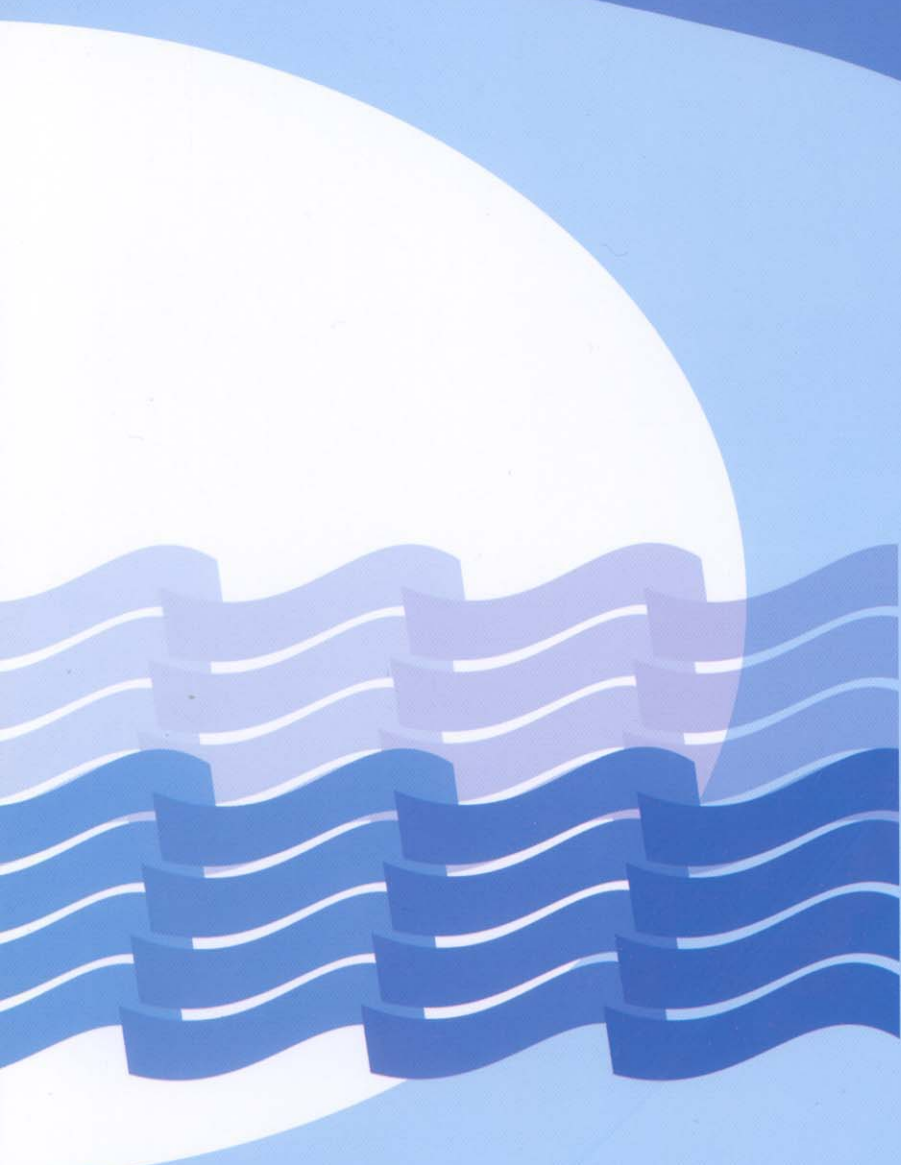




# آزمایش بارگذاری صفحه ای روی خاک و سنگ نرم، کاربرد، روش و تفسیر



به نام خدا  
جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو  
شرکت مدیریت منابع آب ایران  
معاونت پژوهش و مطالعات پایه  
دفتر استانداردها و معیارهای فنی

# آزمایش بارگذاری صفحه‌ای روی خاک و سنگ نرم کاربرد، روش و تفسیر

خرداد ماه ۱۳۸۴

نشریه شماره ۲۳۱- الف

## پیش‌گفتار

امروزه، نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها، در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر کرده است. با در نظر داشتن گستردگی دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه، به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است. با در نظر گرفتن موارد بالا و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و از این رو، امور آب وزارت نیرو با همکاری سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، به تهیه استانداردهای مهندسی آب اقدام کرده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است :

- استفاده از تخصص و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجربه‌های دستگاههای اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد.

امید است، مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با به کارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور، تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهارنظرهای سازنده، در تکامل این استانداردها همکاری کنند.

## ترکیب اعضای کمیته

متن اولیه این پیش‌نویس توسط آقایان دکتر سیاوش لیتکوهی و مهندس بهرام امینی تهیه شده است.

اعضای کمیته ژئوتکنیک طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور که بررسی این پیش‌نویس استاندارد را بر عهده داشته‌اند، عبارتند از :

خانم فیروزه امامی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس زمین‌شناسی
آقای حسین جلالی	شرکت مهندسی مشاور آب نیرو	دکترای سازه و دکترای مکانیک ساختمان
آقای فرزاد رفیعا	شرکت مهندسی مشاور کاوشگران	فوق لیسانس مهندسی معدن (مکانیک سنگ)
آقای بهروز گتمیری	دانشگاه تهران - دانشکده فنی	دکترای ژئوتکنیک
آقای سیاوش لیتکوهی	شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک	دکترای مکانیک خاک
خانم مهیار نوربخش پیربازاری	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس ژئوتکنیک
آقای علی یوسفی	شرکت سهامی خدمات مهندسی برق	فوق لیسانس مهندسی معدن
	(مشانیر)	(زمین‌شناسی مهندسی)

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۱	۱- هدف
۱	۲- دامنه کاربرد
۲	۳- چیدمان و آرایش
۲	۴- یادداشتهای
۴	۵- موارد استفاده آزمایش
۴	۶- آماده‌سازی آزمایش
۴	۶-۱ پیش‌نیازها
۵	۶-۲ آماده‌سازی محل آزمایش
۵	۷- روش انجام آزمایش
۵	۷-۱ پیش‌بارگذاری
۵	۷-۲ بارگذاری
۵	۷-۲-۱ آهنگ ثابت نشست
۶	۷-۲-۲ بارگذاری پله‌ای
۶	۷-۲-۳ بارگذاری تناوبی
۶	۷-۲-۴ بارگذاری مستقیم طراحی
۶	۷-۲-۵ بارگذاری برای خزش
۶	۷-۳ باربرداری
۷	۸- تفسیر نتایج
۷	۸-۱ پیش‌نیاز
۷	۸-۲ محاسبه
۹	۸-۲-۱ آزمایش برروی سطح
۹	۸-۲-۲ آزمایش در کف چاهک و یا در دستک افقی
۹	۸-۲-۳ حالتهای دیگر
۱۰	۸-۳ تعمیم نتایج آزمایش
۱۰	۸-۳-۱ ظرفیت باربری مجاز
۱۰	۸-۳-۲ ضریب عکس‌العمل بستر
۱۱	۸-۳-۳ تعیین مقدار نشست پی

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۱	۹- تهیه گزارش
۱۲	۱۰- مثال
۱۳	۱-۱۰ تعیین مقاومت مجاز
۱۳	۲-۱۰ تعیین مدول عکس العمل بستر
۱۳	۳-۱۰ تعیین مقدار نشست پی
۱۷	منابع و مراجع

## مقدمه

«آزمایش بارگذاری صفحه‌ای روی خاک و سنگ نرم، کاربرد، روش و تفسیر» شامل چگونگی انجام آزمایش، تعیین یافته‌ها و تفسیر یافته‌های آزمایش است. آزمایش، با چیدمان و آرایشهای گوناگون و همچنین روشهای بارگذاری متفاوت انجام می‌شود که باید در هر مورد، محدودیتهای و جنبه‌های تفسیری آزمایش مورد توجه قرار گیرد.

