



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

اجرای عملیات اصلاح زمین (در دریا و ساحل)

Soil Improvement

ویرایش بهمن ۱۳۹۸

۱



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

خواص ژئوتکنیکی بستر دریاها

□ خواص ژئوتکنیکی بستر دریاها در فواصل **دور از ساحل** به دلیل تحکیم رسوبات، اغلب رضایت بخش است و سطحی صاف با مقاومت خوب دارند. البته گاهی به بسترهای نامناسب در دور از ساحل برخورد می شود.

□ در **مناطق ساحلی** احتمال برخورد به بستر ضعیف بسیار بیشتر از مناطق دور از ساحل است.

۲



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

مثال هایی از بستر های نامناسب

- بسترهای رسی نرم و تحکیم نیافته
- ماسه سست مستعد روانگرایی در شرایط زلزله یا بار تناوبی موج
- ماسه های روان روی بستر دریا

۳



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

دو روش کلی مقابله با بستر نامناسب

- ۱- طراحی سازه متناسب با شرایط بد بستر دریا
 - این راه حل اغلب در کارهای دور از ساحل به کار می رود.
- ۲- اصلاح و بهبود بستر دریا
 - این راه حل می تواند در کارهای ساحلی به کار رود ولی بطور کلی اصلاح زمین در زیر آب عملیات ساده ای نیست و گران است.

۴



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

روشهای اصلاح بستر دریا

- ☐ جایگزینی
- ☐ تراکم
- ☐ پیش بارگذاری
- ☐ ژئوسینتتیک
- ☐ سایر روشها

۵



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

جایگزینی

۶



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

روش جایگزینی به معنی برداشت خاک نامناسب
و ریختن مصالح مناسب به جای آن است.

برداشت خاک نامناسب دو روش دارد:

الف - لایروبی یا برداشت خاک و ریختن مصالح مناسب.

ب - کنارزدن و جایگزینی خاک نامناسب با وزن خاک
ریخته شده بر روی آن.

۷



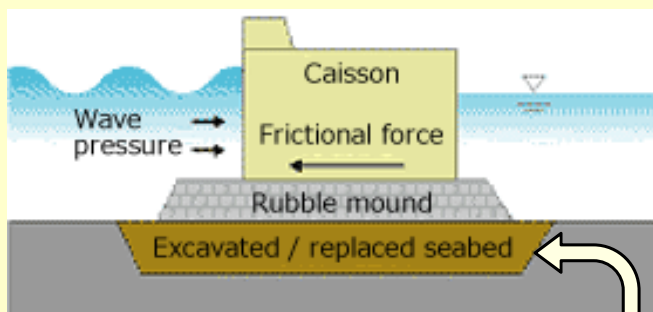
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

لایروبی بستر و جایگزینی
با مصالح مناسب





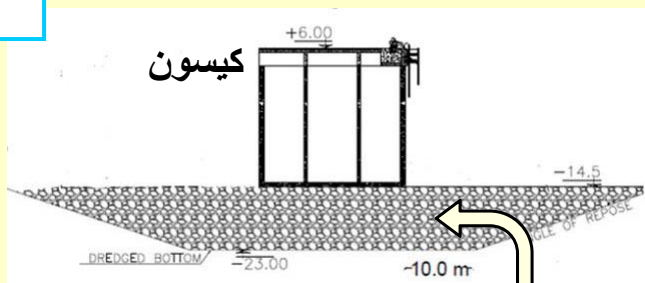
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



لایروبی بستر یک موج شکن کیسونی
و جایگزینی با مصالح مناسب



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



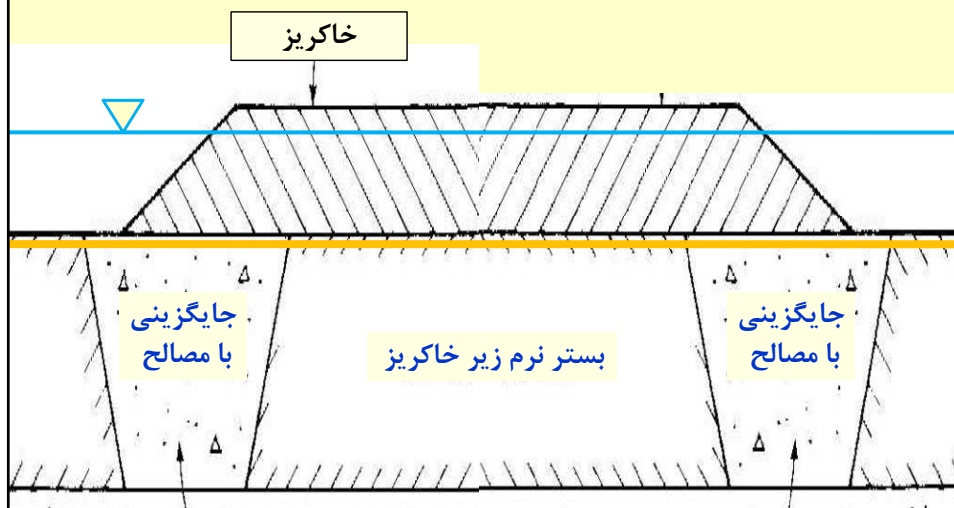
لایروبی بستر اسکله های کیسونی تا عمق مناسب و
جایگزینی با مصالح نیمه خودتراکم در بندر تنبک در
سال های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به کار رفت.





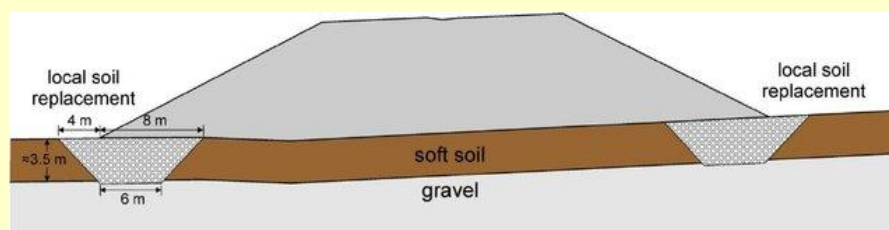
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

لایروبی بخش کناری بستر خاکریز و جایگزینی با مصالح مناسب



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

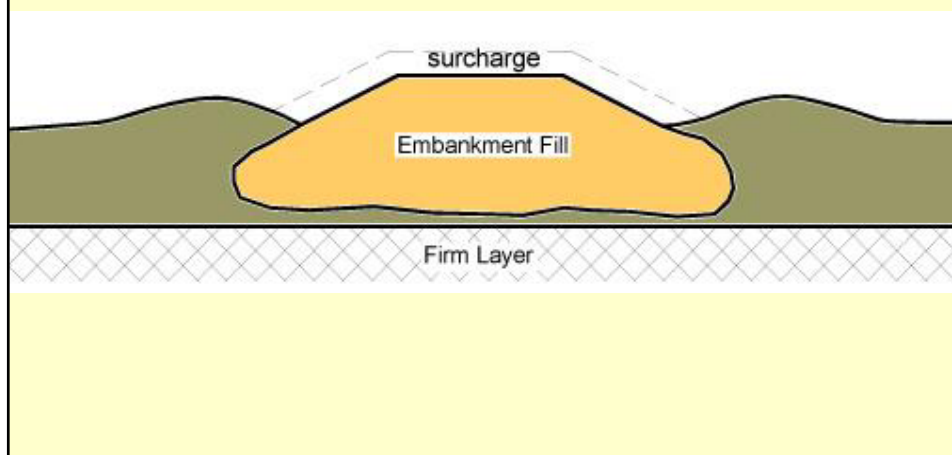
لایروبی بخش کناری بستر خاکریز و جایگزینی با مصالح مناسب در زمین شیب دار





اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

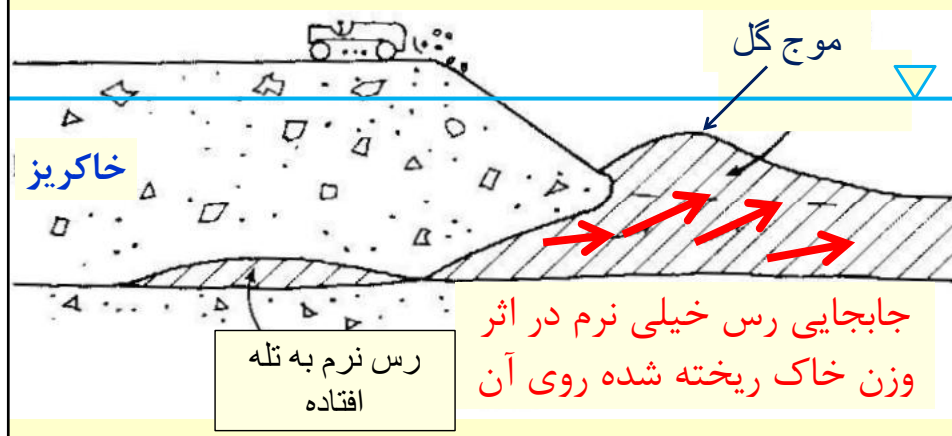
کنارزدن خاک نامناسب با وزن خاک ریخته شده بر روی آن

