



Namatek
True Education

www.namatek.com

Plate Load Test

آزمایش بارگذاری
صفحه ای

فهرست مطالب

۱. آزمایش بارگذاری صفحه ای چیست؟
۲. دستگاه و تجهیزات آزمایش بارگذاری صفحه ای
۳. تنظیم آزمایش بارگذاری صفحه ای
۴. انواع آزمایش بارگذاری صفحه ای و روش انجام
۵. تفسیر نتایج
۶. عوامل موثر بر ظرفیت باربری
۷. مزایای آزمایش بارگذاری صفحه ای
۸. محدودیت های آزمایش بارگذاری صفحه ای
۹. هدف از آزمایش بارگذاری صفحه ای

در دنیای همیشه در حال تکامل ساخت و ساز و مهندسی، ایمنی و پایداری سازه‌ها همچنان یک نگرانی اساسی است. در زیر آسمان‌خراش‌های الهام‌بخش، پل‌های زیبا و خانه‌ها، دنیایی از خاک و سازه، از این خلاقیت‌های باشکوه پشتیبانی می‌کنند. اما چگونه می‌توان از توانایی زمین مطمئن بود؟ یکی از تست‌های ضروری که برای این منظور به کار می‌رود، آزمایش بارگذاری صفحه ای است. این مقاله جزئیات این آزمایش، از جمله تجهیزات، روش، محاسبات، مزایا، محدودیت‌ها و موارد دیگر را بررسی می‌کند.

آزمایش بارگذاری صفحه ای چیست؟

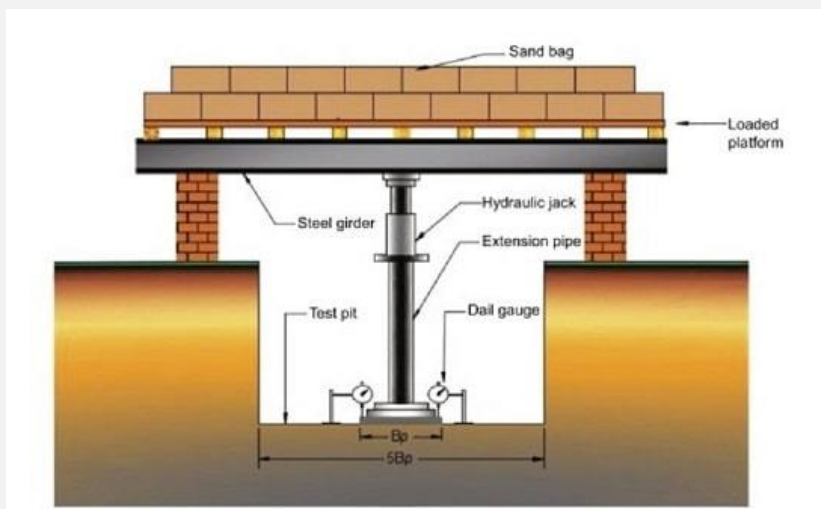


آزمایش بارگذاری صفحه ای که به‌عنوان آزمایش بار صفحه یا آزمایش بارگذاری استاتیک نیز شناخته می‌شود، یک آزمایش تحمل بار در محل خاک است. فعالیت آزمایش باربری صفحه به‌منظور تعیین ظرفیت باربری خاک زیر آن انجام می‌شود که تعیین کند که آیا خاک بار پیش‌بینی شده سازه موقت یا دائمی را تحمل خواهد کرد یا نه؟ توجه به این نکته مهم است که این روش آزمایش، فرض می‌کند که لایه‌های خاک به سمت عمق و در رابطه

