اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اجرای آزمایشهای شمع

Pile Tests Execusion

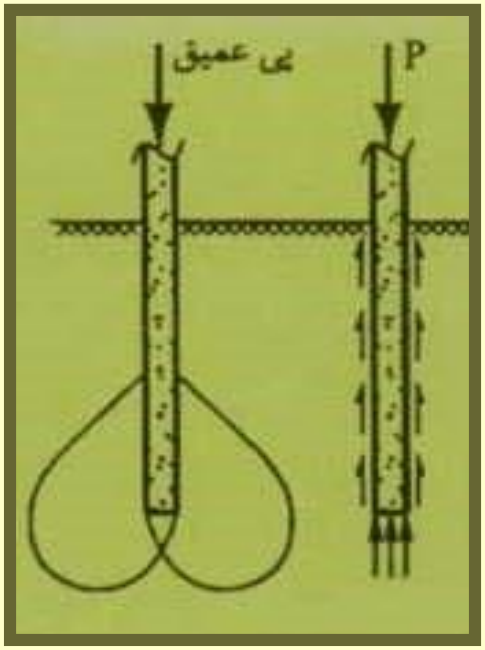
ویرایش اسفند 1401

آزمایشهای شمع به انواع زیر تقسیم میشوند:

(1) تعیین ظرفیت باربری و

(2) کنترل کیفیت سازه شمع

روش اجرای شمع بر ظرفیت باربری و کیفیت آن موثر است لذا به پیمانکار گفته میشود که شمع را پس از آزمایش تحویل دهد. بنابراین آزمایش های شمع بخشی از مراحل اجرای آن ها است و تشریح آنها در این درس اهمیت دارد.



با توجه به عدم اطمینان روابط نظری تعیین ظرفیت باربری شمع لازم است، باربری شمع بصورت درجا با آزمایش تعیین گردد.

آزمایش های متداول تعیین ظرفیت باربری

- اندازه گیری تعداد ضربات هنگام کوبش
- بارگذاری استاتیکی شمع
- آزمایش دینامیکی شمع

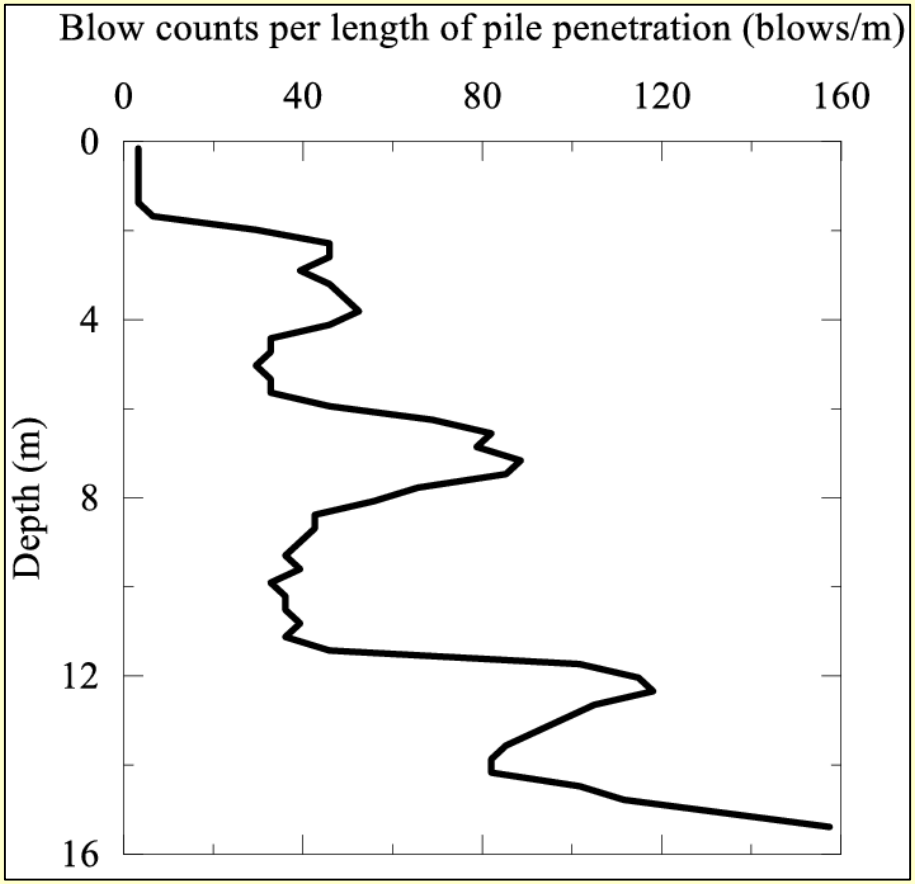
اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اندازه گیری تعداد ضربات کوبش

شمارش و ثبت تعداد ضربات در هنگام کوبش همراه با اندازه گیری فرورفت شمع

طول شمع قبل از کوبش نشانه گذاری می شود تا برای اندازه گیری فرورفت در هنگام کوبش استفاده شود.



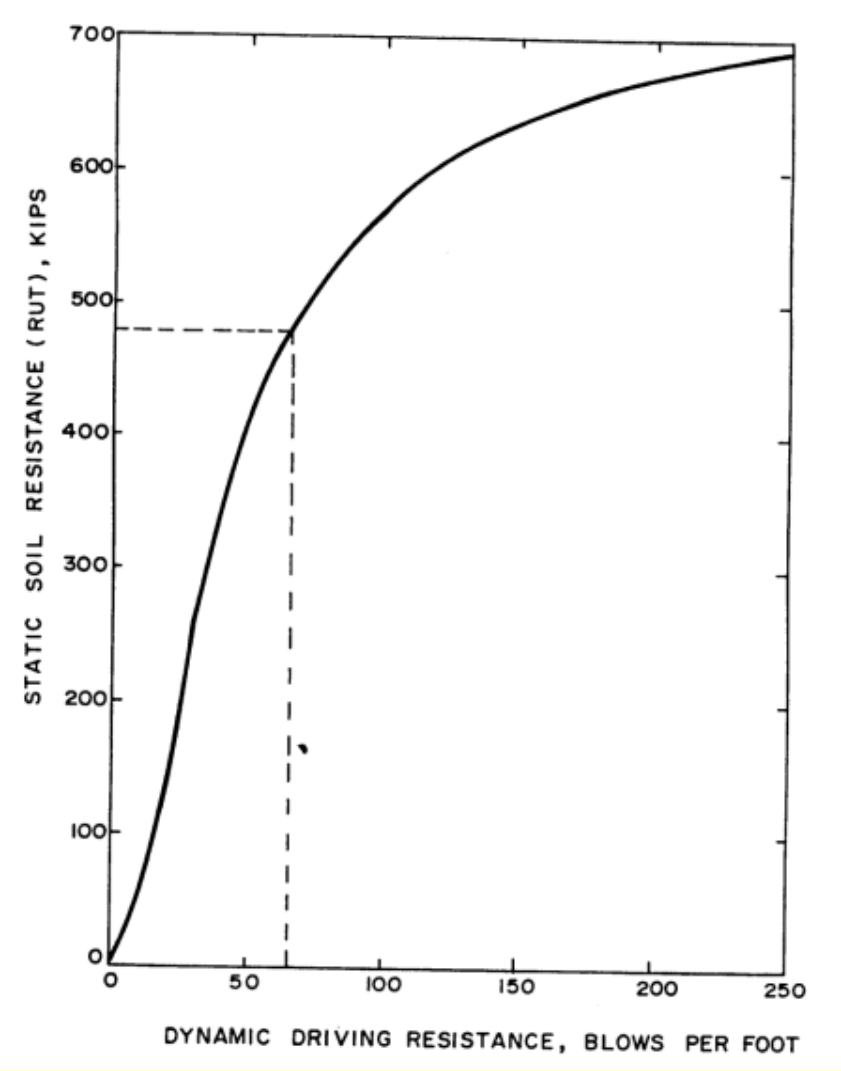
تعداد ضربات در اعماق مختلف اندازه گیری و ثبت می گردد.

آنگاه ظرفیت باربری شمع با روابط تجربی تخمین زده می شود. برای آشنایی با این روابط به کتب مهندسی پی مراجعه کنید.

ثبت تعداد ضربات حین کوبش

مثال

ظرفیت باربری
استاتیکی شمع



تعداد ضربه در هر فوت فرورفت

- مقدار فرورفت شمع در خاک برای هر ضربه در اعماق مختلف تعیین میشود.

- روابط تجربی ارتباط بین ظرفیت باربری شمع و انرژی چکش برقرار می کنند.

- فرض می شود کار انجام شده توسط چکش در حین فرو کردن شمع برابر با کار مقاوم مجموعه شمع و خاک است.

- روابط تجربی ارائه شده بسیار تقریبی هستند و با ضرایب اطمینان بزرگ (حدود ۶) به کار می‌روند. پیشنهاد ضرایب اطمینان بزرگ به دلیل استفاده از فرضیات غیر دقیق از جمله صلب بودن شمع، ناشناخته بودن مکانیزم کوبش و بی‌اطلاعی از راندمان چکش است.

اندازه‌گیری برجهندگی

- اگر برجهندگی شمع هم افزون بر تعداد ضربه و مقدار فرورفت در هنگام کوبش اندازه گیری شود، دقت تعیین ظرفیت باربری بیشتر می شود.

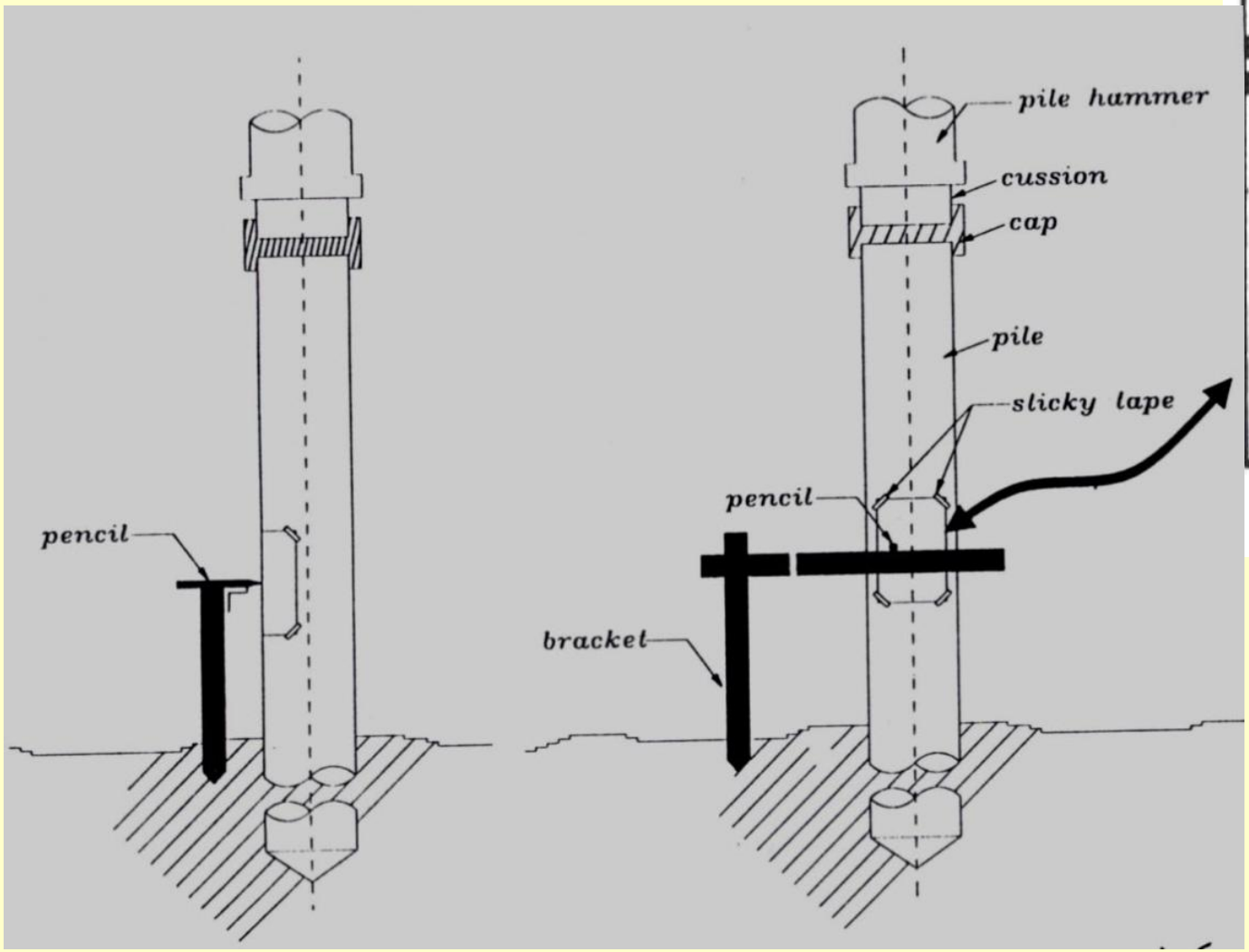
- فرورفت شمع تحت ضربه شامل دو بخش ماندگار و بازگشت پذیر است.
- برجهندگی در واقع فرورفت بازگشت‌پذیر شمع تحت ضربه است

