اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اصلاح زمین در دریا و ساحل

ویرایش بهمن 1402

خواص ژئوتکنیکی بستر دریاها

- خواص ژئوتکنیکی بستر دریاها در دور از ساحل به دلیل تحکیم رسوبات، اغلب رضایت بخش است ولی گاهی به بسترهای نامناسب برخورد می شود.

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

مثال هایی از زمین های نامناسب

- خاک رسی نرم و تحکیم نیافته
- خاک ماسه ای سست و مستعد روانگرایی
- ماسه های روان روی بستر دریا

دو روش کلی مقابله با بستر نامناسب

۱- طراحی سازه متناسب با شرایط بد بستر دریا

- اغلب در کارهای دور از ساحل به کار می رود.

۲- اصلاح و بهبود بستر دریا

- می تواند در کارهای ساحلی به کار رود ولی اصلاح زمین در دریا ساده نیست و گران است.

روشهای اصلاح بستر دریا

- جایگزینی
- تراکم زیرآب
- پیش بارگذاری
- ژئوسینتتیک
- سایر روش ها

جایگزینی

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

روش جایگزینی دو روش دارد:

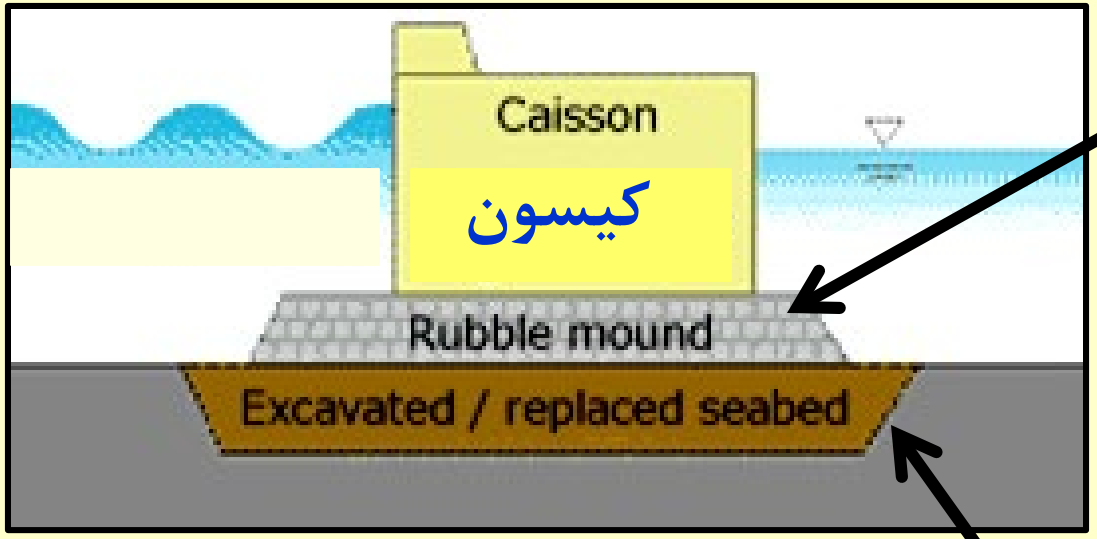
الف- برداشت خاک نامناسب.

ب – کنارزدن خاک نامناسب.

لایروبی بستر و جایگزینی با مصالح مناسب

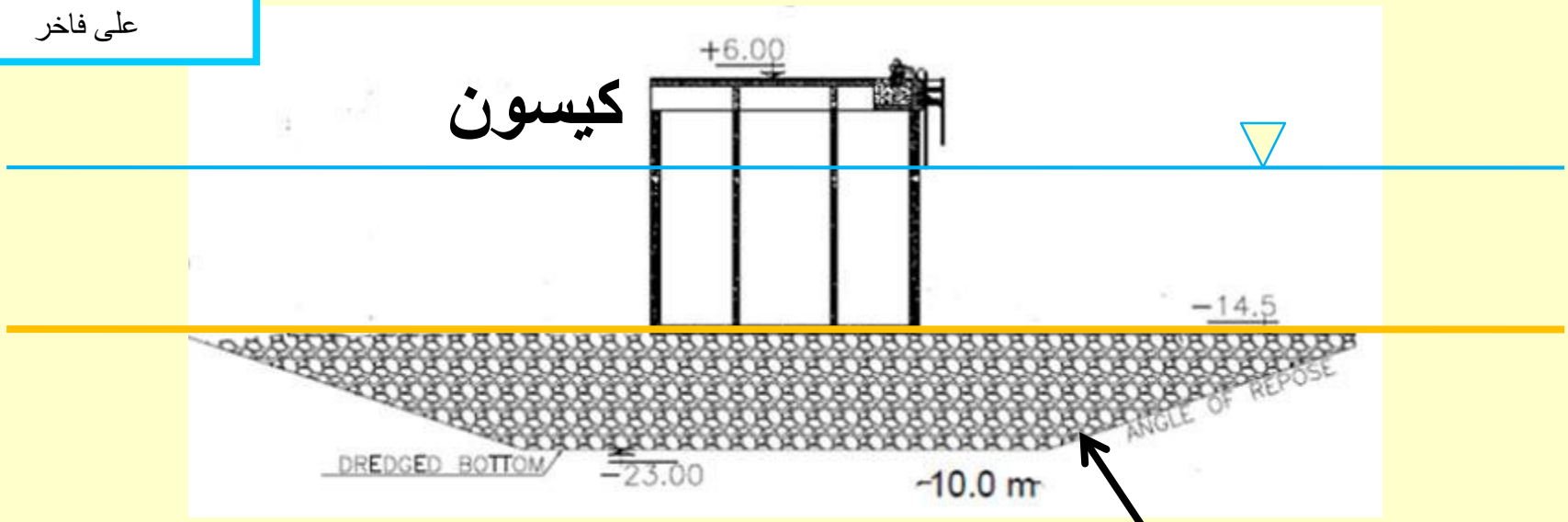
اجرای سازه های دریایی

علی فاخر



سنگ ریزی

خاکبرداری بستر یک موج شکن کیسونی و جایگزینی با مصالح مناسب



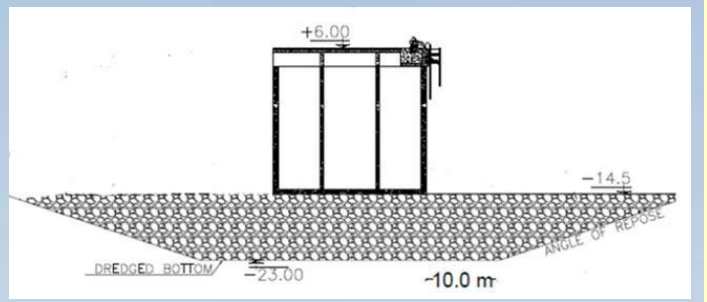
لایروبی بستر اسکله های کیسونی تا عمق مناسب و جایگزینی با مصالح نیمه خودتراکم در بندر تنبک در سال های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

بندر خدماتی تمبک در زمان احداث در 250 کیلومتری جنوب شرقی بوشهر

لایروبی بستر اسکله های کیسونی و جایگزینی با مصالح مناسب

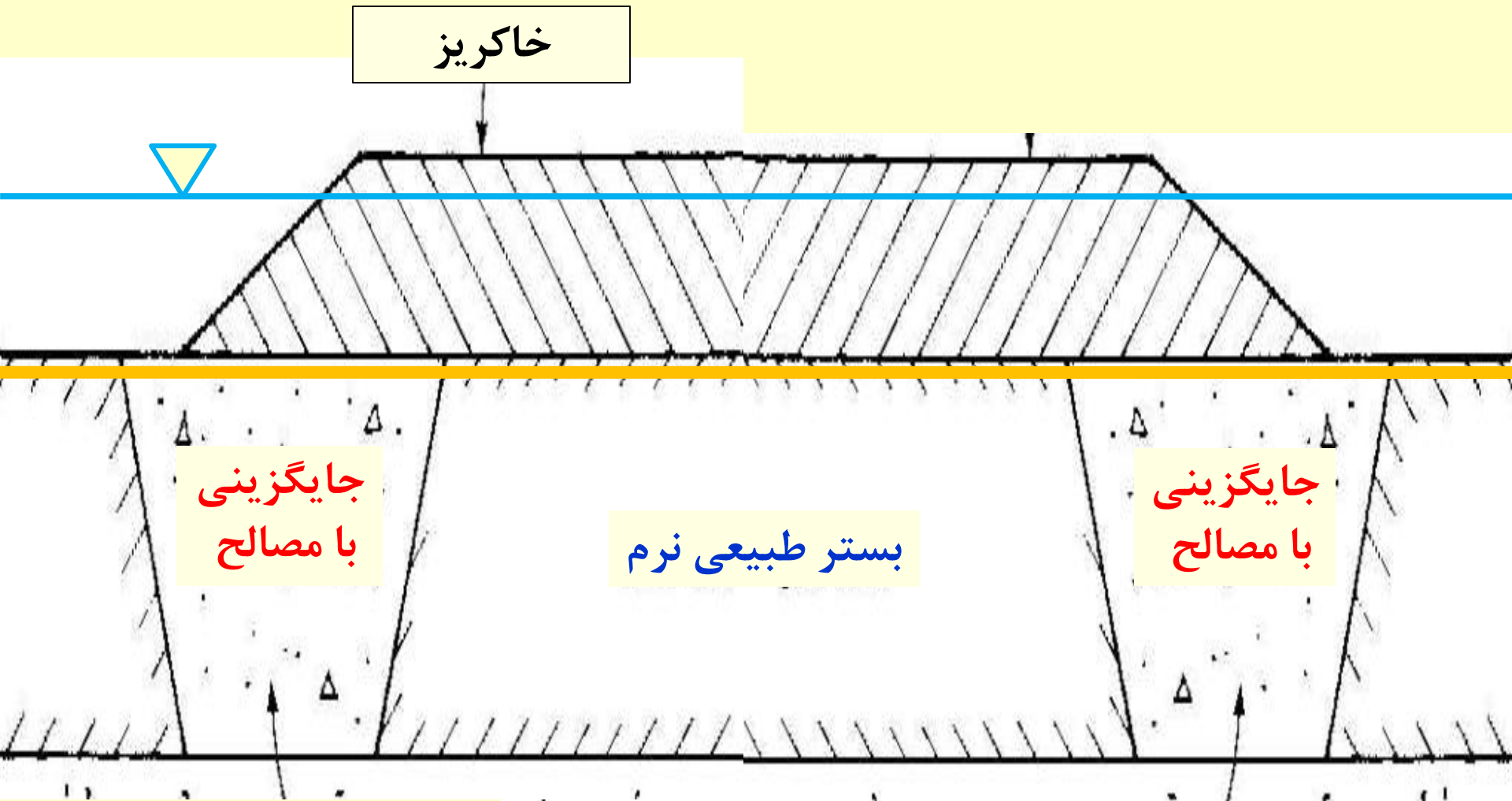
اجرای سازه های دریایی

علی فاخر



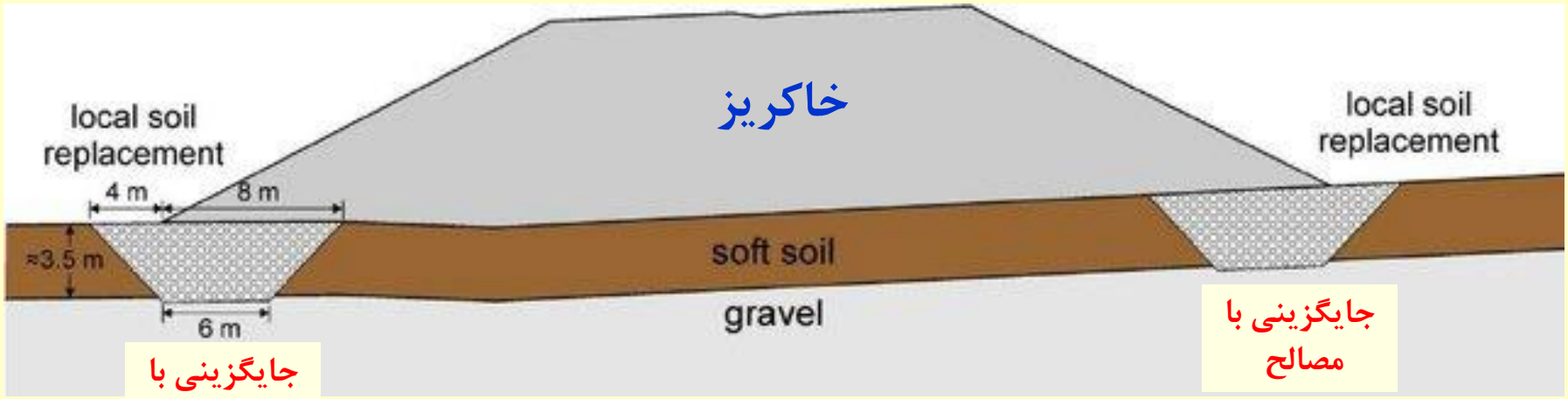
تراکم مصالح سنگی در پروژه تنبک با ویبره کردن شمع در درون مصالح

مثالی از لایروبی بخش کناری بستر خاکریز و جایگزینی با مصالح مناسب

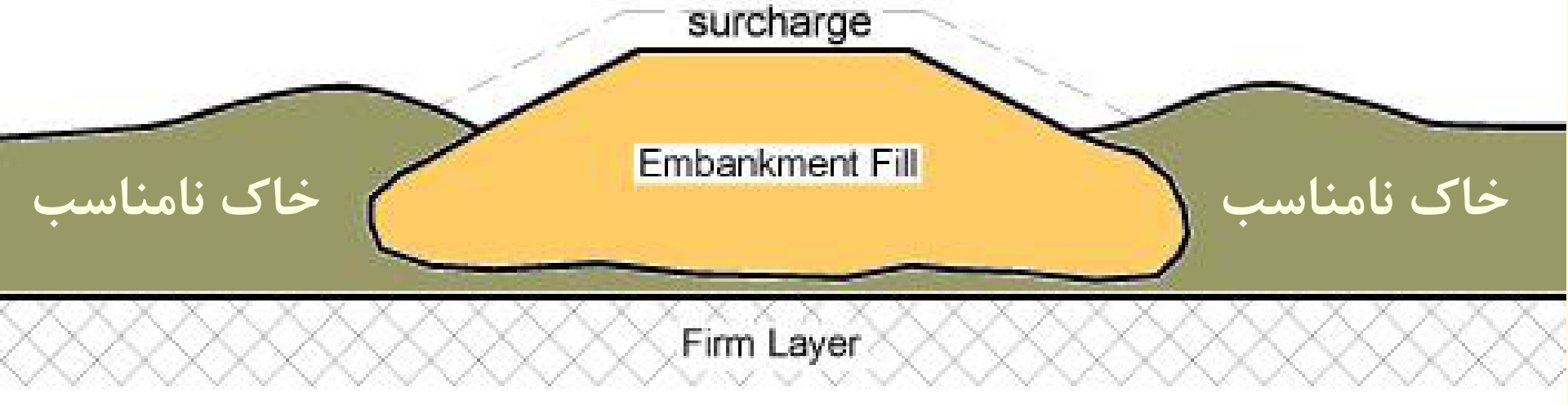


اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

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



لایروبی بهترین روش برای برداشتن خاک نامناسب است ولی کنارزدن لایه رسی خیلی نرم با وزن خاک ریخته شده روی آن هم قابل انجام است.

