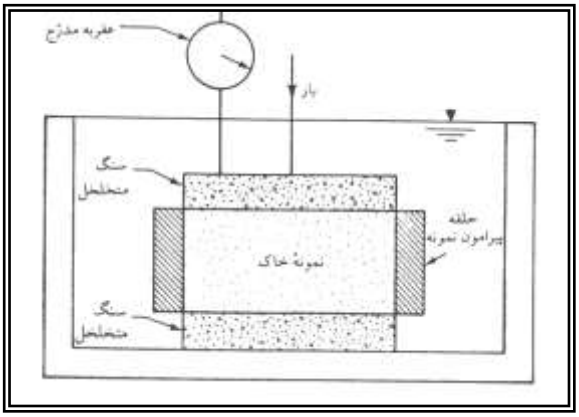
خاکهای کم نفوذپذیر وقتی تحت فشار واقع می گردند پس از مدت زمانی که بستگی به قابلیت نفوذپذیری آن دارد تحکیم نهایی می یابد. در این قسمت مشخصات نشست پذیری خاک مورد نظر می باشد و تعیین می گردد.از نتایج این آزمایش در تخمین مقدار اختلاف نشست با میزان نشست کلی یک سازه یا یک خاک استفاده می شود.

این آزمایش برای تعیین سرعت و مقدار فشردگی خاک بکار می رود. وقتی که تحت تاثیر بارگذاری محوری از تغییر شکل افقی خاک جلوگیری به عمل آید و زهکشی نیز در جهت قائم انجام می شود.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

در این آزمایش، خاک اشباع در یک حلقه تحکیم فلزی قرار گرفته و در جهت قائم به دفعات مختلف در اثر بارگذاری فشرده می‌شود تا اینکه منفذی ایجادشده در هر تنش اضافی کاملاً محو شود (حلقه تحکیم فلزی مانع کرنش خاک در جهت افقی می‌گردد). در طی فشرده شدن نمونه، مقدار تغییرشکل آن ثبت می‌شود. این اطلاعات برای محاسبه ضرایبی که بیان کننده رابطه بین تنش موثر و کرنش یا نشان تخلخل هستند، به کار می‌روند و بیان کننده درجه یا سرعت فشردگی نمونه نیز می‌باشند.

مقدرا تراکم پذیری خاک که با این آزمایش مشخص می‌شوند، از مهم‌ترین خواصی است که از طریق تجارب آزمایشگاهی حاصل می‌شود. اطلاعات به دست آمده از آزمایش تحکیم خاک می‌تواند در گسترش یا تخمین سرعت و مقدار نشست غیریکنواخت و نشست کل یک سازه یا توده خاک و نیز در انتخاب نوع پی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱ : نمای شماتیک ازخاک در حالت تحکیم

۳- مشخصات فنی دستگاه و ملحقات آن

الف- دستگاه بارگذاری: قالب فلزی است با یک سری وزنه‌های مناسب برای وارد نمودن بار عمودی بر روی نمونه، این وزنه‌ها می‌باید بار موردنظر را برای مدت زمان طولانی با خطای کمتر از ۵± درصد بار وارده، بر روی نمونه ثابت نگه دارد. هر افزایش بار در فاصله زمانی ۲ ثانیه و بدون وارد آوردن ضربه اعمال می‌شود.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

ب- دستگاه تحکیم: دستگاه تحکیم که نمونه جهت فشرده شدن در آن قرار می‌گیرد دارای قسمت‌های زیر است.

ب۱- بدنه دستگاه تحکیم: ظرف استوانه‌ای است که در داخل آن حلقه تحکیم محتوی نمونه جای داده می‌شود. به جدار ظرف استوانه‌ای یک یا دو عدد پیزومتر جهت مشاهده سطح آب نصب شده است و حدفاصل بین حلقه تحکیم محتوی نمونه و جدار ظرف استوانه‌ای آب ریخته می‌شود. در نتیجه نمونه در طول آزمایش همیشه در داخل آب غوطه‌ور بوده و به حال اشباع باقی می‌ماند .

ب۲- حلقه تحکیم: حلقه تحکیم از برنج یا یک فلز زنگ نزن ساخته شده و نمونه را در بر می‌گیرد حلقه تحکیم بر روی کف ظرف استوانه‌ای بطور ثابت قرار می‌گیرد و یا به حالت شناور (در اثر نیروی اصطکاک با پیرامون نمونه) باقی می‌ماند. حلقه تحکیم باید با شرایط زیر مطابقت داشته باشد:

- متناسب با حداقل قطر نمونه باید ۵۰ م (۲ اینچ) باشد.

- متناسب با حداقل ضخامت نمونه: حداقل ضخامت نمونه ۱۳ مم (۱/۵ اینچ) می‌باشد، اما نباید از ۱۰ برابر قطر درشتترین دانه موجود در خاک کمتر باشد.

- متناسب با حداقل نسبت قطر به ضخامت نمونه: حداقل نسبت قطر نمونه به ضخامت آن باید ۲/۵ باشد.