البته ساخت پی با اندازه واقعی و بارگذاری آن، بدون شک بهترین روش تعیین مقاومت زمین است. اما به دو دلیل انجام این کار مطلوب نیست. نخست آنکه بسیار پر هزینه است و دوم آنکه مقاومت زمین فقط برای پی با یک اندازه به دست می‌آید و اگر پی‌های ساختمان، بیش از یک اندازه داشته باشند، نیاز به آزمایشهای متعدد است. در این شرایط، با انجام آزمایش بر روی یک صفحه کوچک و تعمیم نتایج (با رعایت جوانب لازم)، می‌توان ویژگیهای مورد نظر را به دست آورد.

## ۱- هدف

هدف از این آزمایش، کمک به تعیین پارامترهای مهمی مانند مدول یانگ، ضریب عکس‌العمل بستر و مقاومت مجاز مصالح آزمایش شده و در نهایت تعیین مقاومت زمین هنگام ساخت پی است.

## ۲- دامنه کاربرد

۱-۲ آزمایش بارگذاری، عبارت است از: قراردادن یک صفحه صلب (اغلب فولادی) روی خاک و اعمال فشار بر آن، همراه با اندازه‌گیری میزان فرورفتن صفحه در خاک، به‌ازای مقدار فشاری که وارد می‌شود.

۲-۲ به‌طور معمول، از صفحه‌های گرد با قطرهای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر (به ترتیب ۱، ۱/۵ و ۲ فوت) استفاده می‌شود. استفاده از صفحه‌های بزرگ‌تر (حتی به اندازه پی اصلی) نیز رایج و مرسوم است.

۳-۲ اغلب، هرچه اندازه دانه‌های خاک درشت‌تر باشد (خاک همگن<sup>۱</sup> نباشد)، استفاده از صفحه‌های بزرگ‌تر بهتر است و ترجیح داده می‌شود که قطر صفحه، از ۱۰ برابر اندازه بزرگ‌ترین دانه خاک بزرگ‌تر باشد.

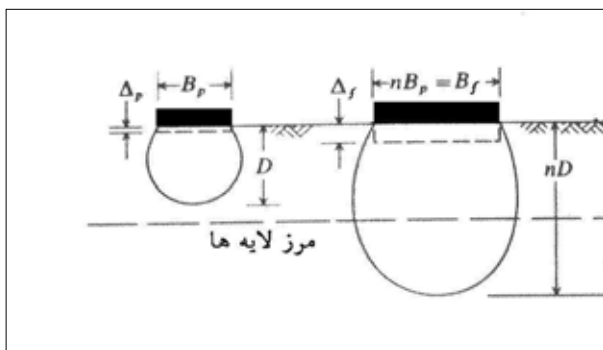
۴-۲ صفحه می‌تواند در سطح زمین، در عمق بر روی کف و یا روی دیوارها و سقف قرار گیرد.

۵-۲ با توجه به اینکه ابعاد صفحه آزمایش بارگذاری، اغلب نسبت به ابعاد پی اصلی کوچک بوده و عمق نفوذ تنش نسبت به شرایط پی اصلی، کوچک‌تر است (شکل ۱)، در صورت وجود لایه‌بندی یا تفاوت مشخصات ژئوتکنیکی در محدوده تأثیر پی، باید از تعمیم نتایج آزمایش برای پی خودداری شود.

۶-۲ بدیهی است که نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمایش در راستای بار وارده، دارای اعتبار است و بویژه در خاکهای ناهمگن و ناهمسان<sup>۲</sup>، در تعمیم نتایج باید به این نکته توجه کرد.

1 - Isotropic

2 - Nonisotropic



$B_p$  پهناى صفحه  
 $\Delta_p$  نشست صفحه  
 $D$  عمق نفوذ تنش صفحه  
 $B_f$  پهناى پی  
 $\Delta_f$  نشست پی  
 $n$  نسبت پهناى پی به پهناى صفحه

شکل ۱- تفاوت در منطقه تحت تنش صفحه و پی اصلی [7]

### ۳- چیدمان و آرایش<sup>۱</sup>

آزمایش را می توان در آرایشهای بسیار گوناگون انجام داد. پاره ای از این آرایشها، به عنوان نمونه در شکل ۲ آمده است.

### ۴- یادداشتهای

با مراجعه به شکل ۲، یادداشتهای زیر مورد نیاز است:

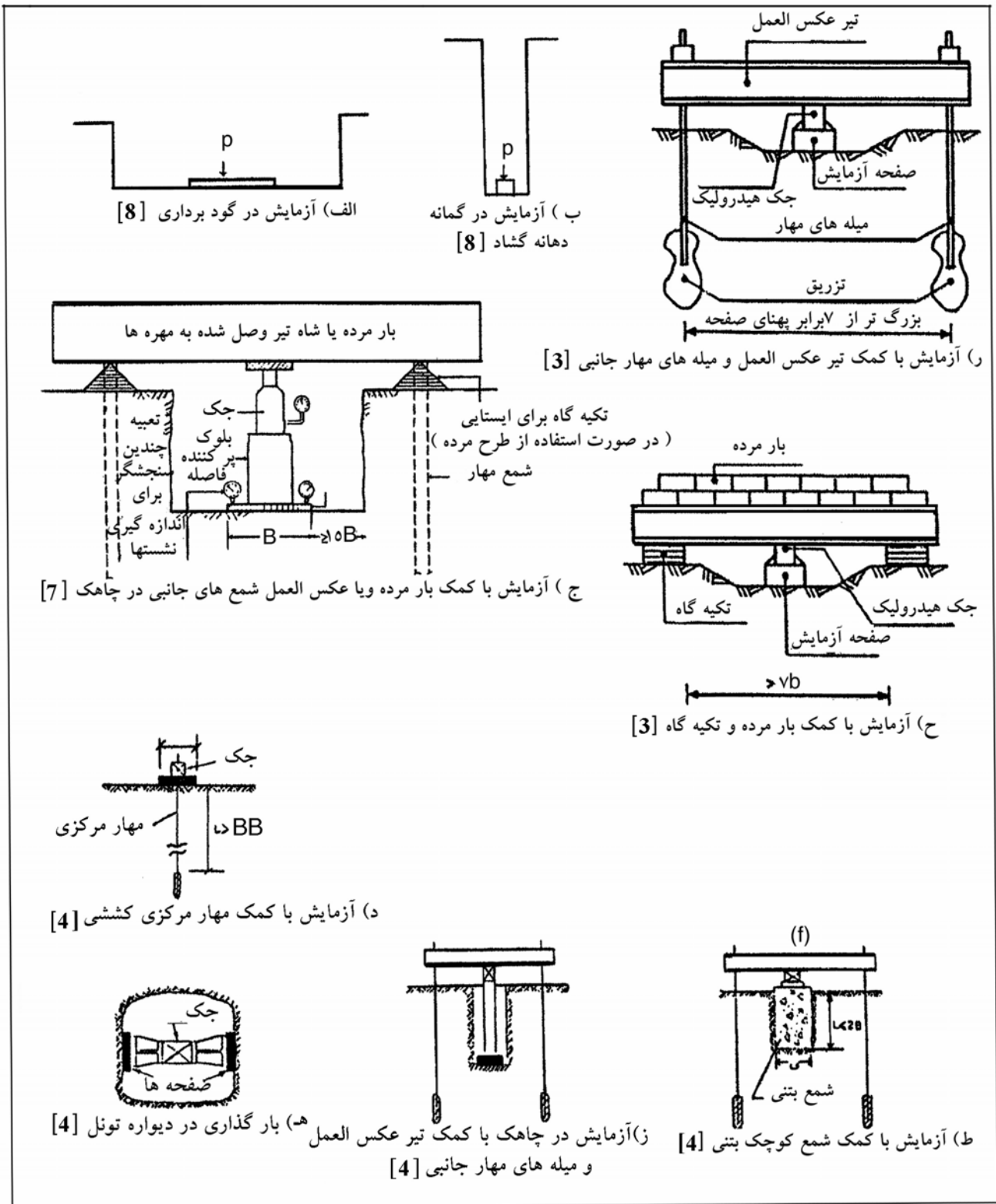
**مهاریها:** عکس العمل جک می تواند از طریق تیرهای عکس العمل<sup>۲</sup> متصل به مهاریهای قرارداده شده در زمین، تأمین شود. در این صورت در هنگام بارگذاری، مهاریها نباید تحت کشش پیش بینی شده از جای خود در آیند. گاهی عکس العمل جک، مستقیم به مهاریها انتقال داده می شود. اگر مهار در فاصله بیش از ۳/۵ برابر پهناى صفحه قرار داشته باشد، منطقه تحت تنش صفحه، با محل قرارگیری مهار تداخل نخواهد کرد (شکلهای ۲ ح، ۲ و).

