



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

اجرای آزمایشهای شمع

Pile Tests Execusion

۱



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

□ آزمایشهای شمع به آزمایشهای (1) **تعیین ظرفیت باربری** و (2) **آزمایشهای کنترل کیفیت سازه تقسیم** می شوند.

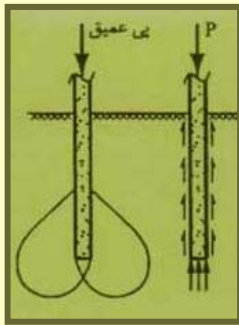
□ از آنجا که آزمایشهای شمع **بخشی از مراحل اجرای آنها** می باشد، تشریح آنها در اینجا اهمیت دارد.

۲



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر



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

۳



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش های تعیین ظرفیت باربری

- ☐ بارگذاری استاتیکی شمع
- ☐ روابط مبتنی بر اندازه گیری "ضربه - فرورفت"
- ☐ روابط مبتنی بر "ضربه - فرورفت - برجهندگی"
- ☐ آزمایش دینامیکی شمع
- ☐ استاتنامیک

۴



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش بارگذاری استاتیکی

۵



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

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.

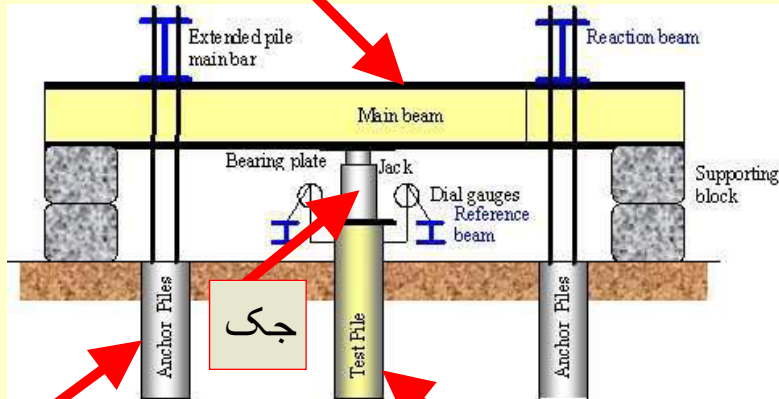
۶



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

مثالی از یک آرایش قابل
استفاده در آزمایش بارگذاری

تیر بارگذاری



جک

شمع
تکیه گاهی

شمع آزمایشی

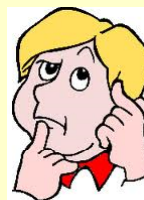


A static loading test performed in 1910 in Sweden by Mr. Wendel. Courtesy of Dr. Bengt Fellenius



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر



آزمایش های بارگذاری استاتیکی نسبتاً **گران**
است و فراهم کردن مقدمات آن **وقت گیر**
می باشد، ولی **دقیقترین** راه برای تعیین
ظرفیت باربری شمع است.