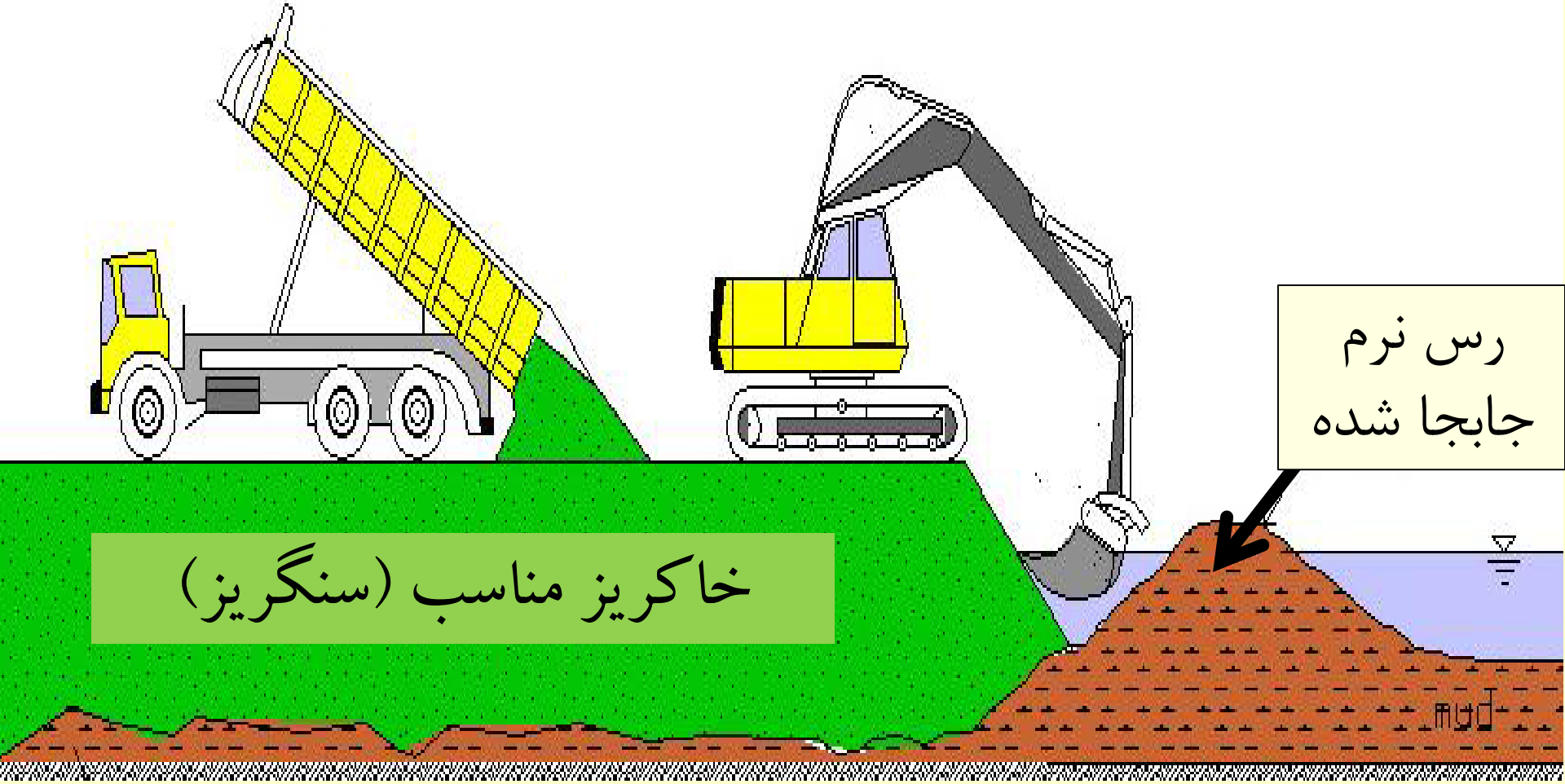


اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

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

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

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



ضخامت رس نرم در این روش باید کم باشد و در زیر آن لایه ای محکم باشد

ضخامت رس نرم در این روش باید کم و در زیر آن، لایه ای محکم باشد

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

جابجایی رس نرم بر اثر وزن موج شکن در حال ساخت

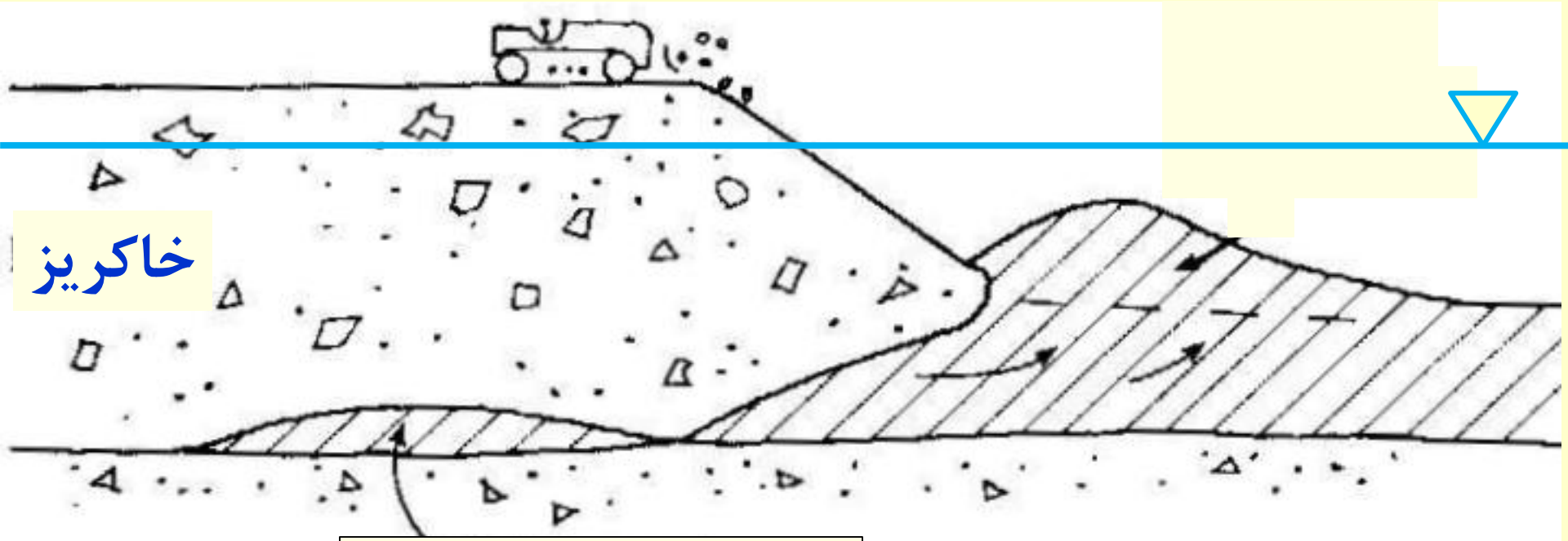
Barth , Mecklenburg – Vorpommern

موج گل

موج شکن در حال ساخت

استفاده از یک لایه
ژئوسینتتیک
میتواند به عدم
اختلاط مصالح
موج شکن و بستر
لجنی کمک کند.

کیفیت و دقت اجرا در این روش پایین ولی ارزان تر از لایروبی است.



تراکم زیر آب

تجهیزات تراکم مصالح دانه ای زیر آب

- انواع استوانه های لرزان
- بشقابک های ارتعاشی
- تحکیم دینامیکی با وزنه

استوانه لرزان

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 خاک فرو می شود. سپس مرتعش می گردد.

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

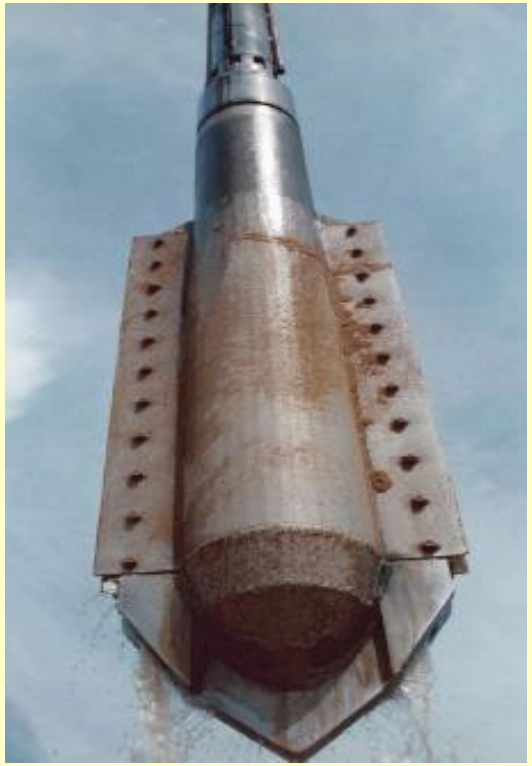
اصلاح زمین احیا شده از مصالح لایروبی با انجام تراکم عمقی توسط ارتعاش دهندهٔ لوله‌ای

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر



ارتعاش دهندۀ لوله‌ای یا استوانه ای

تراکم زمین با فرو کردن ارتعاش
دهندهٔ لوله‌ای در بستر دریا

تراکم با چند ارتعاش دهندهٔ لوله‌ای

انواع تجهیزات تراکم ارتعاشی در عمق
Vibro flotation

1. Vibro-Compaction
فقط تراکم میدهد و مصالح جدید اضافه نمی کند.

2. Vibro-Replacement
افزون بر تراکم، مصالح جدید در درون ستون ارتعاشی ریخته می شود.

تراکم با ارتعاش دهندهٔ لوله‌ای که ستون شنی هم ایجاد میکند.

Vibro-Replacement

Vibro-Replacement

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

Sand Compaction Ship "TOUSHIN No.3"

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

تراکم با فرو کردن ارتعاش دهندۀ لوله‌ای در زمین

Vibro-Replacement

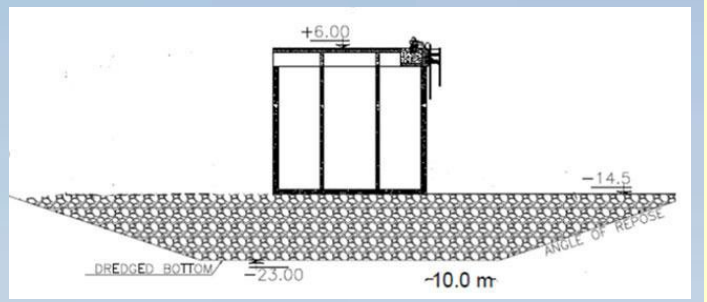
پر کردن حفره با ماسه برای ایجاد ستون شنی

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

ویبره

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

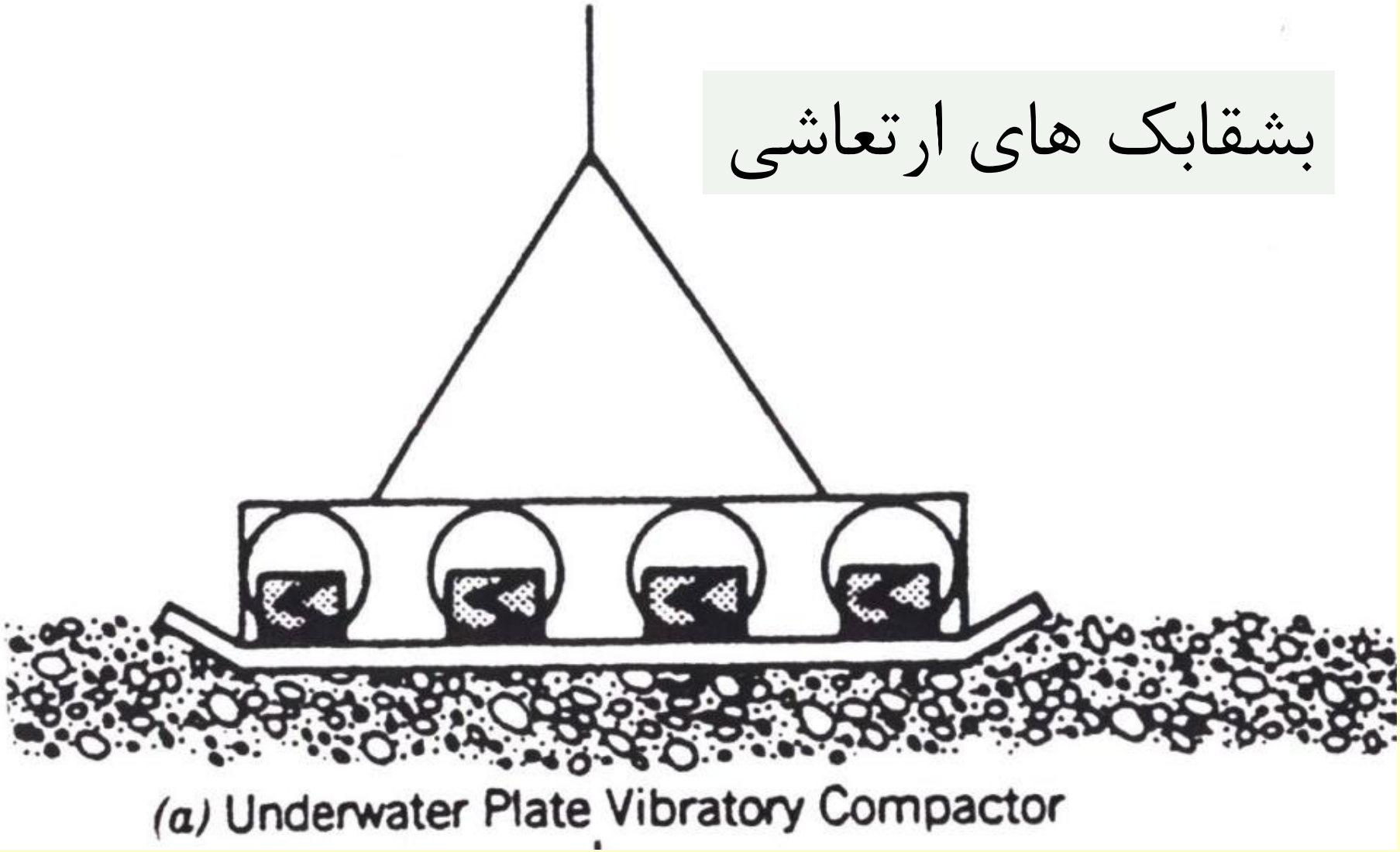


تراکم مصالح سنگی با ویبره کردن شمع در درون مصالح

تراکم با بشقابک ارتعاشی

- استوانه فلزی لرزان سطح خاک را متراکم نمی کند. برای تراکم سطحی از بشقابک های ارتعاشی استفاده می شود.
- ✓عمق تراکم بشقابک های ارتعاشی کم است.

بشقابک های ارتعاشی



(a) Underwater Plate Vibratory Compactor

بشقابک های ارتعاشی کوچک در خشکی

بشقابک های ارتعاشی بزرگ در خشکی

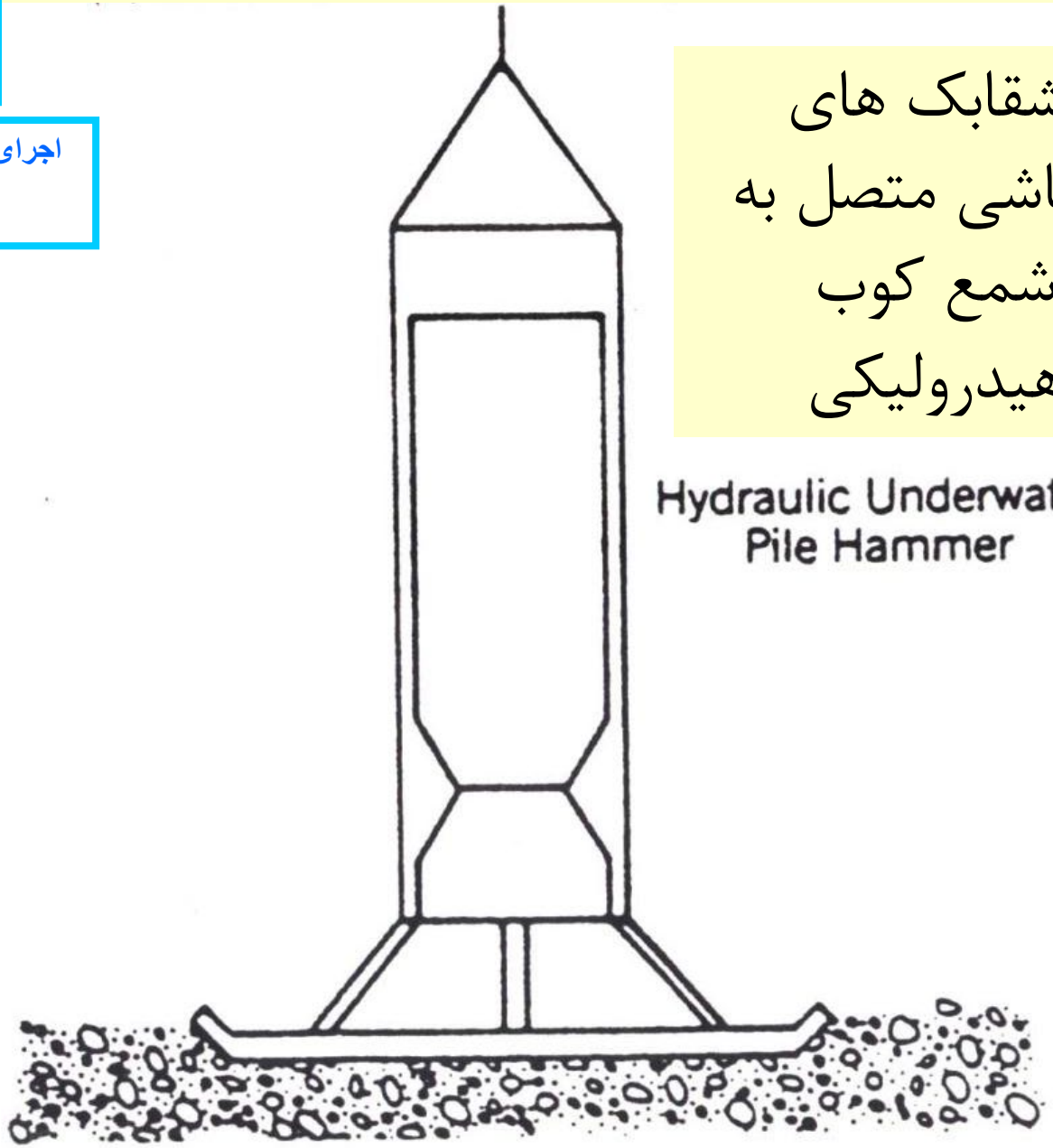
اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