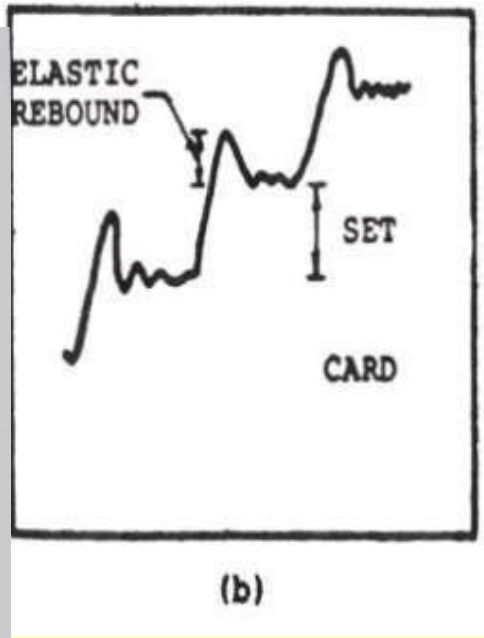
اندازه‌گیری برجهندگی

- برجهندگی: **rebound**
- فرورفت دائم: **set**

- برجهندگی را فرورفت برگشتی می خوانند.
- برجهندگی فرورفت موقت شمع تحت ضربه است.

روش ساده اندازه‌گیری برجهندگی با نصب کاغذ روی شمع و چسباندن یک قلم مستقر بر تکیه‌گاه به کاغذ

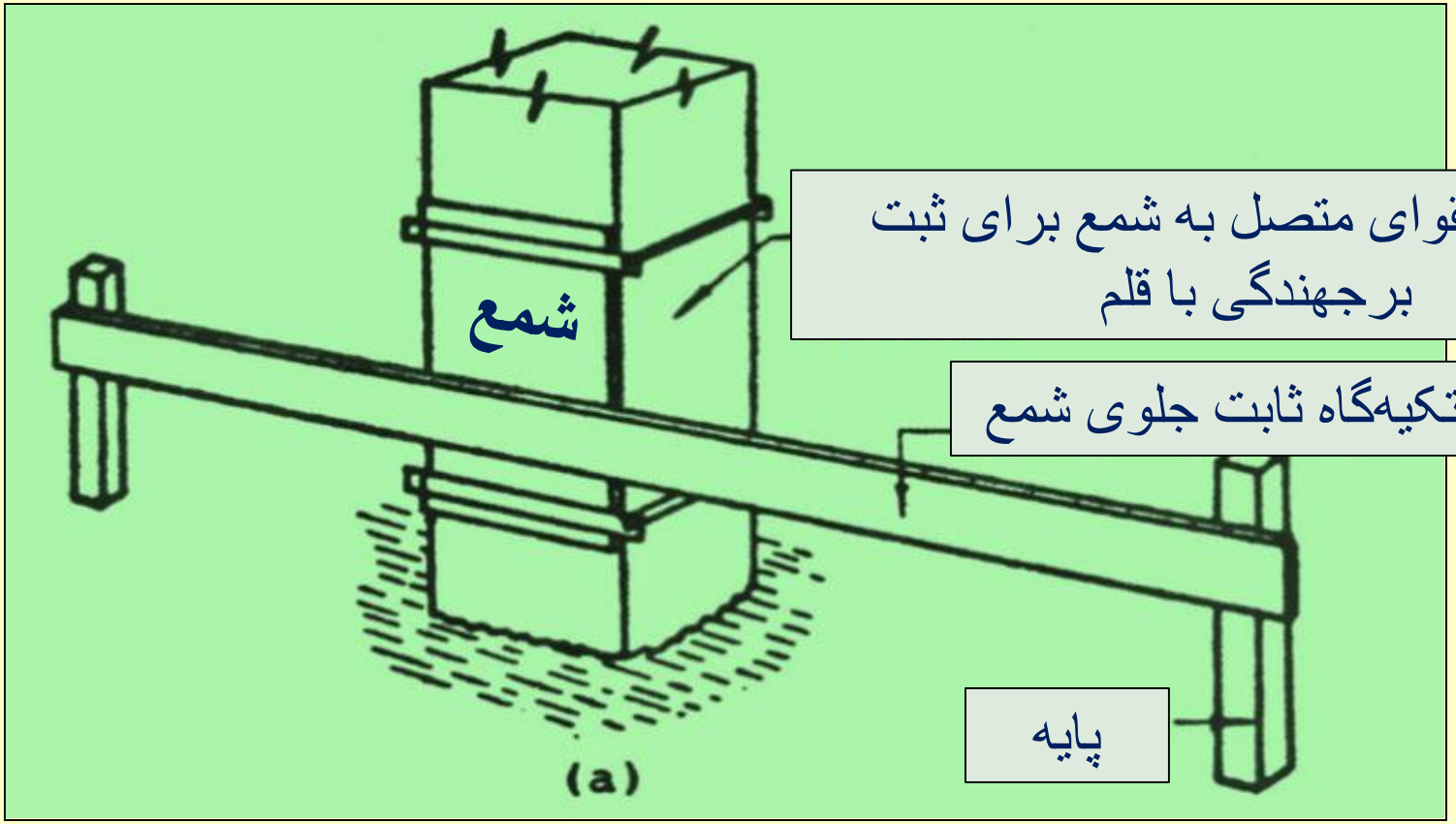




اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

شمع و تکیه‌گاه ثابت جلوی آن برای استقرار قلم در اندازه‌گیری برجهندگی



کاغذ یا مقوای متصل به شمع برای ثبت برجهندگی با قلم

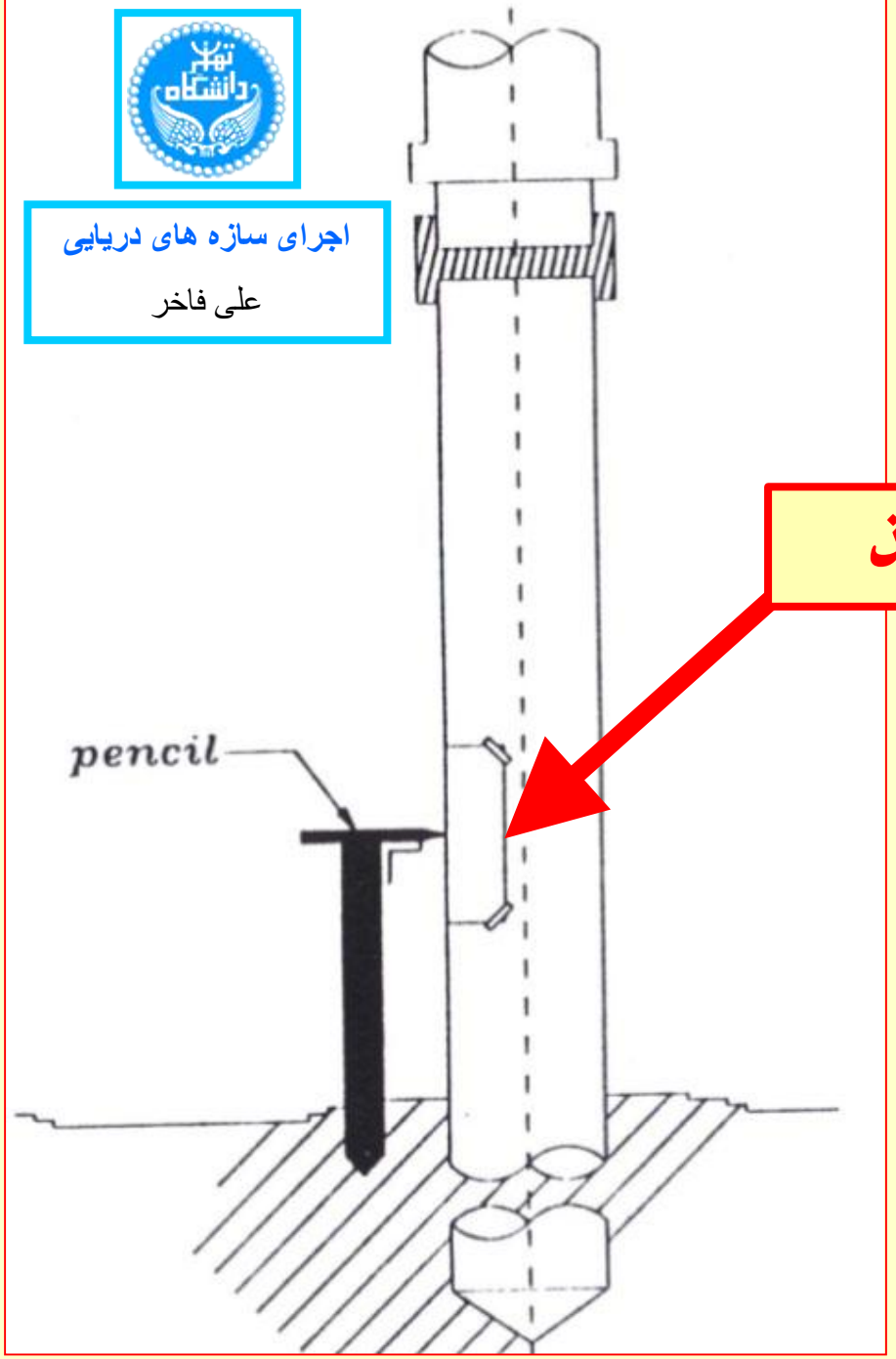
تکیه‌گاه ثابت جلوی شمع

پایه

اندازه گیری ضربه- فرورفت – برجهندگی (۱۳۸۳)