- استحکام (سختی) حلقه تحکیم: سختی و استحکام حلقه تحکیم در شرایطی که بیش ترین فشار هیدرواستاتیک بر نمونه وارد می‌شود باید طوری باشد که افزایش قطر آن از ۳٪ تجاوز نکند. حلقه تحکیم باید از فلز ضد زنگ ساخته شده و در برابر مواد موجود در خاک مقاوم باشد. سطح داخلی حلقه تحکیم باید کاملاً صیقلی شده و یا از ماده‌ای با حداقل قابلیت اصطکاک پوشانده شده باشد. برای خاک‌هایی که ماسه نداشته باشند گریس‌سیلیکون یا پلی تترافلورتیلن پیشنهاد می‌شود.

ب۳- سنگ‌های متخلخل: سنگ‌های متخلخل در بالا و پایین نمونه قرار می‌گیرند، سنگ‌های متخلخل دارای مشخصات زیر می‌باشند:

- جنس سنگ‌های متخلخل: از سیلیکون کاربید، اکسید آلومینیوم یا فلزی ساخته شده است که مواد موجود در خاک و همچنین رطوبت خاک روی آنها تأثیر ندارد.

- درشتی خلل و فرج سنگ‌های متخلخل: خلل و فرج سنگ‌ها باید به اندازه‌ای باشد که دانه‌های ریز خاک به داخل آنها نفوذ نکنند. بهتر است از فیلتر کاغذی که بین سنگ‌های متخلخل و نمونه قرار داده می‌شود استفاده کردن تا از داخل شدن دانه‌های ریز خاک به داخل خلل و فرج سنگ جلوگیری شود. به هر حال نفوذپذیری سنگ متخلخل و فیلتر باید به اندازه‌ای باشد که زهکشی نمونه به تعویق نیفتد. سنگ‌های متخلخل باید همیشه تمیز، بدون ترک و لب پریدگی و غیریکنواختی باشند.

- قطر سنگ‌های متخلخل: قطر سنگ متخلخل بالای ۰/۲ تا ۰/۵ میلیمتر (۰/۰۱ تا ۰/۰۲ اینچ) کوچک تر از قطر داخلی حلقه تحکیم است. اگر از حلقه تحکیم شناور استفاده می‌شود، قطر سنگ متخلخل زیر نمونه نیز باید مساوی قطر سنگ متخلخل بالایی باشد.

- ضخامت سنگ‌های متخلخل: ضخامت آنها باید به اندازه‌ای باشد که در اثر بارگذاری نشکنند.

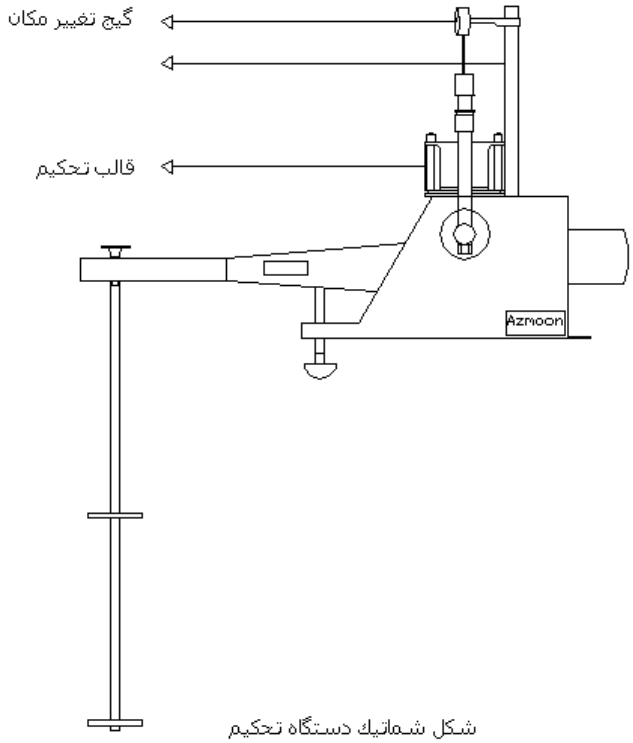
ب-۴- صفحه سربار یا بارگذاری: این صفحه فلزی ضد زنگ و به قطر مساوی سنگ متخلخل بالایی می‌باشند، بار وارده از طریق یک گلوله فلزی به صفحه سربار و نمونه وارد می‌شود، در نتیجه از شکسته شدن سنگ متخلخل بالایی ممانعت به عمل می‌آید.

پ- گیج اندازه‌گیری تغییر ضخامت نمونه: گیج اندازه‌گیری تغییر ضخامت نمونه با دقت ۰/۰۰۲۵ میلی متر (۰/۰۰۰۱ اینچ) و یا از کرنش سنج‌های الکترونیکی همچون LVDT که دقت و سهولت استفاده را به همراه دارد، باید استفاده شود.

ت- تراش دهنده نمونه: استوانه‌ای است با لبه تیز که بوسیله آن می‌توان نمونه اولیه را که قطر آن به مراتب بیش تر از قطر داخلی حلقه تحکیم است، به راحتی و با کمترین دست خوردگی و به اندازه قطر داخلی حلقه تحکیم بریده و

سپس به داخل حلقه تحکیم منتقل نمود. سطح داخلی استوانه تراش دهنده باید کاملاً صیقلی باشد و با ماده‌ای با حداقل ضریب اصطکاک پوشانده شده باشد. از حلقه تحکیم مستقیماً می‌توان بجای استوانه تراش دهنده استفاده کرد.