۹



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری

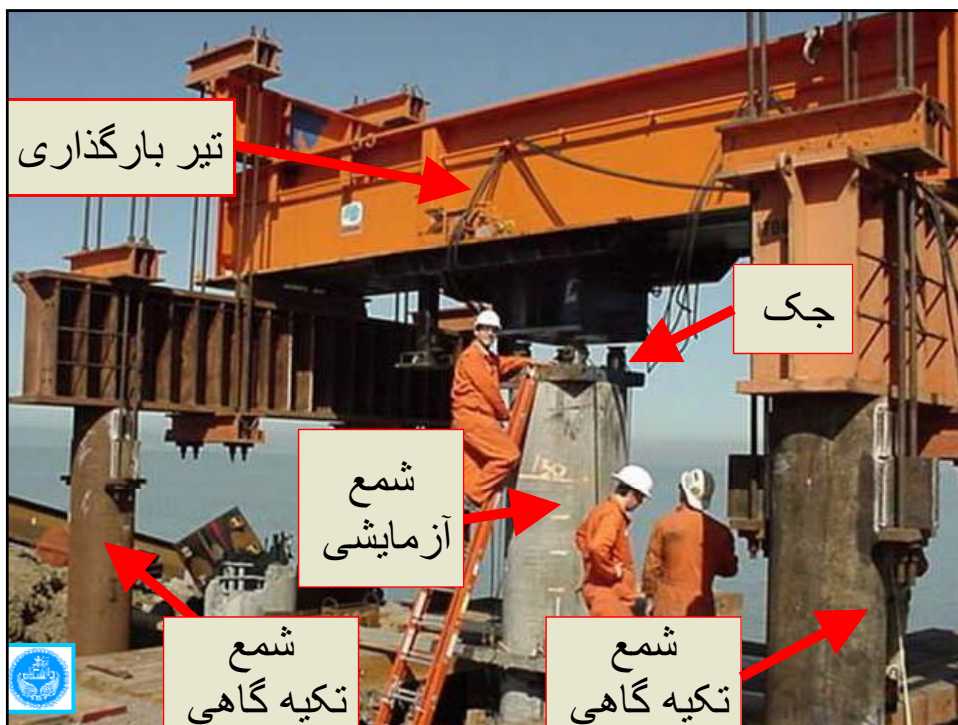
با استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری استاتیکی
شمع می توان ، **ظرفیت باربری نهایی** شمع
و نشست یا تغییر مکان کوتاه مدت شمع تحت
بارهای مورد نظر را تعیین کرد.

۱۰

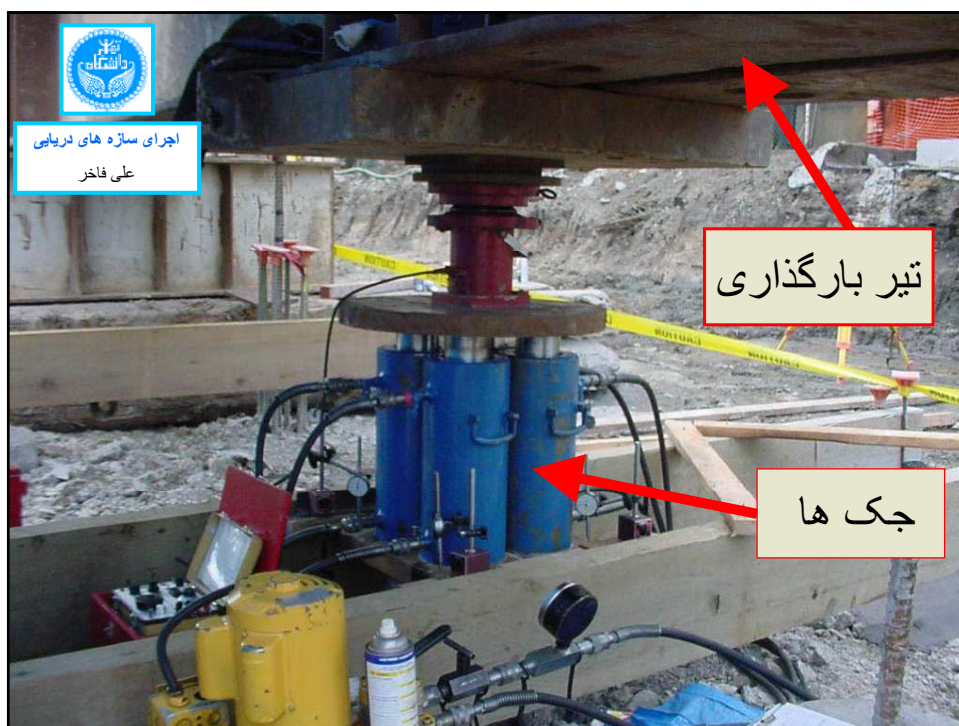


نمونه ای آزمایش بارگذاری شمع

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر









اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

نصب یک تیر بزرگ برای آزمایش بارگذاری شمع



یک تیر بارگذاری بسیار بزرگ برای آزمایش بارگذاری شمع





اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

تیر بارگذاری و آرایش تکیه گاهها

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

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



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

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.

۲۱



اعمال بار در آزمایش بارگذاری

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



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

۲۲



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.