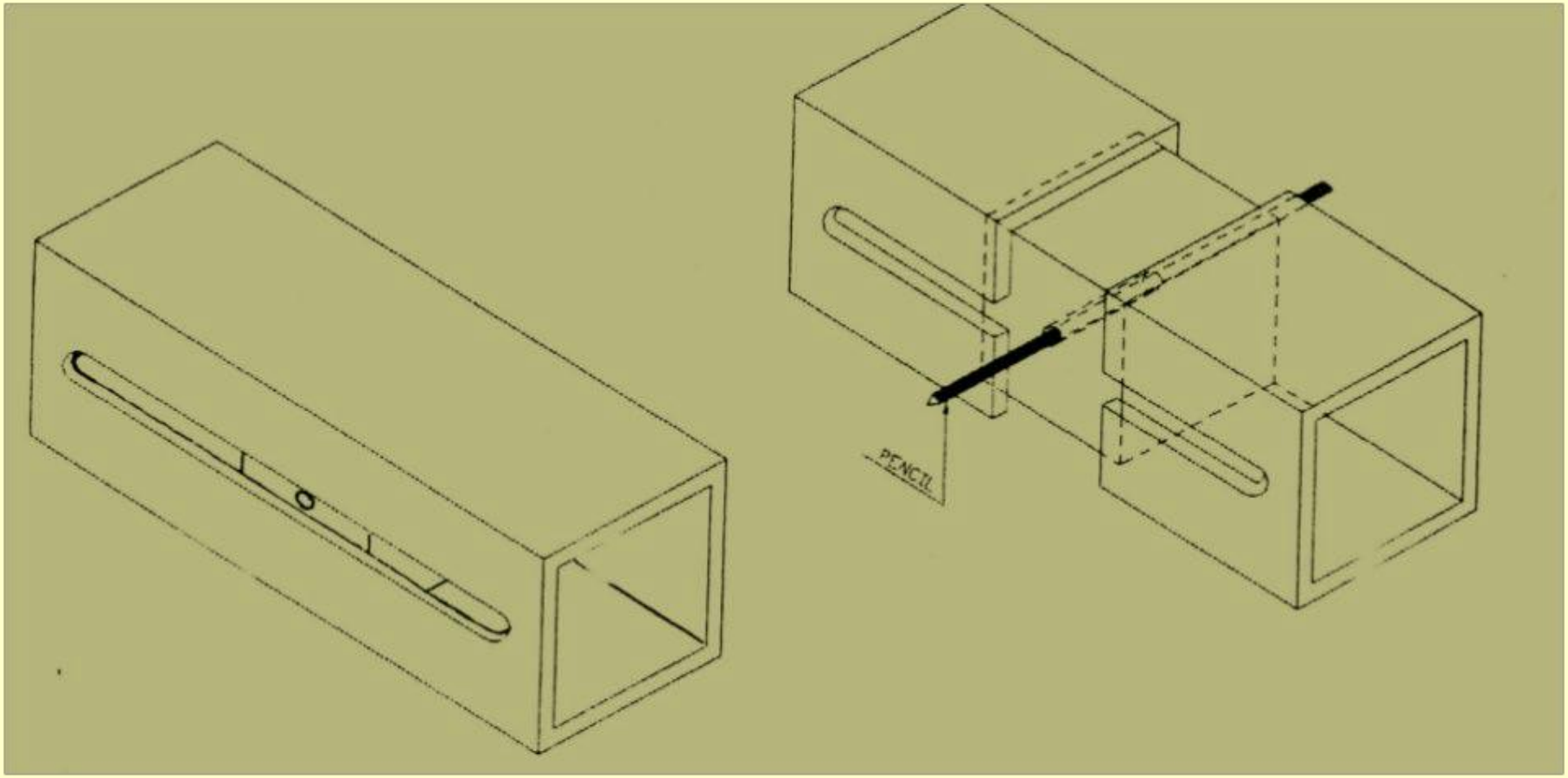
از شمعهای مجاور جهت ایجاد تکیه گاه قلم استفاده شده است.

نصب کاغذ روی شمع برای اندازه‌گیری برجهندگی



کاغذ

ابزاری ساده جهت حرکت دادن افقی قلم در اندازه گیری برجهندگی



روابط مبتنی بر اندازه‌گیری تعداد ضربه

روابط مختلفی برای تحلیل کوبش و تعیین ظرفیت باربری شمع ها پیشنهاد شده است. این فرمول‌ها به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

۱- روابطی که بین ضربه چکش، میزان فرورفت شمع و ظرفیت باربری شمع ارتباط برقرار می کند.

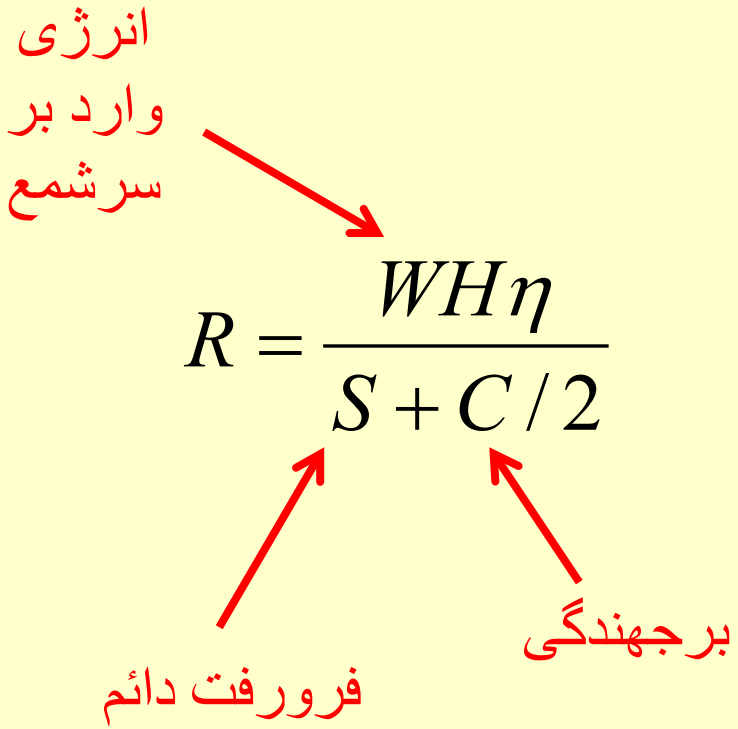
۲- روابطی که علاوه بر ضربه چکش و میزان فرورفت، به مقدار برجهندگی شمع تحت ضربه هم توجه می کنند و آن را به ظرفیت باربری شمع ارتباط می دهند.

رابطه تخمین باربری شمع(R) بر اساس برجهندگی

- فرمول Hilley

$$\eta = \frac{(W + e^2 P)}{W + P}$$

- W: وزن چکش کوبش شمع
- H: ارتفاع سقوط چکش کوبش
- S : فرورفت دائم
- C : برجهندگی
- P : وزن شمع
- e: راندمان چکش



اندازه گیری برجهندگی علاوه بر روش ساده ذکر شده میتواند با ابزار اپتیک انجام شود.

Dr. Julian Seidel ابداع

در صورت استفاده از ابزار اپتیک ، علاوه بر برجهندگی میتوان سرعت فرورفت را هم اندازه گرفت.

روابطی بین ضربه چکش ، میزان فرورفت، برجهندگی شمع ، و همچنین سرعت فرورفت و ظرفیت باربری شمع وجود دارد

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

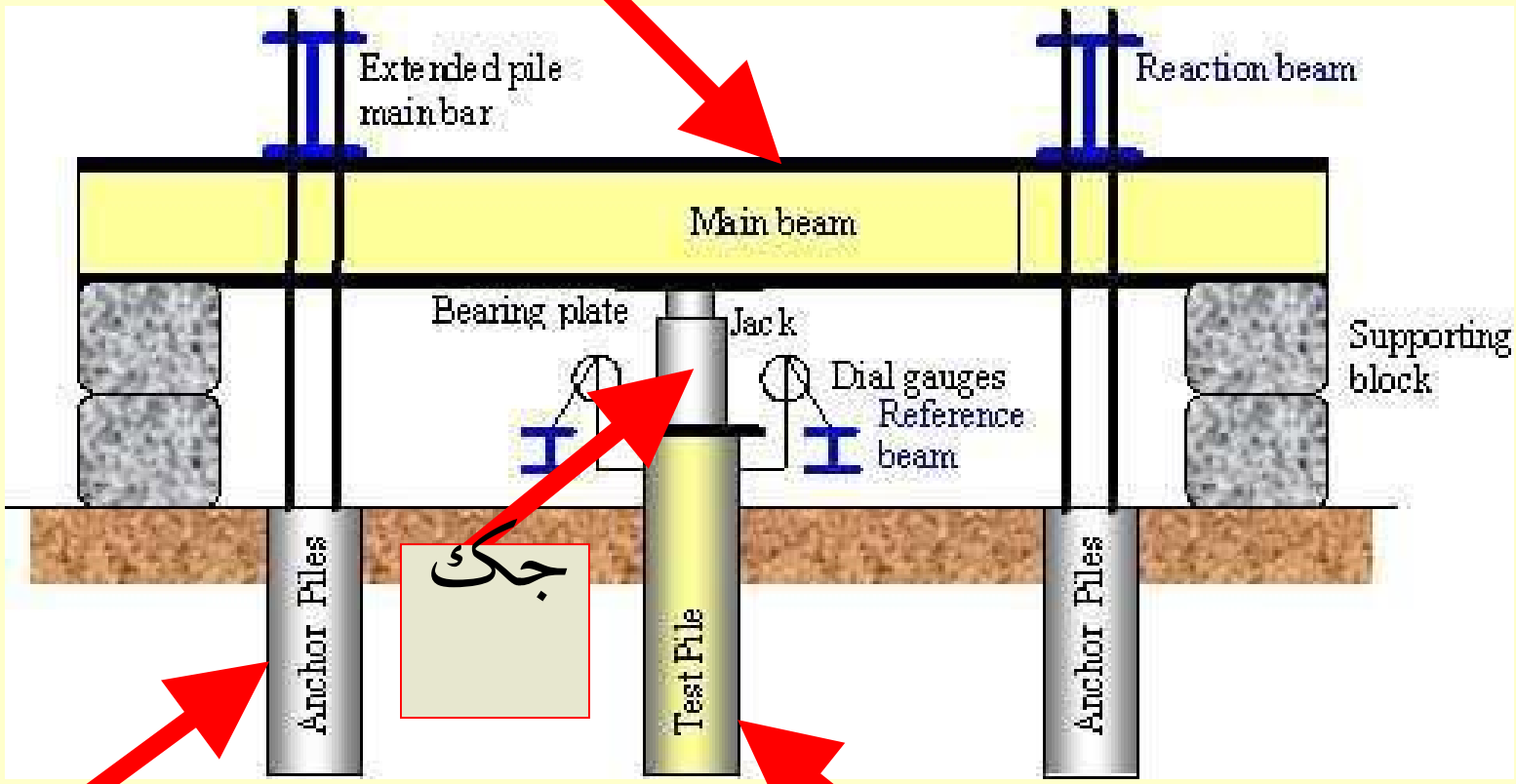
آزمایش بارگذاری استاتیکی

آزمایش بارگذاری استاتیکی

بار به صورت تدریجی به شمع اعمال و ظرفیت باربری آن تعیین می شود.

اگر تخمین باربری شمع نامناسب باشد و یا اجرای شمع صحیح نباشد، از نتایج آزمایش بارگذاری مشخص می گردد.