ث- سایر وسایل: شامل ترازو با حساسیت ۰/۱ گرم، گرمخانه با کنترل درجه حرارت، اسپاتل، اره سیمی، کارد و کاردک و قوطی‌های تعیین رطوبت می‌باشد.



شکل۲) نمای شماتیک دستگاه تحکیم

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

۴- تهیه نمونه

الف- اصولاً در آزمایش تحکیم باید از نمونه‌های دست نخورده استفاده شود زیرا بهره‌گیری از نتایج حاصل با دست-خوردگی نمونه به شدت کاهش می‌یابد. روش های ASTM D3550, ASTM D1587 وسایل و ابزاری را که برای تهیه یک نمونه خوب به کار می‌رود بیان می‌کند.

در تهیه نمونه باید شرایط محیط کار مانند آنچه که قبلاً گفته شد، رعایت شود. در این حالت اگر قطر نمونه زیاد است آن را با اره سیمی تا چند میلیمتر بزرگتر از قطر داخلی استوانه تراش دهنده ببرید، سپس استوانه تراش دهنده را که دارای لبه تیز می‌باشد به آرامی روی نمونه فشار دهید تا نمونه به داخل استوانه وارد شود و از آنجا نمونه را به درون حلقه تحکیم منتقل نمایید. برای خاکهای ریزدانه و نرم، جهت بریدن سر و ته نمونه از اره سیمی و در مورد خاک های سفت بهتر است از یک تیغه لب تیز استفاده شود.

در صورت لزوم می‌توان ضخامت نمونه را اندکی بیشتر از ضخامت حلقه تحکیم انتخاب کرد که این عمل با تراشیدن سر و ته نمونه میسر می‌گردد. ولی باید شرایط حداقل ضخامت نمونه و حداقل نسبت قطر به ضخامت نمونه، دقیقاً رعایت شود.

تذکر: باید دقت شود که در هنگام تراشیدن و آماده کردن نمونه حداقل دست خوردگی و یا تغییر رطوبت و تغییر وزن مخصوص طبیعی در خاک رخ دهد. هم چنین باید دقت شود که نمونه به هیچ وجه فشرده نشود و یا تحت تأثیر نیروی لرزشی قرار نگیرد.

ب- خاک‌های آلی و خاک‌هایی را که در هنگام تراشیدن به راحتی خرد می‌شوند باید مستقیماً از لوله‌های نمونه گیر صحرایی به داخل حلقه تحکیم منتقل نمود. در این صورت لازم است که قطر دو نمونه فوق الذکرکاملاً یک اندازه باشند.

پ- پس از قرار دادن نمونه در داخل حلقه تحکیم، آن را به دقت وزن و در برگ گزارش یادداشت نمایید.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

قبل از شروع آزمایش بایستی مشخصات فیزیکی خاک شامل درصد رطوبت طبیعی، وزن، حجم، وزن مخصوص نسبی، حدود اتربرگ و منحنی دانه‌بندی به دست آورده تا بتوان از آنها در محاسبه و پردازش آزمایش تحکیم استفاده نمود.

الف- برای به دست آوردن درصد رطوبت طبیعی نمونه می‌توان از روش ASTM D2216 و برای وزن مخصوص نسبی نیز می‌توان از روش ASTM D854 استفاده کرد.

ت- حدود اتربرگ شامل حد روانی، حد خمیری به ترتیب با روش های ASTM D424, ASTM D423 به دست می‌آیند. توصیه می شود که این آزمایش‌ها نیز بر روی باقی مانده نمونه انجام شود. در صورتی که نمونه ناهمگن باشد، حدود اتربرگ باید روی بخش‌هایی از نمونه خاک که مشابه نمونه مورد آزمایش تحکیم هستند، تعیین گردد.

منحنی دانه‌بندی خاک به روش ASTM D4422 به دست می‌آید. این آزمایش‌ها جهت شناسایی خاک مورد آزمایش و مقایسه نتایج آن با خواص فیزیکی خاک‌های دیگر ضروری است.

- **نگهداری نمونه‌های دست نخورده**

نمونه‌های دست نخورده داخل نمونه گیرها و یا موم گرفته شده باید در شرایطی نگهداری شوند که رطوبت آنها مطلقاً کاسته نشود و در نتیجه انقباض پیدا نکند. مدت نگهداری نمونه‌ها باید به حداقل زمان ممکن کاهش یابد، به ویژه موقعی که امکان انجام واکنش شیمیایی خاک و یا رطوبت آن با جدار لوله نمونه گیر وجود دارد.