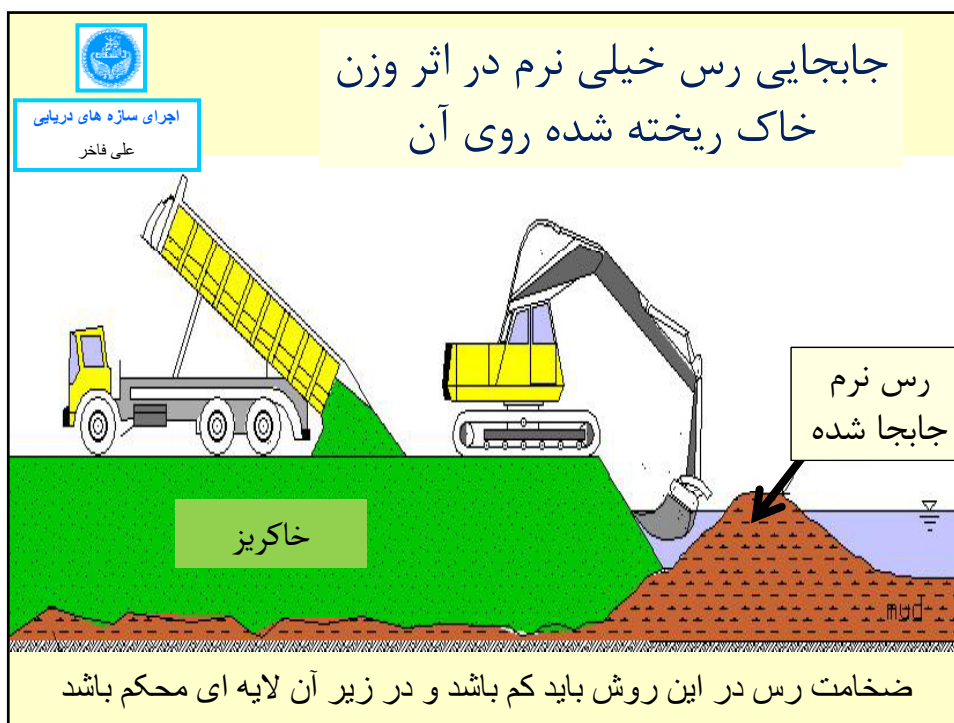


اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

اصلاح بستر زیر خاکریز با جابجایی خاک

کنارزدن و جایگزینی لایه رسی و خیلی نرم با وزن خاک
ریخته شده بر روی آن





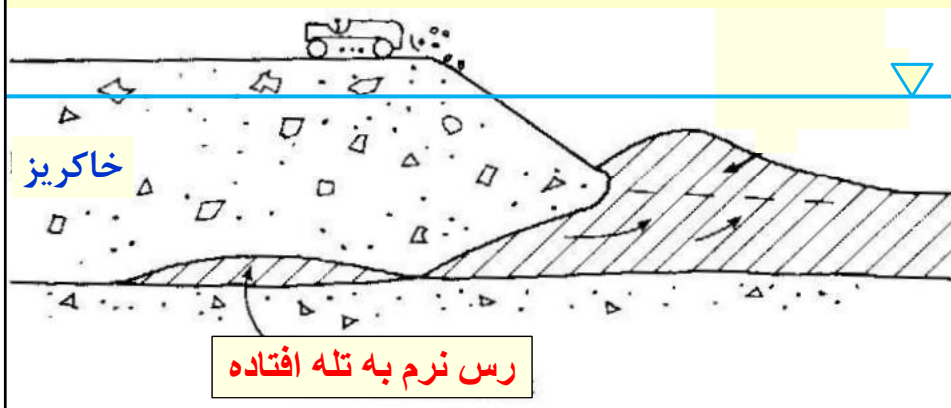




اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

اصلاح بستر زیر خاکریز با جابجایی خاک

کیفیت اجرا در این روش پایین
است ولی ارزان می باشد.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

تراکم زیر آب



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

روشهای تراکم مصالح دانه ای زیر آب

- ☐ استوانه لرزان
- ☐ بشقابک ارتعاشی
- ☐ تحکیم دینامیکی

۲۳



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

تراکم با استوانه لرزان

۲۴



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

تراکم با استوانه لرزان

□ استوانه فلزی تا قطر یک متر با استفاده از جت آب یا چکش ارتعاشی در مصالح فرو می شود. سپس استوانه بصورت افقی مرتعش می شود.

✓ اغلب این گونه از متراکم کننده ها برای مصالح دانه ای از قطر ۷۵ میلیمتر به پایین تا ماسه ریز به کار می روند.

✓ تراکم عمیق با فرو کردن ارتعاش دهنده لوله ای بزرگ در داخل زمین انجام.

۲۵



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

استوانه لرزان



اصلاح زمین احیا شده از مصالح لایروبی

تراکم عمقی در خشکی با فرو کردن
ارتعاش دهنده لوله‌ای بزرگ در داخل
زمین انجام میشود که تجهیزات خاص
این کار وجود دارد.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

تجهیزات تراکم عمقی در خشکی :
تراکم ارتعاشی
Vibro flotation

Vibro-Compaction

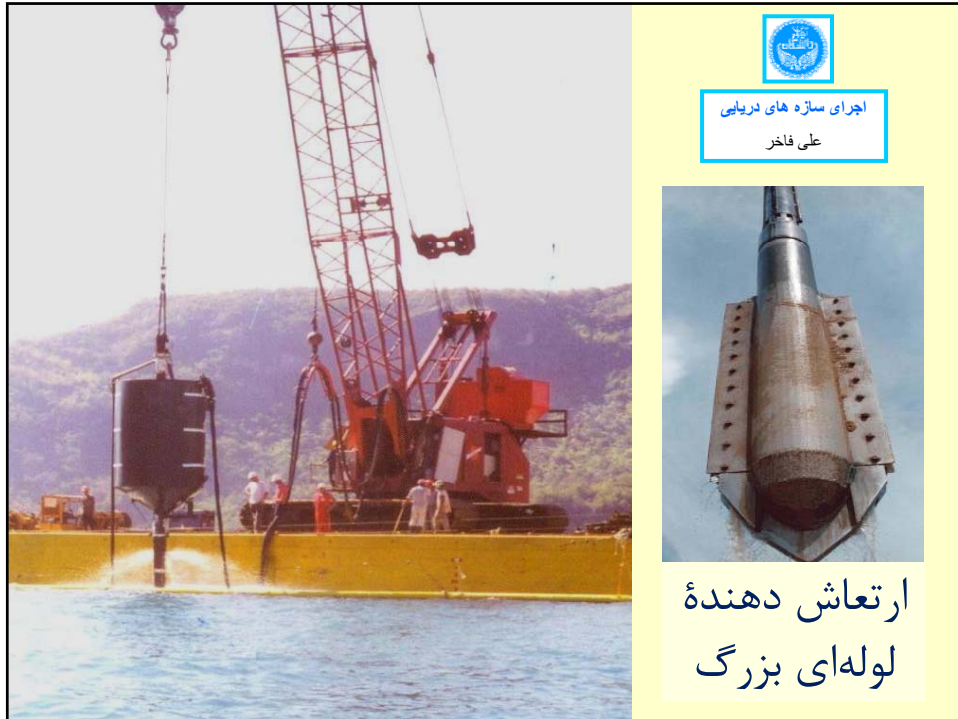
فقط تراکم میدهد و مصالح جدید اضافه نمیکند.

Vibro-Replacement

افزون بر تراکم مصالح خوب در درون ستون ارتعاشی ریخته می شود.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



تراکم با ارتعاش دهنده لوله‌ای بزرگ



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



تراکم با ارتعاش
دهنده لوله‌ای بزرگ
که ستون شنی هم
ایجاد میکند.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر







اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

□ اگر محدوده بهسازی کوچک باشد و تجهیزات تخصصی تراکم در دسترس نباشد، میتوان شمع لوله ای فولادی را با استوانه چکش ارتعاشی در مصالح دانه ای فرو کرد و پس از ارتعاش بیرون کشید.



