



Namatek
True Education

soil consolidation test

www.namatek.com

آزمایش تحکیم خاک

فهرست مطالب

۱. تحکیم خاک چیست؟
۲. مدت زمان لازم برای تحکیم خاک
۳. آزمایش تحکیم خاک
۴. چرا آزمایش تحکیم خاک انجام می‌شود؟
۵. انواع آزمایش تحکیم خاک
۶. ساختار سیستم آزمایش تحکیم خاک
۷. روش انجام آزمایش تحکیم خاک
۸. کاربردهای آزمایش تحکیم خاک

خاک در همه جا وجود دارد و تقریباً هر چیزی که روی این سیاره ساخته شده است، خاک زیر آن است؛ بنابراین، درک خواص این منبع ضروری است. یکی از فرایندهای مهمی که خاک می‌تواند به طور طبیعی متحمل شود، تحکیم خاک است. تحکیم خاک به فرایندی اطلاق می‌شود که طی آن حجم یک خاک در اثر تنش اعمال شده، کاهش می‌یابد. برای بررسی میزان تحکیم خاک آزمایشی تحت عنوان آزمایش تحکیم خاک مطرح است که امروزه به دلیل ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه ضروری به نظر می‌آید. در ادامه بیشتر در این باره بحث خواهیم کرد.

تحکیم خاک چیست؟



تحکیم خاک فرایند کاهش حجم یک خاک اشباع (جزئی یا کامل) به دلیل تنش اعمال شده است. این اصطلاح توسط کارل فون ترزاقی پدر مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک معرفی شد. ترزاقی نظریه تحکیم یک‌بعدی را پایه‌گذاری کرد و تعریف این اصطلاح را تغییر داد. تحکیم خاک را می‌توان به صورت زیر شرح داد:

هنگامی که باری در خاکی با نفوذپذیری کم اعمال می‌شود، در ابتدا توسط آبی که در متخلخل یک خاک اشباع وجود دارد، حمل می‌شود و در نتیجه فشار آب منفذی به سرعت افزایش می‌یابد. این فشار اضافی آب منفذی با تخلیه آب از حفره‌های خاک دفع می‌شود و فشار به اسکلت خاک منتقل می‌شود که به تدریج فشرده می‌شود و در نتیجه نشست می‌کند. فرایند تحکیم تا زمانی که فشار آب منفذی اضافی از بین برود، ادامه می‌یابد. علاوه بر این، افزایش تنش اعمالی که باعث تحکیم می‌شود، ممکن است به دلیل بارهای طبیعی یا بارهای ساخته شده توسط انسان یا حتی کاهش سطح آب زیرزمینی باشد.