مثالی از یک آرایش قابل استفاده در آزمایش بارگذاری



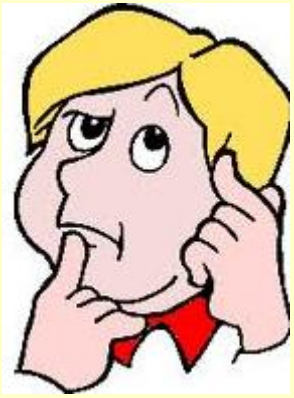
تیر بارگذاری

جک

شمع تکیه گاهی

شمع آزمایشی

A static loading test performed in 1910 in Sweden by Mr. Wendel. Courtesy of Dr. Bengt Fellenius



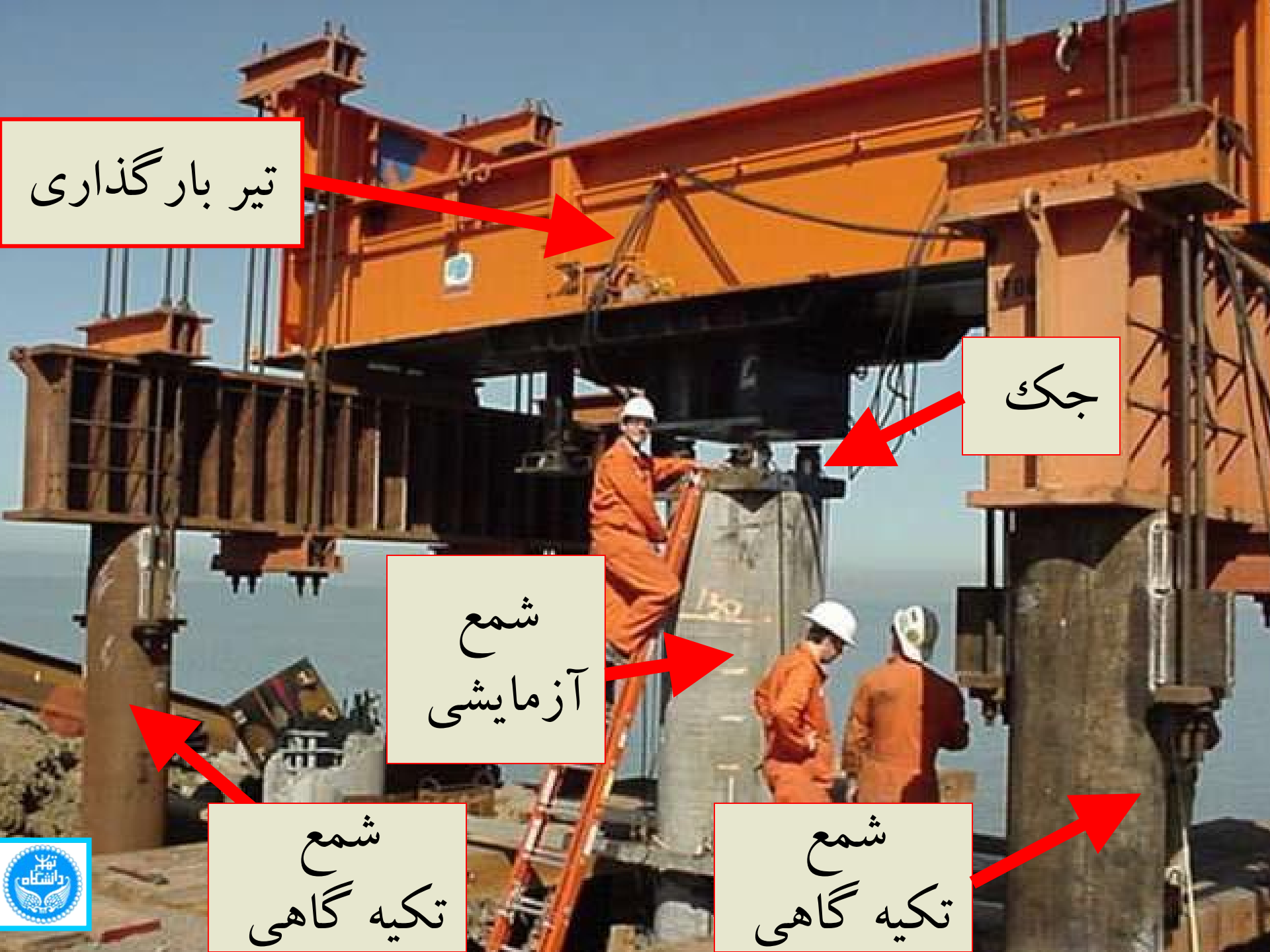
آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی نسبتاً گران است وفراهم کردن مقدمات آن وقت گیر می‌باشد، ولی دقیقترین راه برای تعیین ظرفیت باربری شمع است.

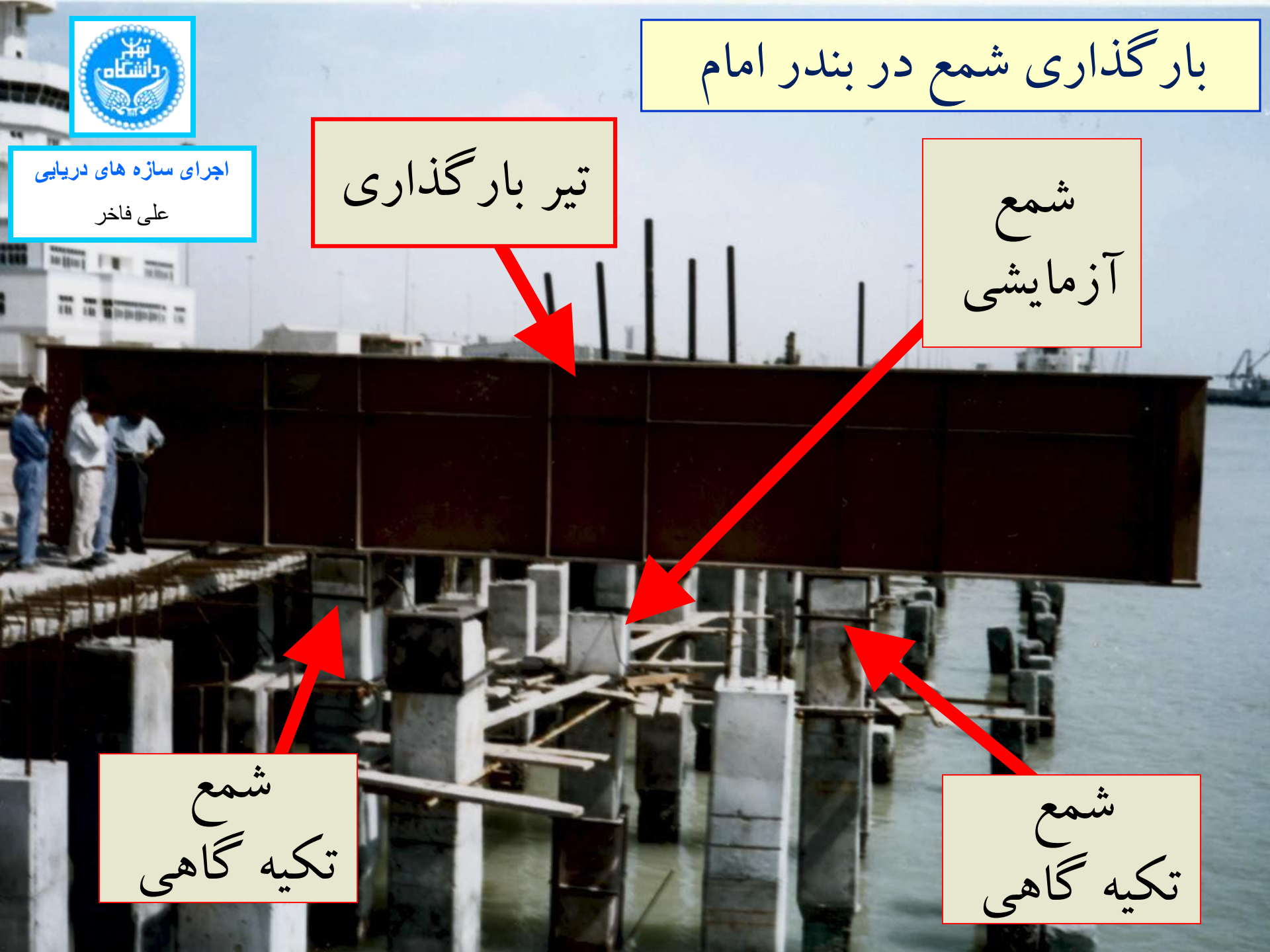
استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری

با استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع می توان ، ظرفیت باربری نهایی شمع و نشست یا تغییر مکان کوتاه مدت شمع تحت بارهای مورد نظر را تعیین کرد.