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

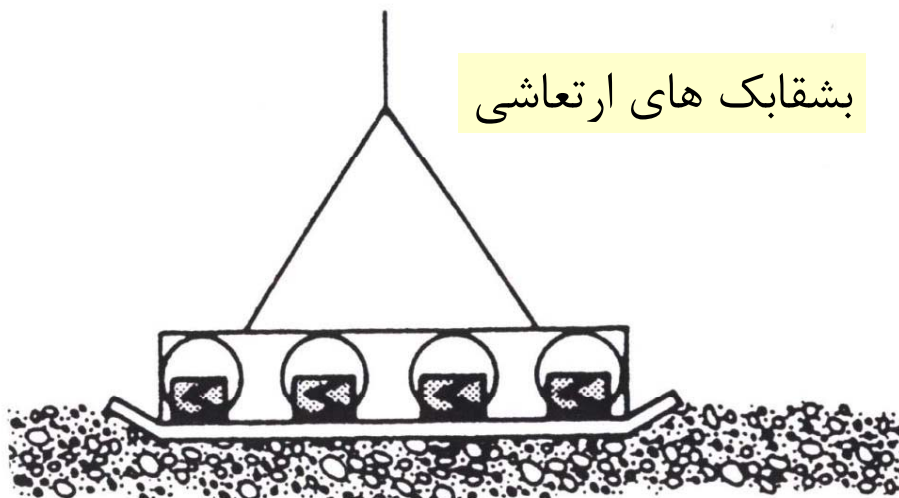
تراکم با بشقابک ارتعاشی



بشقابک ارتعاشی

❑ متراکم کننده درونی یعنی استوانه فلزی لرزان
سطح خاک را متراکم نمی کند . برای تراکم سطحی
از بشقابکهای ارتعاشی استفاده می شود.
✓ عمق نفوذ تراکم بشقابک های ارتعاشی کم است.

بشقابک های ارتعاشی



(a) Underwater Plate Vibratory Compactor



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

بشقابک های ارتعاشی
کوچک در خشکی

۳۹



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

بشقابک های ارتعاشی
بزرگ در خشکی

۴۰



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

10" x 10" Hand Tamper

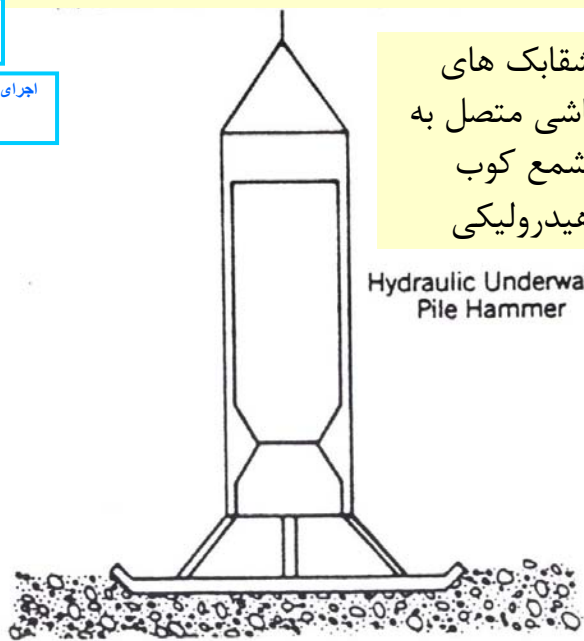
چکش دستی که در
زیر آب با غواص قابل
استفاده است



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

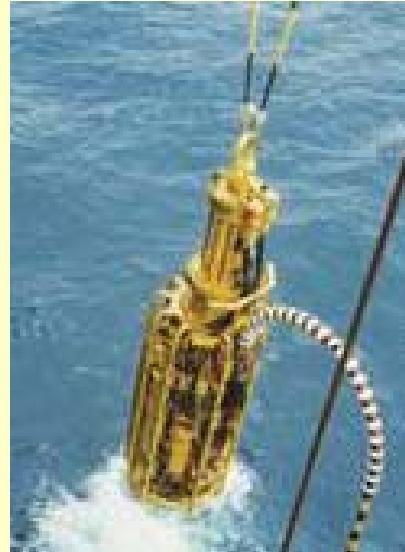
بشقابک های
ارتعاشی متصل به
شمع کوب
هیدرولیکی