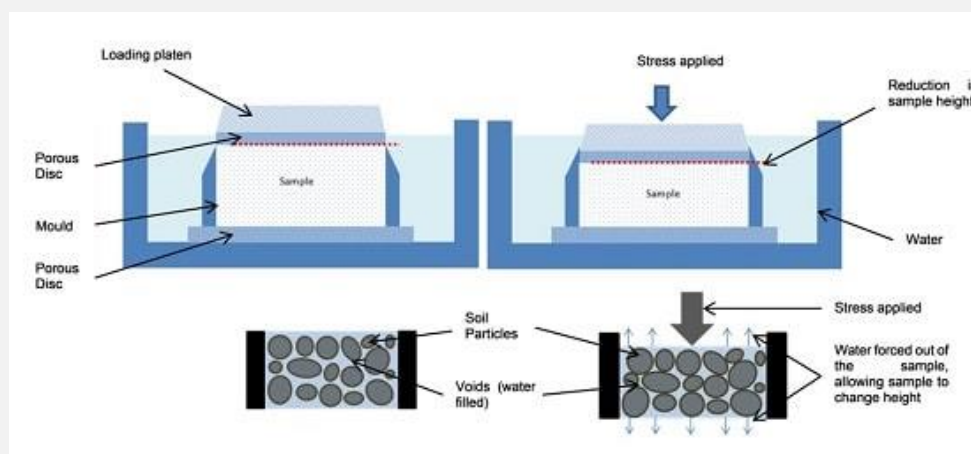
مدت زمان لازم برای تحکیم خاک



مدت زمان فرایند تحکیم یک موضوع حیاتی است و به نفوذپذیری خاک تحت بار و مسیرهای زهکشی بستگی دارد. به طور کلی، تحکیم در خاک‌های شنی یک فرایند سریع است، در حالی که این فرایند در خاک‌های رس ممکن است سال‌ها یا حتی دهه‌ها ادامه یابد. روش تحکیم معمولاً به ۳ مرحله تقسیم می‌شود:

- **تثبیت اولیه:** ازدست دادن سریع حجم توده خاک همراه با اعمال تنش خارجی که هوای داخل حفره‌های خاک را فشرده می‌کند.
- **تحکیم اولیه:** نشست خاک که طی آن فشار آب منفذی اضافی به اسکلت خاک منتقل می‌شود.
- **تحکیم ثانویه:** یک روش نشست بعدی که پس از تحکیم اولیه رخ می‌دهد و با تغییرات داخلی در ساختار خاک درحالی‌که تحت بار تقریباً ثابت قرار می‌گیرد، همراه است. این فرایند معمولاً به‌عنوان خزش شناخته می‌شود.

آزمایش تحکیم خاک



آزمایش تحکیم خاک برای پیش‌بینی توانایی یک خاک خاص در تحمل بار ایمن استفاده می‌شود. امروزه ساختمان‌های بزرگ بر روی خاک پایه‌ای ساخته می‌شوند که قبل از شروع ساخت‌وساز از نظر فشردگی آزمایش شده است و به همین دلیل است که می‌توان ساختمان‌های مدرنی را ساخت. آزمایش تحکیم خاک معمولاً بر روی یک نمونه خاک استوانه‌ای اشباع انجام می‌شود که برای اندازه‌گیری مقدار و سرعت تغییر ارتفاع نمونه هنگام قرارگرفتن در معرض بار طراحی شده‌اند.

هنگامی که بار روی خاکی با نفوذپذیری کم اعمال می‌شود، خاک در ابتدا توسط آب نگه داشته شده در داخل متخلخل نمونه پشتیبانی می‌شود. با افزایش بار، افزایش سریع فشار آب منفذی در داخل نمونه رخ می‌دهد. این فشار اضافی با تخلیه آب از حفره‌های خاک دفع می‌شود و فشار به اسکلت خاک منتقل می‌شود که به تدریج فشرده می‌شود و در نتیجه نشست صورت می‌گیرد. برای انجام یکپارچه‌سازی خاک، نمونه باید به صورت شعاعی محدود شود و تحت یک بار عمودی (تنش) قرار گیرد. ارتفاع عمودی در طول آزمایش تغییر می‌کند، با این حال قطر نمونه باید در کل ثابت بماند.

چرا آزمایش تحکیم خاک انجام می‌شود؟

آزمایش تحکیم معمولاً برای ارزیابی تراکم‌پذیری خاک انجام می‌شود. خصوصیات تحکیم تعیین شده از آزمون تحکیم برای تخمین مقدار و میزان نشست تحکیم یک سازه یا یک خاک استفاده می‌شود. برآوردهای این نوع در طراحی سازه‌های مهندسی و ارزیابی عملکرد آنها از اهمیت کلیدی برخوردار است.

شاید دیدنی‌ترین نمونه آن برج کج پیزا باشد. ساخت‌وساز در سال ۱۱۷۳ آغاز شد و ساخت برج ۲۰۰ سال طول کشید. در طول ۵ سال اول ساخت، خاک نرم در یک طرف فونداسیون زیر وزن سازه سنگی شروع به تحکیم کرد و شروع به کج شدن کرد. ساخت‌وساز به دلایل مختلف تا سال ۱۲۷۲ متوقف شد و در این زمان خاک تثبیت شده بود و بقیه قسمت‌های برج برای جبران خمیدگی ایجاد شده بود. در نهایت، در اواخر سده بیست، ساختار برج تقویت شد و یک جاذبه توریستی معروف باقی ماند.