**جک:** جک یا ترکیب جکها باید توانایی اعمال بار مورد نیاز را داشته باشد. اندازه گیری نیروی مورد انتظار، باید با دقت  $\pm 0.5\%$  صورت گیرد.

**سنجشگرها<sup>۳</sup>:** که به صورت عقربه ای<sup>۴</sup> یا الکتریکی<sup>۵</sup> استفاده می شوند، باید توانایی اندازه گیری نشست با دقت ۲ درصد نشست مورد انتظار و یا دست کم ۰/۱ میلی متر را داشته باشند. سنجشگرها، به تعداد کافی و دست کم ۳ عدد، باید گونه ای نصب شوند که نشست میانگین و ناترازی<sup>۶</sup> صفحه را نشان دهند. همچنین سنجشگرها باید در فاصله های یکسان از یکدیگر قرار داده شوند.

- 
- 1 - Layout
  - 2- Reaction beam
  - 3 - Guage (gage)
  - 4 - Dial
  - 5 - Electrical transducer
  - 6 - Tilt





شکل ۲- چیدمان، آرایش و سیستم‌های بارگذاری

**صفحه بارگذاری:** صفحه بارگذاری باید کاملاً صلب<sup>۱</sup> بوده و سطح تماس آن با خاک صاف باشد.

**وزن مرده<sup>۲</sup>:** وزن مرده روی تیرهای عکس‌العمل قرار داده می‌شود و ممکن است در آرایشهایی که از مهار کمک گرفته می‌شود، به صورت کمکی مورد استفاده قرار گیرند. وزن مرده را باید به گونه‌ای اعمال کرد که هیچ‌گونه تداخلی (به عنوان مثال از طریق تکیه‌گاهها) با میدان تنش در زیر صفحه نداشته باشد. بنابراین، فاصله بین مرکز صفحه تا لبه تکیه‌گاه دست کم  $3/5$  برابر قطر صفحه در نظر گرفته می‌شود.

**قرقری<sup>۳</sup>:** استفاده از قرقری برای اعمال بار یکنواخت جک به صفحه ضروری است. قرقری، در ساده‌ترین شکل، از دو صفحه روی هم تشکیل شده که بین آنها یک ساچمه قرار گرفته است. در محل قرارگیری ساچمه، هر کدام از دو صفحه دارای گودی هستند تا ساچمه در آن گودی قرار گیرد.

**نقاط ثابت<sup>۴</sup>:** اندازه‌گیری نشست صفحه، نسبت به نقاط ثابت انجام می‌گیرد. برای ایجاد نقاط ثابت، می‌توان از تیرهای مبنای<sup>۵</sup> استفاده کرد. جنس تیرها و چگونگی قرارگیری آنها باید به گونه‌ای انتخاب شود که از اثر ناخواسته دما و باد جلوگیری کنند. پیشنهاد می‌شود لبه تکیه‌گاههای تیرهای مبنای، دست کم  $2/5$  متر از مرکز صفحه بارگذاری دور باشد.

## ۵- موارد استفاده آزمایش

۱-۵ تعیین مقاومت نهایی،

۲-۵ تعیین پارامترهای تغییر شکل (مدول کشسانی<sup>۶</sup> و ضریب عکس‌العمل بستر<sup>۷</sup>)

۳-۵ برآورد نشست.

## ۶- آماده‌سازی آزمایش

### ۱-۶ پیش‌نیازها

پیش از شروع هر مطالعه کارگاهی در زمینه بارگذاری صفحه‌ای، باید همه جک‌ها، فشارسنجها، ورارسانها و وسایل اندازه‌گیری واسنجیده<sup>۸</sup> شوند. این امر، بهتر است دست کم هر شش ماه یک‌بار انجام شود. اطمینان از کارکرد درست سنسگرها پیش از شروع هر آزمایش، ضروری است.

---

1 - Rigid

2 - Dead weight, kentledge or counterweight

3 - Ball and socket joint

4 - Fixed points

5 - Reference beam

6 - Modulus of elasticity

7 - Modulus of subgrade reaction

8 - Calibrated

## ۲-۶ آماده‌سازی محل آزمایش

در آزمایشهایی که روی خاک و رس یا سنگ نرم انجام می‌شود، محل آزمایش باید به‌طور کامل دست‌نخورده باشد و هر گونه مصالح دست‌خورده یا سست‌شده را باید برداشت. سطح مورد آزمایش باید صاف باشد. در صورت امکان، بهتر است آماده‌سازی با دست، انجام گیرد. پیشنهاد می‌شود سطح آزمایش با گچ یا ملات سیمان صاف شود. اگر سطح مورد آزمایش بسیار سخت باشد، استفاده از لایه‌های متعدد گچ یا ملات سیمان برای به‌دست آوردن سطح کاملاً صاف ضروری است. در آزمایشهایی که روی سطح افقی انجام می‌شود، می‌توان از لایه نازکی از ماسه نرم و یکنواخت نیز استفاده کرد که در این صورت، ضخامت آن اغلب ۱ تا ۲ سانتی‌متر است و در مواردی که دانه‌های درشت نیز در مصالح مورد آزمایش دیده شود، این مقدار تا ۵ سانتی‌متر قابل افزایش است. این لایه، وظیفه زهکشی مصالح را در هنگام بارگذاری نیز به‌عهده دارد. در چنین مواردی، می‌توان اطراف صفحه را هم با لایه ماسه نرم و یکنواخت پوشش داد.

## ۷- روش انجام آزمایش

### ۱-۷ پیش‌بارگذاری

برای جلوگیری از دست‌خوردگی زمین زیرصفحه، می‌توان پیش از بارگذاری اصلی، چند بارگذاری تناوبی سریع با فشارهای کم، اعمال کرد.