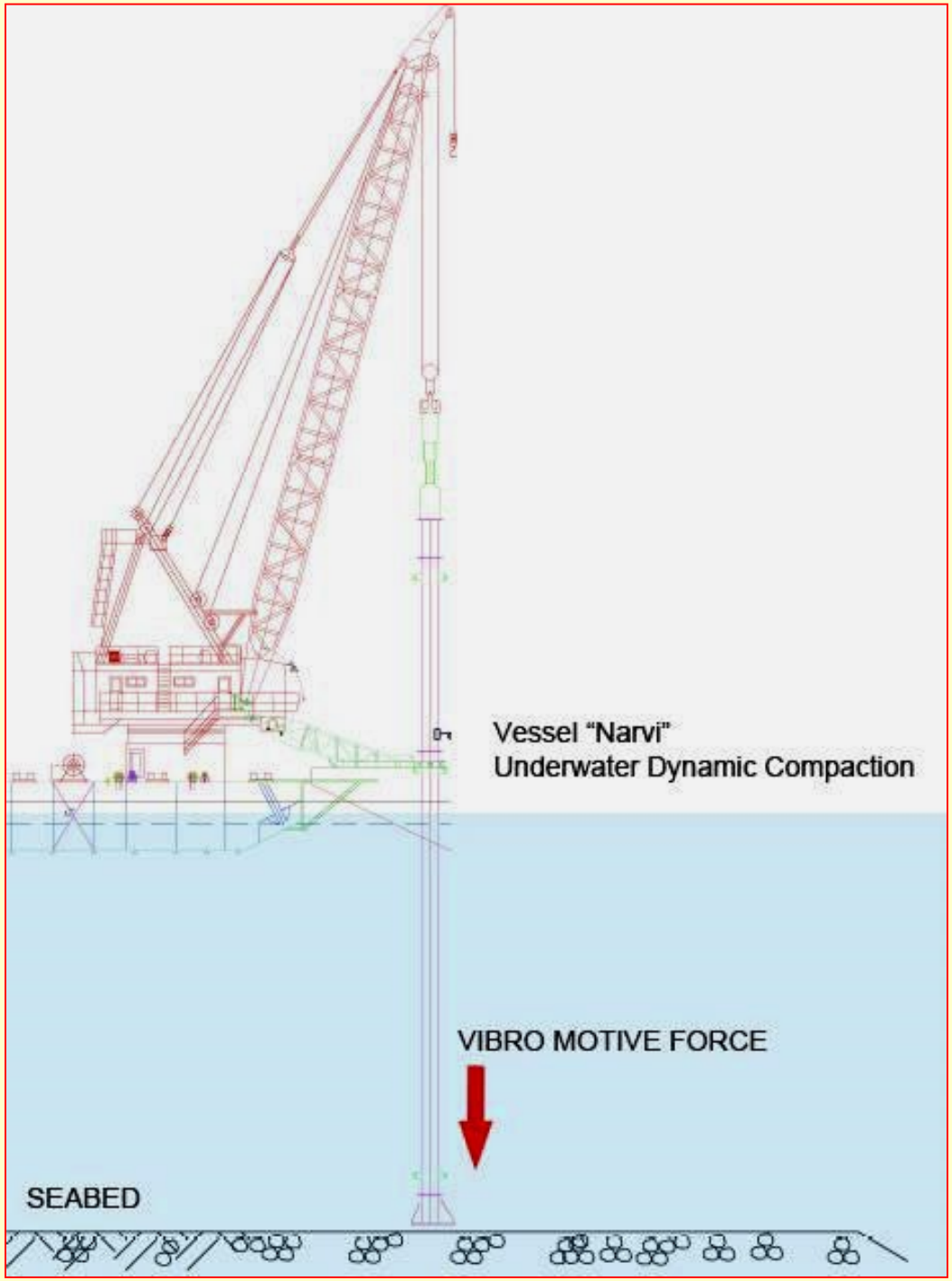
10" x 10“ Hand Tamper

چکش دستی که در زیر آب توسط غواص قابل استفاده است

بشقابک های ارتعاشی متصل به شمع کوب هیدرولیکی



شمع کوب زیر آب



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

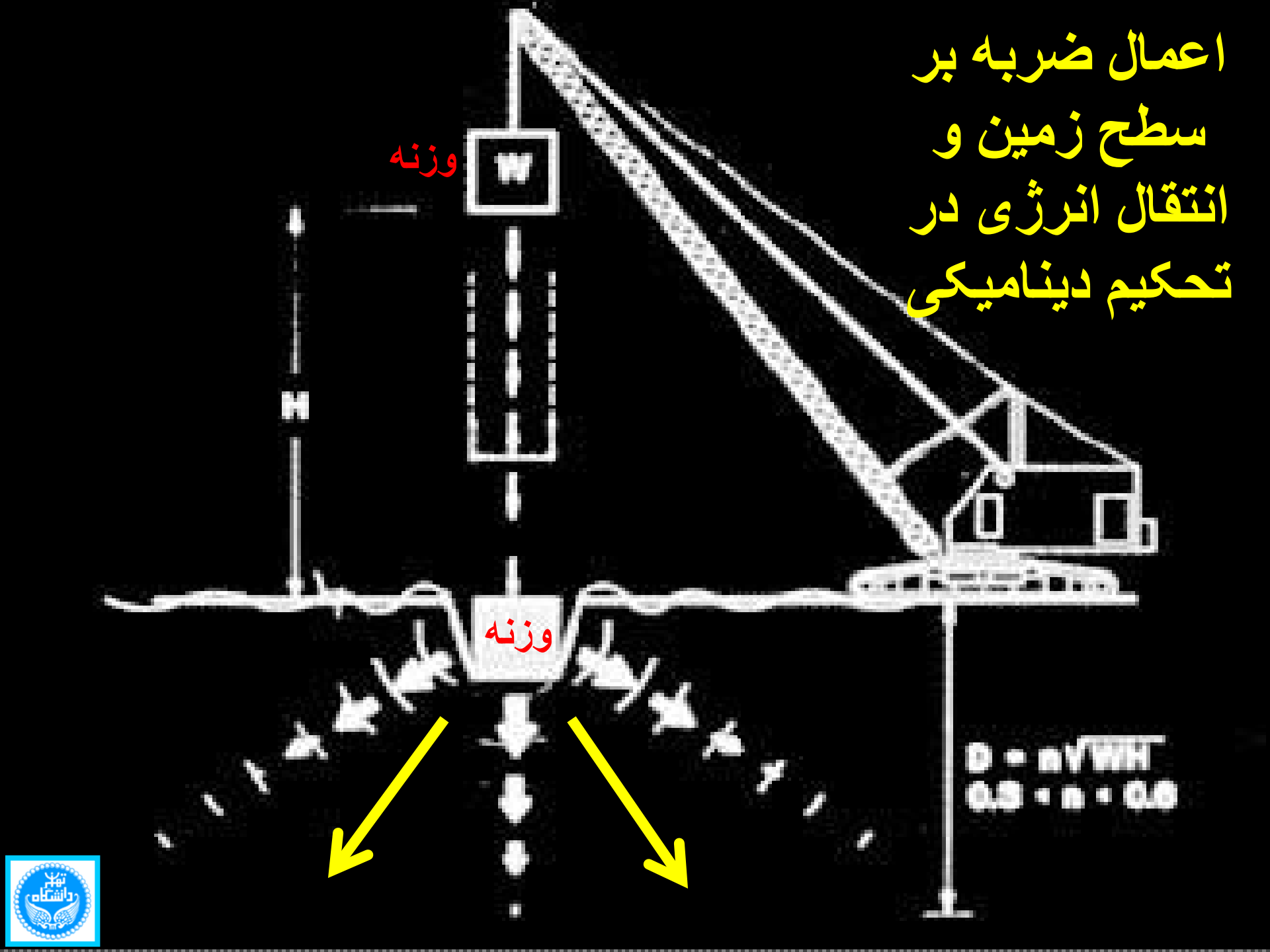
بارج برای تراکم با بشقابک سطحی

بشقابک تراکم
سطحی زیر آب

تراکم با تحکیم دینامیکی

- وزنه های سنگین از ارتفاع کافی بر سطح خاک رها شده و موجب تراکم آن می گردند.
- تحکیم دینامیکی در خشکی و خاک دانه‌ای بیشتر کارآیی دارد ولی در دریا هم به کار رفته است.
- اغلب حداکثر عمق تأثیر تحکیم دینامیکی حدود ۱۰ الی ۱۵ متر می‌باشد.
- در خاک نرم، چاله‌های ناشی از برخورد وزنه با خاک مناسب پر می‌گردد.
- توصیه می شود نشست زمین و فشار آب حفره ای در هنگام تحکیم دینامیکی اندازه گیری شود.

اعمال ضربه بر سطح زمین و انتقال انرژی در تحکیم دینامیکی



تحکیم دینامیکی زیر آب

تحکیم دینامیکی خاک زیر آب

عسلویه

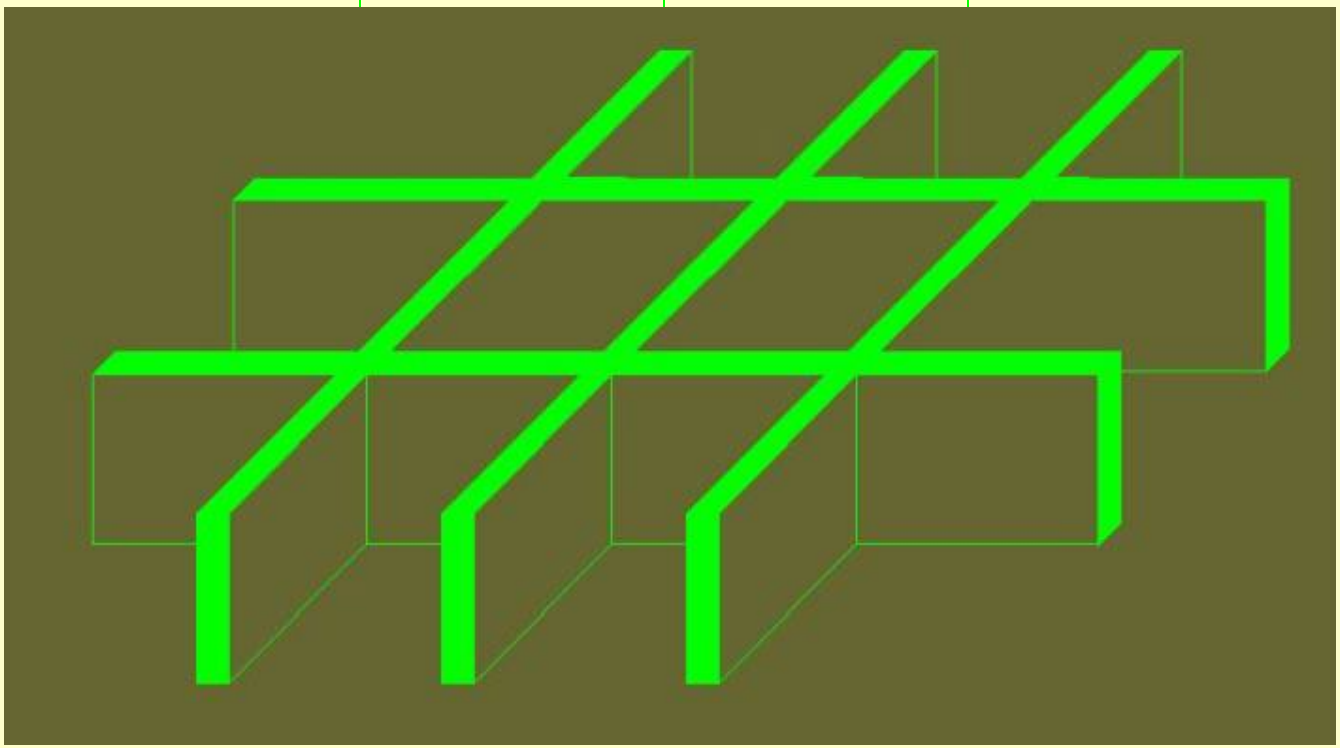
تحکیم دینامیکی در طرح توسعه بندر شهید رجایی

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

- وزنه ها در کارهای خشکی، توپر و ته صاف هستند ولی برای تراکم زیر آب می توانند مشبک باشند.

مثال: وزنه حدود ۱۵ تنی برای تراکم زیر آب



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

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

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

محاسبه عمق تأثیر تراکم دینامیکی

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

h: عمق تأثیر تراکم دینامیکی (m)

n : ضریب تابع نوع لایه های خاک

H : ارتفاع سقوط وزنه (m)