۲۳



اعمال بار با وزنه های بتنی





اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

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 تقریباً صفر شده است. آزمایش اول در چند ساعت تمام می شود ولی آزمایش دوم می تواند در حدود یک شبانه روز طول بکشد.

۲۵



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

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 ترجیحاً ۳ آزمایش بارگذاری در یک پروژه توصیه می شود.

۲۶



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

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 معمولاً 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.

۲۷



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش بارگذاری افقی

- در آزمایش بارگذاری افقی، بار افقی به صورت تدریجی به شمع ها وارد می شود .
- در این آزمایش معمولاً یک شمع دیگر به عنوان تکیه گاه می باشد. یا دو شمع را به طرف هم می کشند.

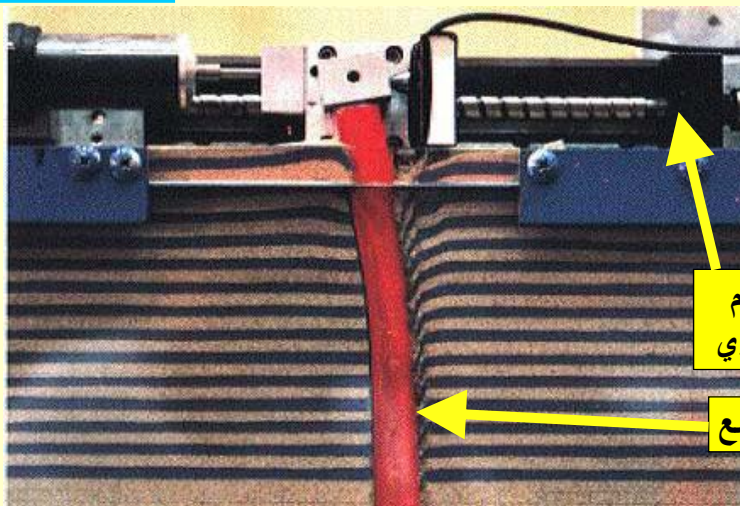
۲۸



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

بارگذاري افقی در مدل فیزیکی آزمایشگاهی



سیستم
بارگذاري

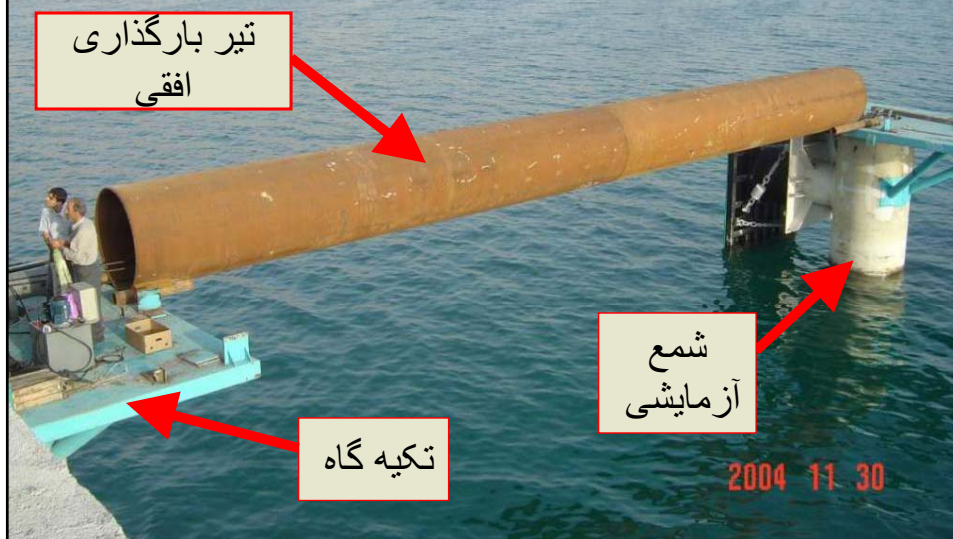
شمع



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

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



تیر بارگذاری
افقی

شمع
آزمایشی

تکیه گاه

2004 11 30

جک بارگذاری در آزمایش بارگذاری جانبی



کاربرد آزمایش بارگذاری افقی

در پروژه هایی انجام می شود که باربری افقی شمع مهم باشد.





اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش تعیین باربری شمع بر اساس اندازه‌گیری

تعداد ضربه و مقدار فرو رفت

۳۳



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

روابط مبتنی بر اندازه‌گیری تعداد ضربه و مقدار فرو رفت

این فرمول‌ها بین ظرفیت باربری شمع و انرژی
چکش ارتباط برقرار می‌کند.

روش کار آن است که تعداد ضربه و مقدار
فرو رفت شمع در خاک اندازه‌گیری و سپس با
کمک این روابط باربری تخمین زده می‌شود.

۳۴



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

روابط مبتنی بر اندازه گیری تعداد ضربه و مقدار فرو رفت

□ به طور کلی روابط تحلیل کوبش بر این فرض استوار است که کار انجام شده توسط چکش در حین فرو کردن شمع برابر با کار مقاوم مجموعه شمع و خاک است.

□ فرمول های ارائه شده معمولاً بسیار تقریبی هستند و با ضرایب اطمینان بزرگ (حدود ۶) به کار می روند. پیشنهاد ضرایب اطمینان بزرگ به دلیل استفاده از فرضیات غیر دقیق از جمله صلب بودن شمع، ناشناخته بودن مکانیزم کوبش و بی اطلاعی از راندمان چکش است.



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

شمردن تعداد ضربات حین کوبش

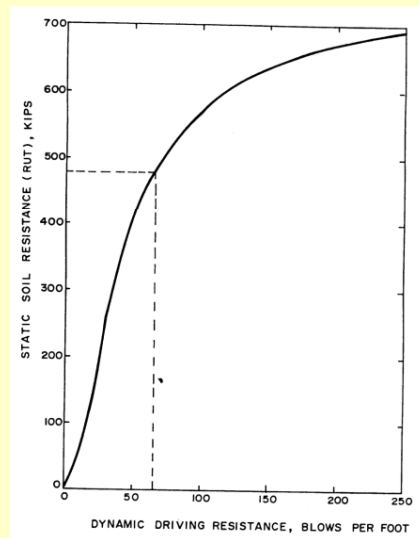


شمارش و ثبت

کنترل با
دوربین

مثال

ظرفیت باربری
استاتیکی شمع



تعداد ضربه در هر فوت فرو رفت

۳۷



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

آزمایش تعیین باربری شمع بر اساس اندازه گیری

تعداد ضربه و مقدار فرو رفت و برجهندگی

۳۸



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

روابط مبتنی بر اندازه گیری تعداد ضربه، مقدار فرورفت و برجهدگی

- فرورفت شمع تحت ضربه شامل **دو بخش** دائم و بازگشت پذیر است
- **برجهدگی** در واقع **فرورفت بازگشت پذیر** شمع تحت ضربه است
- **برجهدگی: rebound**
- **فرورفت دائم: set**
- **برجهدگی** را گاهی **فرورفت برگشتی** می خوانند



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

روابط مبتنی بر اندازه گیری تعداد ضربه، مقدار فرورفت و برجهدگی

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

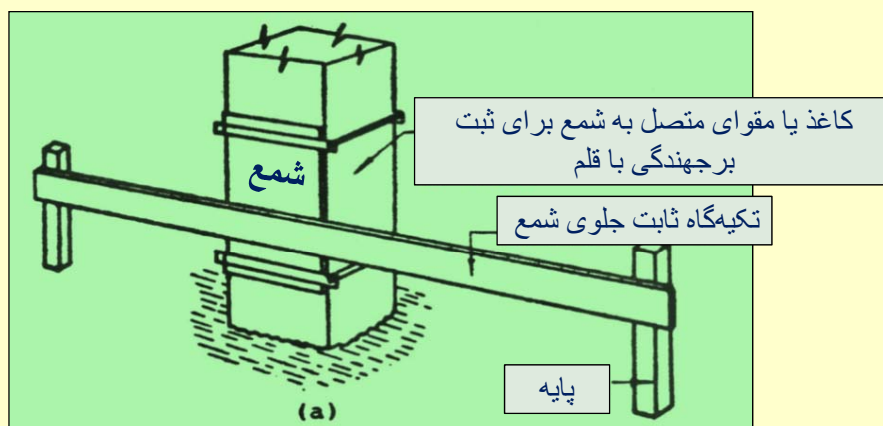
- ۱- روابطی که بین ضربه چکش، میزان فرورفت شمع و ظرفیت باربری شمع ارتباط برقرار می کند.
- ۲- روابطی که علاوه بر ضربه چکش و میزان فرورفت، به مقدار برجهدگی شمع تحت ضربه هم توجه می کنند و آن را به ظرفیت باربری شمع ارتباط می دهند.