Hydraulic Underwater
Pile Hammer



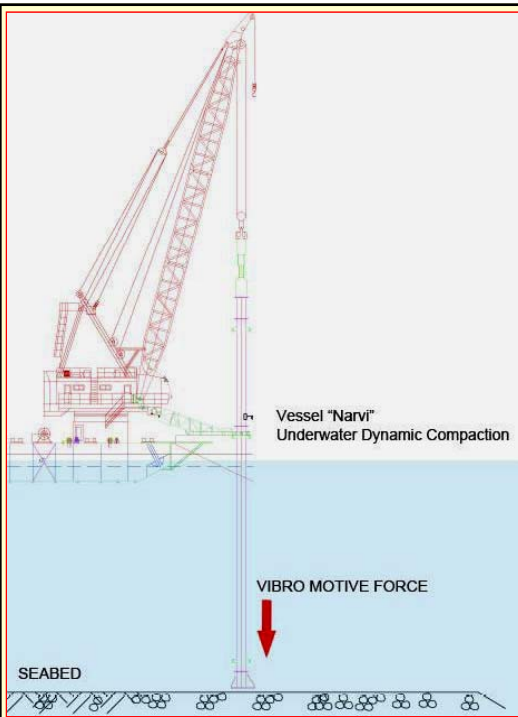


شمع کوب زیر آب



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

بارجی برای تراکم سطحی

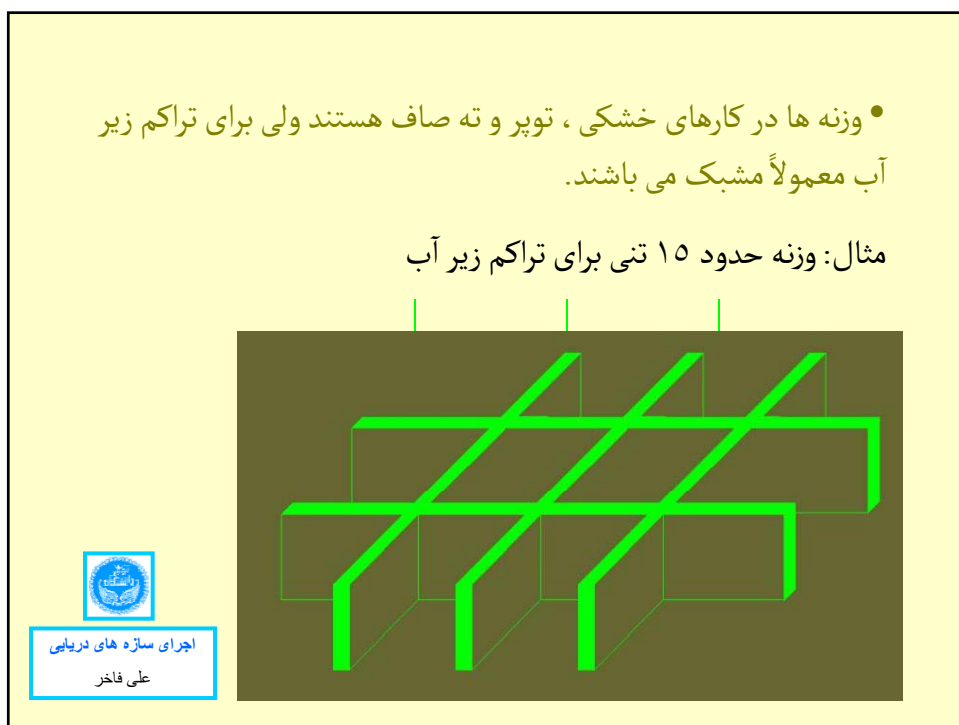




اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

تراکم با تحکیم دینامیکی



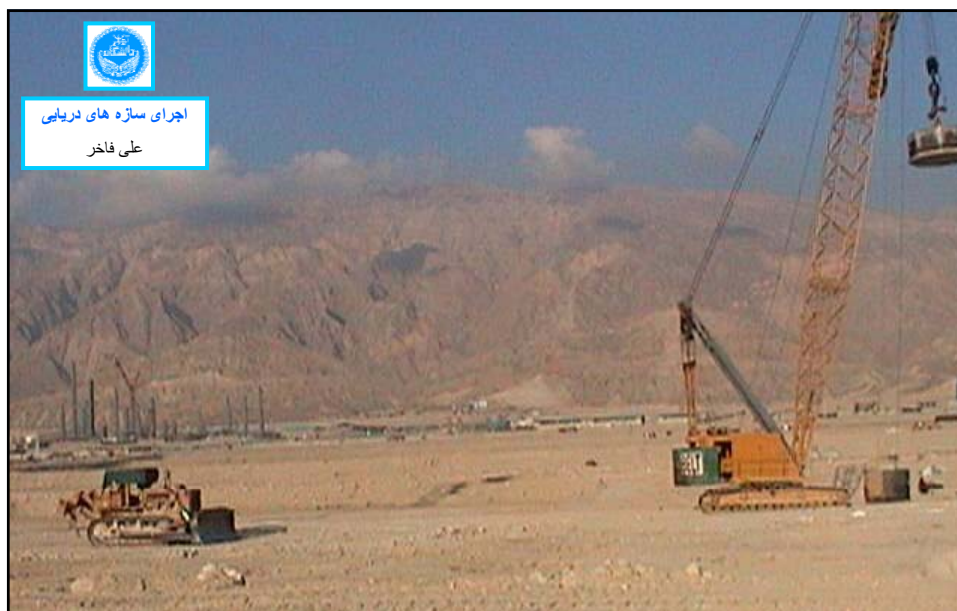




اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

- تسطیح اولیه قبل از تراکم دینامیکی متداول است
- استفاده از جرثقیل بوم خشک به دلیل آسیب پذیری جرثقیل معمولی ضروری است.



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

- نحوه اتصالات قلاب جرثقیل به وزنه و محل ثقل وزنه باید چنان باشد که وزنه در هنگام سقوط به دلیل خروج از مرکزیت کج نشود.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

- وزن وزنه معمولاً به حداکثر ۳۰ تن و ارتفاع سقوط به حداکثر ۳۰ متر محدود می شود.
- وزن ۲۰ تنی و ارتفاع ۲۰ متری آسیب کمتری به جرثقیل وارد می کند.

۵۵



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

محاسبه عمق تأثیر تراکم دینامیکی

$$h = n\sqrt{H.W}$$

h: عمق تأثیر تراکم دینامیکی (m)

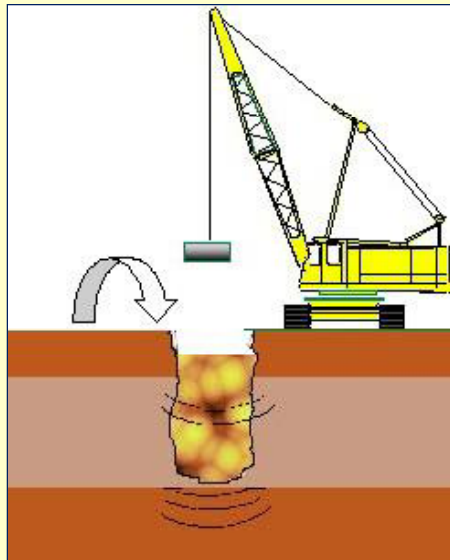
n: ضریب تابع لایه های خاک

H: ارتفاع سقوط وزنه (m)

W: وزنه به Ton

۵۶

Dynamic Replacement



اعمال ضربه و
پر کردن چاه با
مصالح مناسب

انجام این کار در دریا مشکل است.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

مثال : اصلاح زمین در احداث حوضچه تعمیر کشتی در
بندر نظامی برست



Brest Naval Port in France

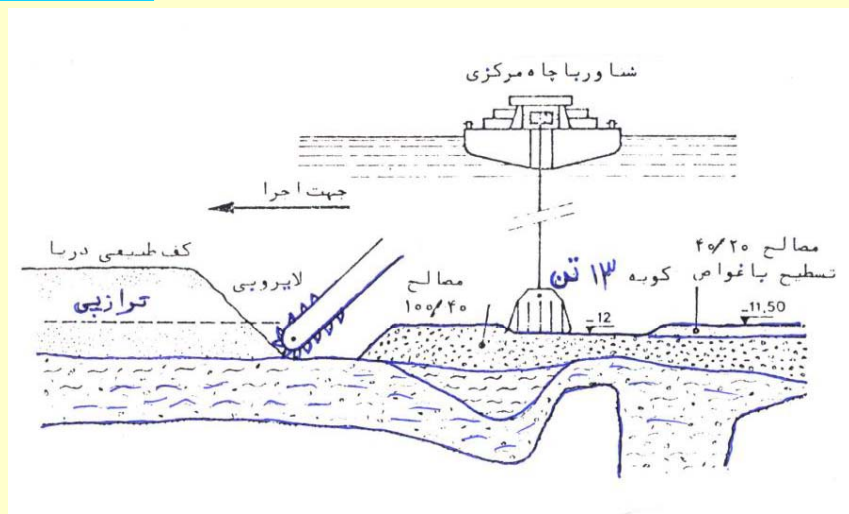


- ۱- لایروبی و برداشت لایه بسیار نرم
- ۲- انجام خاکریزی مصالح شنی
- ۳- تراکم دینامیکی زیر آب
- ۴- ایجاد لایه مسطح و تراز شده با غواص



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

احداث حوضچه تعمیر کشتی در بندر نظامی پرست



۵۶



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

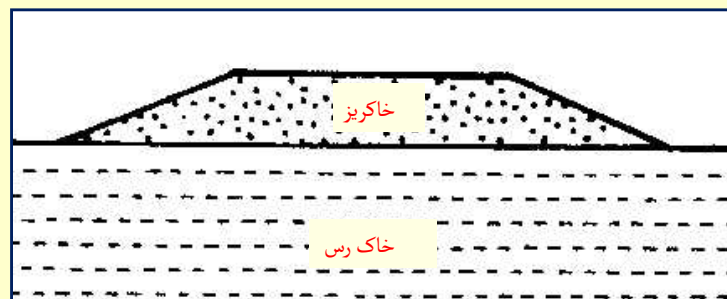
پیش بارگذاری

۶۰



روش پیش بار گذاری

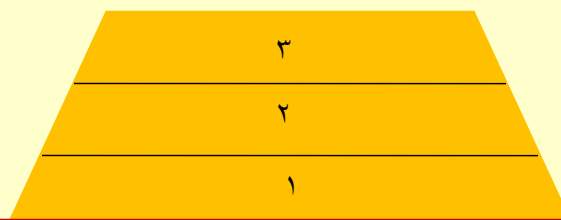
- ❑ اعمال بار بر سطح خاک رس اشباع به مدت مشخص موجب تحکیم و بهبود آن می شوند.
- ❑ در ساحل خیلی کاربرد دارد ولی در دریا و بنادر هم اجرا شده است.
- ❑ اعمال بار معمولاً با خاکریزی انجام می شود.



اجرای ستاره های دریایی
علی فاخر

گاهی stage construction برای اجرای خاکریز به کار میرود.

چون اعمال کل بار خاکریز موجب گسیختگی می شود ، بار خاکریز را در چند مرحله با فواصل زمانی زیاد اعمال می کنند.





اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

زهکش قائم

- ☐ در ترکیب با پیش بارگذاری اجرا می شود.
- ☐ زهکشی های قائم موجب تسریع تحکیم و کاهش مدت زمان پیش بارگذاری می گردند.
- ☐ در ایران در ساحل سابقه دارد.
- ☐ در دریا هم در دنیا انجام شده است.