با تأثیر تنش‌ها به‌طور منطقی یکنواخت هستند. آزمایش بارگذاری صفحه ای یک آزمون درجا برای محاسبه نشست در خاک‌های دانه ای است. به‌دلیل این که تهیه نمونه‌های دست نخورده خاک‌های دانه‌ای که غیرچسبنده هستند، مشکل است، از این‌رو، آزمایش‌های آزمایشگاهی را نمی‌توان برای به‌دست آوردن ویژگی‌های تراکم پذیری خاک‌های دانه‌ای مورد استفاده قرار داد. آزمایش بارگذاری صفحه ای یکی از پرکاربردترین آزمایش‌های میدانی است که در آن صفحه آزمایش فونداسیون را شبیه‌سازی می‌کند. این روش همچنین ممکن است برای ارزیابی ظرفیت باربری نهایی، مقاومت برشی و پارامترهای تغییر شکل خاک در سطح زمین، در ترانشه‌ها یا در گودال‌ها استفاده شود. ممکن است آزمایش بار صفحه در همه خاک‌ها، پرها و سنگ‌ها انجام شود. خاک مناسب برای آزمایش، خاک‌های درشت دانه و کامپوزیت و همچنین خاک ریزدانه سفت می‌باشد. این آزمایش معمولاً نباید برای خاک بسیار ریزدانه استفاده شود. در پیشرفت آزمایش باید دقت شود که صفحه بارگیری مستقیماً روی ذرات بیش از یک چهارم قطر آن قرار نگیرد.

آزمایش بارگذاری صفحه‌ای به‌دلیل این‌که نتایج را فوراً در میدان نشان می‌دهد، بسیار مفید است و به‌عنوان یک آزمایش خوب برای کنترل کیفیت یا بررسی تراکم جاده، تشک‌های شمع بندی، جاده‌های حمل و نقل و غیره عمل می‌کند.

دستگاه و تجهیزات آزمایش بارگذاری صفحه ای



برای انجام آزمایش بارگذاری صفحه ای وجود تجهیزات زیر ضروری است:

- یک صفحه فولادی با حداقل ۳۰۰ میلی متر مربع و ضخامت ۶ میلی متر
- جک و پمپ هیدرولیک
- جک هیدرولیک با ظرفیت حداقل ۵ برابر بار آزمایشی پیش بینی شده
- مجموعه ای از شیلنگ های فولادی با ضخامت حداقل ۶ میلی متر
- تیر واکنش یا خرپا واکنش
- یک عدد سنج، با برد ۰-۲۵۰ میلی متر و دقت ۰/۲ میلی متر
- فشارسنج
- قاب بارگیری با ظرفیت حداقل ۵ برابر بار آزمایشی پیش بینی شده
- تجهیزات لازم برای سکوی بارگیری
- یک قاعده فولادی با طول حداقل ۳ متر
- سه پایه
- یک چکش
- مجموعه ای از آچار

• یک پارچه تمیز و خشک

تنظیم آزمایش بارگذاری صفحه‌ای



برای تنظیم آزمایش بارگذاری صفحه‌ای یک گودال آزمایشی در محل تا عمقی که در آن فونداسیون پیشنهاد شده است، حفر می‌شود. عرض گودال باید حداقل ۵ برابر عرض صفحه آزمایش باشد. در مرکز گودال یک فرو رفتگی یا سوراخ مربع کوچک ایجاد می‌شود که اندازه آن برابر با اندازه صفحه آزمایش و سطح پایین آن مطابق با سطح فونداسیون واقعی است. عمق سوراخ باید به گونه ای باشد که نسبت عمق به عرض ناحیه بارگذاری شده، تقریباً با نسبت عمق واقعی به عرض پی برابر باشد. ضخامت ورق فولادی ملایم، مورد استفاده در آزمایش نباید کمتر از ۲۵ میلی‌متر باشد و اندازه آن ممکن است از ۳۰۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر متغیر باشد. صفحه می‌تواند مربع یا دایره‌ای شکل باشد. صفحه دایره‌ای در مورد پایه دایره‌ای و صفحه مربعی در سایر انواع پایه‌ها استفاده می‌گردد و صفحه در کناره‌ها و لبه‌ها ماشین‌کاری می‌شود.