هنگام آماده کردن نمونه تحکیم باید شرایط محیط کار از نظر رطوبت و درجه حرارت به گونه‌ای باشد که کاهش رطوبت نمونه از ۰/۲ درصد فراتر نرود. در این صورت معمولاً از اتاق‌های رطوبت استفاده می‌شود. هنگام آزمایش، دستگاه تحکیم باید در محیطی قرار داده شود که تغییرات درجه حرارت کمتر از ۴± درجه سانتیگراد باشد، حتی نباید دستگاه را زیر تابش مستقیم نور خورشید قرار داد.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

۵- روش آزمایش

الف- آماده نمودن دستگاه تحکیم بارگذاری: جهت جلوگیری از تغییر رطوبت نمونه بهتر است قبلاً سنگ‌های متخلخل را در آب قرار دهید تا کاملاً اشباع شوند چنانچه در اثر تکرار آزمایش خلل و فرج آنها توسط دانه‌های ریز خاک گرفته شده باشد، بهتر است آنها را در آب بجوشانید و با برس خوب تمیز نمایید و تا هنگام شروع آزمایش در ظرف آب به حالت اشباع نگه دارید. اکنون جهت سوار کردن قسمت‌های مختلف دستگاه تحکیم، اول سنگ متخلخل زیرین را در بدنه دستگاه تحکیم و در محلی که درست به اندازه آن تعبیه شده است، جای دهید. سپس حلقه تحکیم محتوی نمونه را روی آن بگذارید. دقت شود حدفاصل بین حلقه تحکیم و بدنه دستگاه تحکیم، واشر لاستیکی آب-بندی وجود داشته باشد، در غیر اینصورت اشباع نگه داشتن نمونه در حین آزمایش مقدور نخواهد بود. سنگ متخلخل بالایی را درست روی نمونه قرار دهید. معمولاً برای جلوگیری از مسدود شدن سوراخ‌های سنگ‌های متخلخل در حین آزمایش در بالا و پایین نمونه از کاغذ صافی استفاده می‌شود (قطر کاغذ صافی باید به اندازه قطر نمونه باشد). صفحه سربار را بر روی سنگ متخلخل بالایی قرار دهید و مخزن اطراف نمونه را پر از آب نمایید. به این ترتیب دستگاه آماده بارگذاری می‌باشد.

ب- دستگاه تحکیم را در دستگاه بارگذاری قرار دهید. درصورت استفاده از مدل آنالوگ عقربه گیج تغییر شکل را روی صفر میزان کنید و با نهادن وزنه روی بازوی دستگاه، فشاری معادل ۰/۲۵ کیلوپاسکال $50Lb/ft^2$ بر نمونه وارد آورید. ۶ تا ۸ ثانیه بعد از بارگذاری گیج را قرائت کنید (قرائت صفر) برای خاک‌هایی خیلی نرم فشار قاب بارگذاری به تنهایی مطلوب‌تر است.

پ- بعد از هر ۲۴ ساعت بارگذاری را ادامه دهید تا فشارهای استاندارد معادل ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، کیلوپاسکال (۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۶۰۰ پاند بر فوت مربع) بر نمونه وارد آید، به طوری که در هر افزایش بار نسبت $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1$ برقرار باشد. زمان‌های ثابت بارگذاری را همان گونه که در قسمت (ت) گفته شده است می‌توان انتخاب کرد.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

برای نمونه‌های خیلی نرم و یا وقتی که هدف به دست آوردن فشار پیش تحکیمی با دقت بیشتر می‌باشد، می‌توان افزایش بارگذاری‌ها را کم تر کرد. بارگذاری روی نمونه را آن قدر باید ادامه داد تا خاک به منطقه فشردگی بعد از فشار پیش تحکیمی برسد. در این صورت در هنگان رسم منحنی تنش کرنش (لگاریتم تنش در برابر نشان تخلخل) شیب منحنی بکر فشردگی به دست می‌آید. معمولاً اگر در آخرین دوره بارگذاری، فشاری مساوی و یا بیشتر از چهار برابر فشار پیش تحکیمی به نمونه وارد آید، می‌توان منحنی مذکور را رسم نمود. در حالت خاصی که نمونه رس پیش تحکیم یافته است، بهتر است دوره‌های متناوب بارگذاری و باربرداری روی نمونه انجام شود تا بتوان خصوصیات فشردگی مجدد نمونه را که بر روی منحنی تنش-کرنش آشکار می‌شود مطالعه کرد، اما انجام این عمل کاملاً اختیاری است.

ت- به ازای حداقل دو دوره بارگذاری (به اضافه یک دوره بارگذاری که فشار بزرگتر از فشار پیش تحکیمی بر روی نمونه وارد آورد)، باید تغییر ضخامت نمونه به وسیله گیج اندازه گیری شود.

قرائت‌های اندازه‌گیری در هر بارگذاری و در فاصله زمان‌های استاندارد ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۳۰، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶ ساعت و حداکثر ۲۴ ساعت پس از شروع هر بارگذاری انجام می‌شود. قرائتهای گیج اندازه‌گیری تغییر ضخامت در زمان‌های فوق الذکر، فقط برای نمونه‌های اشباع انجام می‌شود. قرائت‌های تغییر ضخامت با زمان در هر دوره بارگذاری آن قدر باید ادامه یابد تا شیب منحنی تغییر ضخامت- لگاریتم زمان، در قسمت تحکیم ثانویه آشکار شود. در مورد خاک‌هایی که تحکیم اولیه پایینی دارند، دوره بارگذاری باید حداقل ۲۴ ساعت به طور انجامد و در نهایت در چنین خاک‌هایی اگر منظور بررسی تحکیم ثانویه آنها باشد، دوره بارگذاری طولانی‌تر خواهد بود.