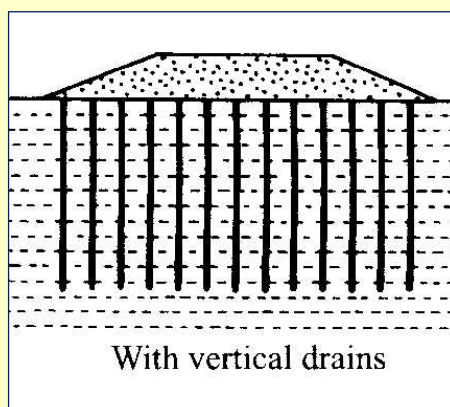
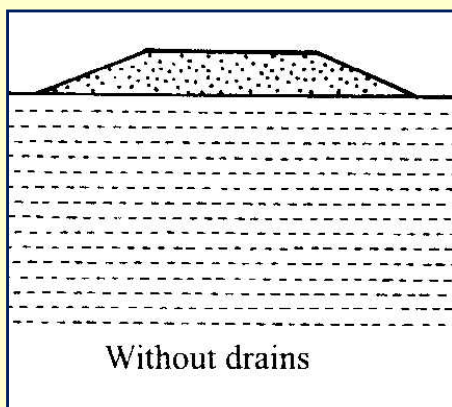
۶۳



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اصلاح بستر زیر خاکریز با پیش بارگذاری

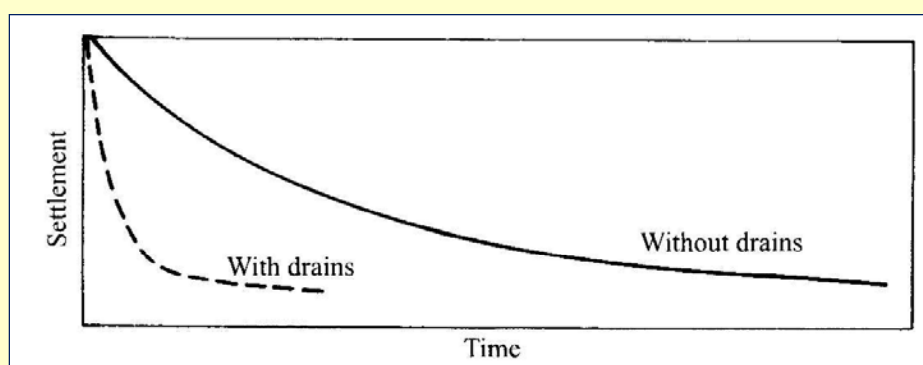




اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

تسریع اصلاح بستر زیر خاکریز با پیش بارگذاری با زهکش قائم



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اجرای زهکش قائم در دریا





اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

ژئوسینتتیک

۶۷



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

ژئوسینتتیک

- یک لایه افقی ژئوسینتتیک در زیر خاکریز برای افزایش باربری زمین به کار میرود.
- در دریا هم بسیار انجام شده است.

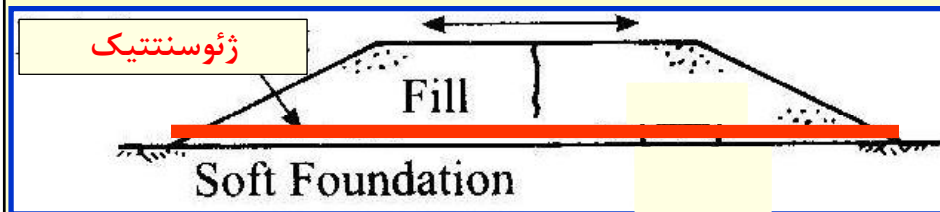
۶۸



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

اصلاح زمین زیر خاکریز با استفاده از یک لایه افقی

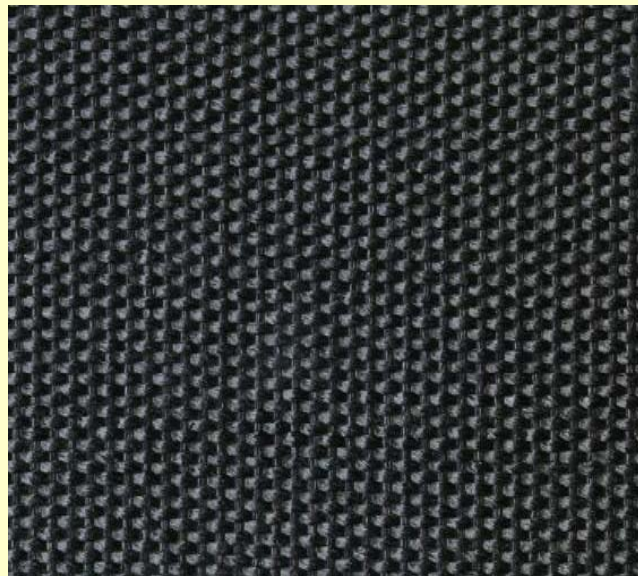
ژئوسنتتیک



مثال از ژئوسنتتیک woven geotextiles

Polypropylene

- Long-Life characteristics
- Cost effective



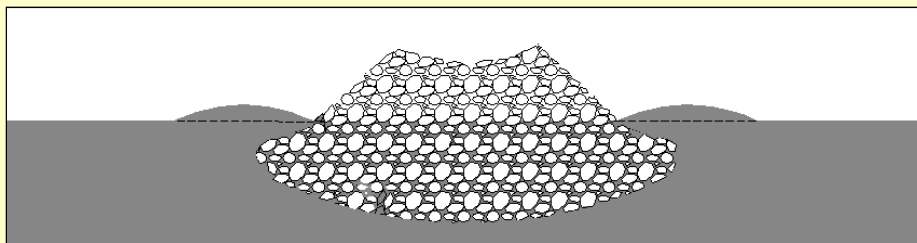
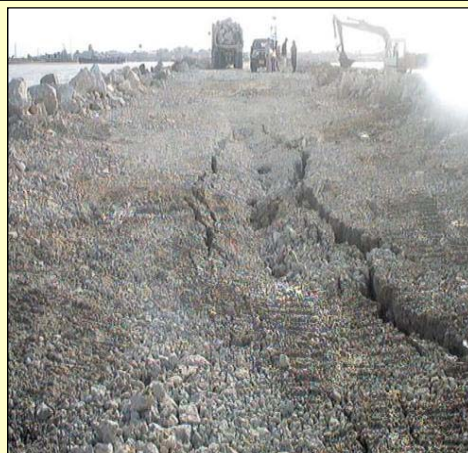
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

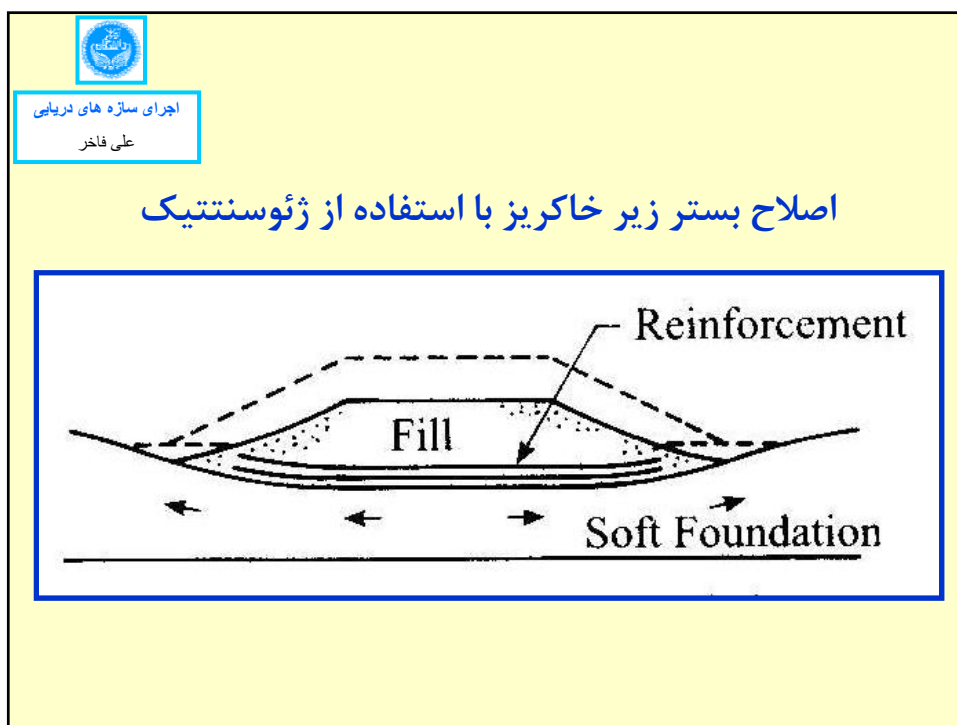
خاکریز روی بستر سست بدون اصلاح زمین



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

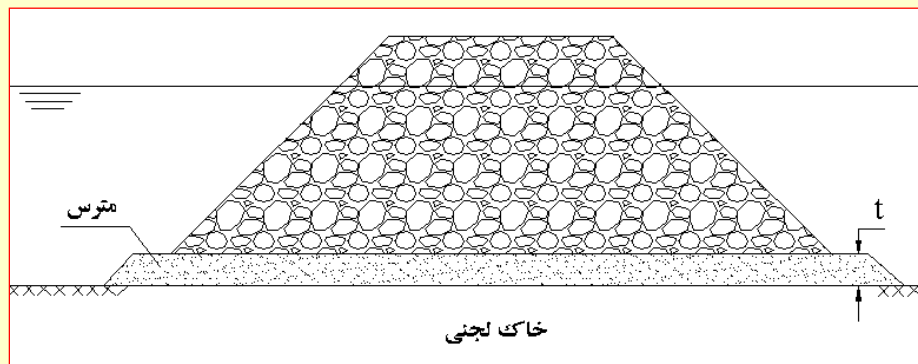






اجرای سازه های دریایی

علی فاخر



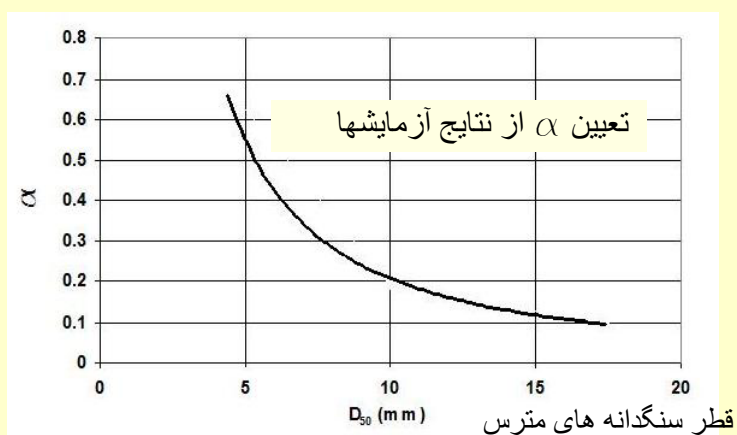
لایه مترس دانه ای برای جلوگیری از فرورفت سنگهای موج شکن