انواع آزمایش بارگذاری صفحه ای و روش انجام

برای انجام آزمایش بارگذاری صفحه ای بار از طریق یک ستون در مرکز به صفحه آزمایش اعمال می‌شود. بار آزمایشی با یکی از دو روش زیر به ستون منتقل می‌شود:

- روش بارگذاری ثقلی یا بارگذاری واکنش
- روش بارگذاری خریا

روش بارگذاری ثقلی یا بارگذاری واکنش



در روش بارگذاری ثقلی، یک سکوی بارگیری بر روی ستون قرار داده شده بر روی صفحه آزمایش ساخته می‌شود و بار آزمایشی با قرار دادن وزن مرده به صورت کیسه‌های ماسه، چدن، بلوک‌های بتنی، میله‌های سربی و غیره بر روی سکو اعمال می‌گردد. اغلب اوقات یک جک هیدرولیک بین سکوی بارگیری و بالای ستون برای اعمال بار روی صفحه آزمایش قرار می‌گیرد. این شکل از بارگذاری به عنوان بارگذاری واکنش نامیده می‌شود.

روش بارگذاری خرپا



در روش خرپا واکنشی، به جای ساخت سکوی بارگیری، یک خرپای فولادی با اندازه مناسب برای تحمل واکنش جک هیدرولیک در نظر گرفته می‌شود. خرپا با استفاده از لنگرهای فولادی به زمین محکم می‌شود و برای اطمینان از پایداری جانبی آن طناب‌هایی در نظر گرفته شده است. هنگامی که بار بر روی صفحه آزمایش اعمال می‌شود، به آرامی شروع به فرو رفتن می‌کند و نشست صفحه با دقت 0.02% میلی‌متر با کمک گیج‌های صفحه حساس ثبت می‌گردد. حداقل دو عدد سنج برای محاسبه تسویه دیفرانسیل استفاده می‌شود.

گیج‌های شماره‌گیر در انتهای قطری مخالف صفحه قرار می‌گیرند و یک عدد سنج بر روی تیر مرجع یا میله مبنا با پشتیبانی مستقل نصب می‌شود. با غرق شدن صفحه، رام صفحه سنج به سمت پایین حرکت می‌کند و نشست ثبت می‌شود. مقدار بار، بر روی بار سنج جک هیدرولیک نشان داده شده است. بار در افزایش منظم حدود 2 KN یا $1/5$ از ظرفیت باربری نهایی مورد انتظار اعمال می‌شود.

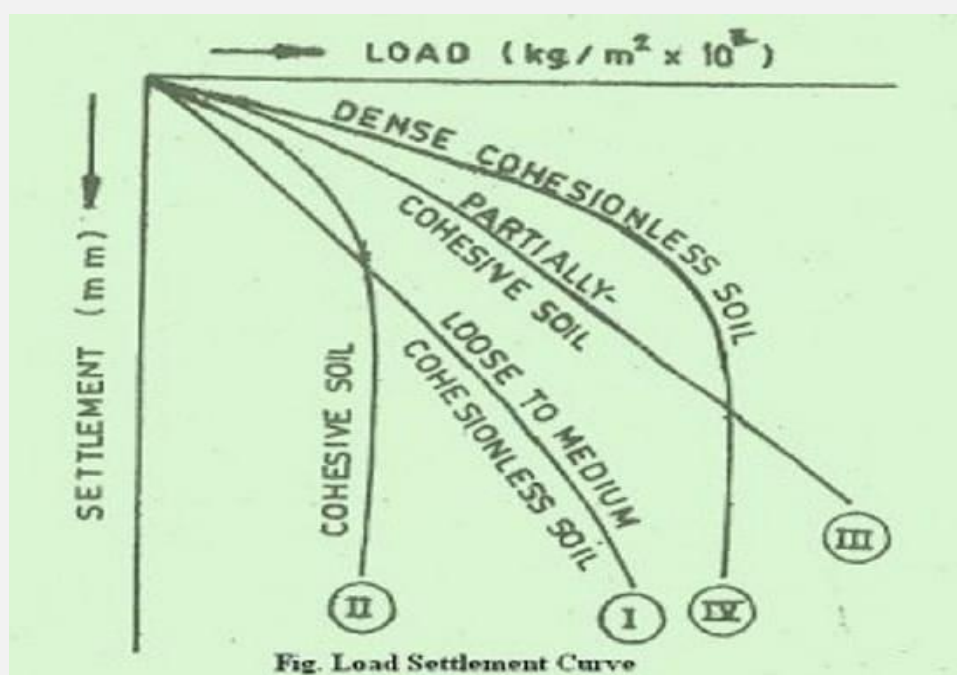
ته نشینی باید برای هر بار افزایش بار پس از فاصله زمانی ۱، ۴، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه و پس از آن در فواصل ساعتی تا زمانی که میزان نشست کمتر از ۰/۰۲ میلی‌متر در ساعت گردد، رعایت شود. حداکثر باری که برای آزمایش اعمال می‌شود باید حدود ۱۵ برابر ظرفیت باربری نهایی خاک باشد. در مورد خاک‌های رسی، منحنی نشست زمانی باید در هر مرحله بارگذاری رسم شود و بار باید به مرحله بعد یا زمانی که منحنی نشان می‌دهد که نشست از ۷۰ تا ۸۰ درصد نشست نهایی احتمالی در آن مرحله فراتر رفته است یا در پایان دوره ۲۴ ساعته، افزایش یابد.