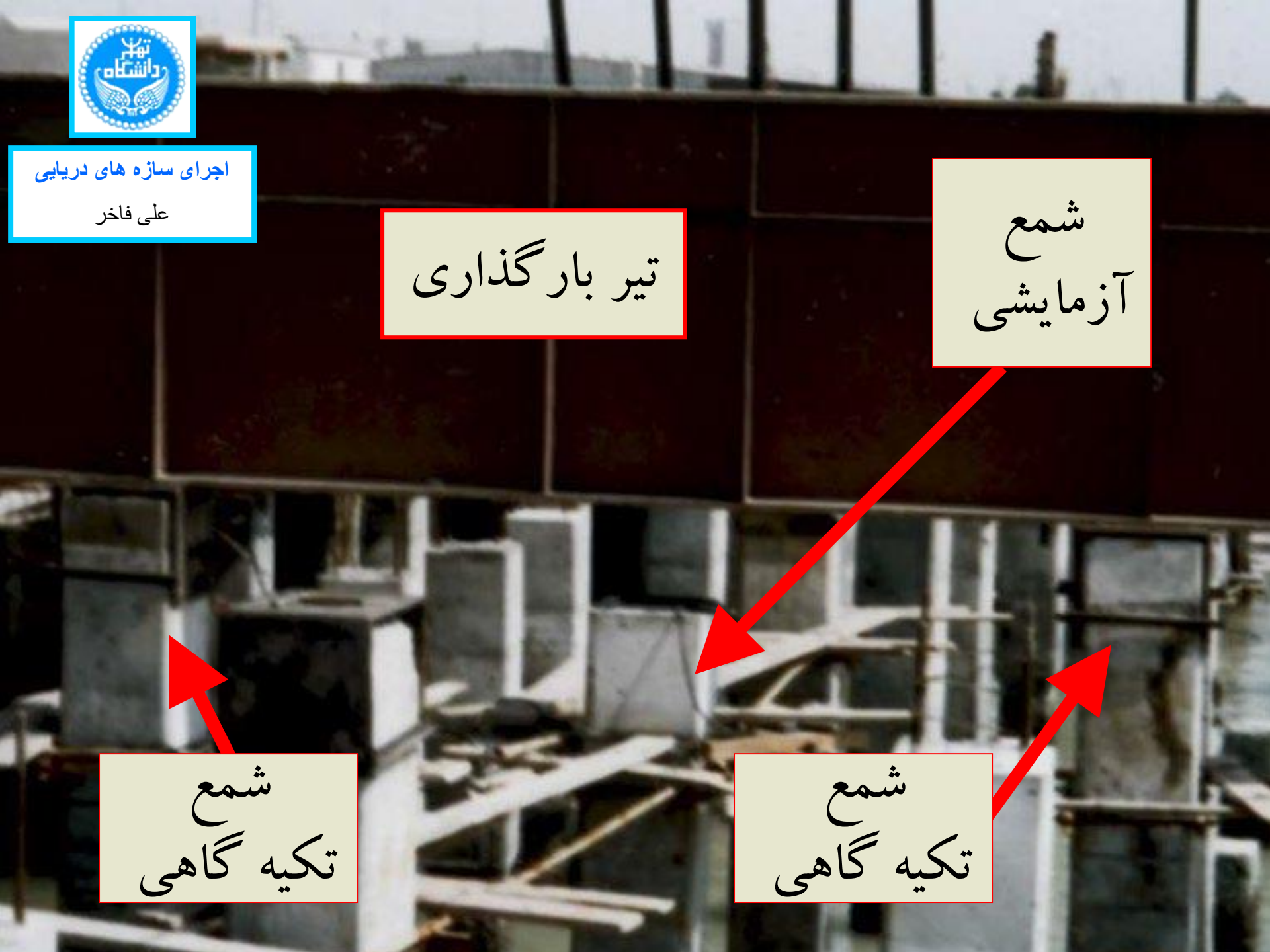
نمونه ای آزمایش بارگذاری شمع

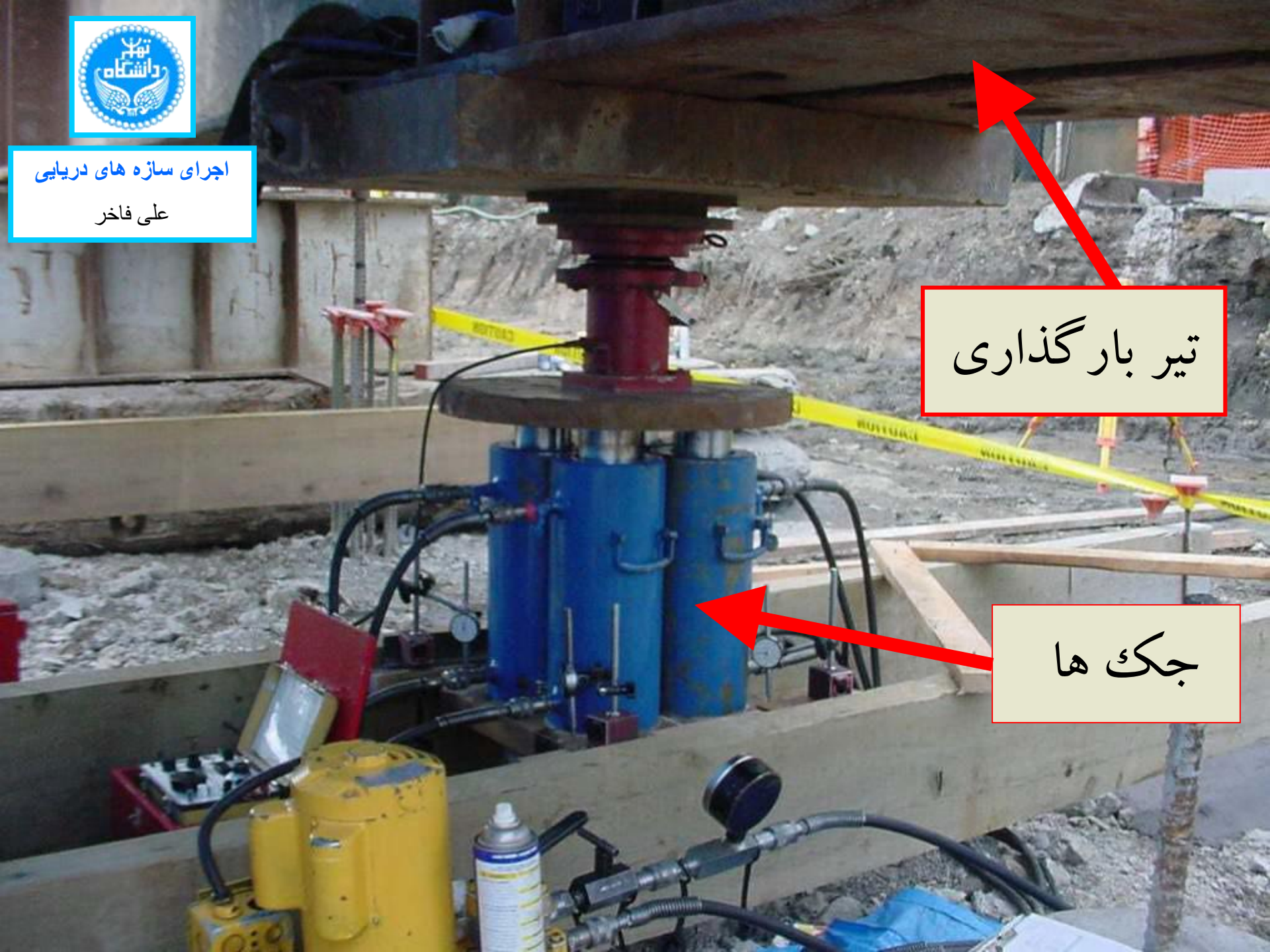
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر


تیر بارگذاری
جک
شمع
آزمایشی
شمع
تکیه گاهی
شمع
تکیه گاهی



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر


اجرای سازه های دریایی
علی فاخر
تیر بارگذاری
شمع آزمایشی
شمع تکیه گاهی
شمع تکیه گاهی



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

ابزار اندازه گیری فشار جک در بارگذاری شمع

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

نصب یک تیر بزرگ برای آزمایش بارگذاری شمع

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

یک تیر بارگذاری بسیار بزرگ برای آزمایش بارگذاری شمع

440 Tonne Offshore Pile Load Test in Guinea,West Africa - March 2012"

تیر بارگذاری و آرایش تکیه گاهها

تیر بارگذاری و تکیه گاههای آن باید تحمل حداکثر نیروی جک را داشته باشند. تکیه گاهها معمولا از شمع هایی تشکیل میشوند که بصورت کششی کار میکنند.

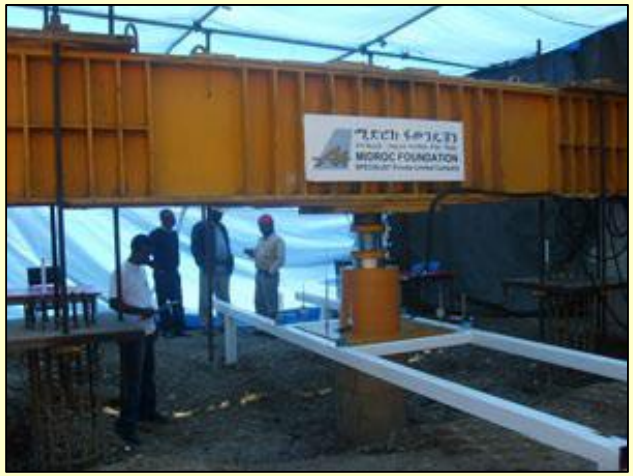
آرایش تیر و تکیه گاهها باید متناسب با شرایط پروژه محاسبه و طراحی شود.

اعمال بار در آزمایش بارگذاری

اعمال بار در آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع با جک هیدرولیکی انجام میشود. البته اعمال بار مرده مشکل و غیر ایمن است ولی در برخی پروژه های بندری به دلیل در دسترس بودن قطعات بتنی سنگین می توان از آنها استفاده کرد.

اعمال بار در آزمایش بارگذاری

اعمال بار در آزمایش
بارگذاری شمع با جک
هیدرولیکی انجام میشود.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

اعمال بار در آزمایش بارگذاری

استفاده از وزنه برای اعمال بارگذاری در آزمایش بارگذاری شمع در حالت کلی بسیار مشکل و غیر ایمن است ولی در برخی پروژه های بندری به دلیل در دسترس بودن قطعات بتنی سنگین (مثل قطعات آرمور) می توان از این روش استفاده کرد.

اعمال بار با وزنه های بتنی

مراحل بارگذاری در آزمایش شمع

دو روش کلی برای مراحل بارگذاری در آزمایش وجود دارد. ۱. اعمال بار در زمان کوتاه و افزایش مرحله ای آن و ۲. اعمال بار و افزایش آن پس از مدتی که نشست ها تقریبا صفر شده است. آزمایش اول در چند ساعت تمام می شود ولی آزمایش دوم می تواند در حدود یک شبانه روز طول بکشد.

تعداد آزمایش بارگذاری شمع

- شمع آزمایشی یکی از شمع های سازه اصلی یا شمع اجرا شده به منظور آزمایش است.
- اگر فقط آزمایش بارگذاری انجام می شود، حداقل ۲ آزمایش و ترجیحا ۳ آزمایش بارگذاری در یک پروژه توصیه می شود.

تعداد آزمایش بارگذاری شمع در پروژه های دریایی

- در صورت زیاد بودن تعداد شمع های سازه اصلی و ناهمگنی زمین باید بیشتر آزمایش کرد. توصیه هایی در خصوص تعداد آزمایش بارگذاری در مراجع و استانداردها آمده است.
- این مراجع خاص کارهای دریایی نیستند. باربری شمع در کارهای دریایی معمولا زیاد است و انجام آزمایش بارگذاری مشکل می باشد. بنابراین نمی توان از توصیه های خشکی استفاده کرد. تعداد آزمایش بارگذاری شمع در پروژه های دریایی به ندرت میتواند بیش از ۵ باشد.
- در صورت انجام آزمایش های دینامیکی شمع میتوان تعداد بیشتری آزمایش انجام داد.

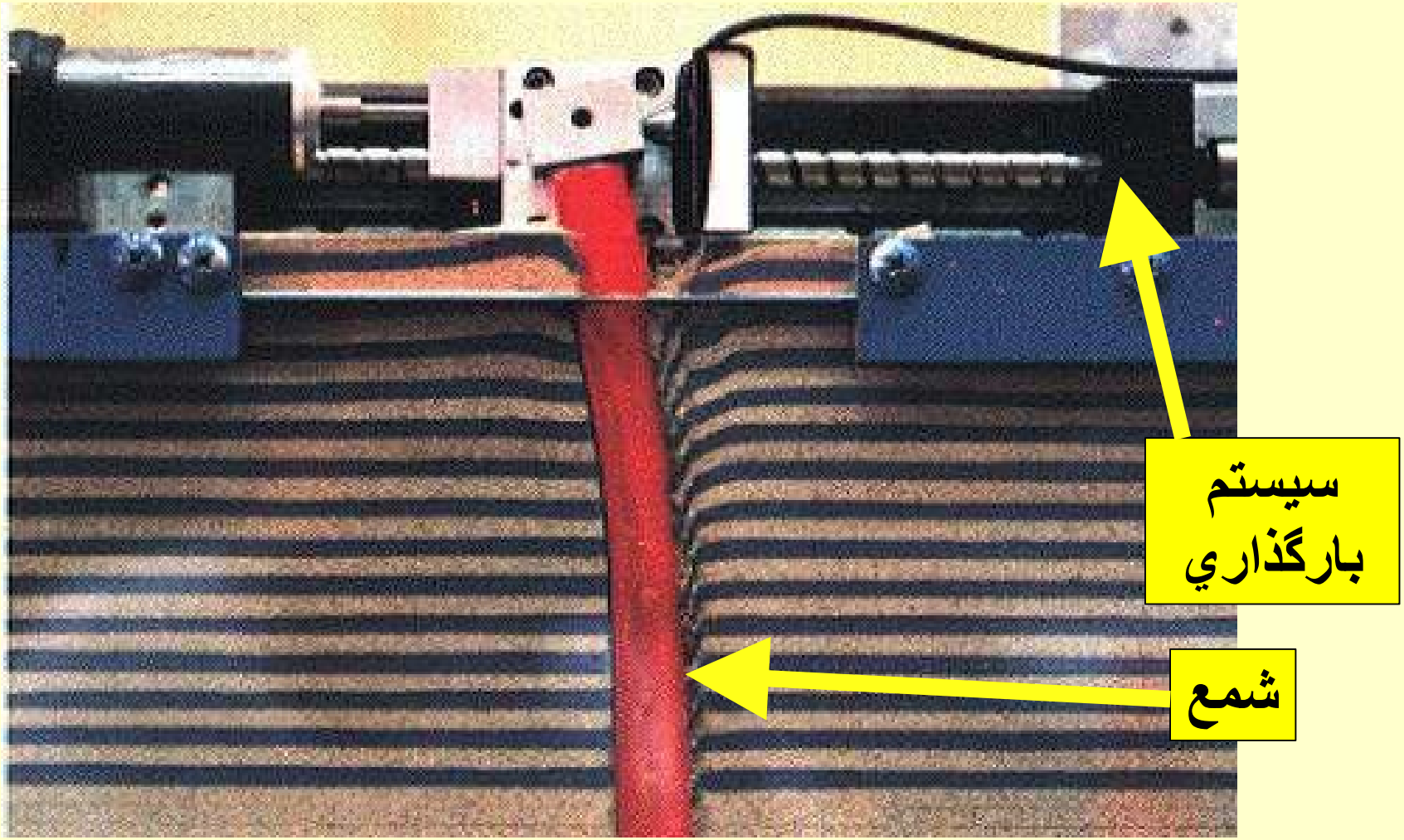
آزمایش بارگذاری افقی

- در آزمایش بارگذاری افقی، بار افقی به صورت تدریجی به شمع‌ها وارد می‌شود .