### ۲-۷ بارگذاری

بارگذاری، در پله‌های مختلف انجام می‌گیرد. مقدار بار و مدت دوام بار در هر پله و بسیاری از نکات دیگر می‌تواند براساس نیاز طراح پی، مدل‌سازی بار وارد بر پی، و یا نوع مصالح مورد آزمایش انجام گیرد. آنچه در زیر می‌آید، فقط برای راهنمایی است. به‌طور کلی، بارگذاری به یکی از پنج روش زیر یا ترکیبی از آنها انجام می‌شود:

#### ۱-۲-۷ آهنگ ثابت نشست<sup>۱</sup>

در این روش، که اغلب برای خاکهای ریزدانه چسبنده مناسب است، آهنگ نشست براساس ضریب نفوذپذیری خاک و اندازه صفحه انتخاب می‌شود تا آزمایش در شرایط زهکشی‌نشده انجام شود. آهنگ نشست برای صفحه‌هایی به قطر ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر (۱ تا ۳ فوت) را به‌عنوان یک الگوی تقریبی، می‌توان  $2/5$  میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفت. آزمایش، تا نشست حداکثر ۱۵ درصد قطر صفحه ادامه می‌یابد.

---

1 - Constant rate of penetration

### ۲-۲-۷ بارگذاری پله‌ای<sup>۱</sup>

فشار نهایی، به صورت مضربی از مقاومت مجاز، پیش‌بینی و تعیین می‌شود. سپس ۱۰ پله مساوی بارگذاری تا رسیدن به بار نهایی انجام می‌گیرد. مدت زمان نگهداشتن بار در هر پله بار باید یکسان باشد. این مدت، در خاکهای درشت‌دانه ۸ دقیقه (با اندازه‌گیری در دقیقه‌های ۱، ۲، ۴ و ۸ و یا ۱ تا ۲ اندازه‌گیری در هر دقیقه) و در خاکهای ریزدانه چسبنده از رابطه نشست به زمان تعیین می‌شود، به گونه‌ای که تحکیم اولیه به دست آید. در هر حال، این روش باید شرایط بارگذاری زهکشی شده را فراهم کند. هر پله بار،  $\frac{1}{10}$  ظرفیت نهایی پیش‌بینی شده خاک در نظر گرفته می‌شود. طراح پی می‌تواند براساس نیاز، پله‌های بارگذاری و زمان هر پله را براساس جدول‌هایی ارائه کند که در آنها عواملی همچون جنس، حد روانی، درصد تخلخل، درجه اشباع، چگالی (دانسیته) و غیره در نظر گرفته شده باشد.

### ۳-۲-۷ بارگذاری تناوبی<sup>۲</sup>

در شرایطی که عملکرد تناوبی پی در طرح، پیش‌بینی می‌شود، می‌توان بارگذاری تناوبی را انجام داد. نشست، اغلب پس از چند بار تکرار، ثابت می‌شود. در صورت نیاز، می‌توان پس از تثبیت نشست، فشار بارگذاری را براساس یکی از روش‌های گفته شده در بالا افزایش داد و یا در یک پله مورد نظر، بارگذاری تناوبی را اعمال کرد.

یادداشت: برای بارگذاری تناوبی، به منظور استفاده از طرح روسازی فرودگاهها و شاهراهها باید به استانداردهای مربوطه مراجعه شود.

### ۴-۲-۷ بارگذاری مستقیم طراحی<sup>۳</sup>

در این روش، با الگوبرداری از شرایط ساخت و بهره‌برداری سازه، فشار وارد به صفحه، به گونه‌ای انتخاب می‌شود که مشابه تغییرات دوران ساخت و بهره‌برداری باشد. در این شرایط، رفتار درازمدت مصالح زیر پی ارزیابی می‌شود.

### ۵-۲-۷ بارگذاری برای خزش<sup>۴</sup>

از این روش، هنگامی استفاده می‌شود که رفتار خزشی خاک مهم باشد و یا سازه‌ها اهمیت ویژه‌ای داشته و یا نسبت به نشست، بسیار حساس باشند.

### ۳-۷ باربرداری

باربرداری، اغلب در پله‌هایی که مقدار آن دو برابر پله‌های بارگذاری است، انجام می‌گیرد. دفعات چرخه باربرداری، برحسب نیاز طرح تعیین می‌شود. در باربرداری، اطلاعاتی درباره تغییرشکل‌های ثابت و دائمی مصالح زیر پی به دست می‌آید.

1 - Incremental loading (maintained loading)

2 - Cyclic

3 - Direct design

4 - Creep

## ۸- تفسیر نتایج

### ۸-۱ پیش نیاز

نتیجه آزمایش به صورت نموداری که نشان دهنده فشار وارد بر صفحه و نشست متناظر آن است، تهیه می‌شود. در این نمودار، یکی از حالت‌های الف، ب یا ج شکل ۳ دیده می‌شود. مقادیر نشست برای رسم منحنیها، میانگین اندازه‌گیریهای دست کم سه سنجشگر است.

حالت الف: در این حالت، ظرفیت باربری نهایی، با بالاترین فشار ممکن، اندازه‌گیری شده است. نشست متناظر برای همین فشار، نشست نهایی صفحه است.

حالت ب: در این حالت، تغییر شکل در پله‌ای از فشار نسبت به تغییر شکل در پله قبلی، آشکارا افزایش می‌یابد که نقطه شروع این تغییر چشمگیر، ظرفیت باربری نهایی به‌شمار می‌آید.

حالت ج: در این حالت، نشست به‌طور مرتب رو به افزایش است، اما هیچ‌یک از دو حالت (الف) یا (ب) پیش نمی‌آید. در این صورت، ظرفیت باربری نهایی، معادل مقدار متناظر با نشست صفحه، به میزان ۱۵ درصد قطر یا پهناى صفحه منظور می‌شود. تبصره (۱) - گاهی با رسم نمودار لگاریتمی، می‌توان نقطه  $q_{II}$  را به آسانی و تمایز بیشتری شناسایی کرد.

### ۸-۲ محاسبه

برای انجام محاسبه، رابطه‌های عمومی زیر برقرار است<sup>۱</sup>:

$$E = \frac{Q}{\delta D} (1 - \mu^2) \times I \quad (1)$$

$$k_s = \frac{q}{\delta} \times I \quad (2)$$

که در آنها:

$E$  = مدول یانگ<sup>۲</sup> مصالح،

$Q$  = بار وارد بر صفحه،

$\delta$  = نشست صفحه،

$D$  = پهنا یا قطر صفحه،

$\mu$  = نسبت پواسون<sup>۳</sup>،

$I$  = ضریب اصلاح مربوط به آرایش و چگونگی آزمایش (بندهای ۷-۲-۱، ۷-۲-۲ و ۷-۲-۳)،

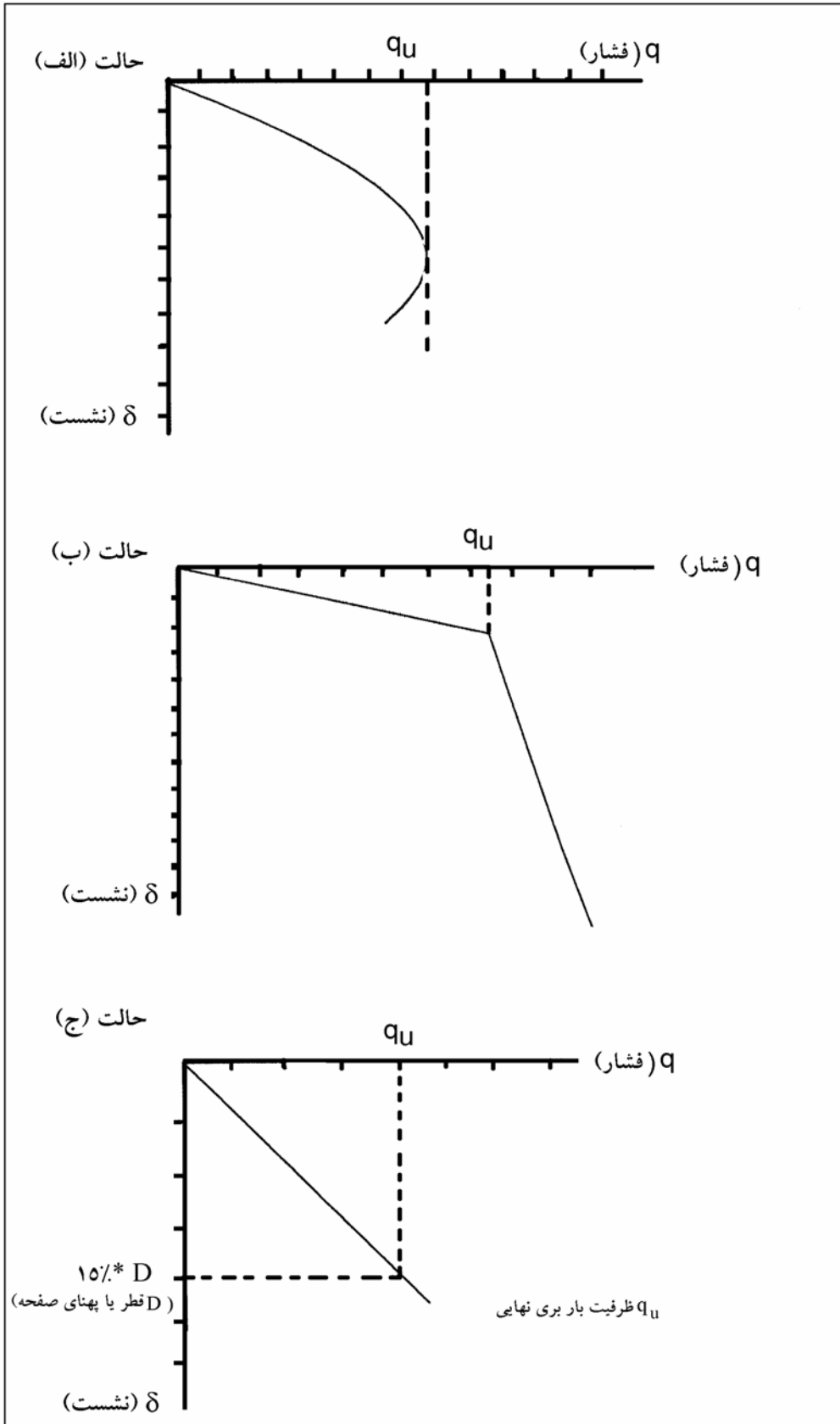
$k_s$  = مدول عکس‌العمل بستر برای صفحه آزمایش،

$q$  = فشار وارد بر صفحه.

۱- تفاوت قابل چشم‌پوشی صفحه‌های دایره و مربع نادیده گرفته شده است.

2 - Young's modulus

3 - Poisson's ratio



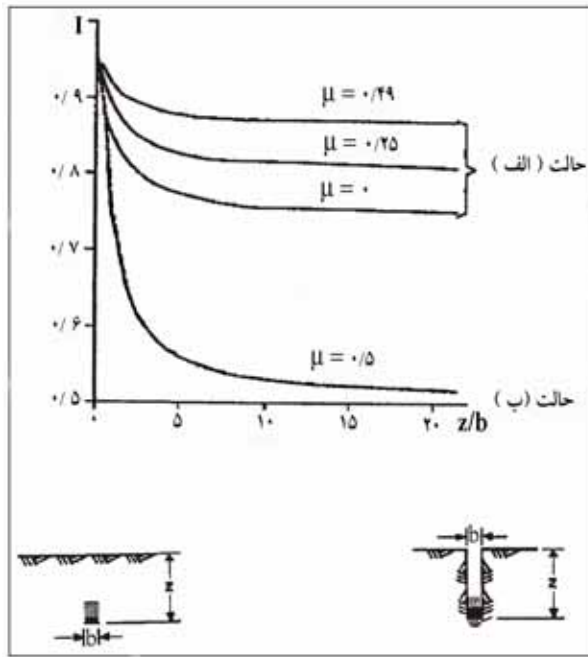
شکل ۳- نمودار فشار - نشست

### ۱-۲-۸ آزمایش بر روی سطح

در صورت انجام آزمایش روی سطح زمین، با فرض اینکه سختی مصالح در عمق ثابت بوده و مصالح همگن باشد، مقدار  $I=1$  در نظر گرفته می‌شود.

### ۲-۲-۸ آزمایش در کف چاهک و یا در دستک افقی

در این دو حالت، مقدار  $I$  از منحنیهای شکل ۴ به دست می‌آید.



$I$  ضریب اصلاح (رابطه‌های ۱ و ۲)  
 $\mu$  نسبت پواسون

$b$  پهنای صفحه  
 $Z$  عمق قرارگیری صفحه

(الف) بارگذاری یکنواخت دایره‌ای در کف چاهک (ب) بارگذاری یکنواخت دایره‌ای در دستک افقی

### شکل ۴- آزمایش در کف چاهک یا در دستک افقی [3]

### ۳-۲-۸ حالت‌های دیگر

در حالت‌های دیگر مانند آزمایش در کف چاهک بدون پوشش کامل کف چاهک، آزمایش در تونلها در شرایطی که فشار بر قسمتی از سطح تونل وارد می‌شود و یا آرایشهای متعدد و متفاوتی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، توصیه می‌شود برای تعیین ضریب اصلاح  $I$  که مقدار نشست اندازه‌گیری شده را اصلاح می‌کند، به منابع مربوط<sup>۲</sup> مراجعه شده یا تحلیل به روش اجزای محدود<sup>۳</sup> انجام گیرد. پیشنهاد می‌شود از این‌گونه روشها و مراجع، برای محاسبه در زمینه‌های خاص دیگر، برای مثال مقدار بیشینه نشست و غیره نیز استفاده شود.

۱- یک گالری کوتاه و کوچک در سینه کار (Adit)

۲- از جمله می‌توان به مرجع [4] در بخش منابع و مآخذ مراجعه کرد.

### ۳-۸ تعمیم نتایج آزمایش

#### ۱-۳-۱ ظرفیت باربری مجاز

با مراجعه به منحنی فشار - نشست (حالت‌های الف ، ب و ج شکل ۳) می‌توان مقدار مقاومت نهایی مصالح ( $q_u$ ) را تعیین کرد. ظرفیت باربری مجاز  $q_a$  با استفاده از ضریب اطمینان (SF) و ضریب آرایش و چگونگی آزمایش (I) به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$q_a = \frac{q_u \cdot I}{SF} \quad (۳)$$