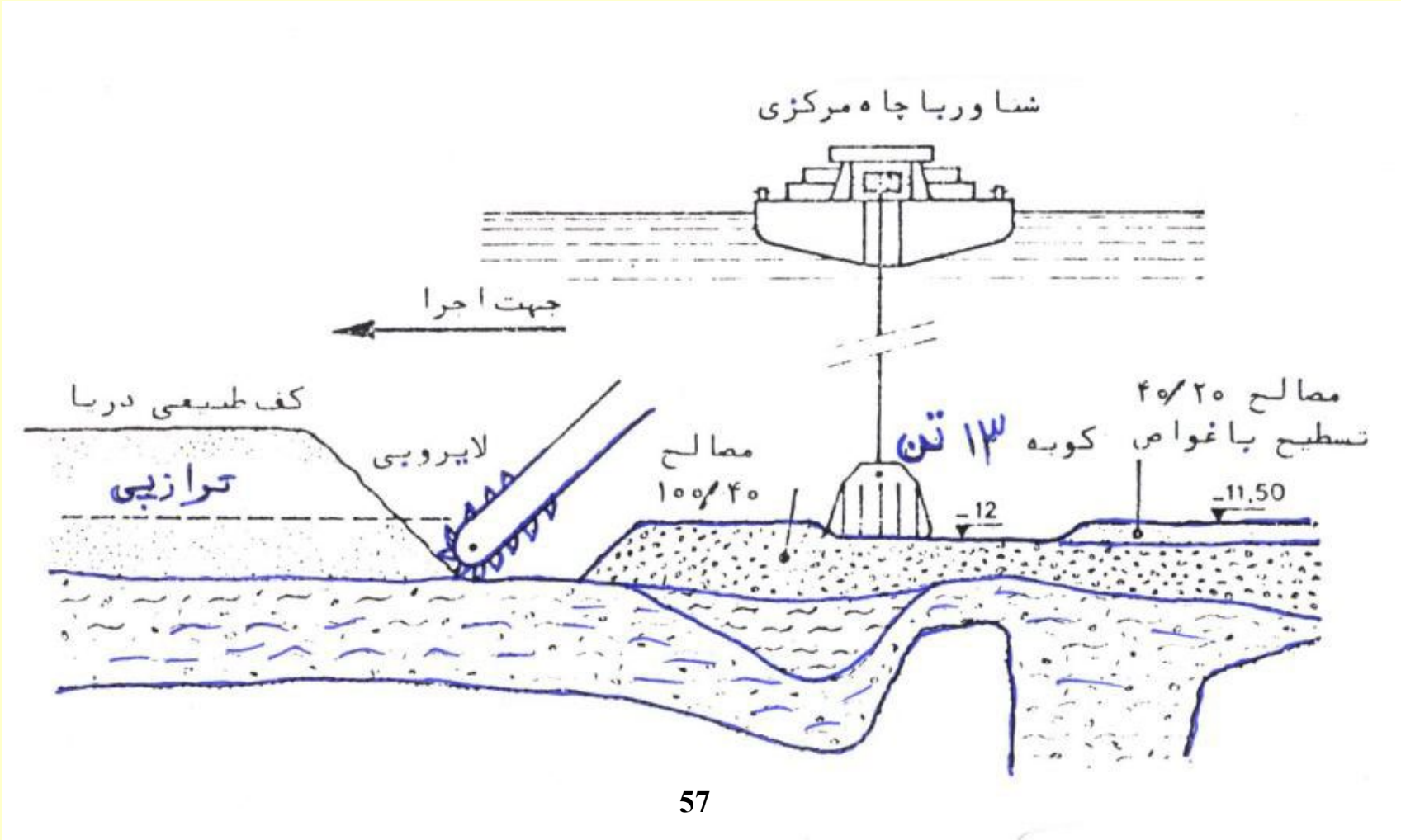
W : وزنه به Ton

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

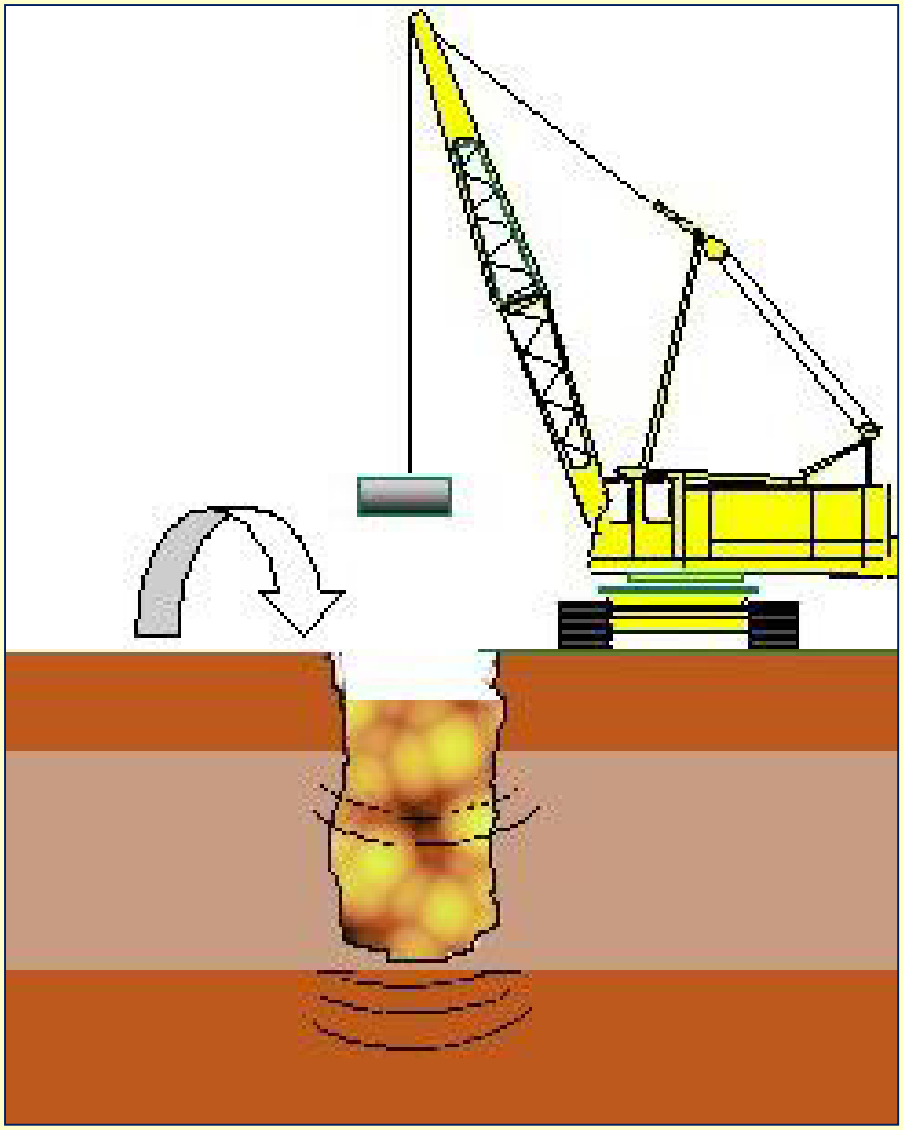
Brest Naval Port in France

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

احداث حوضچه تعمیر کشتی در بندر نظامی برست



Dynamic Replacement



اعمال ضربه و
پر کردن چاله با
مصالح مناسب

پر کردن چاله در دریا مشکل است.

تمرین:

عبارات زیر چه فرقی دارند؟

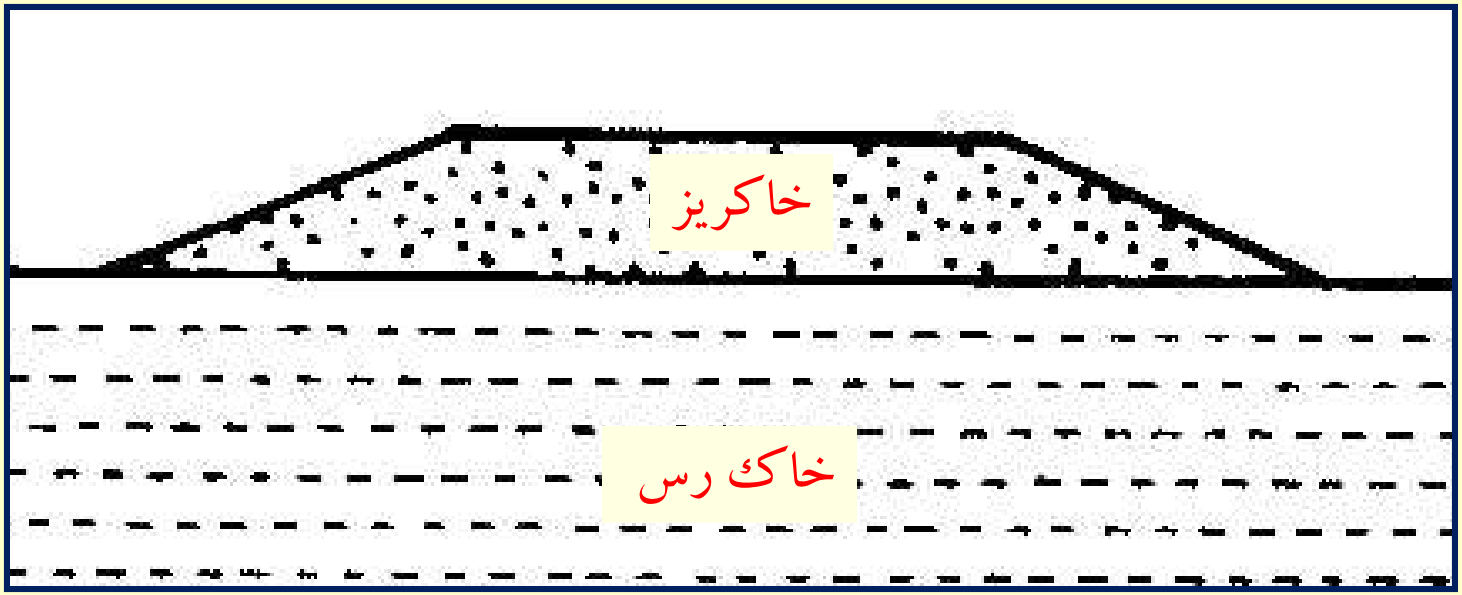
Dynamic Compaction
Dynamic Replacement
Vibro-Compaction
Vibro-Replacement
Vibro-flotatiom

پیش بارگذاری

روش پیش بارگذاری

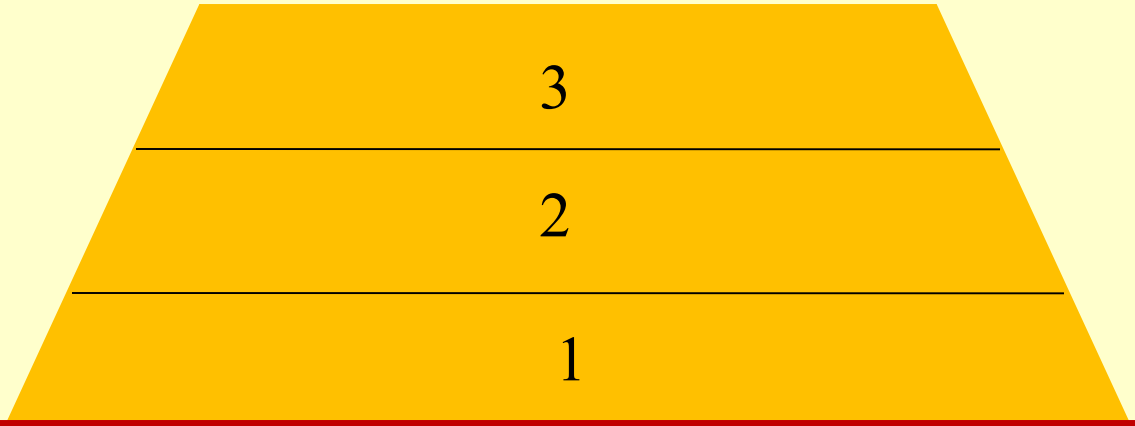
- خاکریزی و اعمال بار بر سطح خاک رس اشباع به مدت مشخص موجب تحکیم و بهبود آن می‌شوند.

- در ساحل خیلی کاربرد دارد ولی در دریا هم اجرا شده است.



احداث مرحله ای خاکریز در پیش بارگذاری
stage construction

اگر زمین خیلی سست باشد، اعمال کل بار خاکریز موجب گسیختگی می شود، بار خاکریز را در چند مرحله با فواصل زمانی اعمال می کنند.

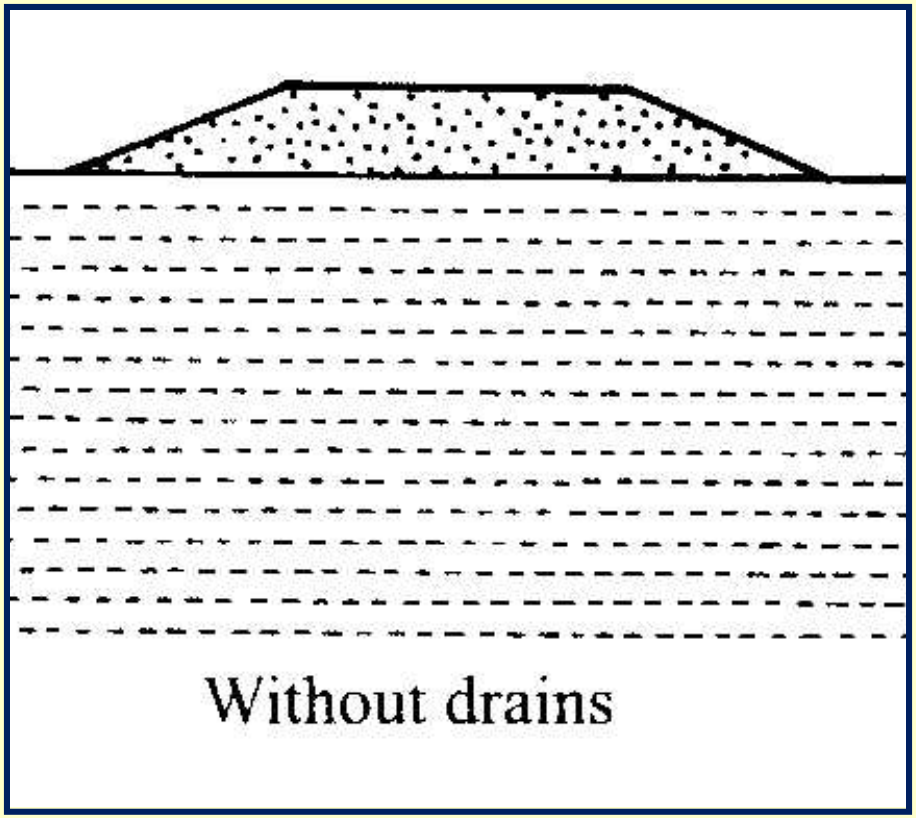


زهکش قائم در پیش بارگذاری

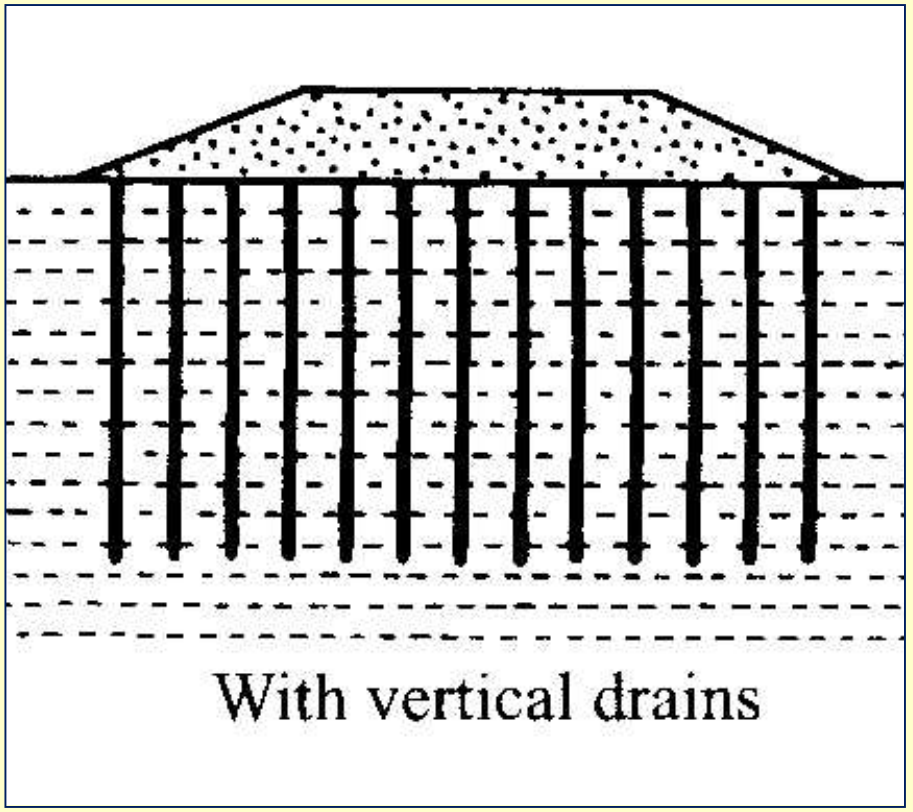
- زهکشی های قائم موجب کاهش مدت پیش بارگذاری می گردند.
- در ایران در ساحل سابقه دارد.
- در دریا هم در دنیا انجام شده است.

اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

اصلاح بستر زیر خاکریز با پیش بارگذاری

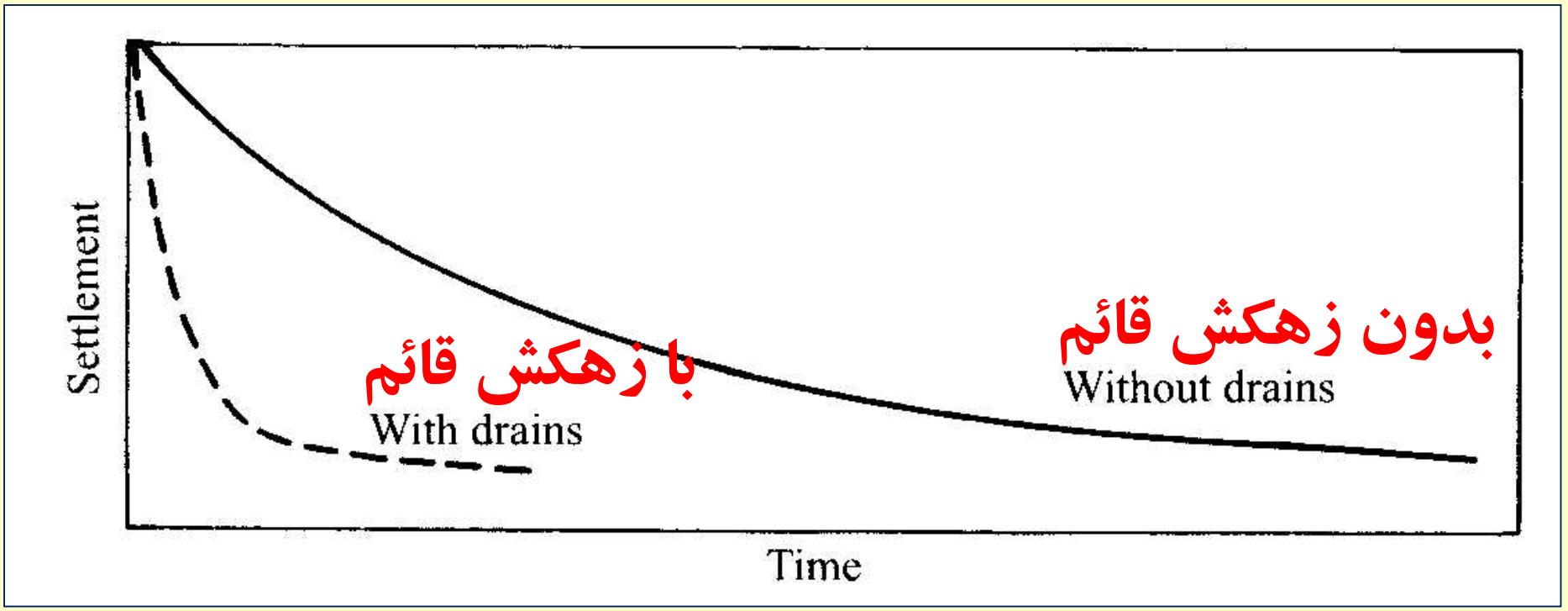


بدون زهکش قائم



با زهکش قائم

تسریع اصلاح بستر زیر خاکریز با پیش بارگذاری با زهکش قائم



فروکردن زهکش قائم در دریا

ژئوسینتتیک

ژئوسینتتیک

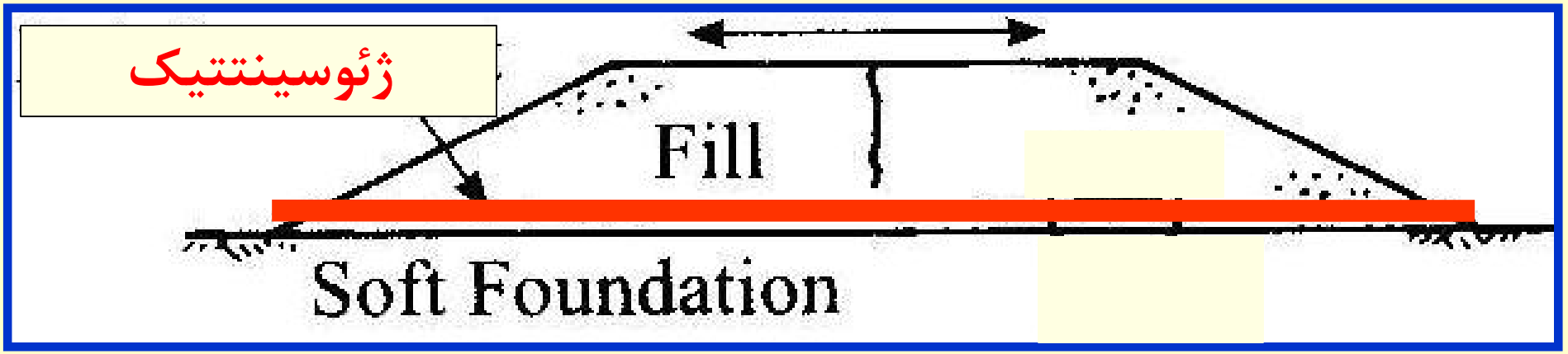
- یک لایه افقی ژئوسینتتیک در زیر خاکریز برای افزایش باربری زمین به کار میرود.
- در دریا هم بسیار انجام شده است.