نحوه تعیین ضخامت لایه مترس دانه ای

$$p = \alpha t$$

p : فشار وارد بر لایه مترس

t : ضخامت لایه مترس





اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

تزریق با فشار بالا

۷۷



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

سایر روشهای اصلاح زمین

- تزریق عادی با فشار کم انجام میشود ولی حفرات زمین به مدت طولانی تحت فشار دوغاب قرار میگیرند تا پر شوند.
- تزریق با فشار زیاد یا جت گروتینگ دوغاب را با فشار بسیار زیاد و به سرعت اعمال میکند تا بافت خاک متلاشی شود و مخلوطی از خاک و دوغاب به وجود آید.

۷۸

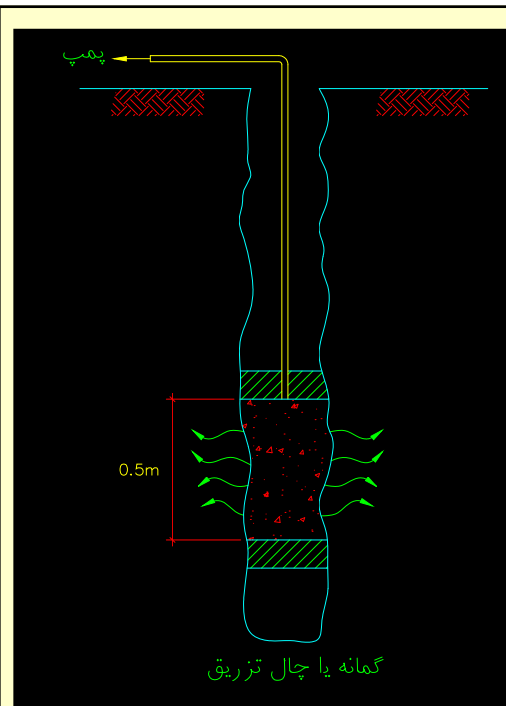


تزریق عادی روشی برای بهبود زمین‌های دانه‌ای با نفوذ پذیری کافی است.

تجهیزات تزریق عادی

- ❑ دستگاه حفاری در زمین برای ایجاد چال تزریق
- ❑ همزن برای تولید دوغاب تزریق (محلول آب و سیمان)
- ❑ پمپ برای انتقال دوغاب از همزن به چال تزریق

۷۹



تزریق عادی در گمانه

حفره‌ای مشابه گمانه
حفر میشود و سپس در
طولی از آن، دوغاب
سیمان با فشار تزریق
میگردد.





نحوه محاسبه زمان مورد نیاز تزریق در یک زمین ساحلی جهت کاهش نفوذ پذیری و تسهیل گودبرداری زیر سطح آب

- ☐ هر دستگاه حفاری فضای 4×8 متر مربع می خواهد. (مساحت فضای کار تعداد دستگاه حفاری که همزمان کار کنند، با توجه به مساحت زمین تصمیم گیری میشود.)
- ☐ هر دستگاه در دو شیفت کاری ۱۰ متر چال تزریق حفاری می کند. (هر شیفت ۸ ساعت است و اگر ۸۰۰۰ متر حفاری گمانه یا چاه تزریق داریم، با ۸ دستگاه حفاری حدود ۱۰۰ روز حفاری داریم.)
- ☐ پمپ تزریق ۱۴ ساعت در هر دو شیفت کاری می تواند روشن باشد.
- ☐ ارتفاع مقطع تزریق در هر گمانه ۵/۰ متر است. اگر در طول ۴۴۰۰ متر تزریق در گمانه ها داشته باشیم ۸۸۰۰ بار تزریق داریم.

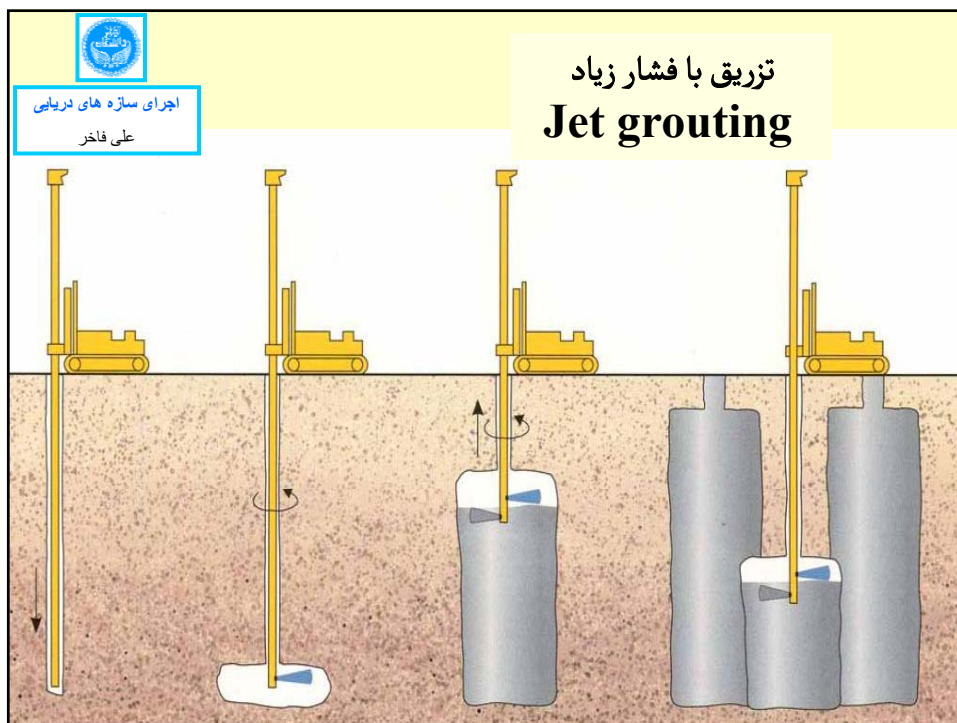


نحوه محاسبه زمان مورد نیاز تزریق در یک گود ساحلی

- ☐ اگر شعاع تأثیر هر گمانه ۵/۱ متر باشد و ۳۰٪ هم فضای خالی در بین دانه های خاک داشته باشیم و راندمان تزریق ۱۰۰٪ باشد. $5/1 \text{ m}^3$ دوغاب در هر مقطع نیم متری باید فرستاده شود.
- ☐ پمپ حدود ۱۰ الی ۱۵ لیتر دوغاب در دقیقه پمپ می کند. پس تزریق دوغاب در هر $5/1 \text{ m}^3$ باید ۱۰۰ دقیقه طول بکشد.

- تزریق عادی زمین طبیعی در زیر آب معمولاً امکان پذیر نیست.