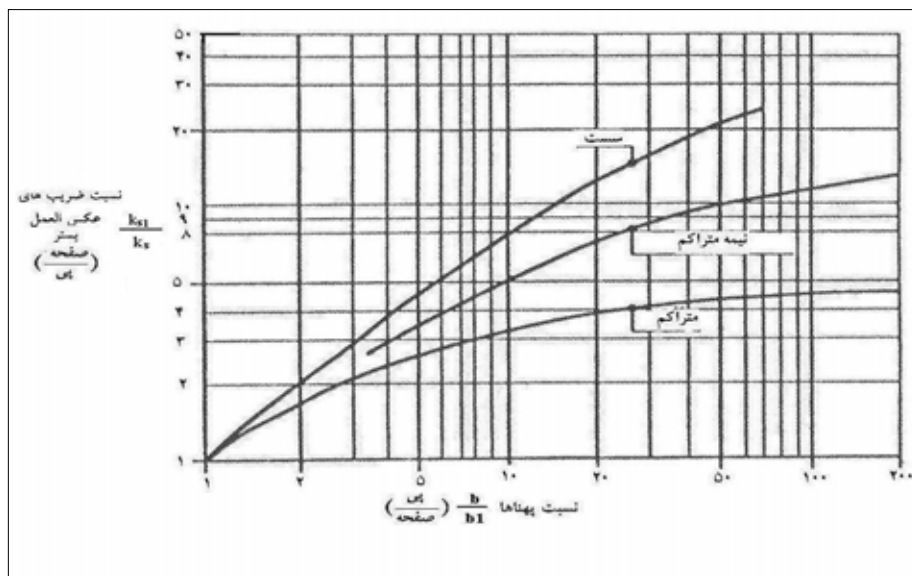
مقدار ضریب اطمینان در این رابطه، دست کم ۲ پیشنهاد می‌شود.

#### ۲-۳-۱ ضریب عکس‌العمل بستر

مقدار ضریب عکس‌العمل بستر ( $k_s$ ) از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$k_s = \frac{q}{\delta} \times I \quad (۴)$$

که در آن،  $\delta$  مقدار نشست با توجه به نمودار فشار - نشست است ( $q \leq q_a$ ). چون مقدار  $k_s$  تحت تأثیر پهناى صفحه آزمایش قرار می‌گیرد، باید مقدار  $k_s$  صفحه به  $k_s$  پی با پهناى مورد نظر تبدیل شود. برای این تبدیل و تعیین  $k_s$  پی در خاکهای ماسه‌ای از شکل ۵ استفاده می‌شود.



شکل ۵- محاسبه ضریب عکس‌العمل بستر برای پی مورد نظر با استفاده از

نسبت پهناى پی به پهناى صفحه آزمایش [3]



در این گونه خاکها، نتیجه‌ها تحت تأثیر چگونگی افزایش ضریب عکس‌العمل بستر نسبت به عمق است. در مصالحی که این تغییر در عمق اتفاق نمی‌افتد (مصالح همگن و از جمله رسها) رابطه  $\frac{k_{s1}}{k_s} = \frac{b}{b_1} \approx 3 <$  پیشنهاد می‌شود (نسبت پهناها و نسبت ضریب عکس‌العمل بستر است).

### ۳-۳-۸ تعیین مقدار نشست پی

با تعیین  $q_a$  و  $k_s$  (بندهای ۱-۳-۷ و ۲-۳-۷) و داشتن مقدار فشار وارد بر پی  $q$ ،  $(q \leq q_a)$  می‌توان مقدار نشست را از رابطه  $\delta = \frac{q}{k_s}$  تعیین کرد. اگر این مقدار نشست برای پی، از دید طراح پی مجاز نباشد، می‌توان ابعاد جدیدی در نظر گرفت و مقدار  $k_s$  جدید را از منحنی شکل ۵ یا رابطه اشاره شده، تعیین و بار دیگر با فشار جدید ( $q$ )، مقدار نشست ( $\delta$ ) را محاسبه کرد.

تبصره: در صورت پیش‌بینی وجود سطح آب در محدوده تنش زیر پی (فاصله تراز زمین تا تراز آب، کمتر از فاصله تراز زمین تا تراز کف پی و پهنای پی باشد)، باید پیش‌بینی‌های لازم به یکی از دو شکل زیر به عمل آید:

- انجام آزمایش بارگذاری صفحه‌ای در شرایطی که خاک به‌طور مصنوعی غرقاب و اشباع شده باشد.
- در خاکهای ماسه‌ای، ناچسبنده و نفوذپذیر، می‌توان آزمایش بارگذاری صفحه‌ای را در شرایط عادی انجام داد و سپس با استفاده از رابطه زیر، اصلاح لازم را در مورد ظرفیت باربری پی، به عمل آورد:

$$C_w = 0/5 + 0/5 \frac{D_w}{D_f + B} \quad (۵)$$

در این رابطه:

- $C_w$  - ضریب کاهش ظرفیت باربری پی،
- $D_w$  - عمق سطح آب از سطح زمین،
- $D_f$  - عمق کف پی از سطح زمین و
- $B$  - پهنای پی است.

### ۹- تهیه گزارش

- در تهیه گزارش، ارائه اطلاعات زیر ضروری است:
- اشاره به استاندارد استفاده شده
  - شماره صفحه بارگذاری و شماره آزمایش
  - اندازه صفحه بارگذاری
  - محل آزمایش

- تراز صفحه بارگذاری
- زمان آغاز و پایان آزمایش
- تشریح خاک یا سنگ مورد آزمایش
- تشریح چیدمان و آرایش آزمایش شامل سیستم بارگذاری، عکس‌العمل و وسایل اندازه‌گیری نشست
- اطلاعات مربوط به واسنجی و بررسی دستگاه‌های اندازه‌گیری
- آهنگ نشست نسبت به مدت هر پله بارگذاری (برنامه بارگذاری)
- زمان و میزان فشار وارده مربوط به نشست
- نمودار فشار نسبت به نشست (بارگذاری و باربرداری)
- خزش در حین هر پله بارگذاری و هر تناوب
- منحنی زمان نسبت به نشست برای بار وارده یا بارهای مورد نظر
- خواندن زمان و دما در محل صفحه
- هر ملاحظه دیگری که در تفسیر نتایج مفید باشد.

## ۱۰- مثال

در نظر است ساختمانی ۶ طبقه ساخته شود که یک طبقه آن در زیرزمین واقع است. بار بیشینه ستونها حدود ۱۶۰ تن برآورد شده است. با توجه به وجود یک طبقه زیرزمین، آزمایش بارگذاری صفحه‌ای به شرح زیر طراحی شد:

ابتدا چاه دستی تا عمق ۳/۵ متر حفر شد (این عمق با تراز کف پی ساختمان یکسان است). سپس دستکی افقی به پهنای تقریبی ۳۵ سانتی‌متر و به طول کافی برای تعبیه صفحه بارگذاری به قطر ۳۰ سانتی‌متر حفر گردید. پس از آن، صفحه در کف، و جک روی آن و صفحه بالاسری جک (برای تأمین عکس‌العمل جک از سقف) قرار داده شد. کلیه جزئیات لازم، مانند آماده‌سازی محل قرارگیری صفحه، نصب سنجشگرها و ... رعایت گردید. بارگذاری به روش پله‌ای انجام گرفت و چون مقاومت نهایی خاک حدود ۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برآورد شده، ۱۰ پله مساوی، هر کدام حدود ۲/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شد (با توجه به سطح صفحه که حدود ۷۰۰ سانتی‌متر مربع است، مقدار بار جک در هر پله ۱۷۵۰ کیلوگرم تعیین شده است). با استفاده از فرم آزمایش (پیوست الف)، نتیجه قرائتها در پیوست (ب) آمده است. پس از انجام آزمایش، از زیر صفحه آزمایش نمونه خاک گرفته و به آزمایشگاه ارسال شد. براساس این آزمایشها، جنس مصالح، دانه‌ای و غیرچسبیده است. برای اطمینان از درستی تعمیم نتایج آزمایش بارگذاری به حیطة تحت تنش پی، چاه دستی تا عمق ۱۰ متر ادامه یافت و دیده شد که جنس مصالح تا عمق موردنظر یکنواخت و یکسان است. در حفاریها به سطح آب زیرزمینی برخورد نشد. محاسبه و تعیین مقاومت مجاز خاک، ضریب عکس‌العمل بستر و مقدار نشست پی، مورد نظر است.