انواع آزمایش تحکیم خاک



روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری خواص تحکیم خاک در آزمایشگاه ژئوتکنیک وجود دارد. رایج‌ترین آن‌ها آزمایش تحکیم خاک یک‌بعدی است. این تست‌ها در استانداردهای بین‌المللی دقیق هستند و با تجهیزات مدرن انجام می‌شوند. انواع مختلف آزمایش تحکیم خاک به چند روش زیر صورت می‌گیرد:

آزمایش تحکیم خاک تک‌بعدی

این ساده‌ترین و رایج‌ترین روش است و معمولاً به آن، آزمایش بادسنج و ادومتر بارگذاری افزایشی می‌گویند. در این مورد، کرنش جانبی توده خاک نادیده گرفته می‌شود. به دلیل سهولت نسبی فرایند آزمایش و سادگی تجهیزات موردنیاز برای اعمال مراحل مختلف بار عمودی، این آزمایش معمولاً در آزمایشگاه‌ها انجام می‌شود. با این حال، این روش آزمایش محدودیت‌هایی مانند اندازه نمونه کوچک آزمایش شده و عدم اندازه‌گیری فشار آب منفذی در نمونه را دارد.

آزمون تحکیم نرخ کرنش ثابت (CRS)

علاوه بر آزمایش تحکیم خاک نوع بار افزایشی، آزمایش‌های مختلفی را می‌توان برای اندازه‌گیری بزرگی و سرعت تحکیم خاک‌های چسبنده اشباع با استفاده از فشار محوری با کرنش کنترل‌شده پیوسته انجام داد که رطوبت اضافی را نیز ممکن می‌سازد. متلاشی کردن آزمایش تحکیم خاک با استفاده از سلول‌های CRS سریع‌تر از تست بارگذاری افزایشی استاندارد هستند. نتایج علی‌رغم انجام سریع، به‌اندازه سایر روش‌ها دقیق هستند. با استفاده از سلول‌های CRS، می‌توان فشار منفذ اضافی را به طور مستمر بررسی کرد تا آزمایش‌ها با حداکثر سرعت اجرا شوند و توان نمونه آزمایش را افزایش دهند.

آزمایش تحکیم خاک هیدرولیک

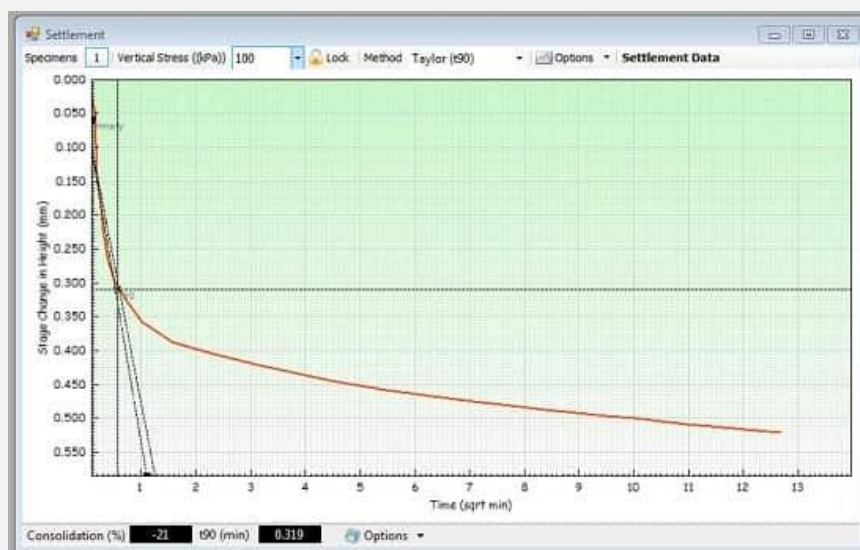
آزمایش تحکیم بار افزایشی را می‌توان با دستگاه دیگری نیز انجام داد، در این آزمایش از یک سلول تثبیت هیدرولیکی که نیروی عمودی را با استفاده از فشار هیدرولیک اعمال می‌کند، استفاده می‌شود. این نوع سلول به شما امکان می‌دهد تا اطلاعات بیشتری را برای جمع‌آوری از نمونه خاک به دست آورید.