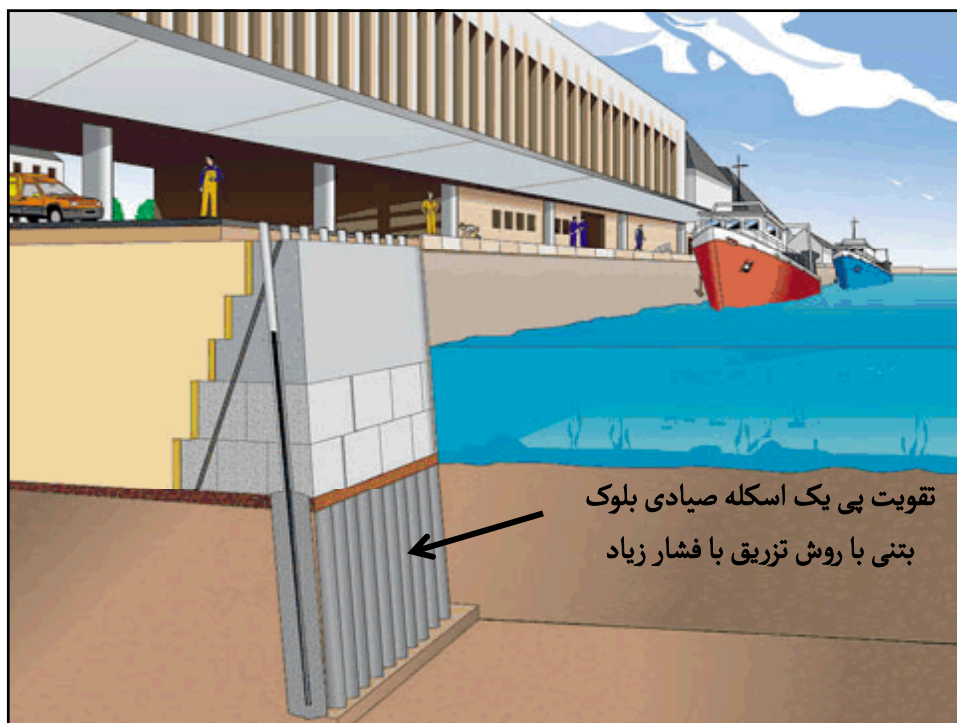
- تزریق عادی زمین‌های ساحلی برای کاهش نفوذ پذیری جهت گودبرداری مقدور است.





اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

دستگاه تزریق با فشار زیاد Jet grouting



تزریق با فشار بالا در عمق آب ۱۴ متر از روی بارج خودبالارو
Borusan Port



اجرای سازه های دریایی
 علی فاخر

اجرای تزریق با فشار زیاد
Jet grouting

Museum of Islamic Art Park
 at Doha



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر



ملاحظات زیست محیطی در
بکارگیری تزریق با فشار زیاد در زیر
آب وجود دارد زیرا مقدار زیادی
دوغاب وارد آب میشود مگر اینکه
ابزاری برای کنترل دوغاب به کار
رود.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

روش اختلاط عمیق



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اختلاط عمیق:

Deep Soil Mixing

میله حفاری با مته خاصی وارد زمین میشود تا به عمق مورد نظر برسد. سپس دوغاب از نوک میله خارج میگردد و مته دوغاب و خاک سست را هم میزند و به تدریج میچرخد و بالا می آید.

۹۱



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

مته در روش اختلاط عمیق



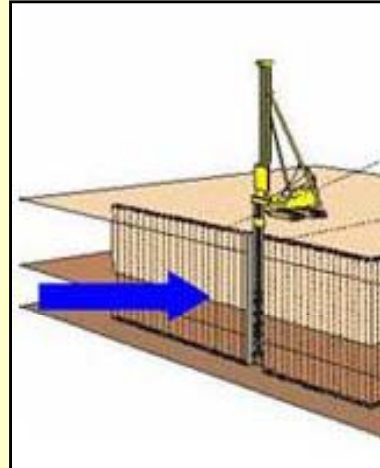
۹۲



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اختلاط عمیق



۹۳



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

DSM (Deep Soil Mixing Method)



از ابزار توسعه یافته توسط شرکت

Penta-Ocean Construction

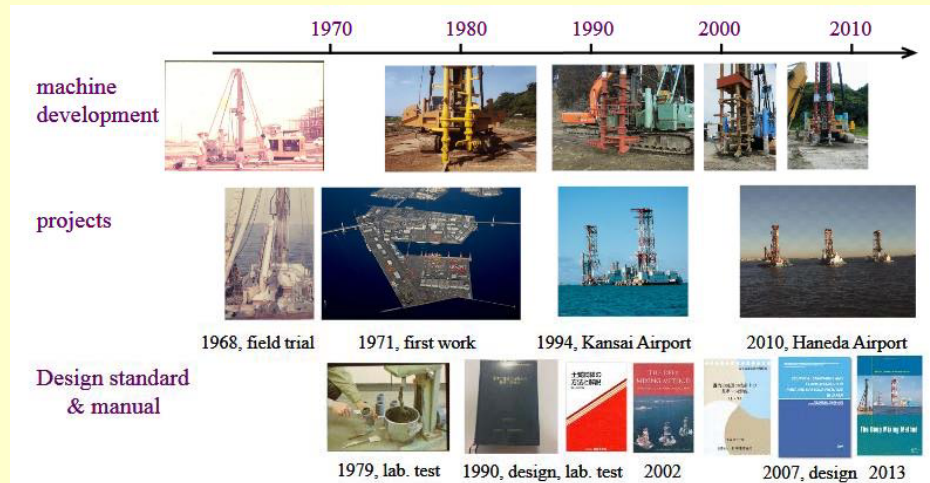
<http://www.penta-ocean.co.jp>

۹۴



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

تحقیق و توسعه در خصوص اختلاط عمیق در ژاپن



۹۵



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

حفاظت بستر دریا در برابر آبشستگی

Scour protection

۹۶



نکات مهم حفاظت در برابر آبشستگی

❑ متداول ترین روش برای جلوگیری از آب شستگی بستر، استفاده از مصالح سنگی است. سنگدانه های با قطر مناسب اطراف سازه و روی بستر ریخته می شود.

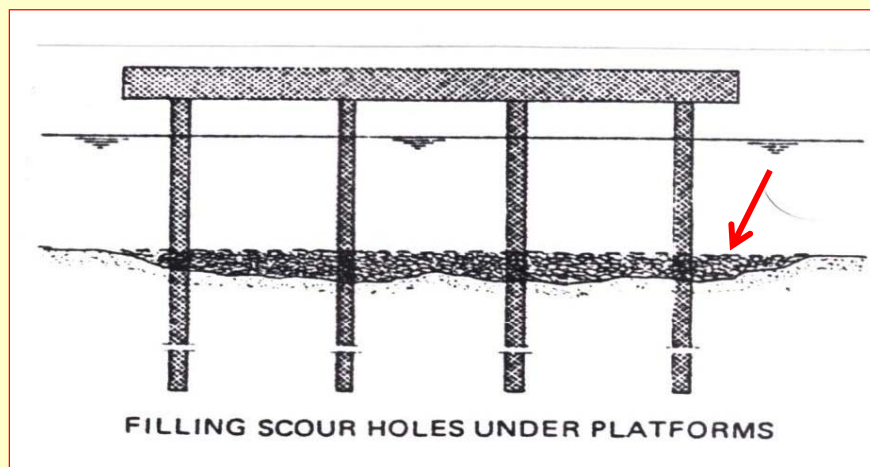
❑ قطر مناسب سنگدانه ها بستگی به سرعت جریان آب دارد. ممکن است در عمق ۲۰ الی ۳۰ متر ذرات به اندازه شن و در سطح قطعه سنگهای ۱۰ تنی بکاررود.

❑ ضخامت لایه ها چنان تعیین می گردد که با رواداریهای زمان ساخت سازگار باشد.