برای خاک‌هایی غیر از خاک‌های رسی، هر بار افزایش بار باید حداقل یک ساعت یا تا زمانی که میزان نشست به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (به مقدار ۰/۰۲ میلی‌متر در میلی‌متر) نگه داشته شود. سپس افزایش بار بعدی باید اعمال شود و مشاهدات تکرار شوند. آزمایش تا زمانی که در شرایط عادی ۲۵ میلی‌متر نشست یا در موارد خاص (مانند شن متراکم و مخلوط ماسه) ۵۰ میلی‌متر به دست آید، ادامه می‌یابد.

تفسیر نتایج

مهندسان هنگام تفسیر نتایج آزمایش بارگذاری صفحه ای، داده‌های بارگذاری و نشست را برای تعیین ظرفیت باربری خاک مقایسه می‌کنند و از این نتایج برای اطمینان از ایمنی و پایداری سازه پیشنهادی استفاده می‌نمایند. هنگامی که مهندسان تست بار صفحه را کامل کردند، داده‌های ثبت شده را تجزیه و تحلیل می‌کنند.

با مقایسه بار اعمال شده در نقاط نشست مختلف با ظرفیت باربری نهایی خاک، آن‌ها می‌توانند ضریب ایمنی را تعیین کنند و اطمینان حاصل کنند که فونداسیون می‌تواند بارهای پیش‌بینی شده را بدون شکست تحمل کند. مشاهدات شدت بار و نشست آزمایش بار صفحه‌ای به صورت منحنی نشست بار رسم می‌گردد. شکل زیر چهار منحنی معمولی اعمال شده در خاک‌های مختلف را نشان می‌دهد.



- **منحنی I** برای خاک‌های سست تا متوسط غیرچسبنده معمول است. مشاهده می‌شود که در ابتدا این منحنی یک خط مستقیم است؛ اما با افزایش بار، صاف می‌گردد و هیچ نقطه مشخصی از شکست برشی وجود ندارد.
- **منحنی II** برای خاک‌های چسبنده معمول است. این ممکن است در مراحل اولیه کاملاً مستقیم نباشد و با افزایش نشست به سمت محور نشست متمایل شود.
- **منحنی III** برای خاک‌های نیمه چسبنده معمول است.

• **منحنی IV** برای خاک‌های کاملاً متراکم و غیرچسبنده معمول است. ظرفیت باربری ایمن (SBC) با تقسیم ظرفیت باربری نهایی بر ضریب ایمنی متغیر از ۲ تا ۳ به دست می‌آید. مقدار ظرفیت باربری ایمن که بدین ترتیب به دست آمد، براساس معیار شکست برشی در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد نشست پی نیز به SBC خاک مربوط می‌شود.