ساختار سیستم آزمایش تحکیم خاک

انواع مدل‌های مختلف آزمایش تحکیم خاک ساختار متفاوتی دارند که به شرح زیر هستند:

سیستم یکپارچه سازی معمولی - تست تحکیم یک بعدی

یک سیستم یکپارچه سازی معمولی برای آزمایش تحکیم خاک یک بعدی را می توان در شکل زیر مشاهده کرد.



این یک سیستم وزن سنتی است انواع مدرن این سیستم نیز وجود دارند؛ اما هر دو نوع سیستم از اجزای زیر استفاده می کنند:

1) سلول تحکیم

این سلول برای نگهداری نمونه آماده شده استفاده می شود و شامل یک قالب یا برش ساخته شده از فولاد است. این سلول اجازه می دهد تا نمونه به صورت عمودی بارگذاری شود و از تغییر شکل شعاعی نمونه جلوگیری می کند. اجزای یک سلول تحکیم را می توان در شکل زیر مشاهده کرد.

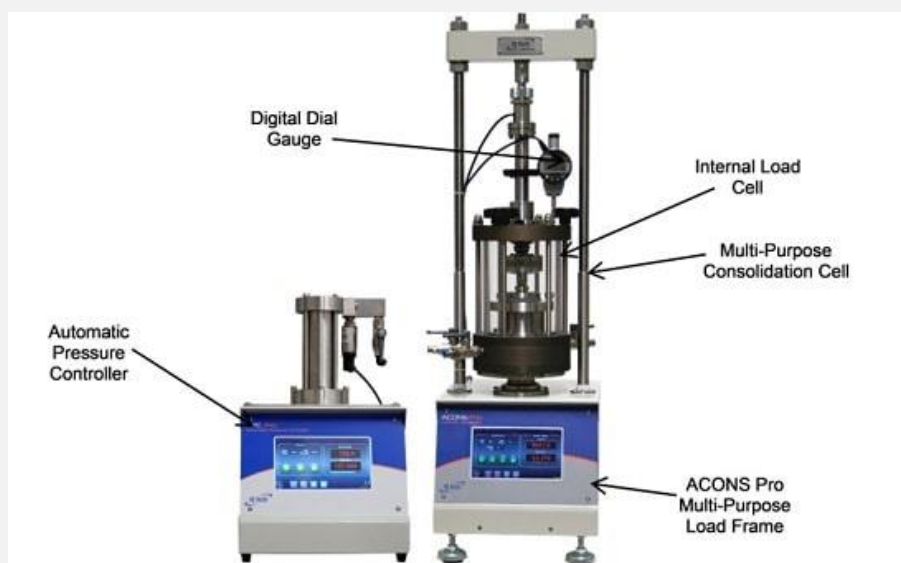


آن‌ها را می‌توان در طیف وسیعی از اندازه‌ها خریداری کرد که امکان آزمایش قطر نمونه بین ۳۸ میلی‌متر تا ۱۰۰ میلی‌متر را فراهم می‌کند.

(2) مبدل جابه‌جایی (دیجی سنج دیجیتالی)

برای اندازه‌گیری تغییر ارتفاع نمونه با اعمال تنش‌های مختلف استفاده می‌شود. نوع دستی، از وزن مرده‌ای که به آویز اضافه می‌شود، برای اعمال تنش عمودی به نمونه استفاده می‌کند و نوع خودکار از یک موتور پله‌ای برای حرکت نمونه به سمت بالا در برابر یک لودسل استفاده می‌نماید. همچنین بعضی از مدل‌ها یک سیستم خودکار را ارائه می‌دهند که از یک محرک پنوماتیک برای اعمال بار عمودی بر روی نمونه استفاده می‌کنند.