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

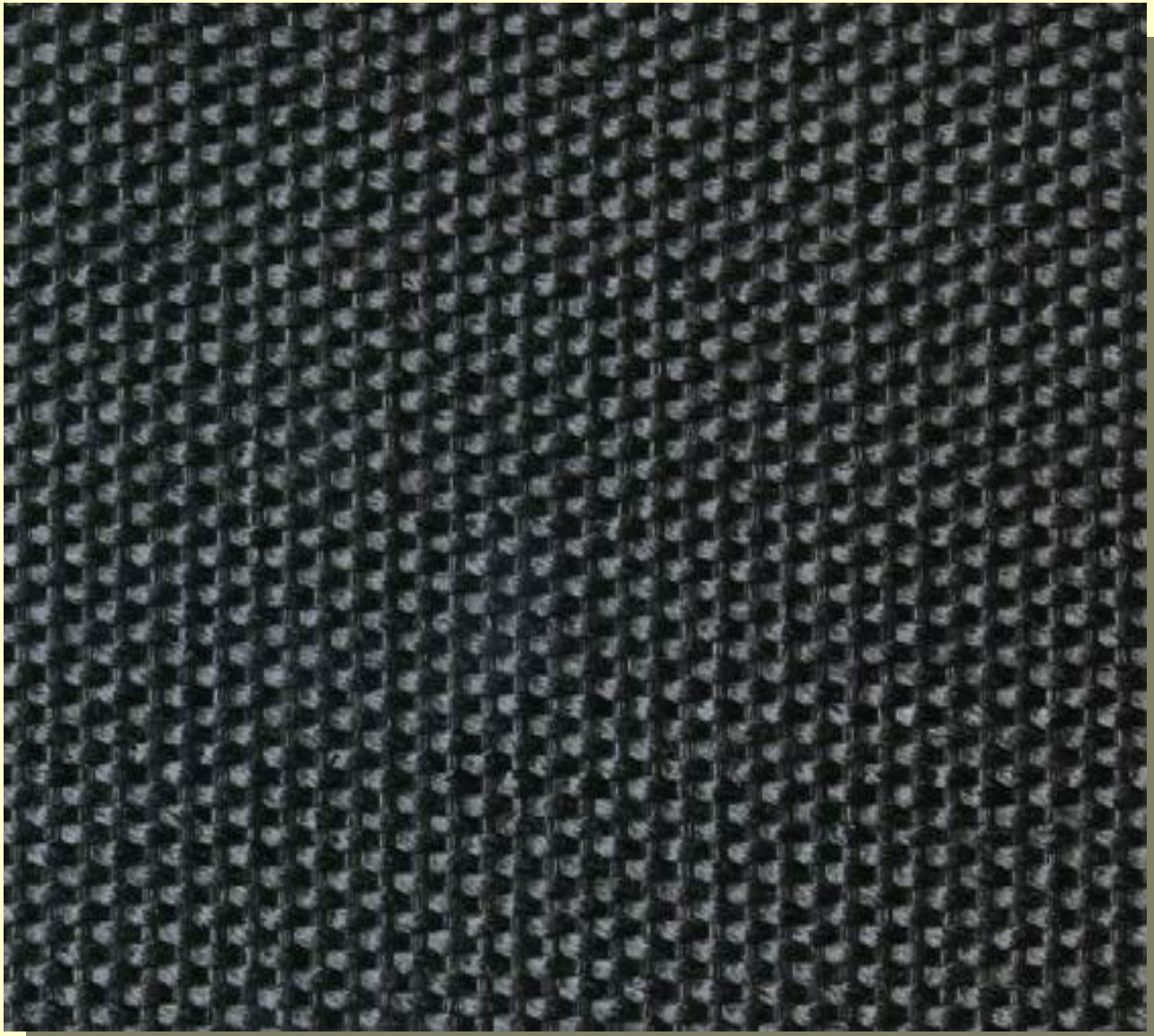
اصلاح زمین زیر خاکریز با استفاده از یک لایه افقی

ژئوسنتتیک



woven geotextiles مثال از ژئوسنتتیک

Polypropylene



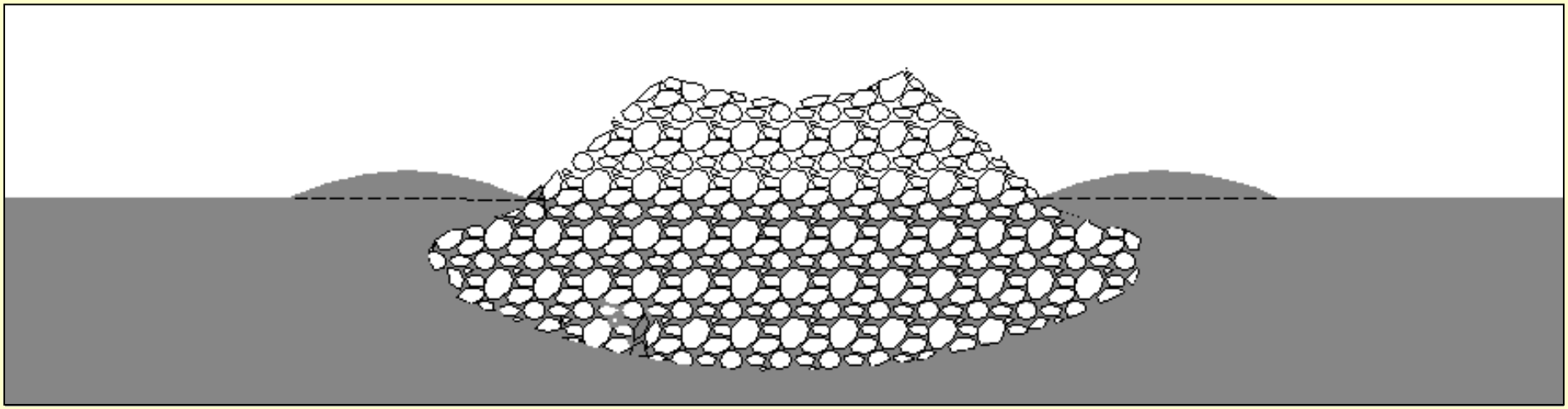
اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

خاکریز روی بستر سست بدون اصلاح زمین



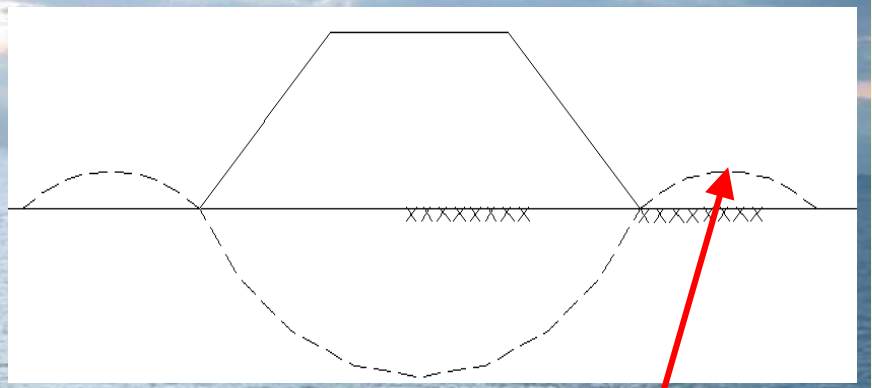
اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