بارگذاری را ادامه دهید. برای هر دوره افزایش فشار، حتی اگر اطلاعات مربوط به تغییر ضخامت در مقابل زمان خواسته نشده باشد، باید قرائت‌های تغییر ضخامت نمونه در زمانهای استاندارد رعایت شود.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

ث- اگر منظور رسم منحنی تغییر ضخامت (تغییرشکل) نمونه در مقابل ریشه زمان باشد فواصل زمانی را طوری باید انتخاب کرد که بتوان به سادگی ریشه آنها را به دست آورد مثلاً ۰/۰۹، ۰/۲۵، ۰/۴۹، ۱، ۴ و ۹ دقیقه و غیره.

ج- تورم نمونه‌ها چنانچه منظور بررسی و مطالعه خصوصیات تورم خاک در اثر باربردرای است، می-توان بر عکس بارگذاری، باربرداری انجام داد. به هر حال با توجه به هدف از آزمایش، باربرداری طوری انتخاب می‌شود که فشار باقی مانده روی نمونه $\frac{1}{4}$ دفعه ماقبل باشد. به محض باربرداری، زمان‌های قرائت تغییر ضخامت نمونه در اثر تورم مطابق استاندارد قسمت (ت) انجام خواهد گرفت. برای اکثر خاک‌ها، زمان تورم در مقایسه با فشردگی خاک، در مرحله تحکیم اولیه نسبتاً کم تر خواهد بود ولی به هر حال برای بررسی حالت تورم نیاز به قرائت‌های کافی جهت اثبات آن می‌باشد.

چ- پس از خاتمه آزمایش، قبل از بیرون آوردن نمونه، برای به حداقل رساندن تورم ناشی از باربرداری، بهتر است نمونه را تحت یک فشار کم قرار دهید و به محض برداشتن فشار، نمونه را خارج کنید. سپس با پارچه آب اطراف حلقه تحکیم و آب اضافی روی سطح نمونه را خشک کنید. نمونه را از حلقه تحکیم خارج و به دقت وزن نمایید و داخل گرمخانه قرار دهید. بعد از ۲۴ ساعت مجدداً وزن خشک نمونه را جهت محاسبه درصد رطوبت نهایی خاک دقیقاً اندازه‌گیری نمایید.

۶- محاسبات و گزارش

الف- از اطلاعات ثبت شده از آزمایش تحکیم در برگ گزارش می‌توان برای محاسبه زمان تحکیم و مقدار تحکیم (نشست) خاک‌ها استفاده کرد. برا این منظور در هر افزایش فشار مقادیر مربوط به قرائت‌های گیج را که با d نشان داده می‌شوند نسبت به لگاریتم زمان‌های استاندارد رسم کنید، برای هر کاهش بار یا تورم چنانچه قرائت‌های گیج نسبت به زمان در دست باشد باید منحنی مربوط به آن نیز رسم شود.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

ب- از روی منحنی مذکور، مقدار ۱۰٪ تحکیم اولیه نمونه را در هر فشار به دست آورید. برای این کار از میان نقاط انتهایی، یک مماس بر منحنی اخراج کنید که دارای شیب ملایم باشد. دومین خط مماس را بر قسمتی از منحنی که بیش ترین شیب را دارد اخراج نمایید. مختصات محل تقاطع این دو مماس بر روی محورها دلالت بر ۱۰۰٪ تحکیم اولیه می‌نماید. زمان مربوط به آن را زمان صد در صد تحکیم یا t_{100} می‌نامند. فشردگی که بعد از تحکیم اولیه بر روی منحنی دیده می‌شود بسیار ناچیز بوده و تحکیم ثانویه نامیده می‌شود.

پ- برای یافتن قرائت گیج در ۰٪ تحکیم اولیه (یعنی زمانی که هنوز تغییر ضخامت نمونه شروع نشده است) از دو زمان انتخابی که معمولاً در قسمت ابتدای سهمی شکل منحنی می‌باشد و نسبت بین آنها ۱ به ۴ است استفاده می‌شود. برای مثال اگر t_1 زمان اول یک دقیقه انتخاب شود، t_2 زمان دوم چهار برابر آن یعنی ۴ دقیقه خواهد بود $t_2=4t_1$ و غیره. به اندازه فاصله بین دو زمان روی محور قرائت گیج از t_1 به طرف بالا جدا کنید و از آن به محور d عمود نمایید. محل تقاطع این عمود با محور dها، ۰٪ تحکیم است. d_0 شروع تحکیم و d_{100} پایان تحکیم اولیه محسوب می‌شود. در اینجا تغییر ضخامت نمونه (که همان کاهش حجم فضای خالی در خاک است) در هر بارگذاری با توجه به مقیاس گیج $\Delta H_v=(d_{100}-d_0)$ بر حسب میلی‌متر محاسبه می‌گردد.