مقدار ظرفیت باربری نهایی

مقدار ظرفیت باربری نهایی و در نتیجه SBC در این مورد را می‌توان از منحنی‌های نشست بار، با خواندن مقدار شدت بار مربوط به نشست موردنظر صفحه آزمایش به دست آورد و مقدار نشست مجاز (Sf) برای انواع پایه (ایزوله یا رافت) برای انواع سازه در کد IS مشخص شده است. نشست مربوطه صفحه آزمایش (Sp) را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$S_f = S_p \left\{ \frac{B (B_p + 0.3)}{B_p (B + 0.3)} \right\}^2$$

- B: عرض پایه بر حسب میلی‌متر
- BP: عرض صفحه آزمایش بر حسب میلی‌متر
- SP: نشست صفحه آزمایش بر حسب میلی‌متر
- SF: نشست پایه بر حسب میلی‌متر

عوامل موثر بر ظرفیت باربری

عوامل متعددی می‌توانند بر ظرفیت باربری خاک تأثیر بگذارند که به صورت زیر هستند:

- **نوع خاک:** انواع مختلف خاک ظرفیت باربری متفاوتی دارند. خاک‌های رسی معمولاً چسبندگی بالاتری دارند؛ اما مقاومت اصطکاکی کمتری نسبت به خاک‌های شنی دارند.
 - **محتوای رطوبت:** میزان رطوبت خاک بر ظرفیت باربری آن تأثیر می‌گذارد. خاک‌های اشباع معمولاً در مقایسه با خاک‌هایی با رطوبت بهینه ظرفیت باربری کمتری دارند.
 - **عمق پی:** ظرفیت باربری خاک با عمق افزایش می‌یابد. فونداسیون‌های عمیق‌تر معمولاً ظرفیت باربری بالاتری دارند.
 - **بارهای اضافی:** بارهای اضافی وارد شده به خاک، مانند ساختمان‌ها یا سازه‌های سنگین، می‌توانند بر ظرفیت باربری تأثیر بگذارند.
- مهندسان در مرحله طراحی به دقت این عوامل را در نظر می‌گیرند تا از پایداری و ایمنی فونداسیون اطمینان حاصل کنند.

مزایای آزمایش بارگذاری صفحه ای



- مزایای آزمایش بارگذاری صفحه ای در زیر مورد بحث قرار گرفته است:
- توانایی درک رفتار پی در شرایط بارگذاری

- ارزیابی ظرفیت باربری خاک در عمق معین و پیش‌بینی نشست برای بار معین
- محاسبه پی کم عمق
- کم زمان و مقرون به صرفه
- آسان برای اجرا
- قابل اعتماد

محدودیت‌های آزمایش بارگذاری صفحه ای



- برای جمع‌آوری اطلاعات لازم در مورد طراحی فونداسیون کم عمق آزمایش بارگذاری صفحه‌ای بسیار مفید است؛ اما دارای محدودیت‌های زیر می‌باشد:
- این آزمایش رفتار خاک واقع در عمقی کمتر از دو برابر عمق عرض صفحه باربر را پیش‌بینی می‌کند؛ اما در شرایط عملی، ناحیه نفوذ یک فونداسیون تا عمق بسیار بیشتری است.

- آزمایش بارگذاری صفحه‌ای برای مدت زمان کوتاهی انجام می‌شود، بنابراین نمی‌تواند نشست را برای مدت طولانی‌تری به‌خصوص برای خاک منسجم پیش‌بینی کند.
- ظرفیت باربری برای خاک رسی تقریباً مشابه ظرفیت باربری به‌دست آمده از آزمایش بارگذاری صفحه‌ای است؛ اما در مورد خاک شنی متراکم، این آزمایش یک مقدار محافظه‌کارانه ارائه می‌دهد. ظرفیت واقعی به‌دست آمده برای خاک شنی متراکم، بالاتر از نتایج آزمایش بار صفحه است.
- نشست برای از دست دادن خاک شنی معمولاً بیشتر از نشست نشان داده شده توسط آزمایش باربری صفحه است.