گسیختگی خاکریز روی بستر سست

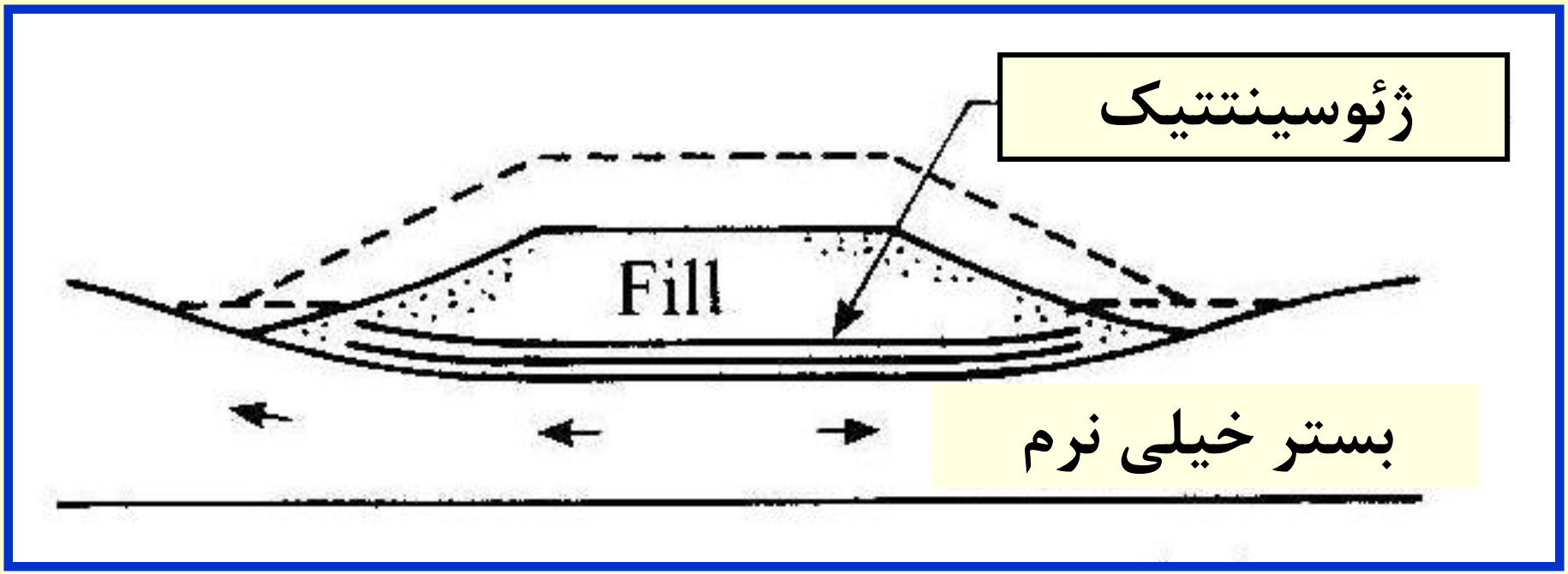
اجرای سازه های دریایی

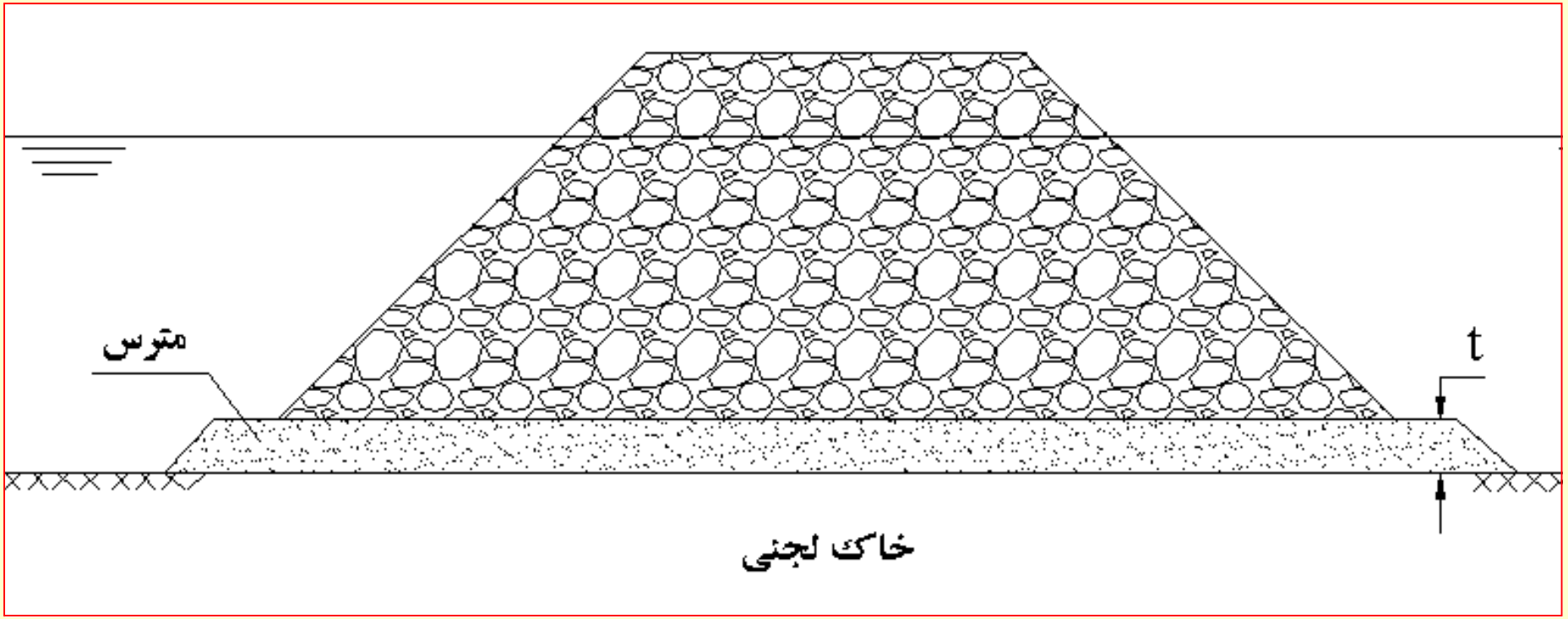
علی فاخر



خاکریز روی بستر سست

اصلاح بستر زیر خاکریز با استفاده از یک لایه ژئوسینتتیک





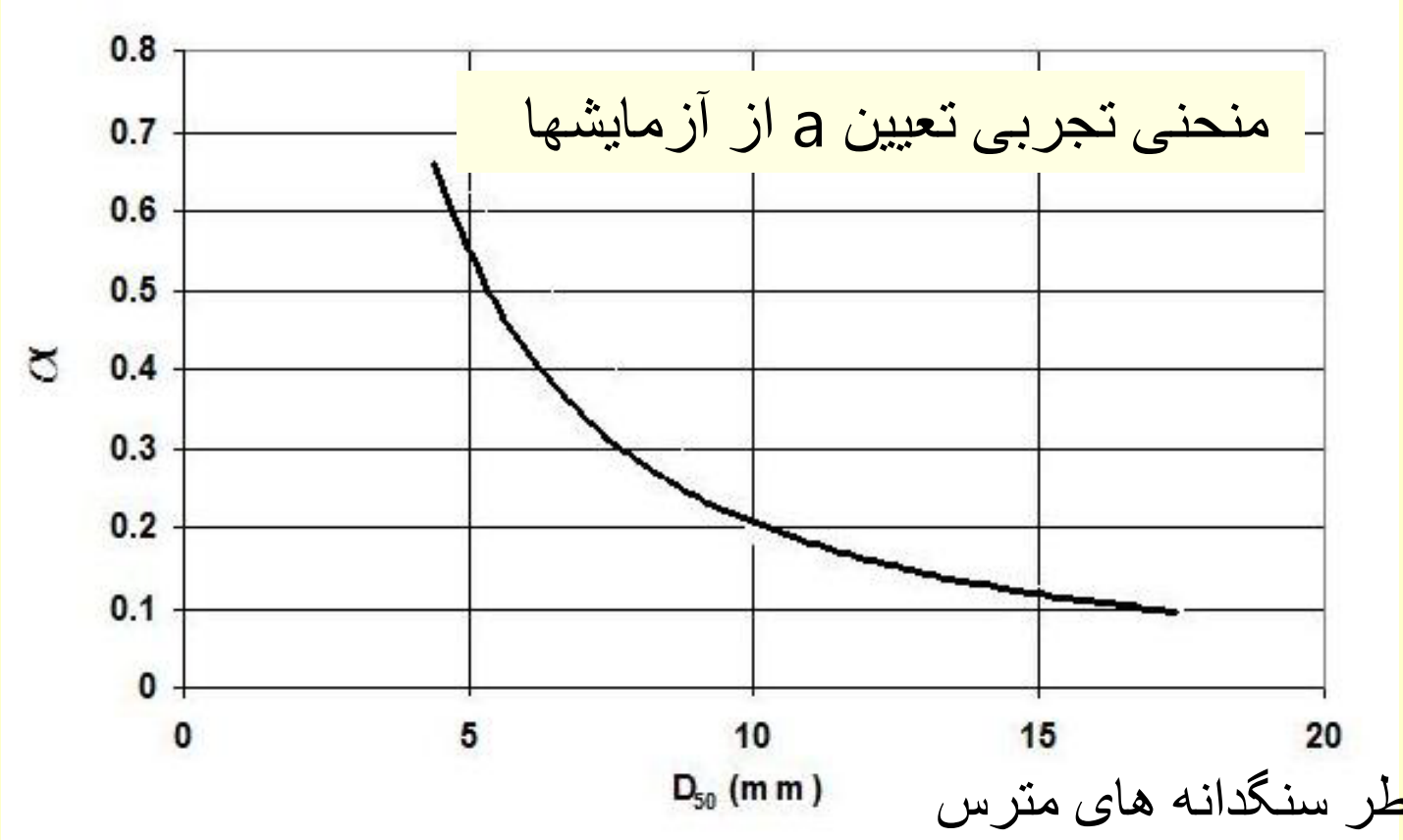
لایه مترس دانه ای هم میتواند برای جلوگیری ازفرورفت سنگهای موج شکن در بستر خیلی نرم به کار رود.

نحوه تعیین ضخامت لایه مترس دانه ای

$$p = \alpha t$$

p : فشار وارد بر لایه مترس

t : ضخامت لایه مترس



تزریق

تزریق

تزریق به معنی اصلاح زمین با وارد کردن دوغاب یا ملات (محلول آب و سیمان و افزودنی های دیگر) در زمین است.

انواع اصلی تزریق

- **تزریق عادی (نفوذی)** با فشار کم انجام میشود و 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.

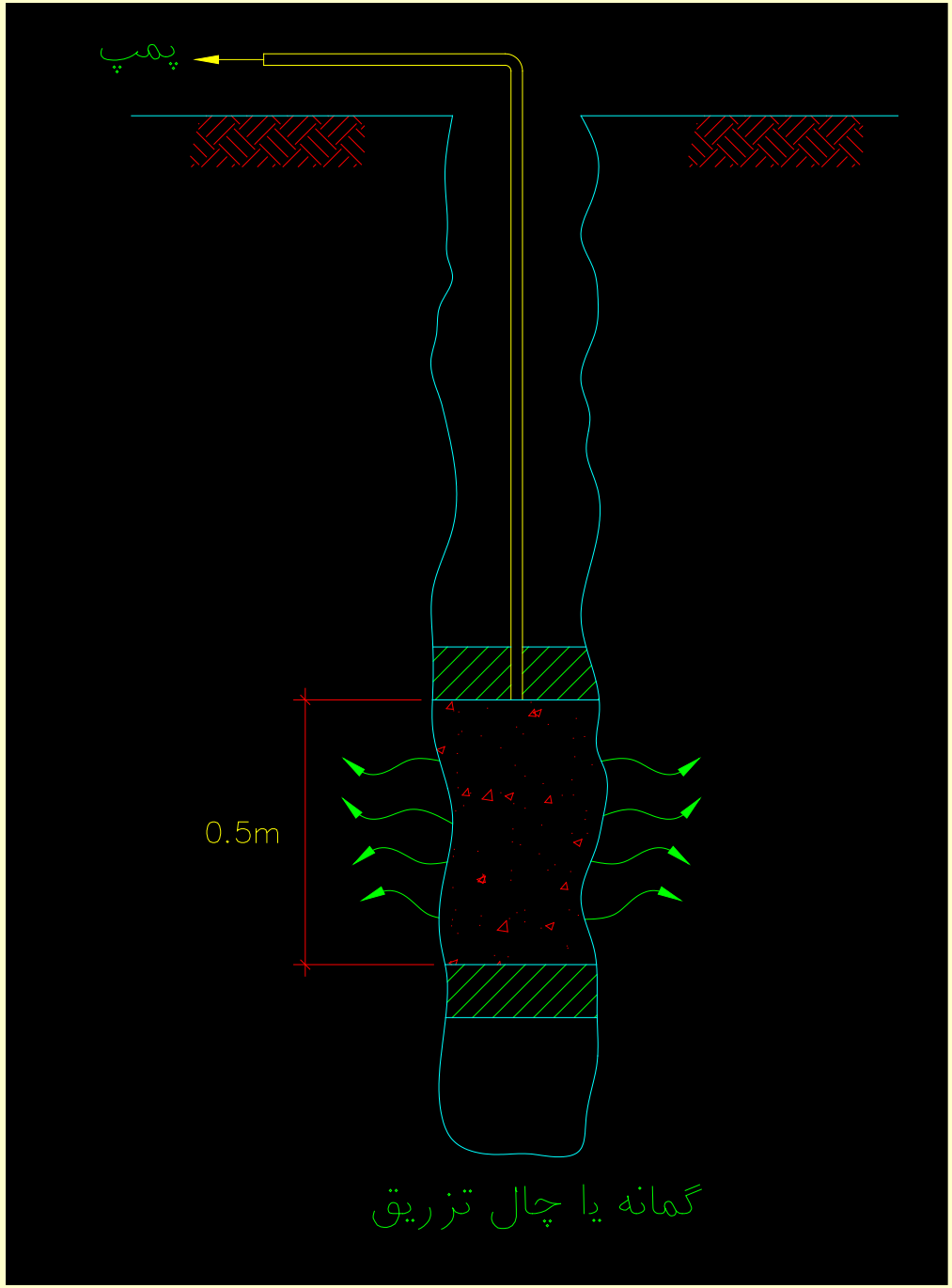
تزریق عادی روشی برای بهبود زمین‌های دانه‌ای با نفوذ پذیری بالا است.

تجهیزات تزریق عادی (نفوذی)

- 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

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

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



تزریق عادی (نفوذی) در گمانه

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

نحوه محاسبهٔ زمان مورد نیاز تزریق عادی

- هر **دستگاه حفاری** ۸×۴ متر مربع **فضا** می خواهد. (تعداد دستگاه حفاری که همزمان کار کنند، با توجه به مساحت زمین تصمیم گیری میشود.)
- هر دستگاه حفاری در دو شیفت کاری ۱۰ متر چال تزریق حفاری می‌کند. (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 محاسبهٔ زمان مورد نیاز تزریق نفوذی

- اگر شعاع تأثیر هر گمانه یک و نیم متر باشد و ۳۰٪ هم فضای خالی در بین دانه های خاک داشته باشیم و راندمان تزریق ۱۰۰٪ باشد . m^3 ۵/۱ 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 m^3 ۵/۱ باید ۱۰۰ دقیقه طول بکشد.