- در این آزمایش معمولا یک شمع دیگر به عنوان تکیه گاه می‌باشد. یا دو شمع را به طرف هم می کشند.

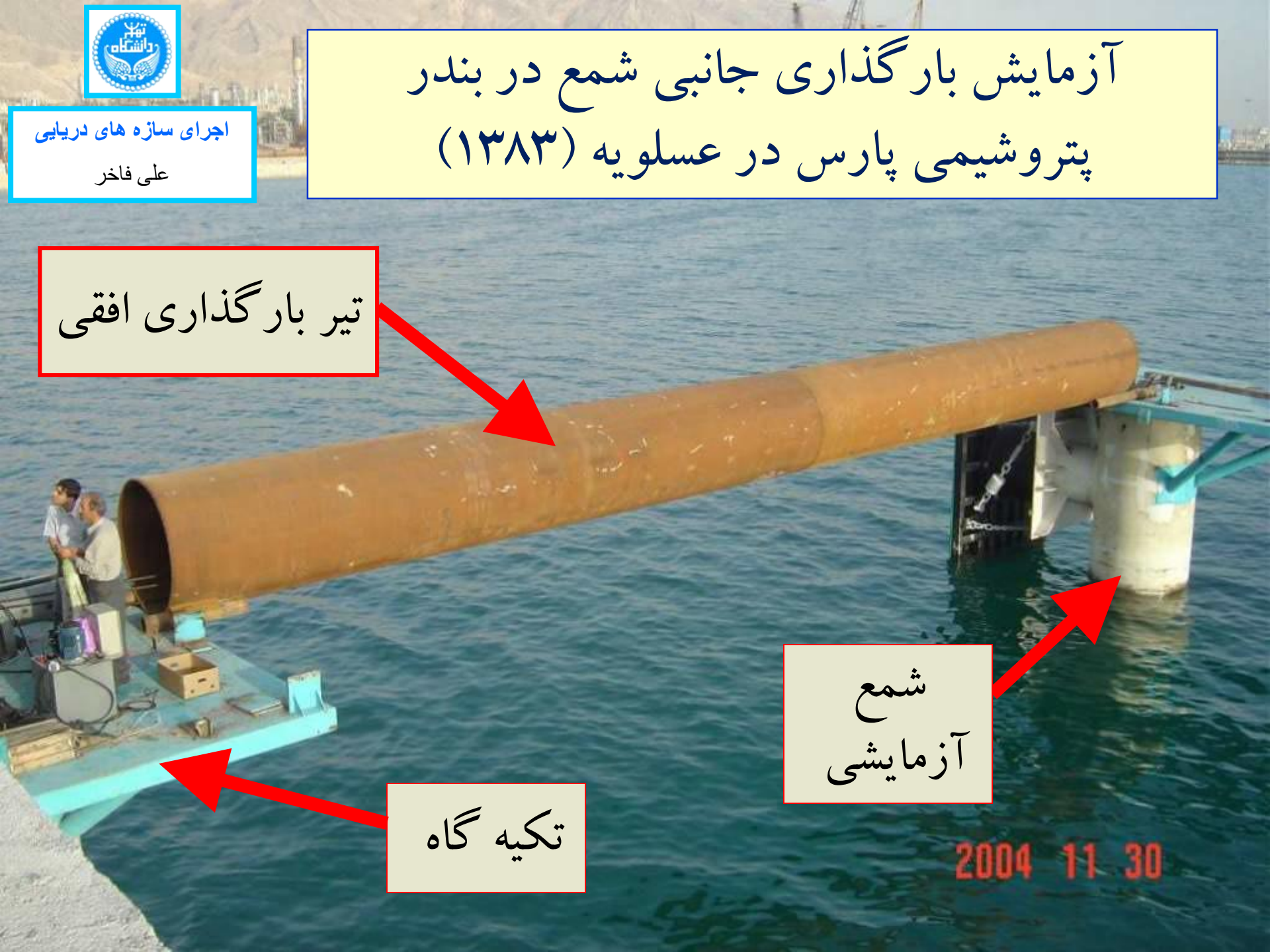
بارگذاری افقی د ر مدل فیزیکی آزمایشگاهی

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

آزمایش بارگذاری جانبی شمع در بندر پتروشیمی پارس در عسلویه (۱۳۸۳)



جک بارگذاری در آزمایش بارگذاری جانبی

کاربرد آزمایش بارگذاری افقی

در پروژه هایی انجام می‌شود که باربری افقی شمع مهم باشد.

مثال: تک شمع های مورد استفاده به عنوان دلفین های مهاری یا پهلوگیری در اسکله های دلفینی تحت بارهای افقی بزرگ قرار می گیرند و آزمایش آنها توصیه می شود.

آزمایش استاتنامیک (statnamic)

- آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع دقیق ترین روش تعیین ظرفیت باربری شمع است ولی از تصاویر قبلی مشخص است که این آزمایش مشکل و پرهزینه است.
- آزمایش Statnamic آزمایش بارگذاری سریع شمع است که جدیداً توسعه یافته است ولی هنوز متداول نیست.
- یک جرم نسبتاً کوچک تحت شتاب بزرگی قرار می گیرد. درنتیجه این جرم بار فشاری کوتاه مدت به شمع وارد می کند.

اجرای سازه های دریایی

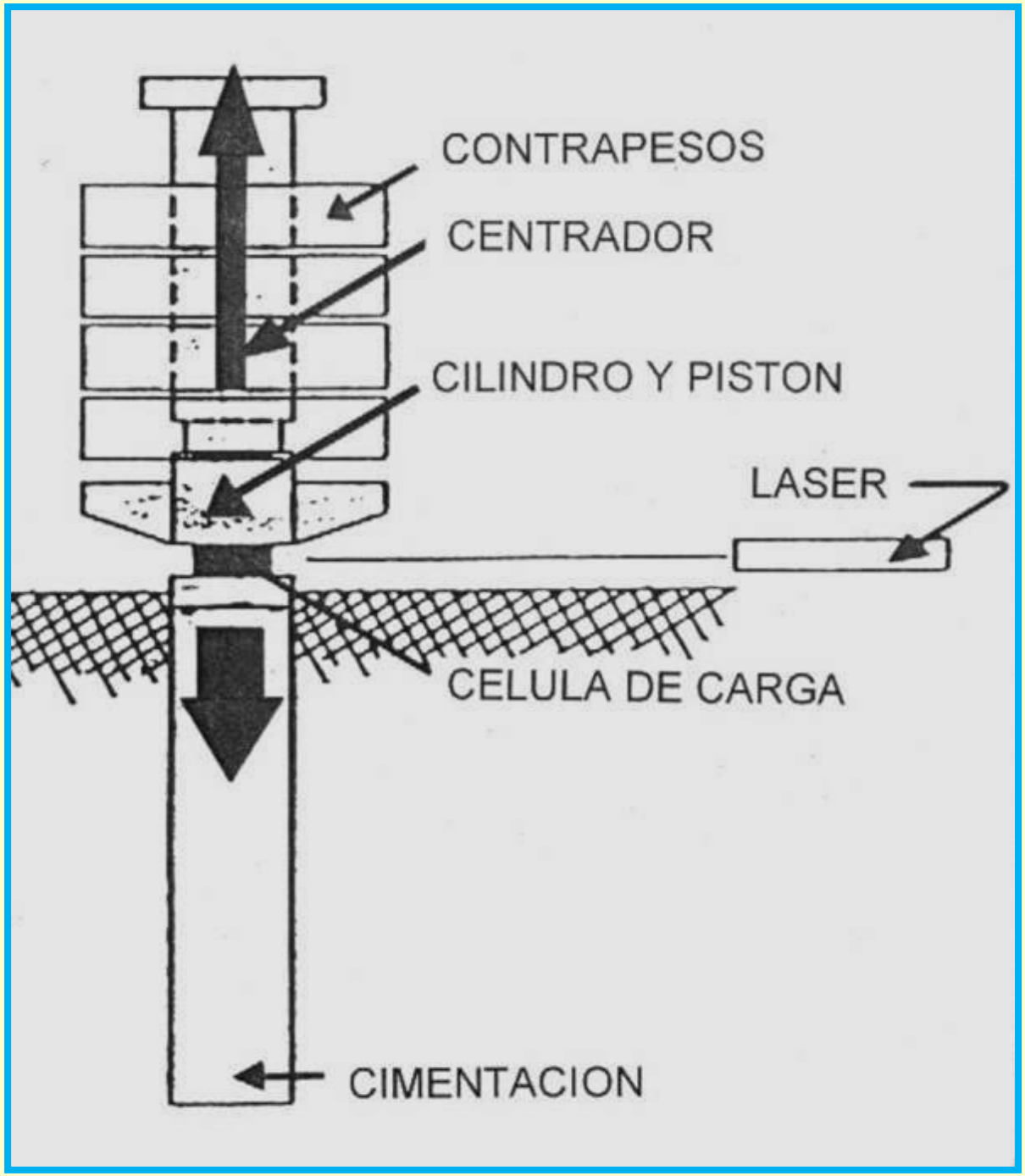
علی فاخر

Statnamic

آزمایش استاتنامیک (statnamic)

- این روش برای پیش‌بینی ظرفیت باربری شمعها در خاکهای دانه‌ای درشت منجر به نتایج بسیار دقیقی شده است. ولی در خاکهای دانه‌ای ریز ظرفیت باربری را با دقت کمتر تعیین می کند.

Statnamic


CONTRAPESOS
CENTRADOR
CILINDRO Y PISTON
LASER
CELULA DE CARGA
CIMENTACION

آزمایش دینامیکی شمع

آزمایش‌های دینامیکی

- آزمایش‌های دینامیکی شمع تکنولوژی نسبتاً جدیدی (از سال ۱۹۸۰) است و بر اساس حل معادله پخش موج تنش در شمع استوار می‌باشد.

- کوبش شمع موجب ایجاد یک موج تنش می‌شود که به سمت پایین حرکت می‌کند. در مقابل خاک در برابر موج تنش به سمت بالا مقاومت می‌کند. موج تنش می‌تواند به وسیلهٔ یک سرعت یا شتاب‌سنج و یک تنش یا کرنش‌سنج که در سرشمع نصب شده است، اندازه‌گیری شود.