تذکر: روش دیگر محاسبه H_v استفاده از قرائت‌های گیج در ابتدا و انتهای هر افزایش بار می‌باشد به این صورت که آخرین قرائت گیج در هر بارگذاری را از قرائت گیج در ابتدای آن بارگذاری کسر کنید و حاصل را در مقیاس گیج ضرب نمایید. سایر محاسبات نیز بر این اساس انجام می‌شود به این ترتیب فشار پیش تحکیمی که از منحنی نسبت تخلخل- لگاریتم فشار به دست می‌آید، اندکی کمتر است.

ت- برای یافتن ۵۰٪ تحکیم در هر افزایش بار بر روی منحنی میانگین ۰٪ تحکیم d_0 و ۱۰۰٪ تحکیم d_{100} را محاسبه نمایید. روی نمودار محل آن را پیدا کنید و سپس زمان ۵۰٪ تحکیم یعنی t_{50} را نیز به دست آورید.

ث- برای هر افزایش بار ضریب تحکیم C_v را در ۵۰٪ تحکیم از رابطه زیر به دست آورید.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

$$C_v = \frac{0/197(H_{ave}/2)^2}{t_{50}}$$

که در آن:

H= میانگین طولانی ترین راه زهکشی آب در بارگذاری است. یعنی اگر زهکشی از دو سمت نمونه انجام شود، ارتفاع متوسط نمونه در آن بارگذاری تقسیم بر دو می‌شود طبق رابطه زیر.

$$H = H_{1_n} = \frac{\Delta H_{v1} + \Delta H_{v2}}{2}$$

t_{50} = زمان لازم برای ۵۰٪ تحکیم بر حسب سال

C_v= ضریب تحکیم بر حسب $m^2/year$ می‌باشد. اگر H بر حسب میلیمتر و t بر حسب ثانیه یا دقیقه باشد، ضریب تحکیم بر حسب mm^2/s یا mm^2/min خواهد بود. به هر حال با توجه به ضرایب مربوطه می‌توان واحد C_v را در دستگاه مناسب انتخاب کرد.

ج- روش دیگر برای تعیین مقادیر d_{100}, d_0 و C_v در هر افزایش بار، استفاده از منحنی قرائت‌های گیج در برابر ریشه زمان $\sqrt{t}$ می‌باشد. در این نمودار قسمتی از ابتدای منحنی را که تقریباً به صورت یک خط مستقیم است با خط‌کش از دو طرف ادامه دهید. محل تقاطع این خط با محور زمان را به دست آورده و به این زمان ۱۵٪ اضافه نمایید (زمان مذکور را ۱/۱۵ برابر کنید) و از نقطه جدید روی محور زمانها و با خط کش به d_0 وصل نمایید. محل تقاطع این خط با منحنی دلالت بر ۹۰٪ تحکیم یا d_{90} می‌کند. زمان مربوط به آن را زمان ۹۰٪ تحکیم یا t_{90} می‌نامند. از آنجایی که تغییر شکل در ۱۰۰٪ تحکیم اولیه به اندازه $\frac{1}{9}$ بیشتر از تغییر شکل در (d_{90}-d_0) است، پس می‌توان d_{100} را از رابطه زیر به دست آورد.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

$$d_{100} = d_{90} + \frac{1}{9}(d_{90} - d_0)$$

به همین ترتیب تغییر شکل در ۵۰٪ تحکیم برابر است با $\frac{5}{9}(d_{90} - d_0)$. ضریب تحکیم با این روش از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_v = \frac{0/848(H_{ave}/2)^2}{t_{90}}$$

که در آن:

H= مانند آنچه که در قسمت (ث) گفته شد

t_{90} = زمان لازم برای ۹۰٪ تحکیم اولیه بر حسب سال

C_v= مانند آنچه که در قسمت (ث) گفته شد

ج- خصوصیات فیزیکی خاک مثل درصد رطوبت طبیعی نمونه، وزن نمونه‌تر در اول آزمایش، وزن نمونه اشباع و وزن نمونه خشک شده در گرمخانه در پایان آزمایش، وزن مخصوص نسبی ذرات خاک، حدود اتربرگ و گسترش دانه-بندی دانه‌های خاک را به روش‌های ذکر شده در قسمت‌های قبل تعیین و در برگ گزارش یادداشت نمایید.

ح- با اندازه‌گیری قطر R و ارتفاع H_t و در نتیجه سطح مقطع A حلقه تحکیم نمونه را از رابطه زیر بدست آورد.

$$V_t = AH_t$$

خ- برای محاسبه حجم فاز جامد نمونه (حجم دانه های خاک) از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$V_s = \frac{W_s}{G_s \times \gamma_w}$$

که در آن:

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

Ws = وزن نمونه خشک شده در گرمخانه در پایان آزمایش

Gs= وزن مخصوص نسبی دانه‌های خاک

γ_w = وزن واحد حجم آب

تذکر: ارتفاع قسمت جامد خاک از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$H_s = \frac{V_s}{A} = \frac{W_s}{G_s \gamma_w A}$$