### ۱-۱۰ تعیین مقاومت مجاز

نمودار فشار - نشست (نشست میانگین) رسم می‌شود (پیوست ج). با مقایسه این نمودار با نمودارهای شکل ۳ مشخص می‌شود که حالت (ب) برقرار است. بنابراین، می‌توان مقدار  $q_u = 18/4 \text{ kg/cm}^2$  را به عنوان فشار نهایی در نظر گرفت.

برای تعیین  $I$ ، با مراجعه به شکل ۴ و فرض  $\mu = 0/5$  (که برای این نوع خاک، فرض مناسبی به شمار می‌رود) و

تعیین  $\frac{z}{b} = \frac{350}{30} \cong 12$  ضریب  $I = 0/52$  به دست می‌آید. با رعایت ضریب اطمینان  $SF = 2$ ، مقدار  $q_a$  عبارت است از:

$$q_a = \frac{18/4 \times 0/52}{2} = 4/8 \text{ kg/cm}^2$$

### ۲-۱۰ تعیین مدول عکس العمل بستر

مقدار  $k_{s1}$  (صفحه) از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$k_{s1} = \frac{q_a}{\delta} \times I = \frac{4/8}{0/2} \times 0/52 = 12/5 \text{ kg/cm}^3 \quad (\delta \text{ برحسب سانتی‌متر از روی منحنی و با تقریب تعیین شده است})$$

اگر بار ستون ۱۶۰ تن و بار مجاز ۴/۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شوند، ابعاد برآوردی پی  $1/85 \times 1/85$  متر خواهد شد. برای پی به پهنای  $1/85$  متر، مقدار  $k_s$  با استفاده از منحنی شکل ۵ برای حالت متراکم در خاکهای دانه‌ای، چنین خواهد شد:

$$\frac{b}{b_1} = \frac{185}{30} = 6/2$$

$$\frac{k_{s1}}{k_s} = 2/85$$

$$k_s = \frac{12/5}{2/85} = 4/4 \text{ kg/cm}^3$$

### ۳-۱۰ تعیین مقدار نشست پی

با استفاده از رابطه  $\delta = \frac{q}{k_s}$  مقدار نشست به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\delta = \frac{(160 \times 1000) / (185 \times 185)}{4/4} = 1/1 \text{ cm}$$

اگر مقدار محاسبه شده نشست به هر دلیلی بیش از حد مجاز باشد، می‌توان با کاهش فشار وارده به پی (افزایش ابعاد پی) و تعیین جدید  $k_s$  برای آن پی، محاسبات را تا رسیدن به نشست مطلوب ادامه داد.

## آزمایش بارگذاری صفحه‌ای

تاریخ :

استاندارد :  
 شماره صفحه آزمایش :  
 شماره آزمایش :  
 شکل صفحه و پهنای آن :  
 چیدمان و آرایش آزمایش :

پروژه :  
 محل آزمایش :  
 نوع مصالح مورد آزمایش :  
 تراز صفحه :  
 روش بارگذاری :  
 ملاحظات :

تاریخ آخرین واسنجی و بررسی دستگاه‌های اندازه‌گیری :

شماره پله	قرائت جک (kg)	فشار (kg/cm <sup>2</sup> )	زمان قرائت	قرائت سنجشگرها (mm)			متوسط نشست (mm)	شماره پله	قرائت جک (kg)	فشار (kg/cm <sup>2</sup> )	زمان قرائت	قرائت سنجشگرها (mm)			متوسط نشست (mm)
				۱	۲	۳						۱	۲	۳	

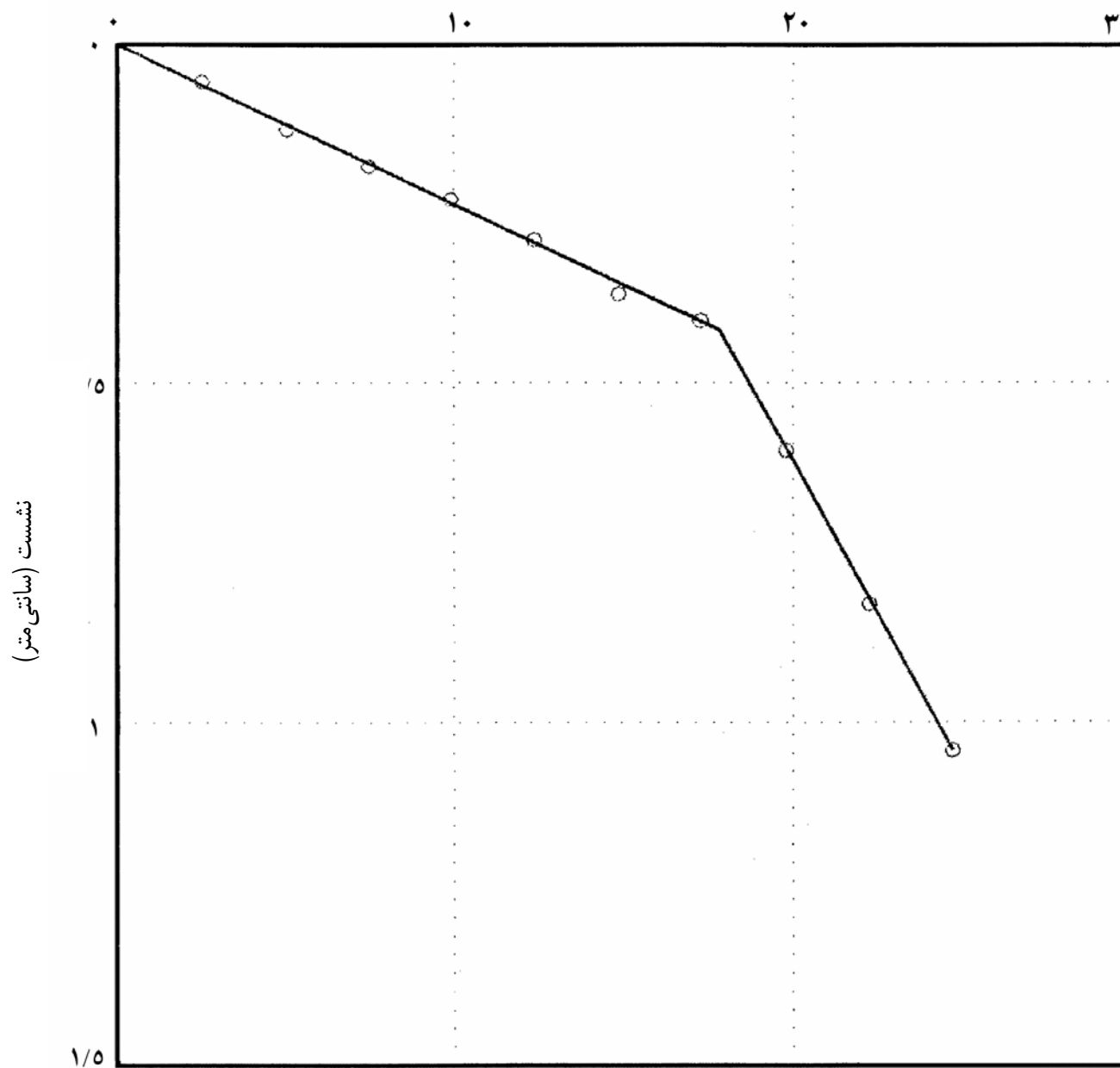
## آزمایش بارگذاری صفحه‌ای

تاریخ : ۱۳۷۷/۳/۳۰

استاندارد : دفتر فنی وزارت نیرو (امور آب)      پروژه: مجتمع مسکونی لاله  
 شماره صفحه آزمایش : CP۱۲      محل آزمایش: گوشه شمال شرقی - طبق کروی  
 شماره آزمایش : PLT۲      نوع مصالح مورد آزمایش: ماسه و شن  
 شکل صفحه و پهنای آن : دایره به قطر ۳۰ سانتی‌متر      تراز صفحه: ۳/۵۰m-  
 چیدمان و آرایش آزمایش : در دستک افقی و در عمق ۳/۵ متری      روش بارگذاری: پله‌ای، هر پله حدود  $2/5 \text{ kg/cm}^2$   
 تاریخ آخرین واسنجی و بررسی دستگاههای اندازه‌گیری : ۷۷/۳/۲۷      ملاحظات : -