اجرای سازه های دریایی

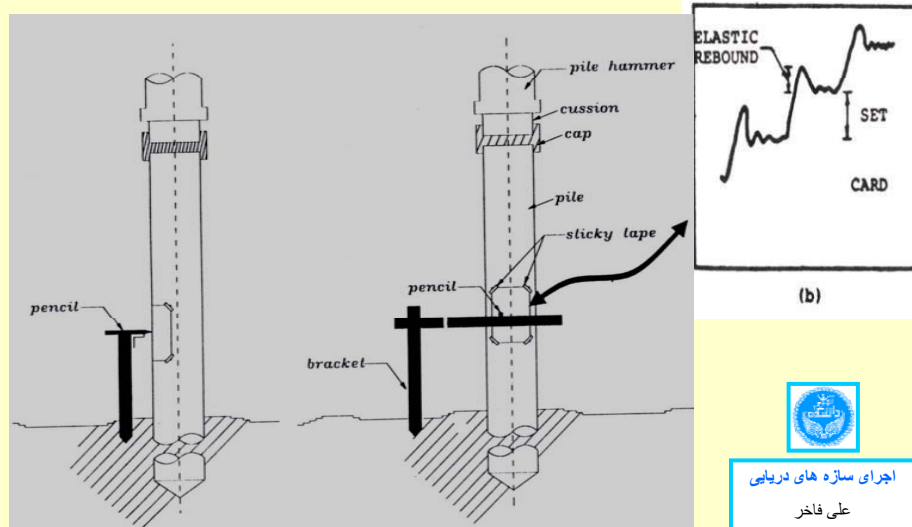
علی فاخر

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



۴۱

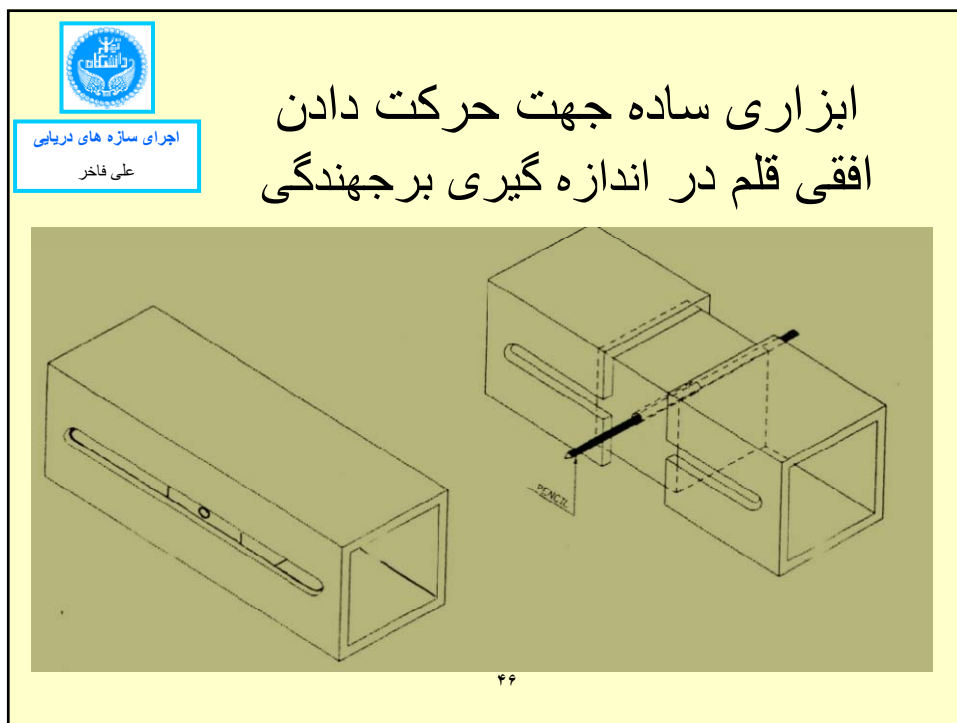
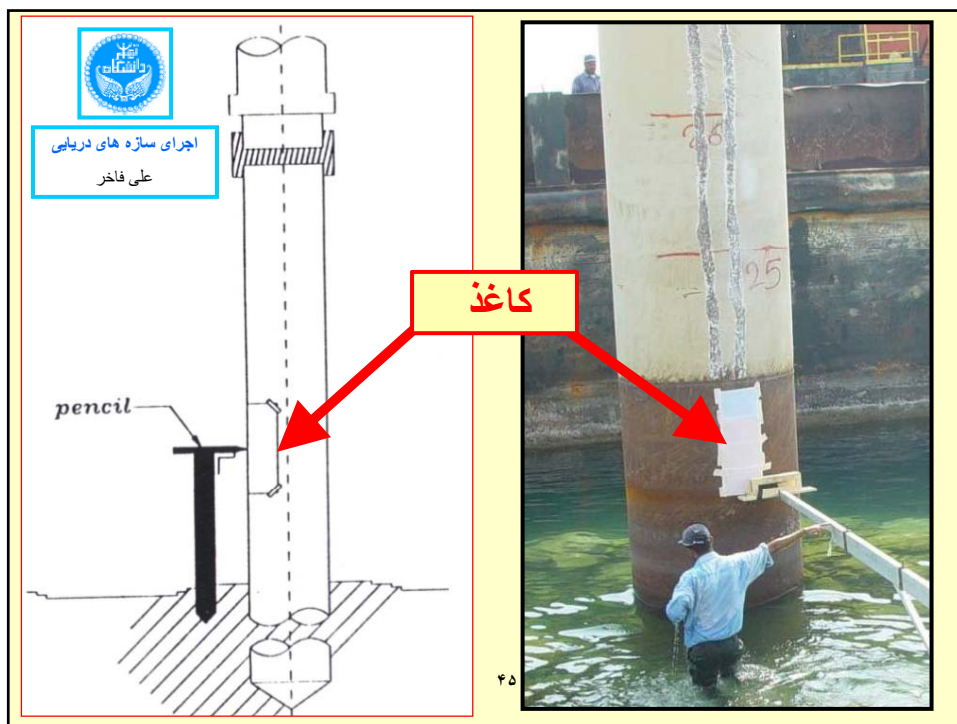
روش ساده اندازه‌گیری برجستگی با نصب کاغذ روی شمع و چسباندن یک قلم مستقر بر تکیه‌گاه به کاغذ



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر





رابطه تخمین باربری شمع (R) بر اساس برجهندگی

□ فرمول Hilley

انرژی
وارد بر
سر شمع

$$R = \frac{WH\eta}{S + C/2}$$

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

□ W: وزن چکش کوبش شمع

□ H: ارتفاع سقوط چکش کوبش

□ S: فرورفت دائم

□ C: برجهندگی

□ P: وزن شمع

□ e: راندمان چکش

برجهندگی

فرورفت دائم



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

۴۷



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

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



ابداع Dr. Julian Seidel



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

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

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

۴۹



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش دینامیکی شمع

۵۰

آزمایش های دینامیکی

□ آزمایش های دینامیکی شمع تکنولوژی نسبتاً جدیدی (از سال ۱۹۸۰) است و بر اساس حل معادله پخش موج تنش در شمع استوار می باشد.