آزمایش تحکیم خاک با استفاده از نرخ ثابت کرنش



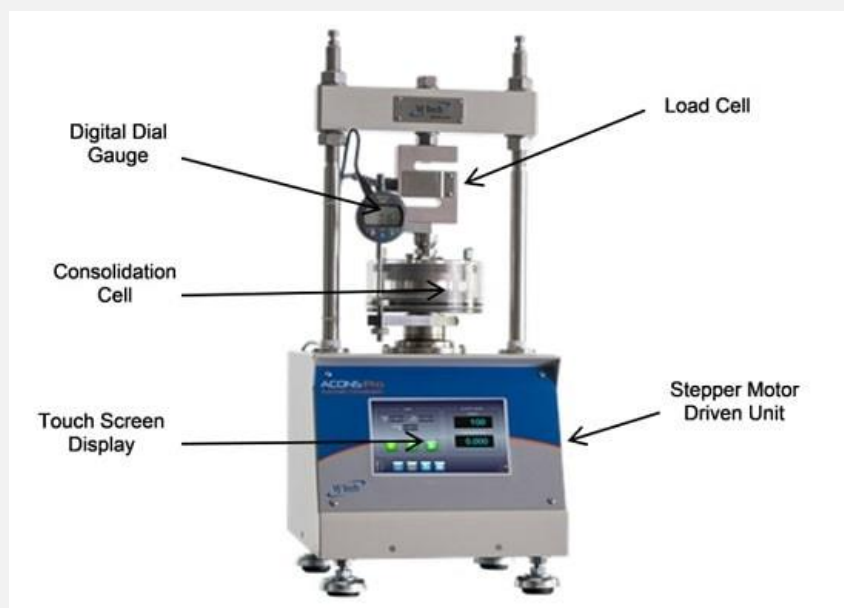
یک سیستم معمولی برای آزمایش تحکیم با استفاده از روش CRS از تجهیزات زیر تشکیل شده است:

• **Load Frame**: این یک قاب مینی بار کنترل شده با موتور پله‌ای است که قادر به کنترل تنش و کرنش است.

- **لودسل:** لودسل برای اندازه‌گیری بار عمودی اعمال شده به نمونه استفاده می‌شود. در یک سیستم CRS، این می‌تواند یک لودسل خارجی باشد یا به طور معمول از یک لودسل شناور داخلی استفاده می‌شود. حداکثر امتیاز بار معمولاً ۱۵ کیلونیوتن یا ۲۰ کیلونیوتن است.
- **گیج دیجیتالی:** یک عدد سنج یا مبدل جابه‌جایی برای اندازه‌گیری میزان تغییر ارتفاع در نمونه با اعمال تنش عمودی استفاده می‌شود.
- **مبدل فشار منفذی:** یک مبدل فشار منفذی برای اندازه‌گیری تغییرات فشار در نمونه با اعمال تنش عمودی استفاده می‌شود.
- **سلول تثبیت چندمنظوره:** این سلول برای نگهداری نمونه برای آزمایش استفاده می‌شود و می‌تواند از ۳ کیت نمونه مختلف ساخته شود که یکی از آن‌ها برای CRS است. سلول اجازه می‌دهد تا فشار برگشتی به نمونه اعمال شود تا بتوان آن را اشباع کرد. نمونه به صورت شعاعی توسط کیت سلولی محدود می‌شود.
- **کنترل‌کننده فشار خودکار:** کنترل‌کننده، فشار برگشتی را فراهم می‌کند. این اجازه می‌دهد تا نمونه قبل از اعمال تنش عمودی به نمونه اشباع شود.

همچنین تجهیزات اضافی مانند سیستم آب بدون هوا، نرم‌افزار برای ثبت داده‌ها و کنترل آزمایش مانند Clisp Studio، لوله کاری برای اتصال سلول و APC به یکدیگر و تجهیزات آماده‌سازی نمونه موردنیاز است.