د- برای محاسبه حجم فضای خالی بین دانه‌های خاک (حجم تخلخل)، حجم کل نمونه را از حجم دانه‌های خاک کسر نمایید (رابطه زیر).

$$V_v=V_t-V_s$$

تذکر: ارتفاع قسمت متخلخل نمونه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$H_v=H_t-H_s$$

ذ- برای محاسبه درجه اشباع اولیه نمونه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$S = \frac{(W_t - W_s)/\gamma_w}{H_v A} \times 100$$

که در آن:

W_t= وزن نمونه تر در حلقه نمونه‌گیر قبل از آزمایش

W_s= وزن نمونه خشک شده در گرمخانه در پایان آزمایش

H_v= ارتفاع تخلخل اولیه نمونه

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

ر- برای به دست آوردن ضریب تخلخل اولیه نمونه، از تقسیم حجم تخلخل اولیه بر حجم دانه‌های خاک استفاده می‌شود، (رابطه زیر):

$$e_o = \frac{V_v}{V_s} \text{ و یا } e_o = \frac{H_v}{H_s}$$

ز- با در دست داشتن وزن نمونه اشباع در پایان آزمایش می‌توان درصد رطوبت نهایی نمونه را به دست آورد. (رابطه زیر).

$$\omega_f = \frac{W_{tf} - W_s}{W_s} \times 100$$

ژ- با در دست داشتن ارتفاع ثابت قسمت جامد خاک Hs و همچنین ضخامت ΔHv نمونه در هر افزایش فشار ، می‌توان تغییر ضریب تخلخل را در افزایش فشار مطابق رابطه زیر محاسبه نمود.

$$\Delta_e = \frac{\Delta V_v}{H_s}$$

س- برای محاسبه ضریب تخلخل در ابتدای هر افزایش بار از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$=e_o - e\,\Delta_e$$

که در آن:

eo = ضریب تخلخل اولیه نمونه

Δ_e = تغییر ضریب تخلخل در هر بار افزایش بار

e= ضریب تخلخل در ابتدای هر بارگذاری

ش- منحنی نسبت تخلخل-لگاریتم فشار e-Logσ : پس از تعیین مقدار ضریب تخلخل برای هر افزایش بار اعمال شده، منحنی تغییرات نسبت تخلخل را بر حسب لگاریتم فشار رسم کنید. قسمت اول منحنی نشان دهنده فشردگی

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

مجدد یا حداکثر فشاری است که لایه خاک تا قبل از شروع آزمایش تحمل کرده و تحت آن تحکیم یافته است و در اصطلاح به نام فشار پیش تحکیمی، σ_e، نامیده می‌شود. قسمت مستقیم منحنی که نشان دهنده تحکیم نمونه تحت فشار برای اولین بار می‌باشد اصطلاحاً منحنی تحکیم بکر نامیده می‌شود. فشار پیش تحکیمی روی منحنی مشخص نیست. ترزاقی روش زیر را جهت تعیین فشار پیش تحکیمی پیشنهاد نموده است:

۱- نقطه‌ای را که دارای حداکثر انحنا است، با چشم روی قسمت اولیه منحنی مشخص کنید (یعنی نقطه‌ای به شعاع انحنای حداقل مثلاً نقطه A)

۲- از نقطه A خطی افقی رسم کنید، (خط AH)

۳- از نقطه A خطی مماس بر منحنی رسم نمایید، (خط AF)

۵- قسمت مستقیم الخط منحنی (منحنی بکر) را با خط کش به طرف عقب امتداد دهید تا نیمساز AF را در نقطه D قطع کند.

۶- طول نقطه D مشخص کننده فشار پیش تحکیمی σ_e خواهد بود،

شیب قسمت بکر منحنی در محاسبه مقدار نشست، اهمیت بسیار دارد و از روی منحنی به دست می‌آید. این شیب که با علامت C_e نشان داده می‌شود، شاخص فشردگی یا ضریب فشردگی نامیده می‌شود و جهت سهولت به صورت عدد مثبت در نظر گرفته می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

چنانچه اطلاعات حاصل از یک یا چند دوره تورم نیز در دست باشد، می‌توان آن را رسم کرد. شیب این منحنی که با علامت C_s نشان داده می‌شود، به نام نشان تورم شناخته می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید:

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

$$C_s = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

ص- منحنی کرنش-لگاریتم فشار $\varepsilon \quad \log\sigma$: با این روش جدید می‌توان تغییرات کرنش یعنی $\varepsilon = \frac{\Delta H_v}{H_t}$ را در مقابل لگاریتم فشار رسم نمود که از نظر شکل منحنی نسبت به روش قبلی برتری دارد. در این منحنی، شیب قسمت مستقیم الخط (منحنی بکر) که به نام نسبت فشردگی معروف است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_c = \frac{\Delta \varepsilon}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

همین طور شیب منحنی تورم را نسبت تورم می‌نامند و از رابطه زیر به دست می‌آورند:

$$C_s = \frac{\Delta \varepsilon}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

ض- بر روی منحنی های قسمت (ش و ص) با انتخاب مقیاس مناسب، ضریب تحکم C_v را در برابر لگاریتم فشار رسم کنید (تقسیمات C_v را روی محور سمت راست انتخاب نمایید). از روی این منحنی می‌توان ضریب تحکیم مناسب را جهت محاسبات تحکیم انتخاب کرد.