۹۷



سنگریزی جهت حفاظت بستر دریا و پر کردن حفره های ایجاد شده پیرامون سازه های دریایی

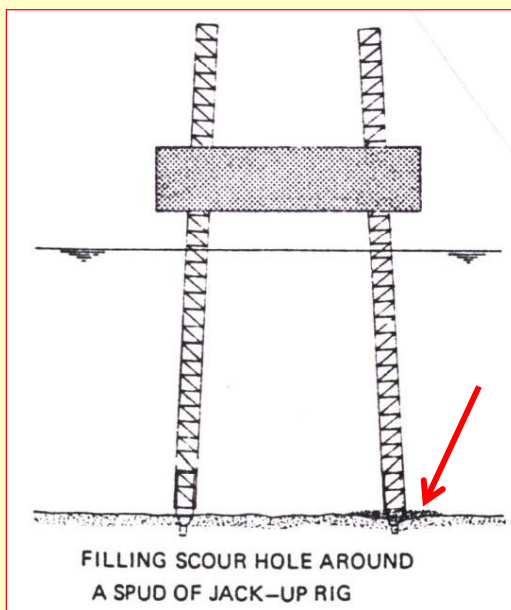


۹۸

اجرای لایه حفاظتی بستر در نزدیک یک سکو



۹۹



سنگریزی پر کردن حفره
های ناشی از آبشستگی
پیرامون سازه های دور از
ساحل

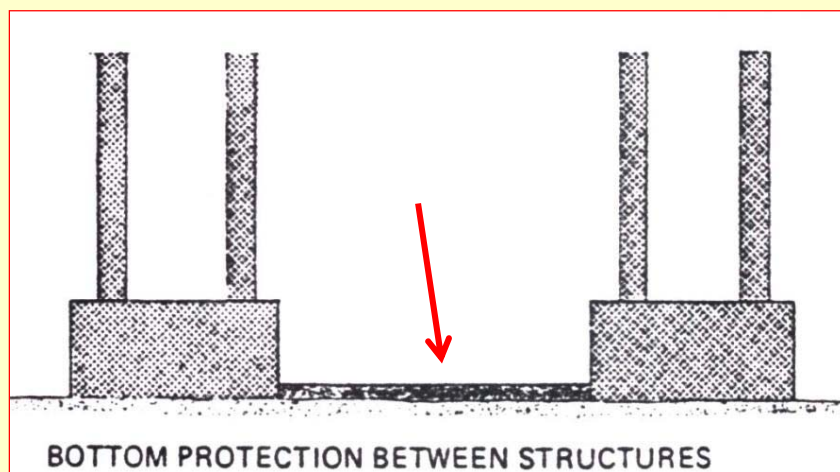


۱۰۰

اجرای لایه حفاظتی بستر در اطراف پایه یک جک آپ حفاری



سنگریزی جهت حفاظت بستر دریا در فاصله
بین سازه های دریایی



۱۰۲



اجرای لایه های سنگدانه‌ای معمولاً با ریختن مصالح از بالای سطح آب از روی بارج یا سازه اصلی صورت می‌گیرد.

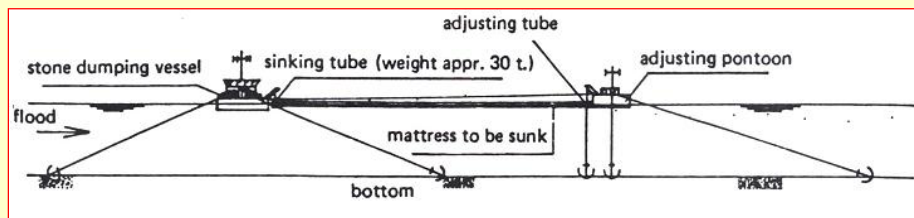
۱۰۳



استفاده از لایه‌های فیلتر مصنوعی مثل ژئوسینتتیک هم به جای مصالح سنگی برای حفاظت بستر رواج دارد.

مراحل نصب یک لایه مترس

مرحله اول - استقرار



مترس در اینجا از یک لایه ژئوسینتتیک به عنوان فیلتر و یک لایه سنگریزی تشکیل شده است

۱۰۴



مرحله اول - استقرار

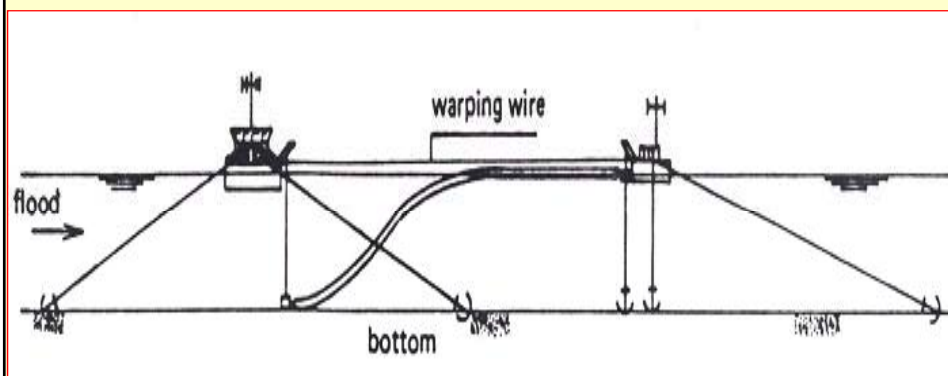


لایه مترس قبل از غرق
شدن



مراحل نصب یک لایه مترس

مرحله دوم - غرق کردن لایه ژئوسینتتیک

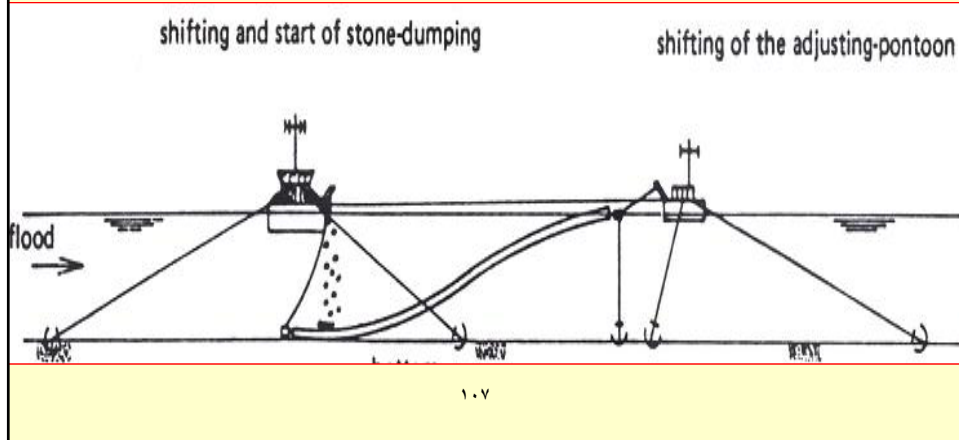


۱۰۶



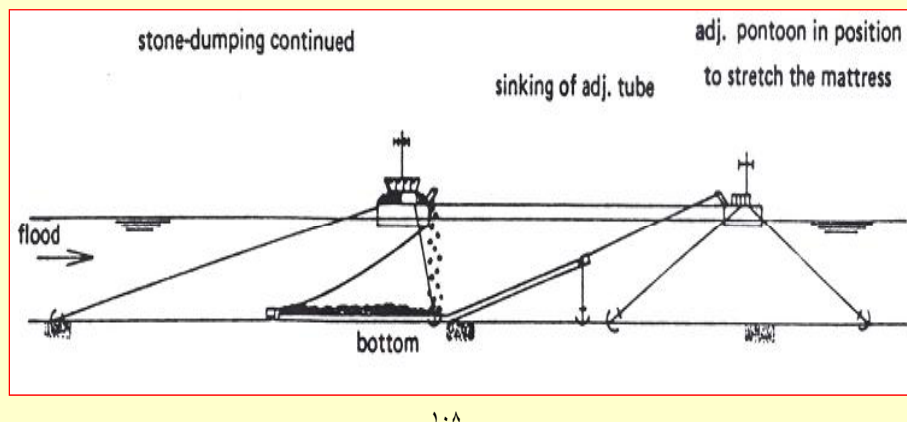
مراحل نصب یک لایه مترس

مرحله سوم - شروع ریختن سنگ



مراحل نصب یک لایه مترس

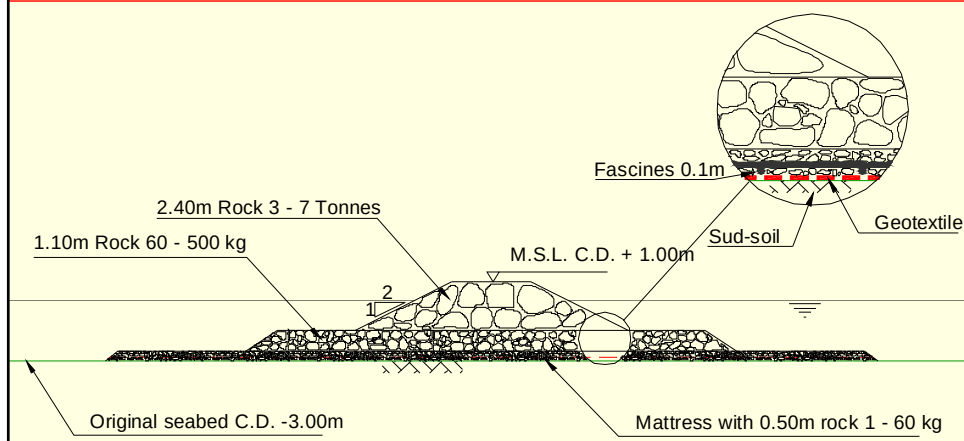
مرحله چهارم - ادامه ریختن سنگ





اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

Fascine mattresses with geotextiles



شبكة متشكل از ساقه نی که یک لایه ژئوسینتتیک در زیر آن قرار دارد تا نصب ژئوسینتتیک ساده باشد.



اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

ژئوسینتتیک

Bamboo