آزمایش تحکیم خاک معمولی Rowe Cell



یک سیستم سلولی مدرن معمولی Rowe از تجهیزات زیر تشکیل شده است:

- **یک کنترل کننده فشار خودکار دوگانه:** در این سیستم، از کنترل کننده فشار خودکار دوگانه Pro برای ایجاد فشار برگشتی برای اشباع نمونه و تنش عمودی برای یکپارچه سازی نمونه استفاده می شود. کنترل کننده فشار خودکار دوگانه Pro همچنین داده ها را با استفاده از سوکت های آنالوگ یدکی در عقب ثبت می کند، بنابراین به دیتالاگر نیازی نیست.
- **مبدل جابه جایی:** مبدل جابه جایی برای اندازه گیری تغییر ارتفاع نمونه در هنگام اعمال تنش عمودی استفاده می شود.
- **مبدل فشار منفذی:** مبدل فشار برای اندازه گیری تغییرات فشار در داخل نمونه با اعمال تنش های عمودی به آن استفاده می شود.

• **سلول Rowe Cell:** این سلول حاوی نمونه است و دیواره سلول به صورت شعاعی نمونه را محدود می‌کند.

علاوه بر این، یک منبع آب بدون هوا و یک برنامه نرم‌افزاری مانند Clisp Studio برای اجرای تست و نمونه لوازم جانبی آماده‌سازی موردنیاز است.

روش انجام آزمایش تحکیم خاک

انواع روش‌ها به شرح زیر می‌باشند:

آزمایش تحکیم خاک یک بعدی

اساس این آزمایش این است که یک نمونه محدود شعاعی به صورت محوری بارگذاری می‌شود و تغییر ارتفاع نمونه در یک دوره زمانی اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش‌ها معمولاً با یک توالی بارگذاری برنامه‌ریزی می‌شوند که با یک تنش در یا نزدیک فشار بیش از حد بار (تنش اعمال شده به نمونه از وزن ماده روی آن) نمونه شروع می‌شود، سپس بارگذاری را برای هر مرحله دوبرابر می‌کند. این معمولاً ۴ تا ۵ بار با تخلیه در انتها است مانند:

25، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ کیلو پاسکال

یا

12.5، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ کیلو پاسکال

توالی بارگذاری معمولاً توسط مهندس برنامه‌ریزی بر اساس شرایط زمین و استفاده آینده سایت، طراحی و ارائه می‌شود. هر بارگذاری تا زمانی انجام می‌شود که کاهش ارتفاع نمونه متوقف شود و سپس بارگذاری بعدی بر روی نمونه اعمال می‌شود.

نتایج حاصل از آزمایش اغلب در نمودار نسبت تنش به فضای خالی نشان داده می‌شود. این برای کمک به تعیین این که آیا نمونه بیش از حد یکپارچه بود (تنش فعلی اعمال شده به خاک کمتر از مقدار است) مفید است.

روش تست CRS

تست CRS بر خلاف تست‌های دیگر شرح داده شده در این سند یک تست کنترل شده با کرنش است. تست‌های دیگر تست‌های کنترل استرس هستند. نمونه در آزمایش CRS دارای تنش عمودی اعمال شده با نرخ کرنش ثابت است، بنابراین تنش عمودی اعمال شده به نمونه به تدریج افزایش می‌یابد. آزمایش CRS با اشباع نمونه شروع می‌شود تا بتوان فشار منافذ دقیق را اندازه‌گیری کرد.