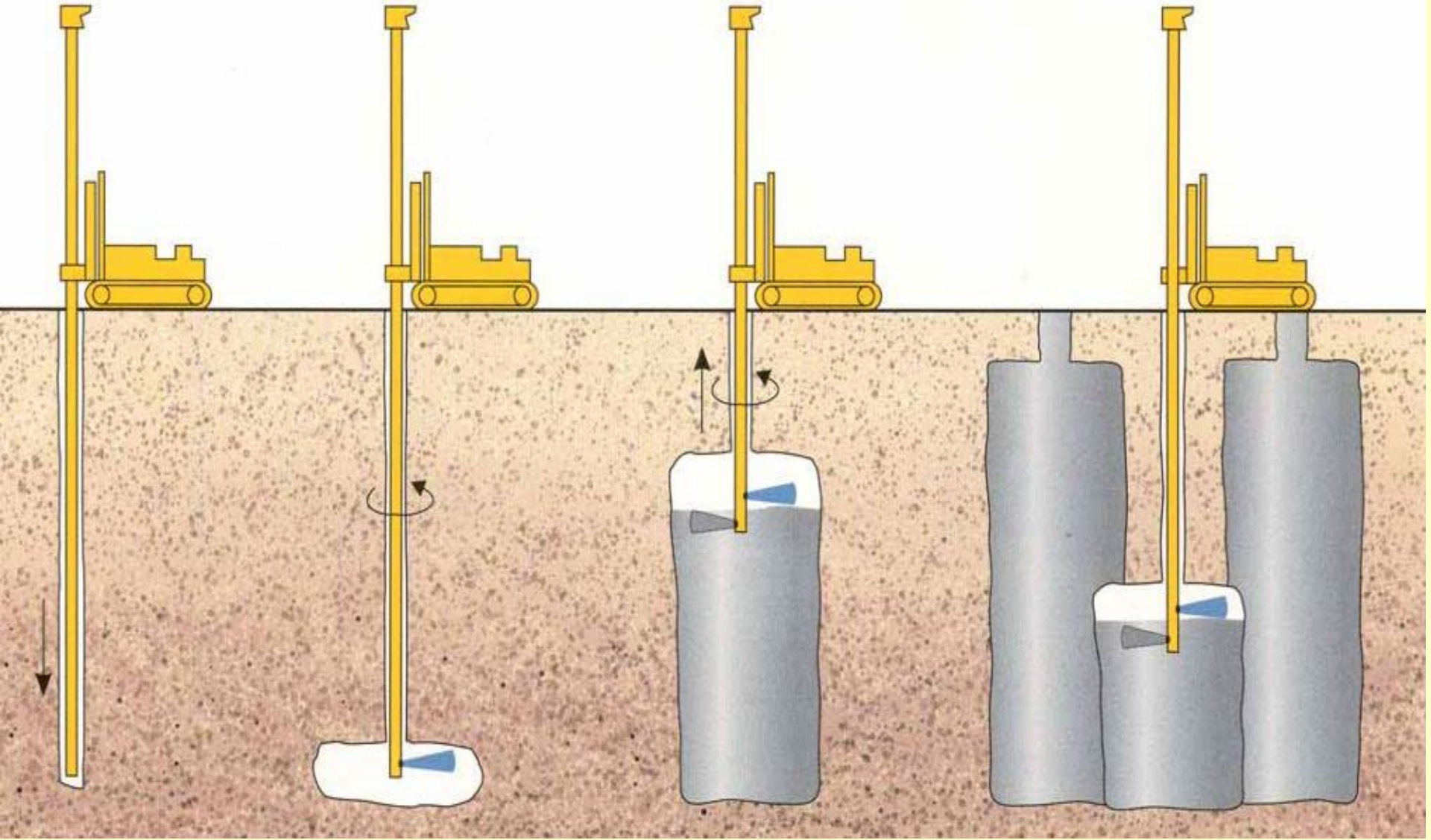
اجرای سازه های دریایی
علی فاخر

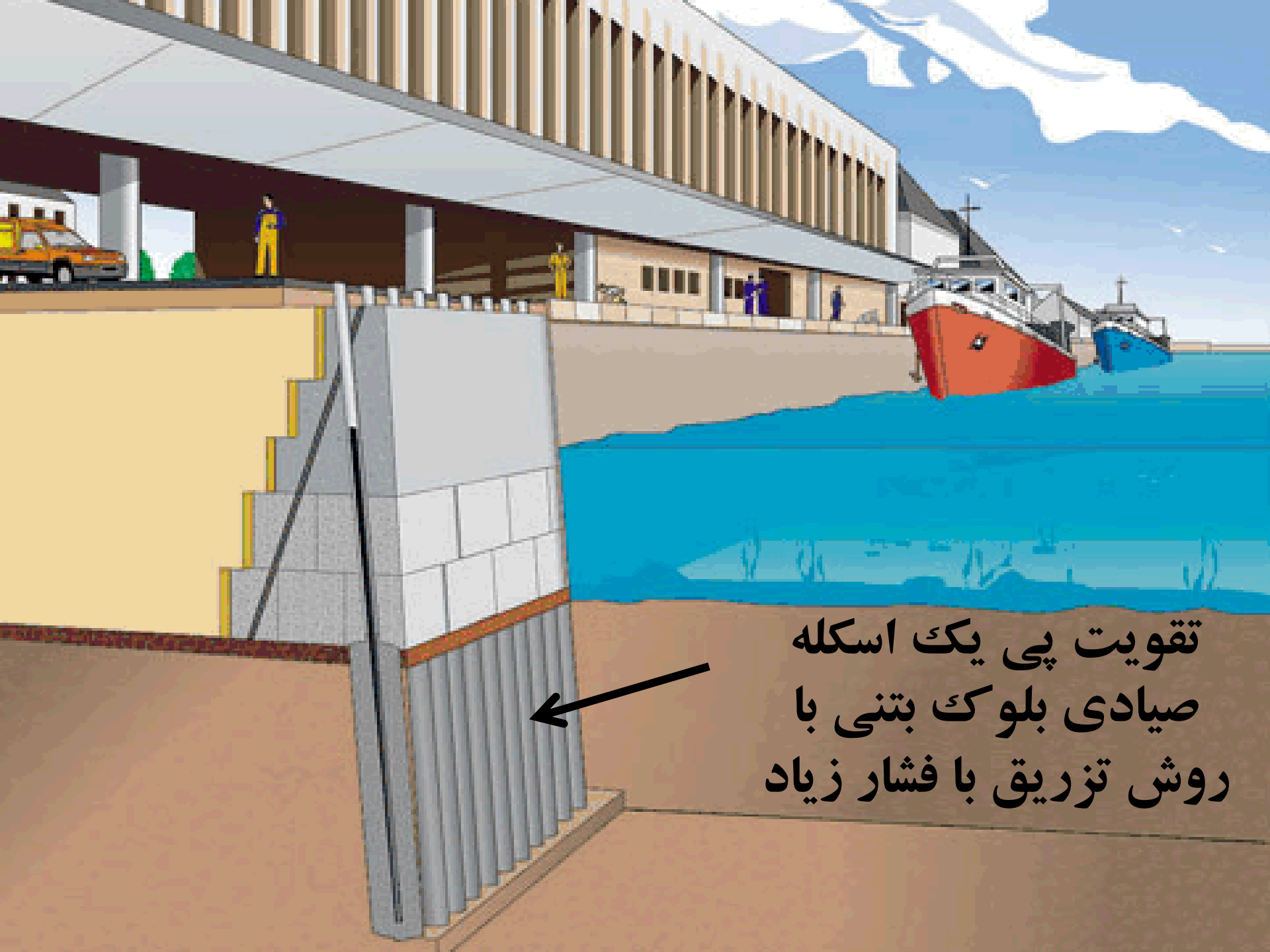
دستگاه تزریق با فشار زیاد
Jet grouting

اجرای سازه های دریایی

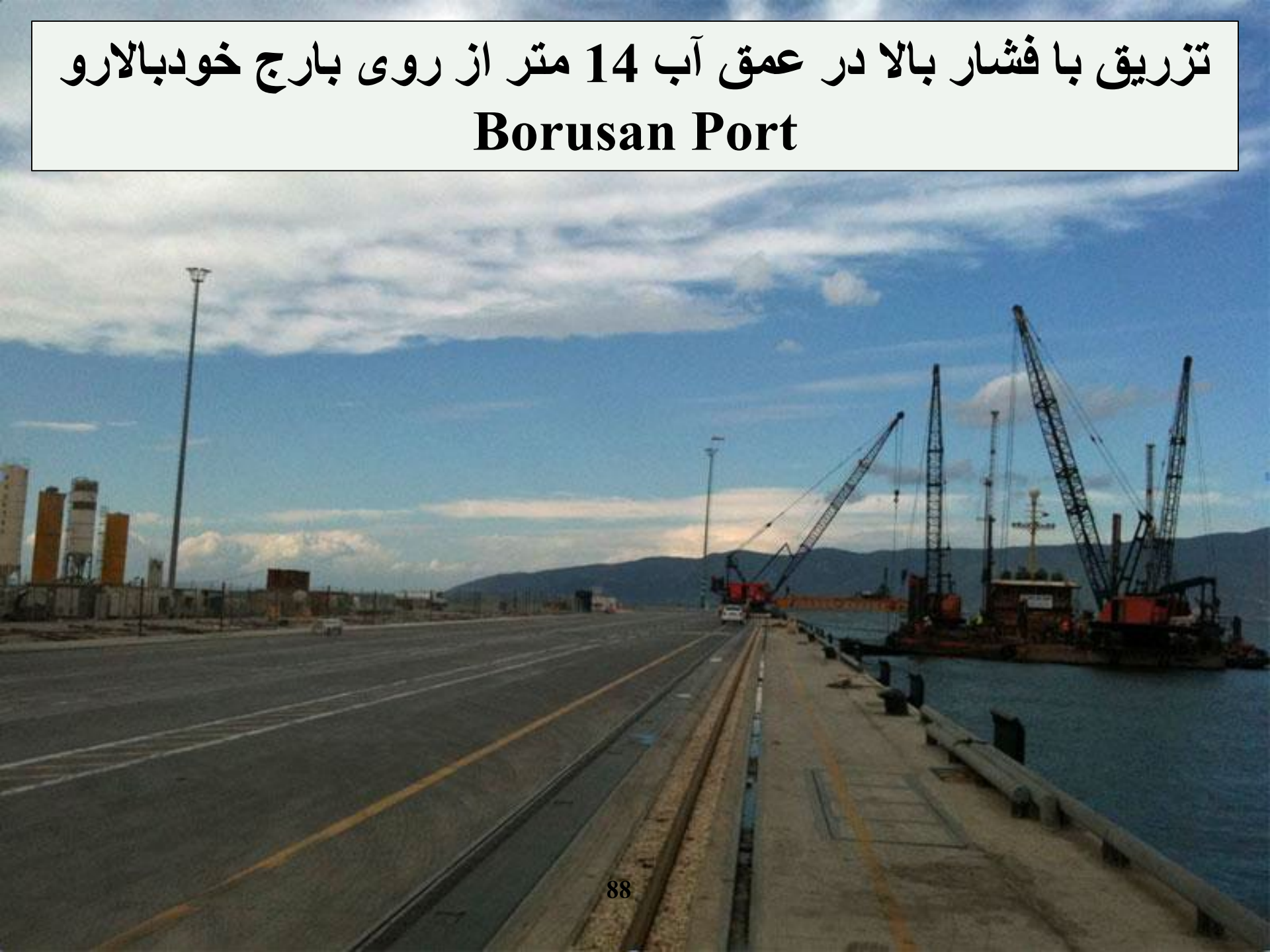
علی فاخر

تزریق با فشار زیاد
Jet grouting




تقویت پی یک اسکله
صیادی بلوک بتنی با
روش تزریق با فشار زیاد

تزریق با فشار بالا در عمق آب 14 متر از روی بارج خودبالارو
Borusan Port



اجرای تزریق با فشار زیاد
Jet grouting

Museum of Islamic Art Park at Doha

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.

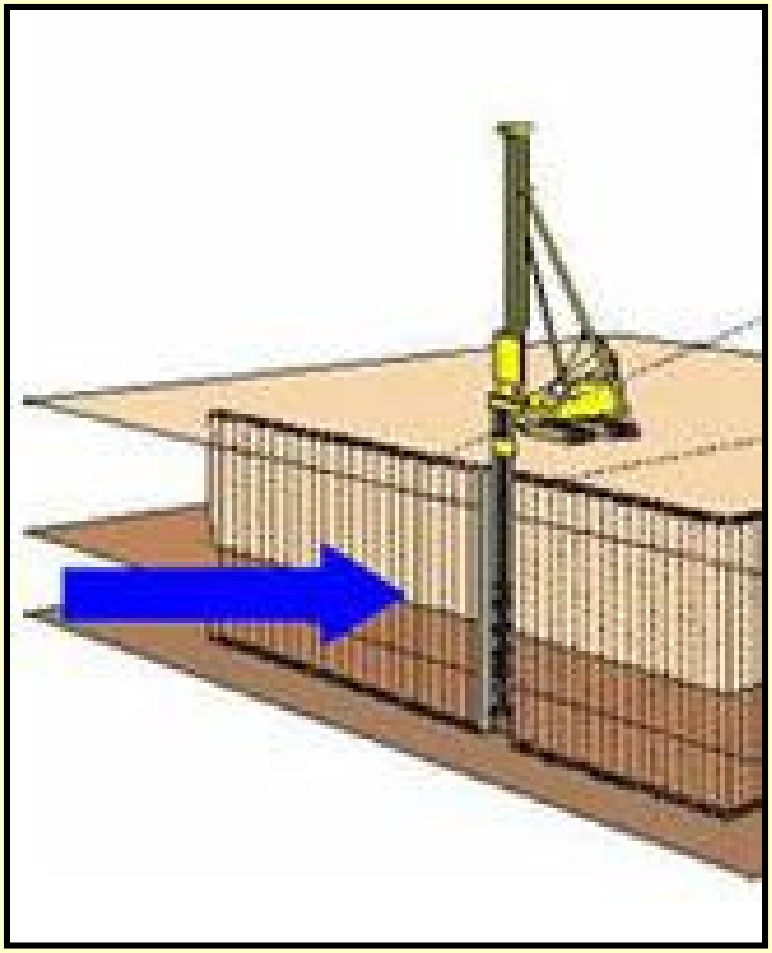
روش اختلاط عمیق

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.

مته در روش اختلاط عمیق

اختلاط عمیق



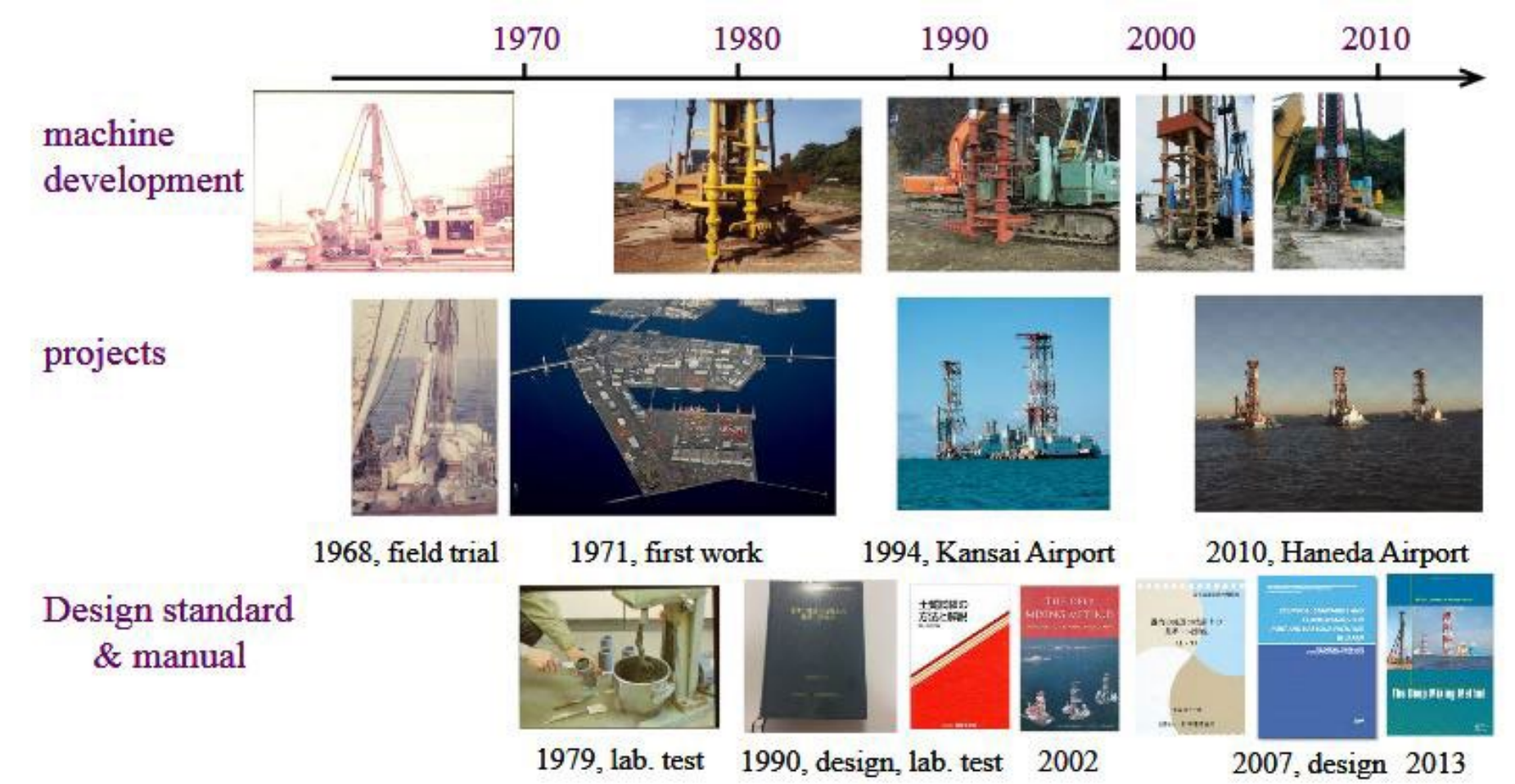
DSM
(Deep Soil Mixing Method)

از ابزار اختلاط عمیق توسعه یافته توسط شرکت

Penta-Ocean Construction

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

تاریخچه تحقیق و توسعه در خصوص اختلاط عمیق در ژاپن



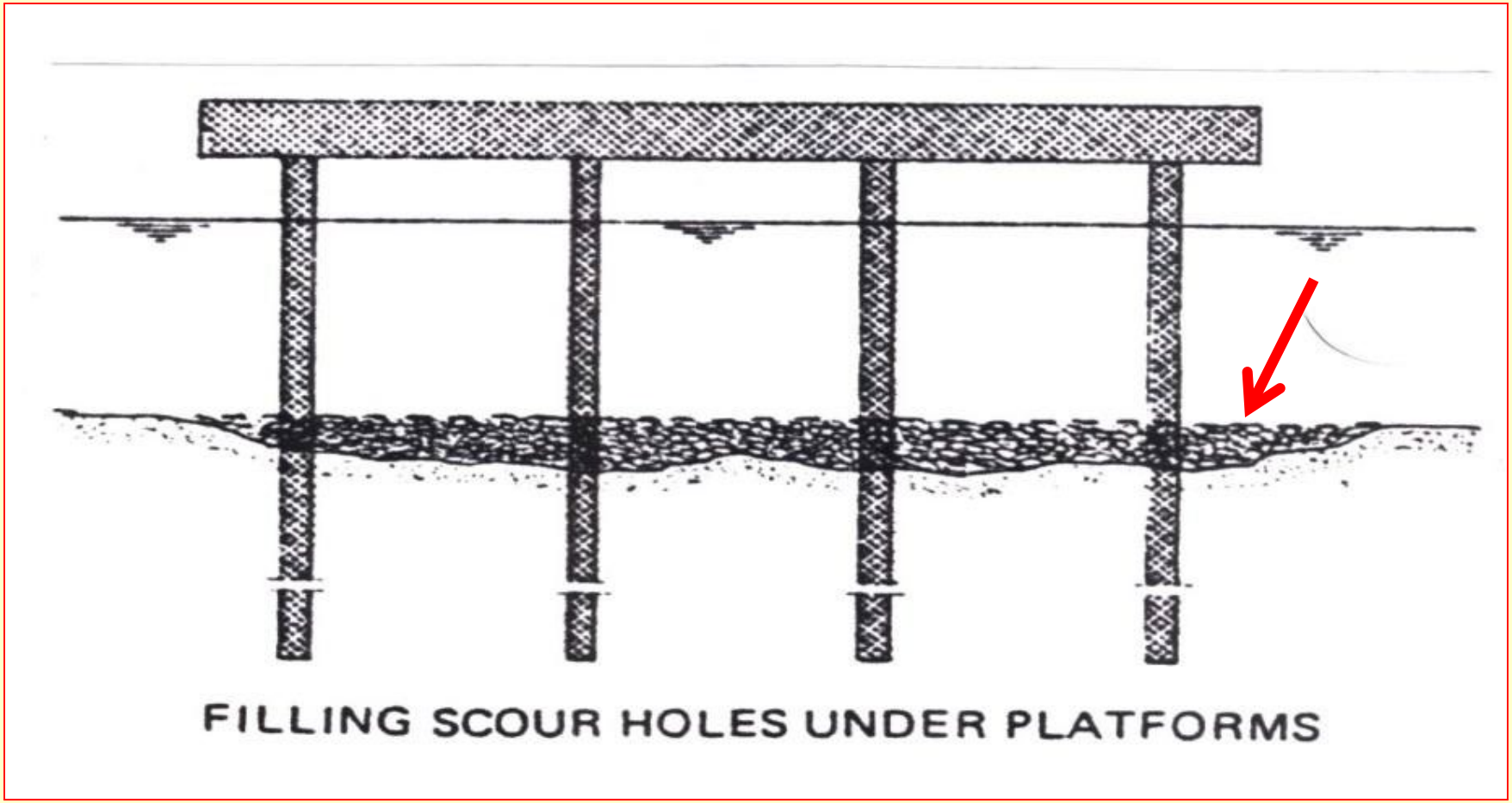
حفاظت بستردریا در برابر آبشستگی

Scour protection

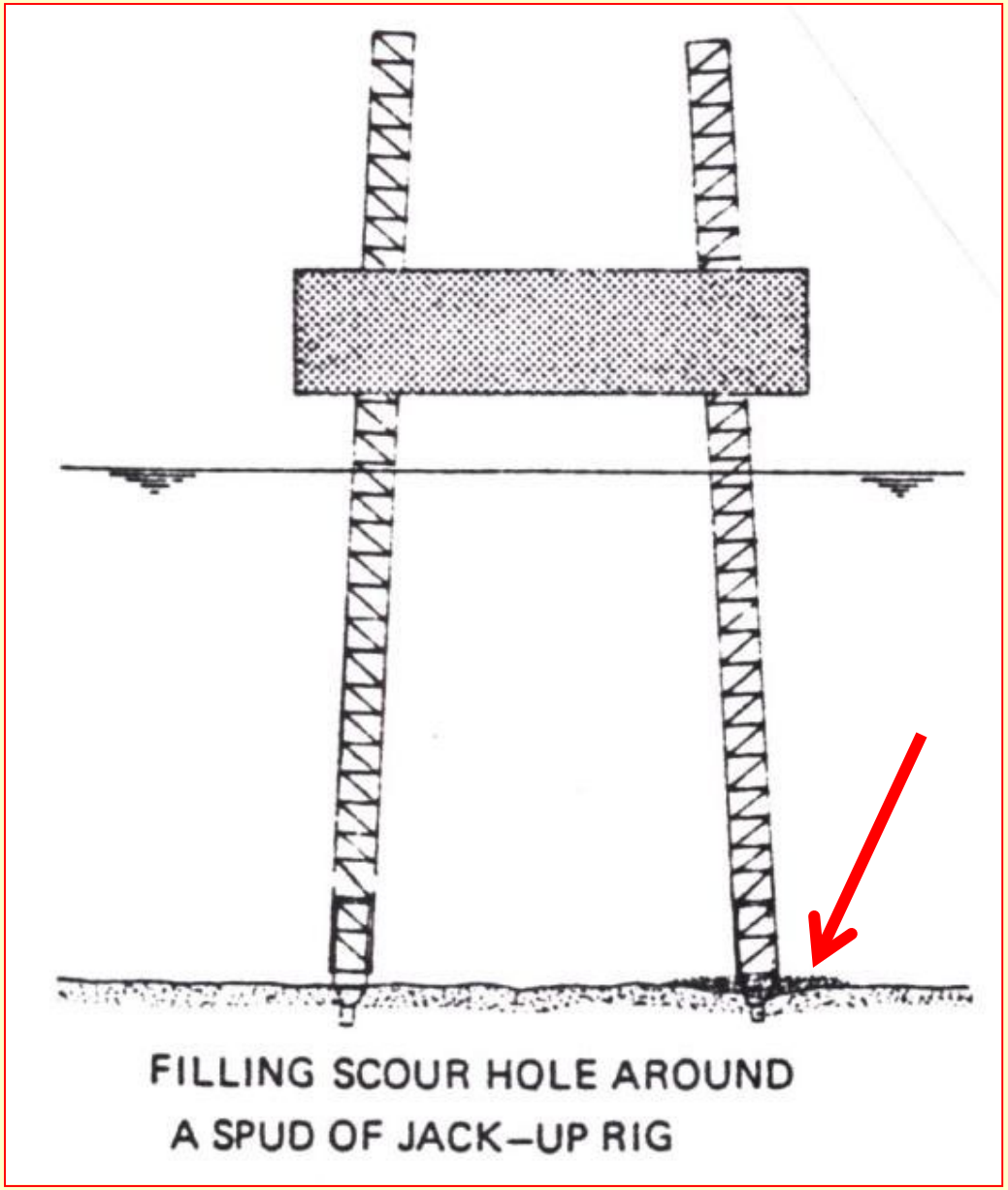
نکات مهم حفاظت در برابر آبشستگی

- 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 می‌شود.
- قطر مناسب سنگدانه ها بستگی به سرعت جریان آب دارد. ممکن است در عمق ۲۰ الی ۳۰ متر ذرات به اندازهٔ شن و در سطح قطعه سنگهای ۱۰ تنی بکاررود.
- ضخامت لایه‌ها چنان تعیین می گردد که با رواداریهای زمان ساخت سازگار باشد.