□ کوبش شمع موجب ایجاد يك موج تنش می شود که به سمت پایین حرکت می کند. در مقابل خاک در برابر موج تنش به سمت بالا مقاومت می کند. موج تنش می تواند به وسیله يك سرعت یا شتاب سنج و يك تنش یا کرنش سنج که در سر شمع نصب شده است، اندازه گیری شود.

۵۱

آزمایش های دینامیکی

با ارزیابی بزرگی و زمان حرکت موج تنش که به سمت بالا حرکت می کند، می توان ظرفیت باربری شمع را تعیین کرد. همچنین می توان توزیع مقاومت خاک در طول بدنه شمع را نیز تعیین کرد.

۵۲



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

آزمایش های دینامیکی (ادامه)

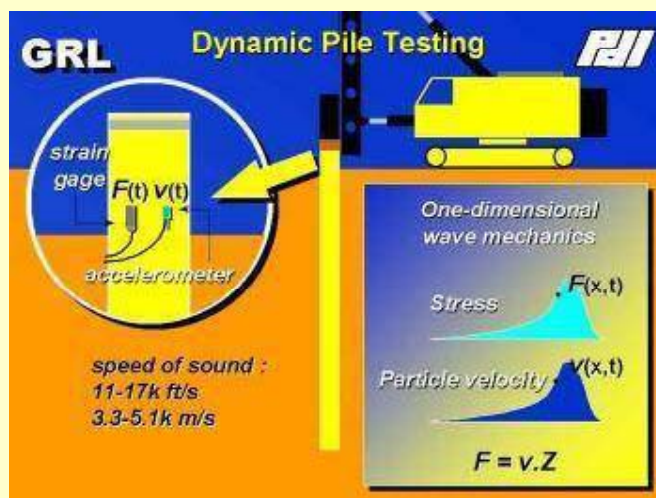
این روش برای تعیین ضریب کارایی انتقال انرژی به وسیله چکش کوبش، تعیین تنش های فشاری و کششی ایجاد شده در شمع و تعیین موقعیت و شدت آسیب های سازه های نیز قابل استفاده است.

۵۳



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

آزمایش دینامیکی شمع



نصب سنسورها در آزمایش دینامیکی شمع



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

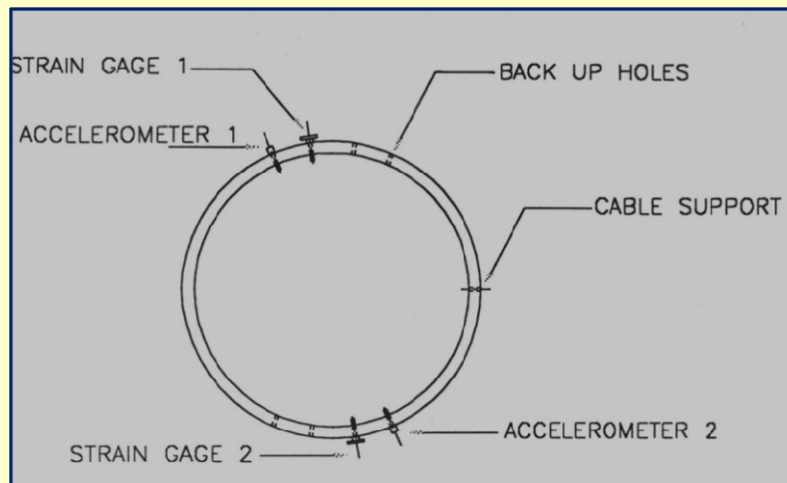


۵۵

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



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر





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





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 F_y مصالح شمع می باشد).
- اندازه گیری مقاومت خاک در حین شمع کوبی و کنترل ظرفیت نهایی شمع



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش استاتنامیک

۶۱



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

آزمایش استاتنامیک (statnamic)

□ آزمایش Statnamic آزمایش بارگذاری سریع
شمع است که جدیداً توسعه یافته است.

□ یک جرم نسبتاً کوچک تحت شتاب بزرگی قرار
می گیرد. در نتیجه این جرم بار فشاری کوتاه
مدت به شمع وارد می کند.