ط- منحنی فشار-نسبت تخلخل یا e-σ : اگر منحنی تغییرات نسبت تخلخل در برابر فشار در سیستم مختصات حسابی رسم شود، در این صورت شیب منحنی با افزایش مقدار فشار و کاهش نسبت تخلخل کاهش می‌یابد. شیب این منحنی، ضریب تراکم پذیری نامیده می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$a_v = \frac{\Delta_e}{\Delta_\sigma}$$

ظ- ضریب فشردگی حجمی از رابطه زیر به دست می‌آید.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_o}$$

و بالاخره با در دست داشتن اطلاعات حاصل از آزمایش تحکیم بر روی یک نمونه خاک می‌توان ضریب نفوذپذیری آن را تحت فشار موردنظر از رابطه زیر به دست آورد:

$$k = \frac{c_v.\gamma_w.a_v}{1+e_o}$$

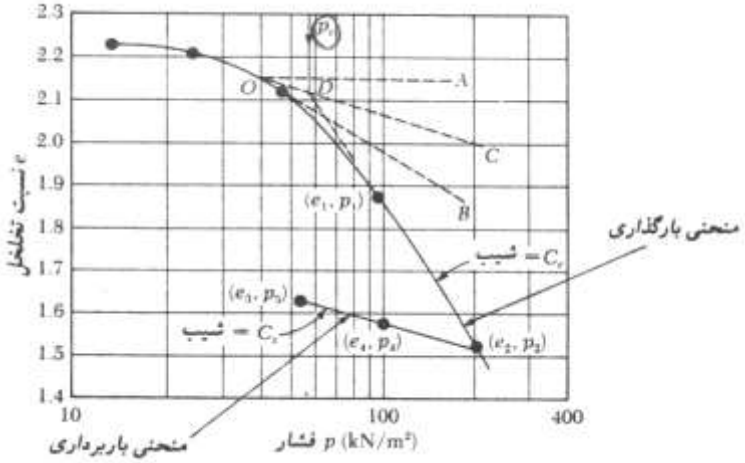
ع- تشریح نظری نمونه از نظر ساخت، بافت و رنگ خاک و نیز موقعیت نمونه‌برداری (به این معنی که آیا نمونه مورد استفاده دست نخورده، از عمل مشخص، از بالای سطح آب زیرزمینی و یا از زیر سطح آن گرفته شده است) و روش تراکم نمونه از ضروریات است که باید در برگ گزارش قید شود.

جدول ۱ :روابط مربوط به تعیین شاخص فشردگی

روابط	مرجع	حوزهٔ کاربرد
C_c =۰/۰۰۷(LL-۷)	اسکمپتون	رُسهای دستخورده
C_c =۰/۰۱ W_N		رس شبکاگو
C_c = ۱/۱۵(e$_o$-۰/۲۷)	(نیشیدا)	تمام رسها
C_c =۰/۳(e$_o$ - ۰/۲۷)	هاف	خاکهای چسبندهٔ غیرآلی: سیلت، رس سیلتی، رس
C_c =۰/۰۱۱۵W_N		خاکهای آلی، پیت (کودگیاهی)، سیلت آلی و رُس
C_c =۰/۷۵(e۰ - ۰/۵)		خاکهای دارای پلاستیسیتهٔ کم
C_c= ۰/۰۰۴۶(LL.۹)		رُس برزیل
C_c =۰/۲۰۸e$_o$ + ۰/۰۰۸۳		رُس شبکاگو
C_c =۰/۱۵۶e$_o$ + ۰/۰۱۰۷		تمام رُسها

e$_o$= نسبت منافذ در محل و W_N= درصد رطوبت در محل

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907



شکل۲: نمودار مربوط به خاک رس نرم

۷- خطاهای آزمایش

۱. تکان خوردن وزنه که باعث ایجاد تنش متغیر بر سطح نمونه می شود.

۲. عدم زهکشی کامل بدلیل بسته بودن سوراخهای سنگ های متخلخل

۳. خطای آزمایشگر و فرسودگی دستگاه

۴. تمیز نبودن کامل ظرف

۵. عدم استفاده از آب مقطر

۶. ایزوله و پایدار نبودن محل آزمایش

۷. نمونه کاملا اشباع نشده باشد

۸. خطا هنگام قرائت کردن

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907

۸- مواردی که قبل و حین آزمایش می بایست توسط اپراتور رعایت شود

- گیج تغییر شکل می بایست بطور صحیح نصب شود، نحوه نصب گیج به این صورت می باشد کـه بعـد از قـرار دادن سل و نمونه در محل مورد نظر گیج جابجایی را در محل خود طوری قرار دهید که گیج در نیمه کورس خود باشد. دستگاه تراز باشد .

- پایه اهرم بارگذاری را به نحوی آزاد کنید که اهرم بارگذاری پس از آن جهت اعمال بار وزنه ها کاملاً تراز باشد.

www.AzmoonTest.com
sales@azmoontest.com
Tel: 021-61907