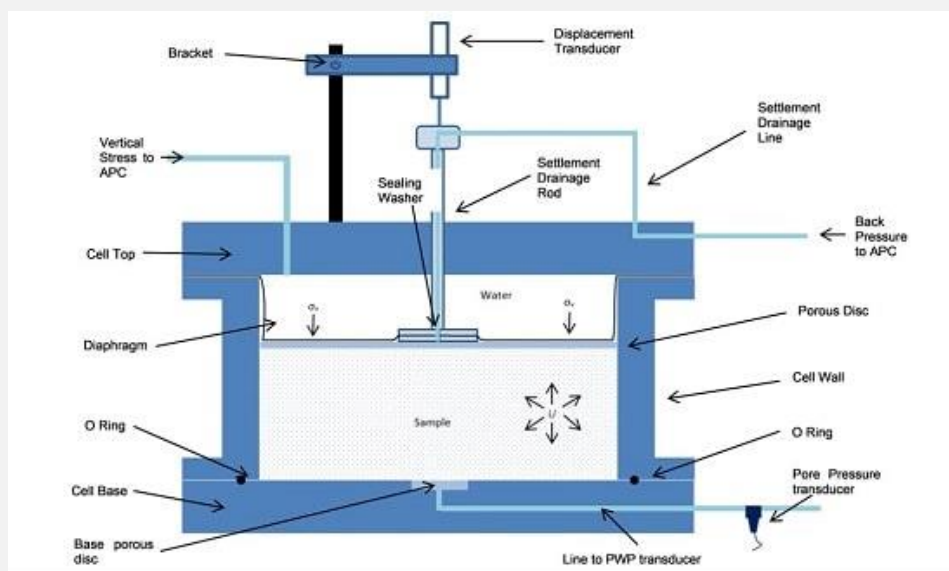
برای اشباع نمونه، از فشار برگشتی APC، برای افزایش فشار به نمونه استفاده می‌شود و به خاک زمان داده می‌شود تا آب را جذب کند. (هوا در حفره‌ها حل شود).

سطح اشباع را می‌توان با افزایش فشار برگشتی و اندازه‌گیری فشار منفذ و زمان‌بندی مدت زمانی که منفذ طول می‌کشد تا به سطح فشار برگشتی جدید برسد، آزمایش کرد. اگر زمان کوتاهی گرفته شود، نمونه اشباع شده است. زمان پاسخ طولانی‌تر نشان می‌دهد که نمونه اشباع نشده است و فشار برگشتی باید به فشار بالاتری افزایش یابد. این فرایند تا زمانی که نمونه اشباع شود ادامه می‌یابد. پس از اشباع، نمونه دارای یک بار عمودی است که با حرکت کنترل‌کننده قاب بار با نرخ متغیر ماشین برای حفظ نرخ کرنش تنظیم شده است، بنابراین برای حفظ نرخ کرنش با تغییر ارتفاع، سرعت توسط قاب تغییر خواهد کرد.

این بارگذاری به روش کنترل شده آهسته انجام می‌شود تا فشار منفذی اضافی ایجاد نشود. بارگذاری تا رسیدن به تنش عمودی هدف ادامه خواهد داشت. برخلاف ادومترها، توالی بارگذاری وجود ندارد.

یک تنش عمودی هدف واحد وجود خواهد داشت. این فرایند آزمایش این مزیت را دارد که نمونه به آرامی در تمام محدوده بارها بارگذاری می‌شود تا به هدف خود برسد. این کار به مهندس داده‌های بسیار بیشتر و نمودار نسبت فضاهای خالی تنش عمودی کامل‌تری می‌دهد. آزمایش CRS برای اکثر مواد زمان کمتری نسبت به یک ادومتر افزایشی استاندارد دارد. این آزمایش داده‌های نسبت خالی، درجه اشباع و نفوذپذیری را در اختیار شما قرار می‌دهد.

روش آزمایش Rowe Cell



این نوع آزمایش بر اساس اتلاف فشار آب منفذی اضافی است. در آزمایش‌های ادومتر استاندارد، فشار آب منفذی قابل‌اندازه‌گیری نیست و تثبیت‌هایی که برای نمونه اتفاق می‌افتد با اندازه‌گیری تغییر ارتفاع نمونه اندازه‌گیری می‌شود.