آزمایش‌های دینامیکی

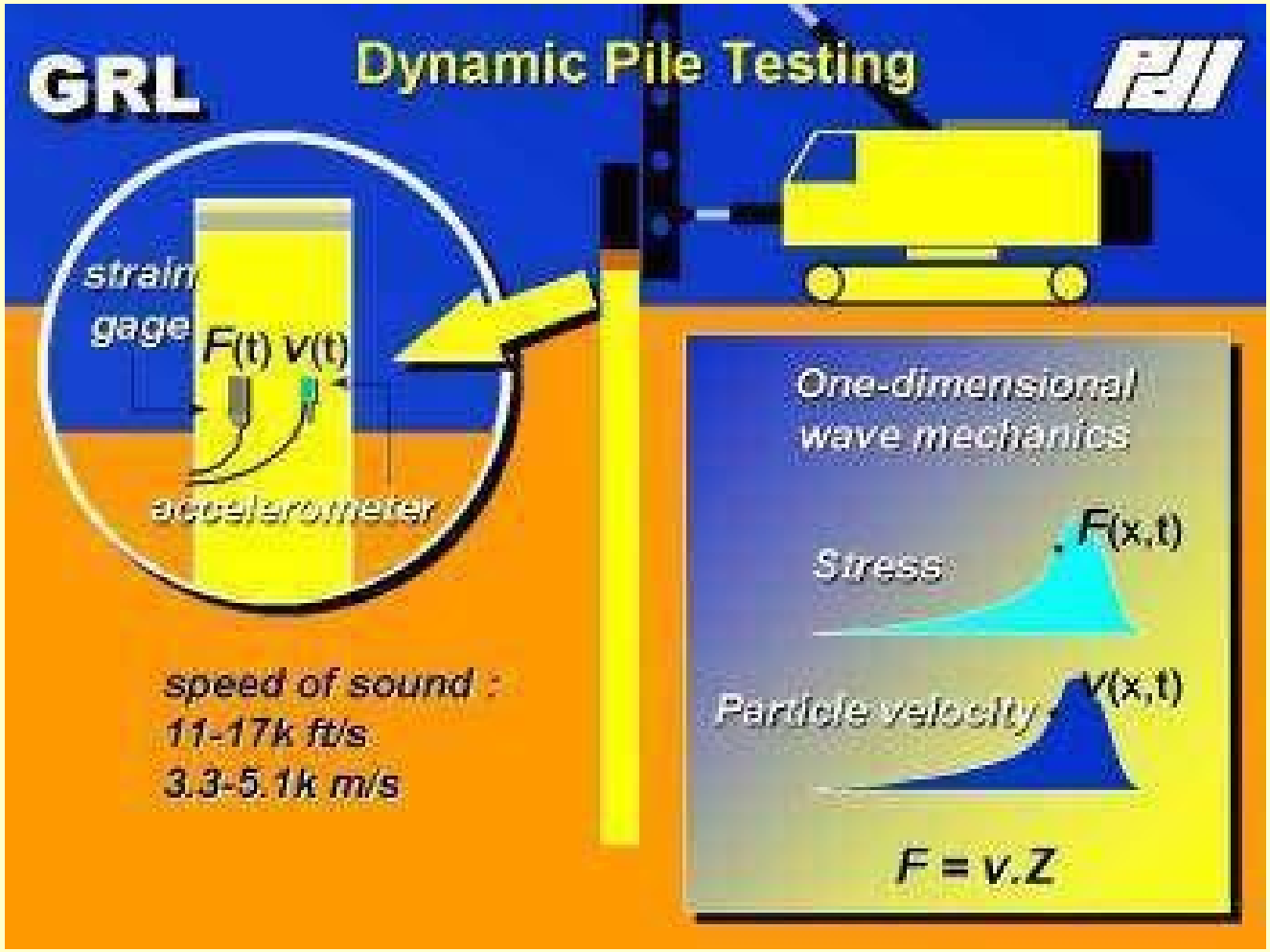
با ارزیابی بزرگی و زمان حرکت موج تنش که به سمت بالا حرکت می‌کند، می‌توان ظرفیت باربری شمع را تعیین کرد. همچنین می‌توان توزیع مقاومت خاک در طول بدنهٔ شمع را نیز تعیین کرد.

آزمایش‌های دینامیکی (ادامه)

این روش برای تعیین ضریب کارایی انتقال انرژی به وسیلهٔ چکش کوبش، تعیین تنش‌های فشاری و کششی ایجاد شده در شمع و تعیین موقعیت و شدت آسیب‌های سازه‌ای نیز قابل استفاده است.

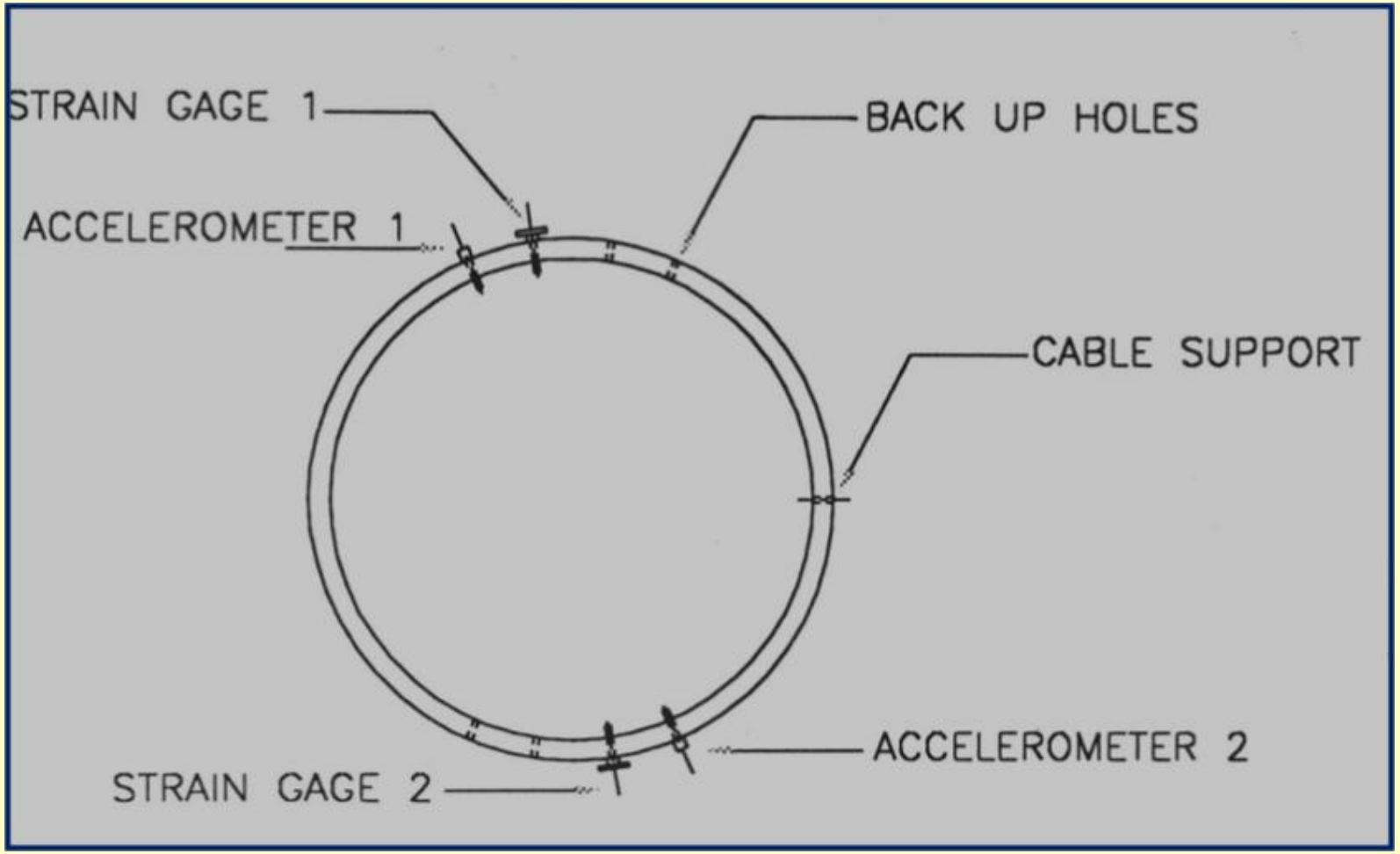
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

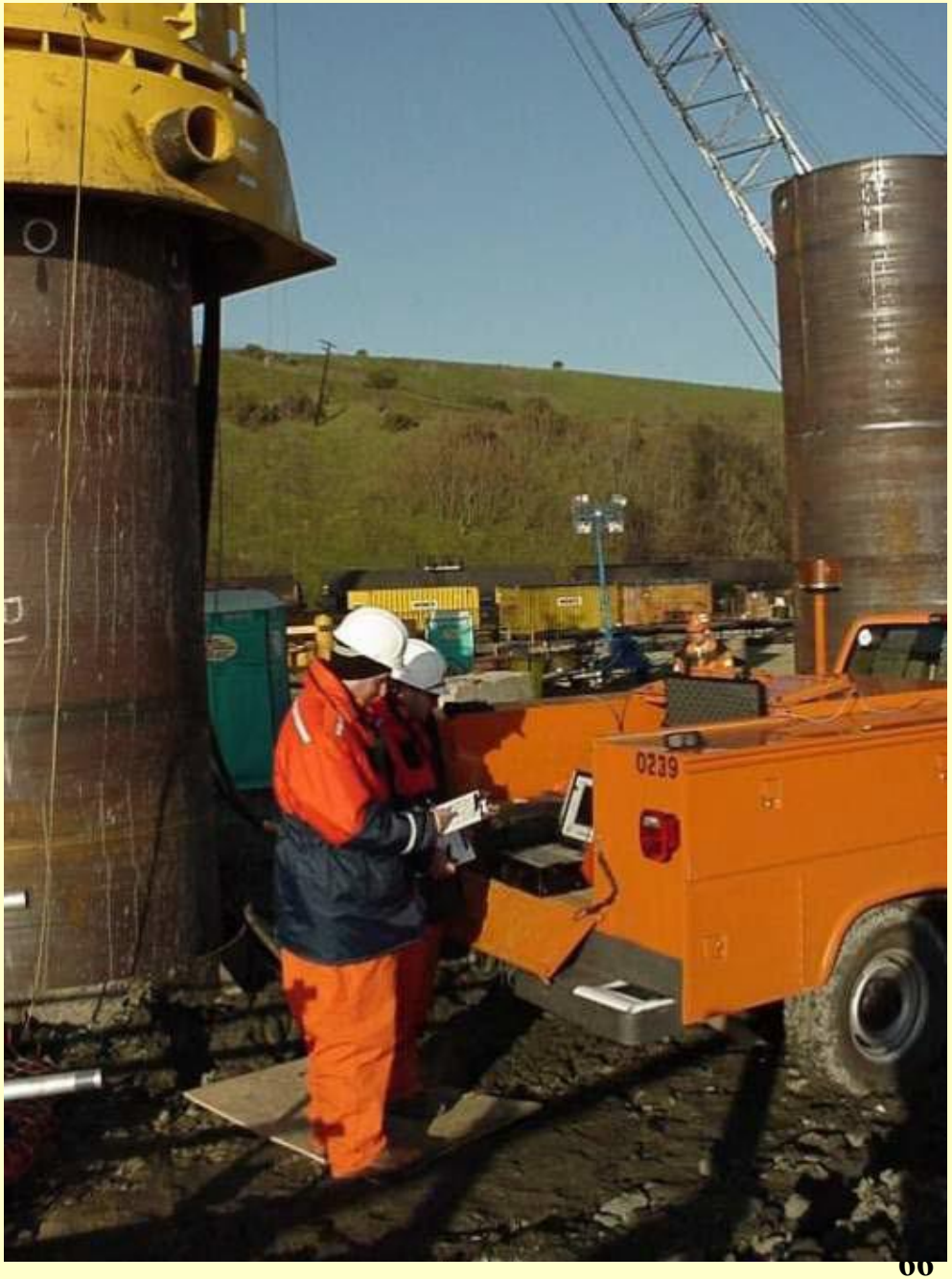
آزمایش دینامیکی شمع



نصب سنسورها در آزمایش دینامیکی شمع

محل قرارگیری شتاب سنج و کرنش سنجها در سر شمع برای انجام اندازه گیریهای حین کوبش به منظور تعیین باربری و آنالیز فرورفت شمع





مونیتور کردن نتایج در آزمایش دینامیکی شمع

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

مونیتور کردن نتایج در آزمایش دینامیکی شمع

راه اندازی آزمایش بارگذاری دینامیکی در بندر تدارکاتی عسلویه (۱۳۸۳)

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

مانیتورینگ در حین عملیات شمع کوبی

مانیتورینگ در حین عملیات شمع کوبی برای سه منظور اساسی زیر انجام می شود:

- اندازه گیری و تعیین انرژی موثر چکش در حین شمع کوبی و مقایسه با پیش بینی های اولیه
- کنترل تنشهای ایجاد شده در شمع ناشی از ضربه چکش تا بیش از حد مجاز نباشند. (مطابق API 2000 حداکثر تنشهای دینامیکی ، ۸۰ درصد Fy مصالح شمع می باشد.)
- اندازه گیری مقاومت خاک در حین شمع کوبی و کنترل ظرفیت نهایی شمع