۶۲



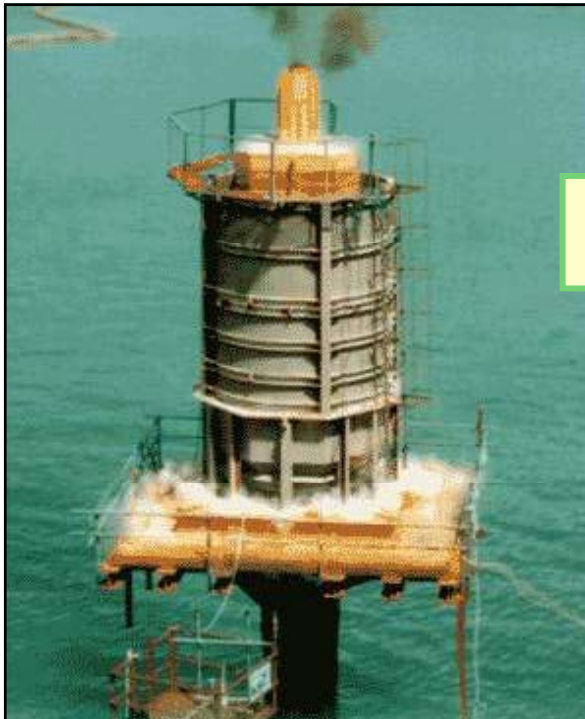
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

آزمایش استاتنامیک (statnamic)

□ نتایج به دست آمده از Statnamic تحلیل شده تا با کسر کردن مؤلفه های اینرسی و میرایی ظرفیت باربری استاتیکی معادل شمع تعیین شود.

□ این روش برای پیش بینی ظرفیت باربری شمعها در خاکهای دانه ای درشت منجر به نتایج بسیار دقیقی شده است. ولی در خاکهای دانه ای ریز ظرفیت باربری را با دقت کمتر تعیین می کند.

۶۳



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

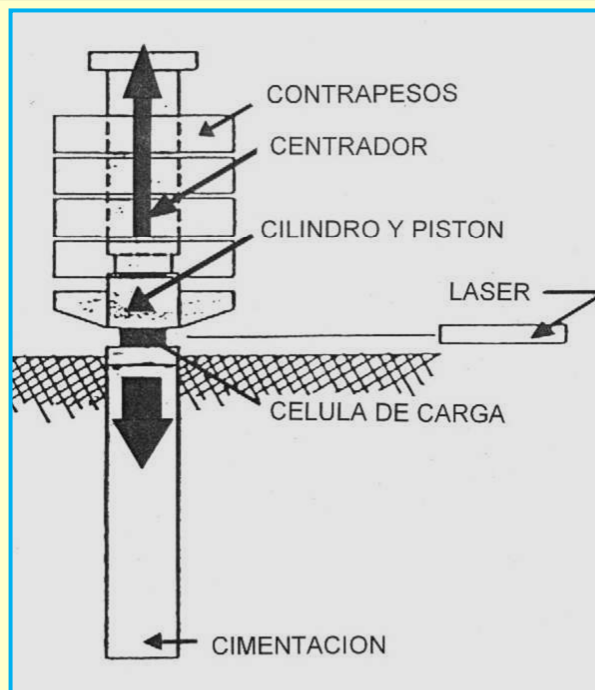
Statnamic



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

Statnamic



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

آزمایش کنترل کیفیت سازه شمع

۶۷



نمونه هایی از آسیب دیدگی شمع حین اجرا





اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

بررسی سلامت شمع بتنی Low Strain Integrity Test



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

بررسی سلامت شمع بتنی



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





تعداد تقریبی شمع های یک پروژه که آزمایش می شوند بستگی به نوع آزمایش و محل آن و همچنین اهمیت شمع ها دارد.

آزمایش بارگذاری: کمتر از ۱ درصد

اندازه گیری تعداد ضربه و مقدار فرو رفت: تمام شمع ها

آزمایش دینامیکی: متوسط ۵ درصد

بررسی سلامت شمع بتنی: ۵ درصد

۷۲

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.

۷۳



موفق باشید

علی فاخر



ماهی سفید

ماهی یعنی مثل ماه هستی