دستگاه سلول Rowe به تکنسین این امکان را می‌دهد که یک آزمایش تحکیم را بر اساس تئوری تحکیم انجام دهد و فشار آب منفذی و سرعت اتلاف را اندازه‌گیری کند. تغییر ارتفاع نمونه را می‌توان در طول آزمایش نیز اندازه‌گیری کرد. برای درک اینکه Rowe Cell چگونه اجازه می‌دهد تا این اطلاعات ثبت شوند، کاربر باید درک اولیه‌ای از Rowe Cell و برخی از دستگاه‌های دیگر مورد استفاده در این آزمایش داشته باشد. تنظیمات اولیه یک سلول Rowe به دو قسمت تقسیم شده است، دو نیمه توسط یک دیافراگم لاستیکی از هم جدا شده‌اند. دیافراگم نمونه خاک را در قسمت پایینی از قسمت بالایی پراز آب جدا می‌کند.

سلول دارای یک مبدل فشار منفذی است که در پایه سلول نصب شده است تا فشار آب منفذی در نمونه در طول آزمایش اندازه‌گیری شود. سلول دارای دو منبع فشار مستقل است که به آن متصل است. در تنظیمات سیستم دو منبع فشار از یک کنترل‌کننده فشار خودکار هستند.

یک کانال فشار به نیمه بالایی سلول متصل است و در این نیمه به آب فشار وارد می‌کند. برای ایجاد تنش‌های عمودی که در طول آزمایش به نمونه اعمال می‌شود، از کانال APC استفاده می‌گردد. کانال APC دیگر به سلول متصل است تا آب به نمونه اعمال شود که باعث ایجاد فشار برگشتی می‌گردد که برای اشباع کردن نمونه استفاده می‌شود تا بتوان فشار آب حفره‌ای قابل‌اعتماد را از طریق آزمایش، از نمونه گرفت.

کاربردهای آزمایش تحکیم خاک

آزمایش تحکیم خاک یکی از مهم‌ترین آزمایش‌های مکانیک خاک است که برای نمونه‌های خاک در مقیاس آزمایشگاهی جهت تعیین رفتار تراکم پذیری نمونه خاک انجام می‌شود.

تحکیم خاک به دلایل کلیدی زیر در ساخت و ساز بسیار مهم است:

- تعیین میزان نشست خاک
 - تخمین سرعت نشست
 - تخمین میزان فشار پیش تحکیمی
 - محاسبه ضریب تحکیم
 - کمک در طراحی پی‌های ساختمان‌ها
- با توجه به موارد بالا، این آزمایش کاربردهای فراوانی دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- **طراحی سدها:** برای ارزیابی پایداری سد و پیش‌بینی نشست پی سد
 - **طراحی راه‌ها و راه آهن‌ها:** به منظور پیش‌بینی نشست رویه راه و طراحی لایه‌های زیرین طراحی
 - **فرودگاه‌ها:** برای ارزیابی نشست باند پرواز
 - **طراحی دیوارهای حائل:** برای کنترل فشار جانبی خاک
 - **ارزیابی پایداری شیب‌ها:** ارزیابی پایداری شیب‌های خاکی در برابر لغزش و نشست

سخن آخر

آزمایش تحکیم خاک شامل اندازه‌گیری تغییر ارتفاع نمونه خاک تحت بارهای افزایشی در طول زمان است و به مهندسان امکان می‌دهد تا میزان فشرده‌شدن خاک را پیش‌بینی کنند. رایج‌ترین نوع آزمایش تثبیت، آزمایش ادمتر است که در آن یک نمونه خاک در یک حلقه محصور شده و تحت فشار عمودی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از آزمایش‌های یکپارچه‌سازی به مهندسان کمک می‌کند تا ضریب تحکیم را محاسبه کنند که برای تعیین سرعت تحکیم خاک تحت بارگذاری استفاده می‌شود. درک یکپارچه‌سازی در طراحی زیربنای سازه بسیار مهم است؛ زیرا نشست بیش‌ازحد می‌تواند منجر به آسیب یا شکست سازه شود و آزمایش دقیق را ضروری می‌کند.