شماره پله	قرانت چک (kg)	فشار (kg/cm <sup>2</sup> )	زمان قرانت	قرانت سنجشگرها (mm)			متوسط نشست (mm)	شماره پله	قرانت چک (kg)	فشار (kg/cm <sup>2</sup> )	زمان قرانت	قرانت سنجشگرها (mm)			متوسط نشست (mm)
				۱	۲	۳						۱	۲	۳	
۱	۱۷۵۰	۲/۵	۱۱:۰۱	-/۴۶	-/۴۰	-/۴۵	۰/۵۵	۷	۱۲۲۵۰	۱۷/۳	۱۲:۰۲	۴/۰۴	۳/۵۲	۳/۸۲	۴/۱۰
			۱۱:۰۲	-/۵۵	-/۴۸	-/۵۴					۱۲:۰۴	۴/۰۹	۳/۵۸	۴/۰۱	
			۱۱:۰۴	-/۵۸	-/۵۱	-/۵۷					۱۲:۰۶	۴/۳۱	۳/۷۷	۴/۲۲	
			۱۱:۰۸	-/۵۸	-/۵۱	-/۵۷					۱۲:۱۰	۴/۳۱	۳/۷۷	۴/۲۲	
۲	۳۵۰۰	۵/۰	۱۱:۱۰	۱/۰۵	-/۹۲	۱/۰۳	۱/۲۵	۸	۱۴۰۰۰	۱۹/۸	۱۲:۱۵	۶/۱۱	۴/۸۵	۵/۹۴	۶/۰۱
			۱۱:۱۱	۱/۲۵	۱/۰۹	۱/۲۲					۱۲:۱۶	۶/۴۰	۵/۰۹	۶/۱۱	
			۱۱:۱۳	۱/۳۱	۱/۱۵	۱/۲۹					۱۲:۱۸	۶/۵۸	۵/۱۳	۶/۳۲	
			۱۱:۱۷	۱/۳۱	۱/۱۵	۱/۲۹					۱۲:۲۲	۶/۵۸	۵/۱۳	۶/۳۲	
۳	۵۲۵۰	۷/۴	۱۱:۱۹	۱/۵۱	۱/۳۲	۱/۴۸	۱/۸۰	۹	۱۵۷۵۰	۲۲/۳	۱۲:۲۶	۷/۴۲	۶/۸۸	۷/۳۲	۸/۲۸
			۱۱:۲۰	۱/۸۰	۱/۵۷	۱/۷۶					۱۲:۲۷	۸/۱۴	۷/۲۴	۸/۰۱	
			۱۱:۲۲	۱/۸۹	۱/۶۶	۱/۸۵					۱۲:۲۹	۸/۵۷	۷/۹۱	۸/۳۵	
			۱۱:۲۶	۱/۸۹	۱/۶۶	۱/۸۵					۱۲:۳۳	۸/۵۷	۷/۹۱	۸/۳۵	
۴	۷۰۰۰	۹/۹	۱۱:۳۰	۱/۹۳	۱/۶۹	۱/۹۰	۲/۳۰	۱۰	۱۷۵۰۰	۲۴/۸	۱۲:۳۷	۹/۷۹	۸/۸۲	۹/۹۵	۱۰/۴۲
			۱۱:۳۱	۲/۳۰	۲/۰۱	۲/۲۵					۱۲:۳۸	۱۰/۲۴	۹/۳۴	۱۰/۴۷	
			۱۱:۳۳	۲/۴۲	۲/۱۲	۲/۳۷					۱۲:۴۰	۱۰/۸۲	۹/۷۹	۱۰/۶۵	
			۱۱:۳۷	۲/۴۲	۲/۱۲	۲/۳۷					۱۲:۴۴	۱۰/۸۲	۹/۷۹	۱۰/۶۵	
۵	۸۷۵۰	۱۲/۴	۱۱:۴۱	۲/۴۴	۲/۱۳	۲/۳۹	۲/۹۰								
			۱۱:۴۲	۲/۸۹	۲/۵۳	۲/۸۴									
			۱۱:۴۴	۳/۰۵	۲/۶۷	۲/۹۹									
			۱۱:۴۸	۳/۰۵	۲/۶۷	۲/۹۹									
۶	۱۰۵۰۰	۱۴/۹	۱۱:۵۱	۳/۱۱	۲/۷۲	۳/۰۵	۳/۷۰								
			۱۱:۵۲	۳/۶۹	۳/۳۳	۳/۶۲									
			۱۱:۵۴	۳/۸۹	۳/۴۰	۳/۸۱									
			۱۱:۵۸	۳/۸۹	۳/۴۰	۳/۸۱									

فشار (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)



نمودار فشار - نشست (نشست میانگین)

## منابع و مراجع

- 1- Department of the Navy, May 1982, Soil Mechanics, Design Manual 7.1.
- 2- Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings, ASTM 1194-72(87).
- 3- European Committee for Standardization, November 1995, Eurocode 7 part 3, Geotechnical design assisted by field tests.
- 4- Pells, P.J.N. 1989. Plate Loading Test of Soil and Rock. Proceedings of an Extension Course on In-situ Testing for Geotechnical Investigation Sydney.
- 5- Tomlinson, M.J. 1991. Foundation Design and Construction, Fifth Edition.
- 6- Site Investigation, 1981, BS 5930.
- 7- By J.E.Bowles, 1988, Foundation Analysis and Design, Fourth Edition.
- 8- Field Methods for Determining Deformation Characteristics National Soviet Standard-Gost 20276-83.

In the Name of God  
Islamic Republic of Iran  
Ministry of Energy  
Iran Water Resources Management CO.  
Deputy of Research  
Office of Standard and Technical Criteria

***Plate Loading Test of Soil and Weak  
Rock Application, Method and  
Interpretation***



## این نشریه

«آزمایش بارگذاری صفحه‌ای روی خاک و سنگ نرم، کاربرد، روش و تفسیر» شامل چگونگی انجام آزمایش، تعیین یافته‌ها و تفسیر یافته‌های آزمایش است. آزمایش، با چیدمان و آرایشهای گوناگون و همچنین روشهای بارگذاری متفاوت انجام می‌شود که باید در هر مورد، محدودیتهای و جنبه‌های تفسیری آزمایش مورد توجه قرار گیرد. یافته‌های آزمایش، کمک مؤثری به تعیین پارامترهای مهمی مانند مدول یانگ، ضریب عکس‌العمل بستر و مقاومت مجاز مصالح آزمایش شده، می‌کند.