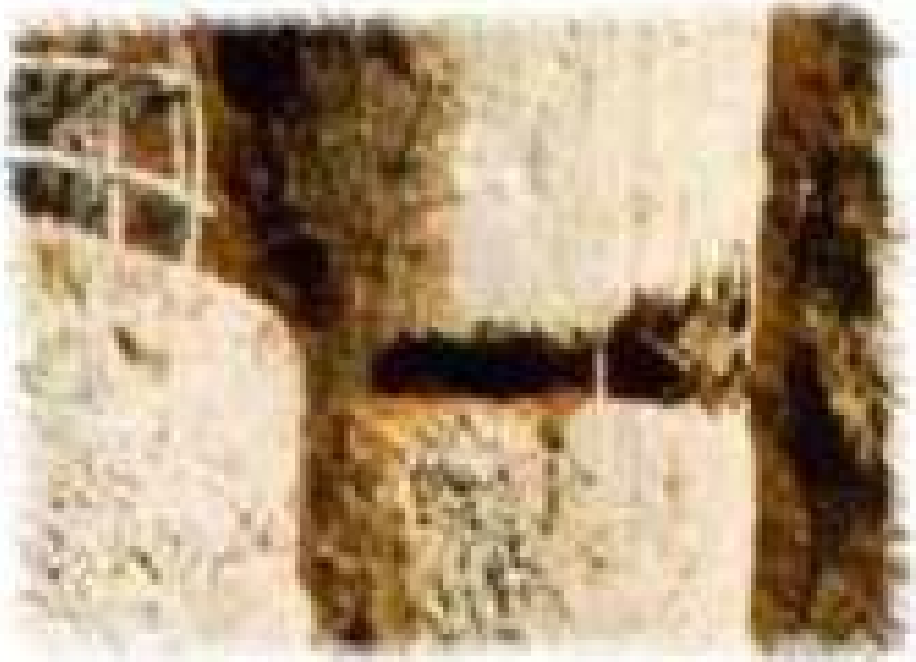
اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش کنترل کیفیت سازه شمع

- سازه شمع ممکن است در هنگام اجرا آسیب ببیند یا با نقص اجرا شود.
- شمع های بتنی آسیب پذیرتر از شمع های فولادی در هنگام اجرا هستند.
- آزمایش های قبلی که در این فایل تشریح شد برای اندازه گیری ظرفیت باربری شمع است.
- نتایج آزمایش های دینامیکی PDA می توانند برای کنترل کیفیت سازه هم به کار روند ولی برای این کار گران هستند.
- آزمایش PIT یک آزمایش ساده و ارزان برای کنترل سلامت شمع است.

نمونه هایی از آسیب دیدگی شمع حین اجرا



بررسی سلامت شمع PIT

Low Strain Integrity Test

اجرای سازه های دریایی

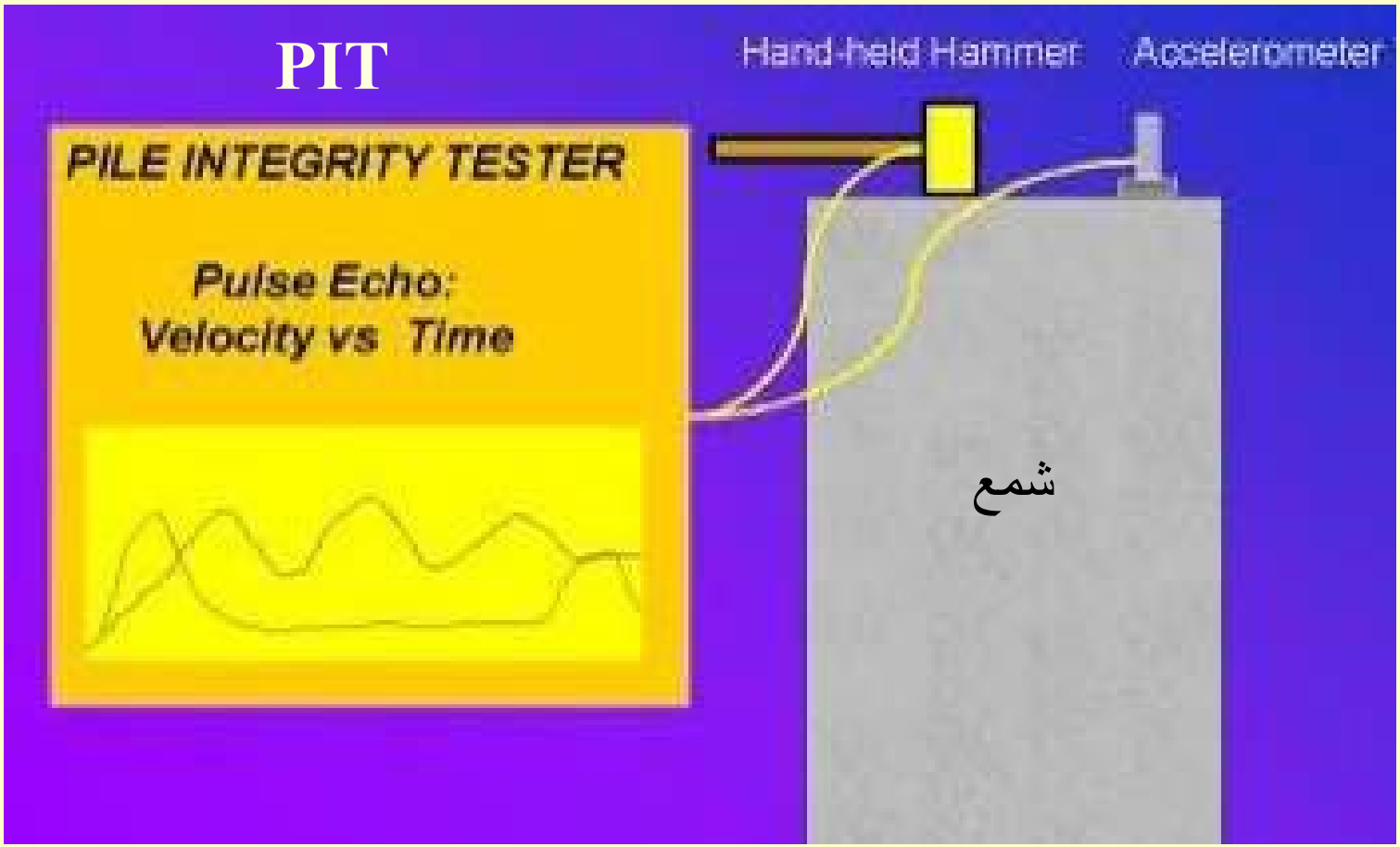
علی فاخر

بررسی سلامت شمع بتنی
PIT

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

با چکش دستی ضربه‌ای به سر شمع زده می‌شود و حرکت سرشمع با شتاب سنج ثبت می‌شود. آسیب دیدگی شمع حین اجرا موجب خلل در موج رفت و برگشت می‌شود.

شتاب سنج چکش دستی



حرکت سرشمع و موج رفت و برگشت با شتاب سنج ثبت می‌شود.

پیشنهاد تعداد شمع های یک پروژه برای آزمایش بستگی به نوع آزمایش و محل شمع و همچنین اهمیت شمع ها و پروژه دارد. یک پیشنهاد اولیه بدون توجه به ملاحظات پروژه در اینجا آمده است:

آزمایش بارگذاري استاتیکی: 1 درصد
اندازه‌گیری تعداد ضربه و مقدار فرو رفت: تمام شمع ها
آزمایش دینامیکي (PDA): 5 درصد
بررسی سلامت شمع بتنی(PIT): 10 درصد

این هم برای درک اهمیت آزمایش و کنترل کیفیت و انجام صحیح کار:

یک ضرب المثل ژاپنی می گوید که :

بخاطر میخی، نعلی افتاد. بخاطر نعلی، اسبی افتاد.

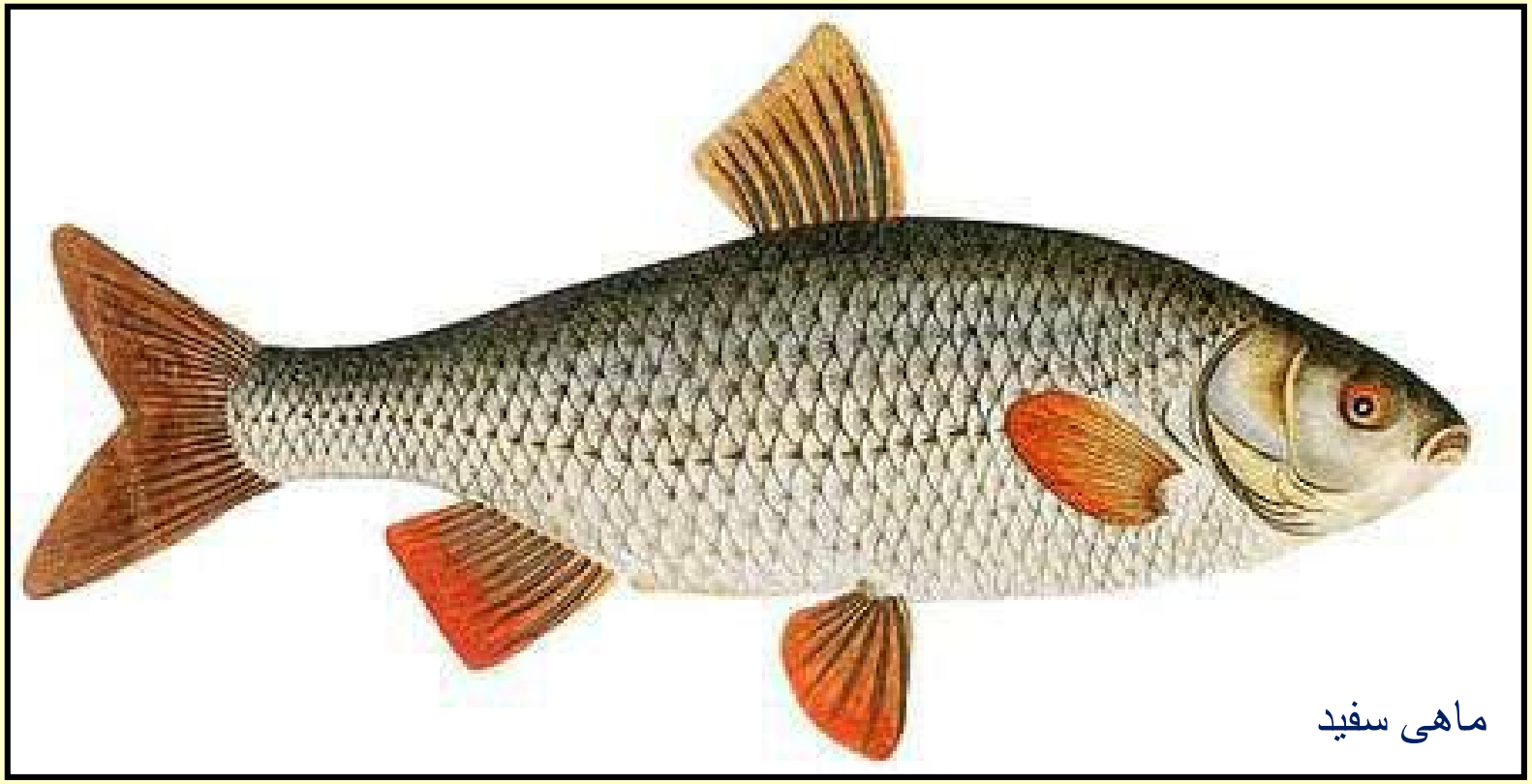
بخاطر اسبی، سواری افتاد. بخاطر سواری، جنگی شکست خورد.

بخاطر شکستی، مملکتی نابود شد.

و همه اینها بخاطر کسی بود که میخ را خوب نکوبیده بود.

موفق باشید

علی فاخر



ماهی یعنی مثل ماه هستی