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



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

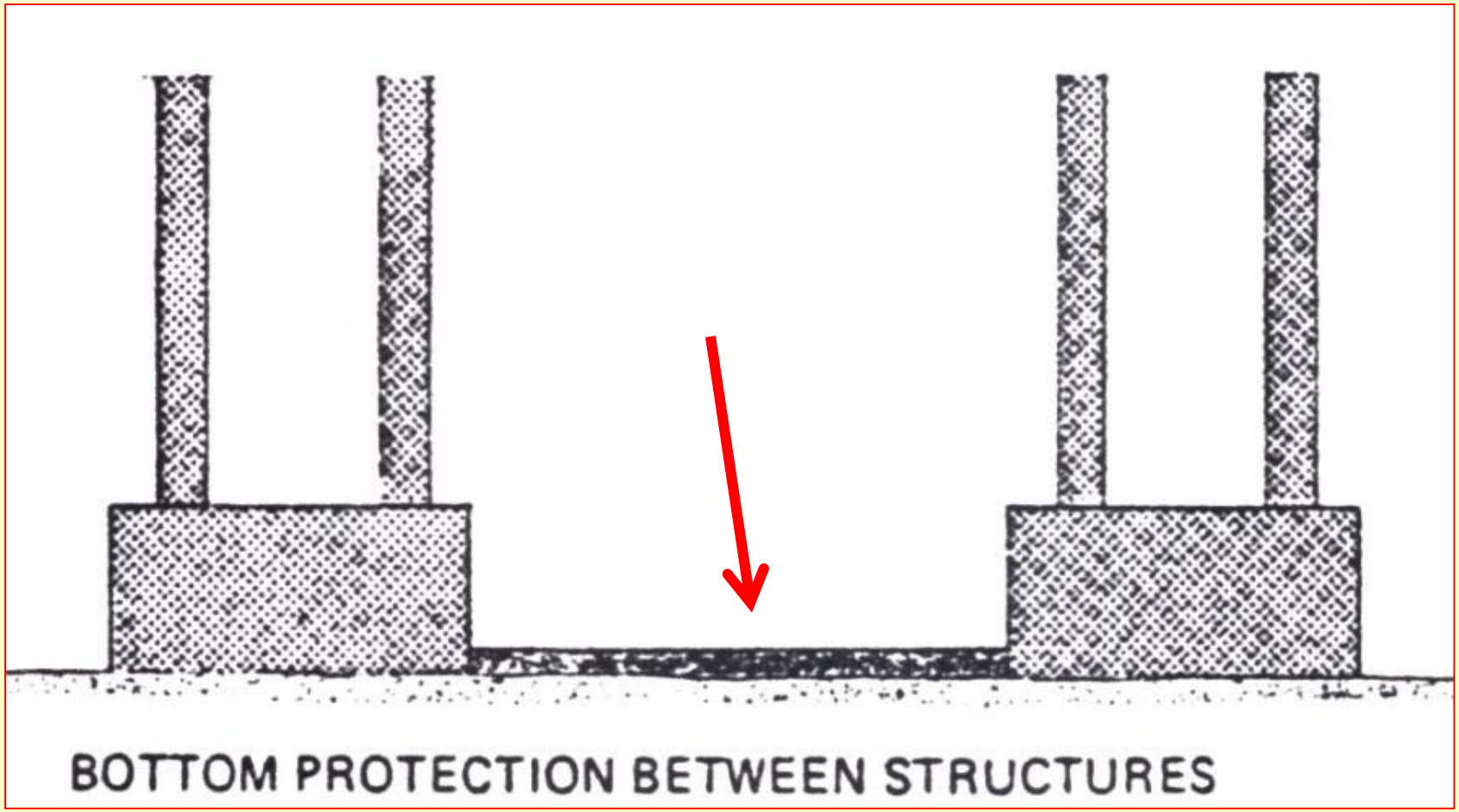


FILLING SCOUR HOLE AROUND
A SPUD OF JACK–UP RIG

سنگریزی پرکردن حفره های ناشی از آبشستگی پیرامون سازه های دور از ساحل

اجرای لایهٔ حفاظتی بستر در اطراف پایه یک جک آپ حفاری

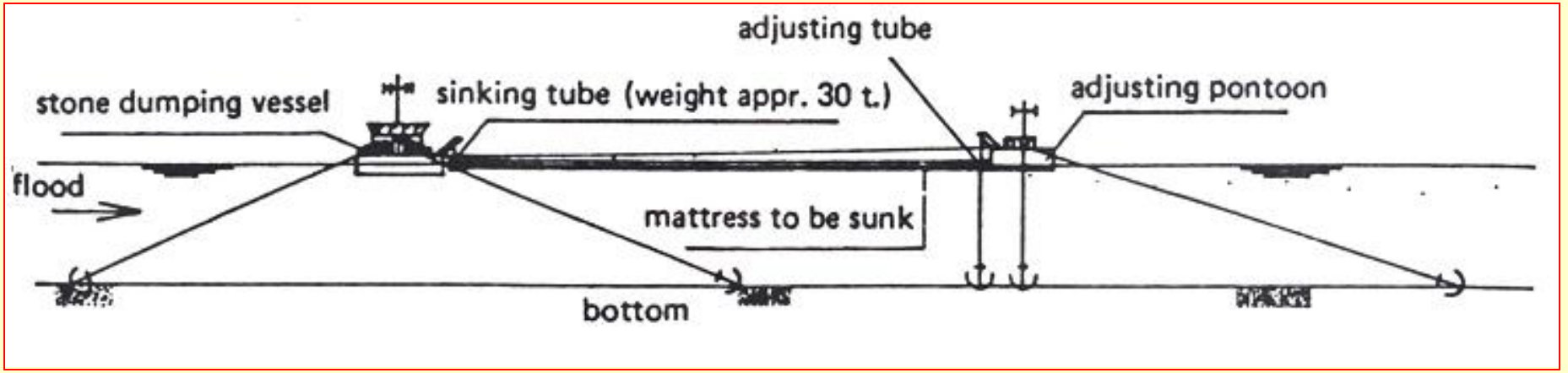
سنگریزی جهت حفاظت بستر دریا در فاصله بین سازه های دریایی



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

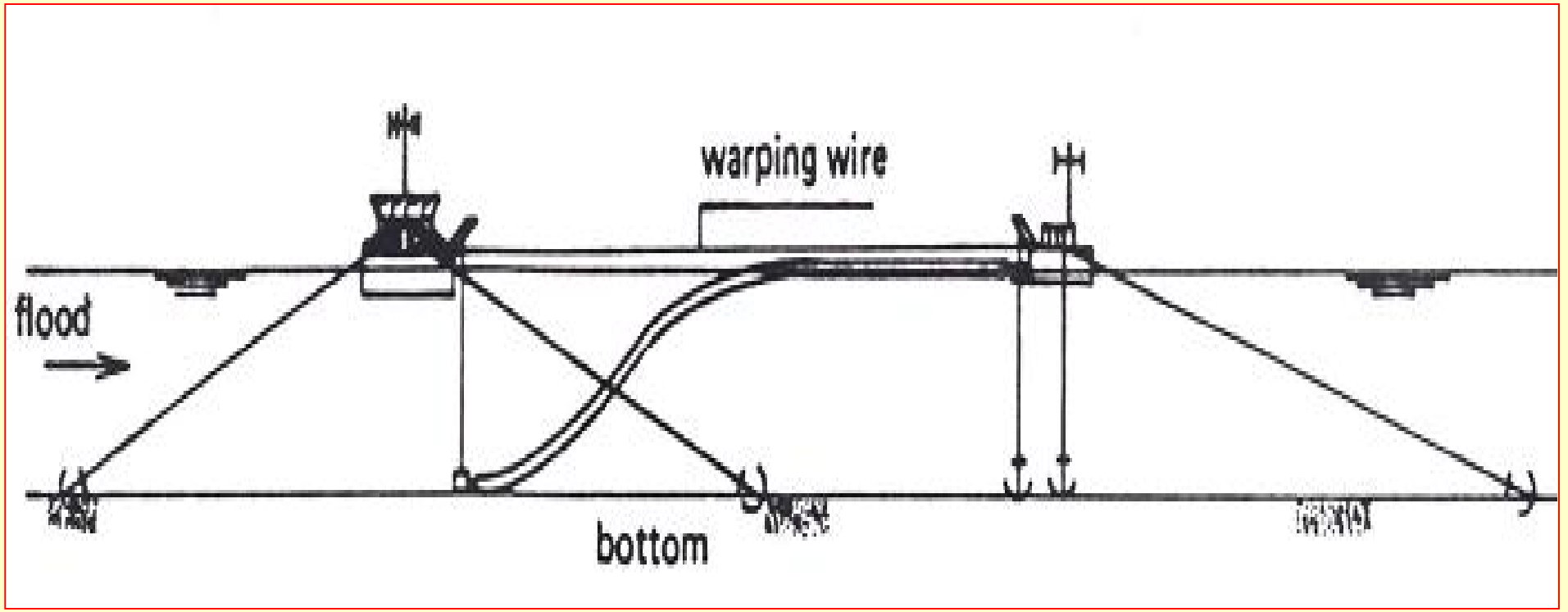


مترس در اینجا از یک لایهٔ ژئوسینتتیک به عنوان فیلتر و یک لایه سنگریزی تشکیل شده است

مرحله اول- استقرار

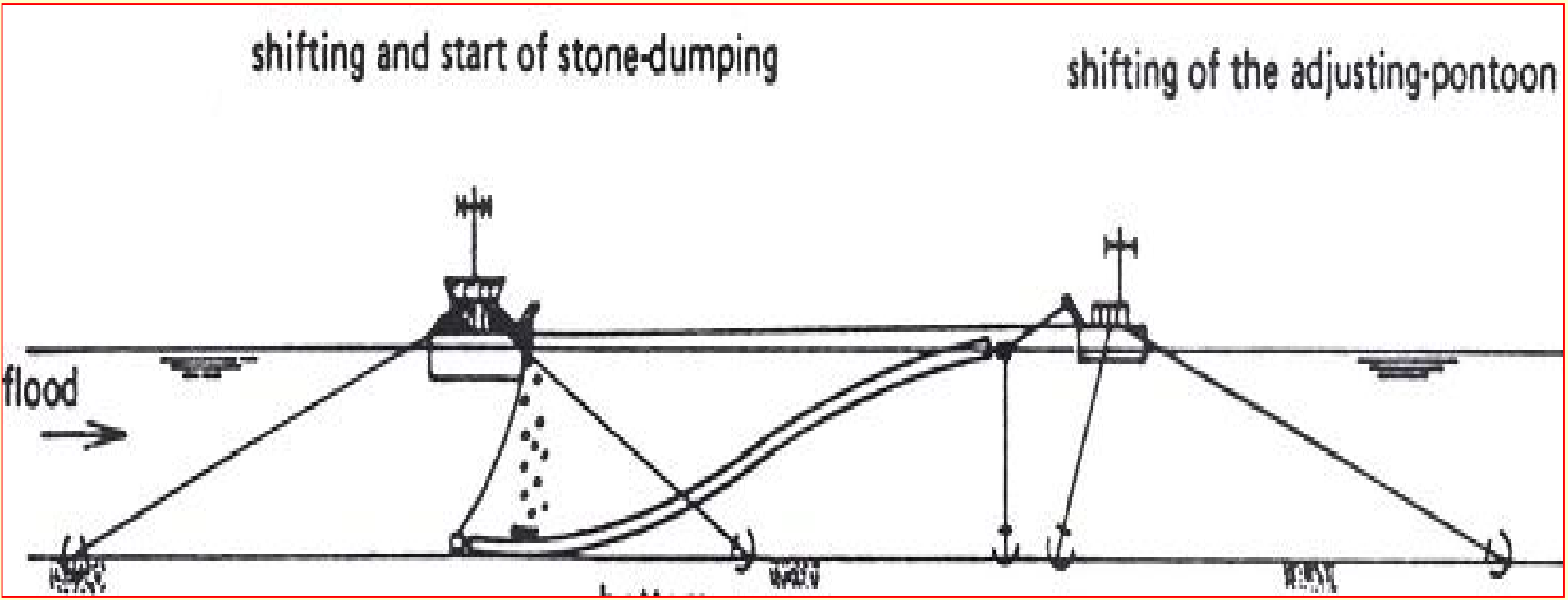
لایه مترس قبل
از غرق شدن

مرحله دوم- غرق کردن لایه ژئوسینتتیک



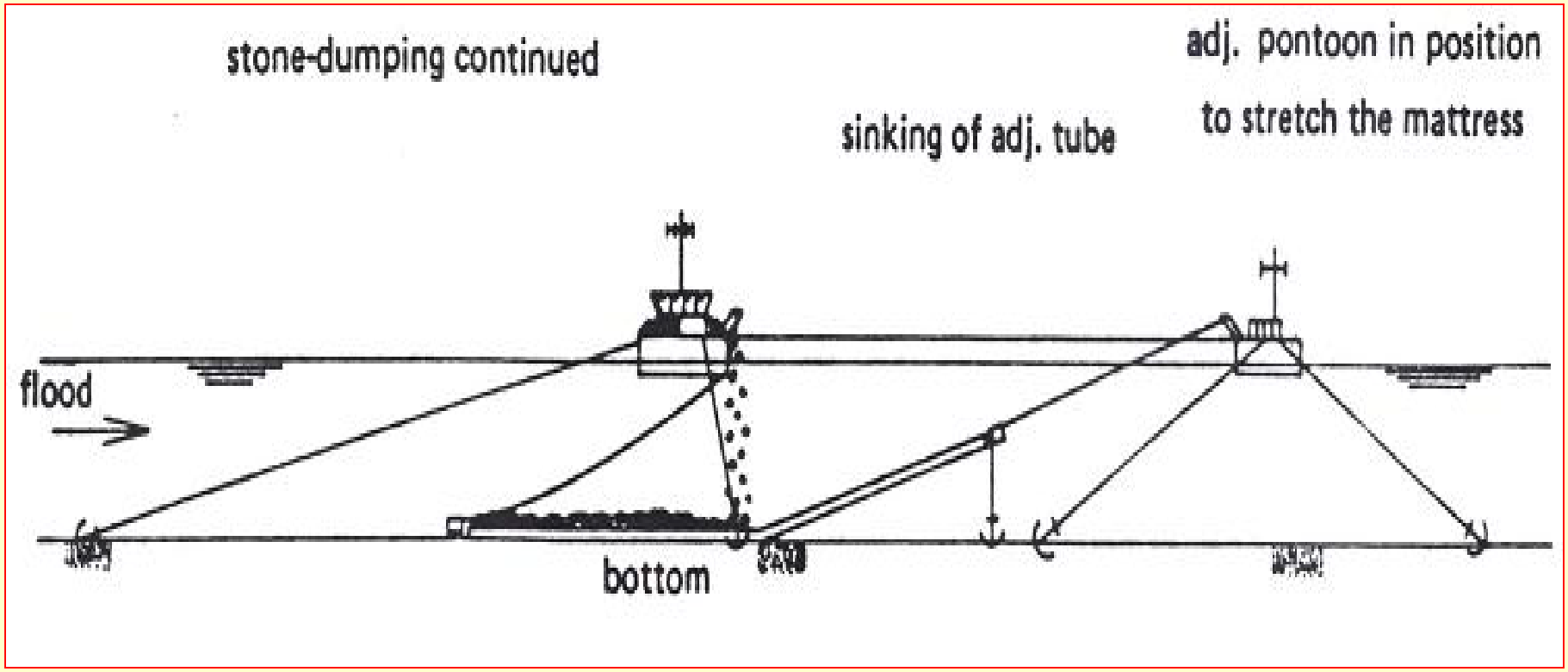
مراحل نصب یک لایه مترس

مرحله سوم- شروع ریختن سنگ



مراحل نصب یک لایه مترس

مرحله چهارم- ادامه ریختن سنگ



اجرای سازه های دریایی

علی فاخر

انتقال ژئوسینتتیک برای نصب در محل مورد نظر

موفق باشید

قلیه ماهی

(غذای سواحل جنوب ایران)