هدف از آزمایش بارگذاری صفحه‌ای



- آزمایش بار صفحه را می‌توان برای موارد زیر استفاده کرد:
- تعیین ظرفیت باربری خاک
 - تعیین نوع فونداسیون براساس ظرفیت باربری ایمن
 - ارزیابی ضخامت روسازی
 - تعیین نشست مربوط به بارهای خاص از منحنی بار - نشست

کدها و استانداردهای بین المللی برای آزمایش بارگذاری صفحه ای

آزمایش بارگذاری صفحه‌ای یک جنبه محوری مهندسی ژئوتکنیک است که امکان تعیین ظرفیت باربری نهایی خاک را برای کاربردهای مختلف ساختمانی فراهم می‌کند. مهم است که بدانیم استانداردها و کدهای بین‌المللی راهنمایی جامعی در مورد انجام آزمایش‌های بار صفحه ارائه می‌دهند.

۱. **ASTM D1194 روش تست استاندارد برای ظرفیت باربری خاک برای**

اعمال بار استاتیک: روش‌های آزمایش دقیق، تجزیه و تحلیل نتایج و محاسبات ظرفیت باربری نهایی را تشریح می‌کند.

۲. **BS 1377-9:1990 روش‌های آزمایش خاک برای اهداف مهندسی**

عمران - بخش 9: این گروه به آزمایش‌های خاک در محل، از جمله آزمایش‌های بار صفحه می‌پردازد. این استاندارد جامع شامل مشخصات تجهیزات، روش‌های آزمایش و تفسیر نتایج است که به عنوان سنگ بنای ارزیابی ظرفیت باربری خاک عمل می‌کند.

۳. **یوروکد - 7 طراحی ژئوتکنیک: دستورالعمل‌های جامعی را برای انجام**

آزمایش‌های بار صفحه ارائه می‌دهد که بر اهمیت اکتشاف دقیق خاک و تأثیر تغییرپذیری خاک بر نتایج آزمایش تأکید می‌کند.

۴. **استانداردهای استرالیا AS 1289.6.1.1 آزمایش خاک - روش‌های**

آزمایش خاک برای اهداف مهندسی - بخش 1.1: آزمایش‌های

مقاومت و تحکیم خاک متدولوژی‌هایی را برای تعیین خواص تراکم یک‌بعدی خاک و روش‌های آزمایش طراحی خاک مشخص می‌کند.

۵. **راهنمای مهندسی بنیاد کانادا (CFEM):** راهنمایی در مورد انجام آزمایشات بار صفحه و تفسیر نتایج برای شرایط مختلف خاک ارائه می‌دهد.

۶. **ISO 12494:2011 کیفیت خاک:** راهنمایی در مورد انجام آزمایشات بار صفحه برای ارزیابی خصوصیات خاک مربوط به طراحی پی را ارائه می‌دهد.

سخن آخر

آزمایش بارگذاری صفحه‌ای یک آزمایش میدانی برای تعیین ظرفیت باربری نهایی خاک و نشست احتمالی تحت یک بار معین است. آزمایش بار صفحه اساساً شامل بارگذاری یک صفحه فولادی است که در سطح فونداسیون قرار می‌گیرد و نشست‌های مربوط به هر افزایش بار را ثبت می‌کند. بار آزمایشی به تدریج و تا زمانی که صفحه با سرعت سریع شروع به فرو رفتن کند، افزایش می‌یابد. تست بار صفحه نقش مهمی در مهندسی عمران دارد و به مهندسان کمک می‌کند تا ظرفیت باربری و نشست خاک را ارزیابی کنند.

با درک اصول اولیه این آزمون، مهندسان عمران و سازندگان می‌توانند از یکپارچگی ساختاری و پایداری پروژه‌های خود اطمینان حاصل کنند. انجام آزمایش‌های بارگذاری صفحه منجر به فرآیندهای ساخت‌وساز ایمن‌تر و کارآمدتر می‌شود که در نهایت به نفع همه کسانی است که درگیر هستند.