ژئوتکنیک دریایی

عناوین مطالب:

۱- مروری بر مهندسی ژئوتکنیک دریایی

۲- مطالعات و اکتشافات ژئوتکنیکی در دریا

۳- مبانی طراحی

٤- پی سازی در دریا

۵- پی های عمیق: طراحی ژئوتکنیکی

۶- پی های عمیق: طراحی سازه ای

۷- ناپایداری های ژئوتکنیکی

۸- بهسازی و اصلاح بستر دریا

۹- سازه های نگهبان ساحلی و فرا ساحلی

۱۰- خطوط لوله مستقر در کف دریا

فصل دوم

مطالعات و اكتشافات ژئوتكنيكي در دريا

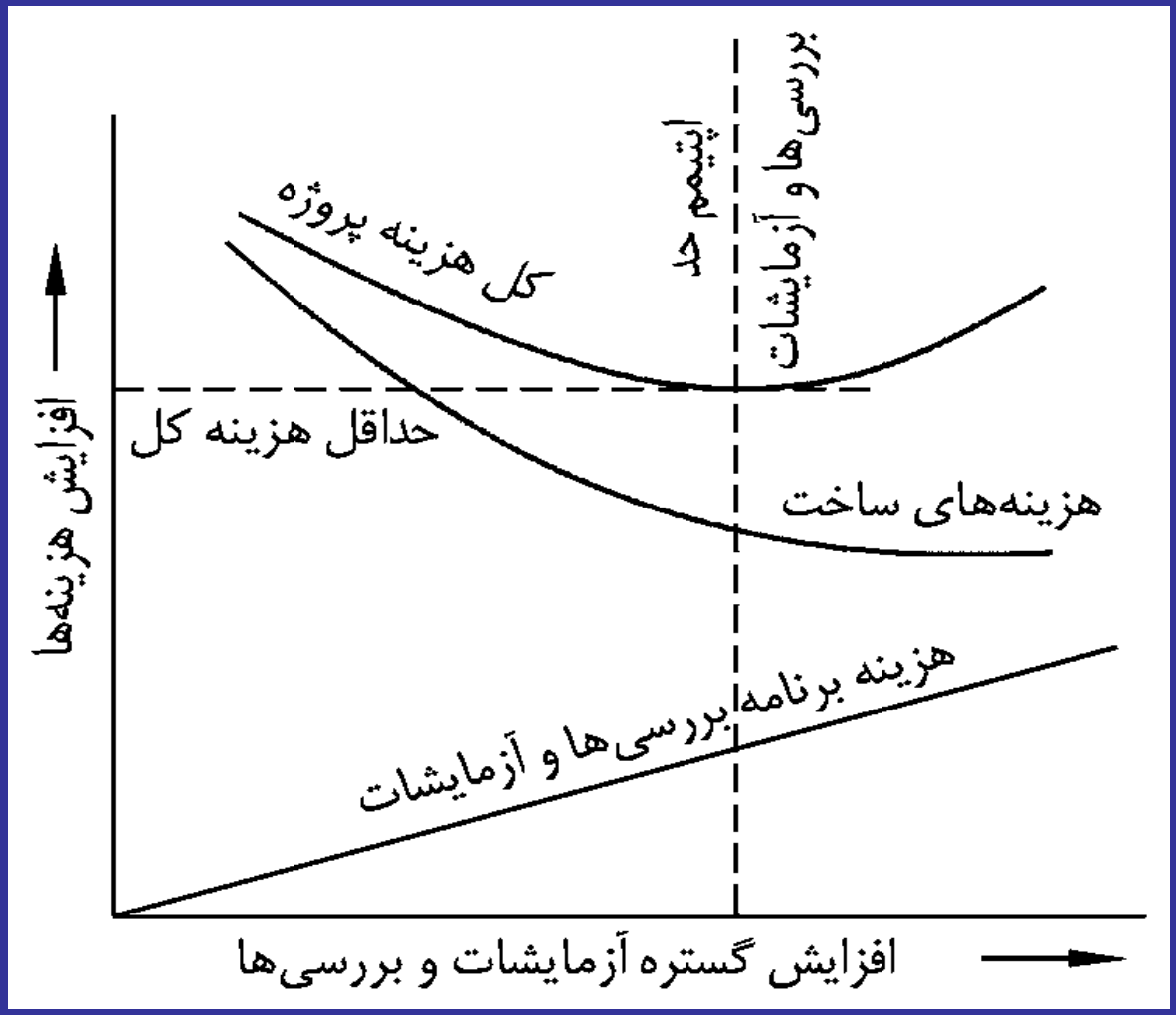
Geotechnical Investigations in Marine Environments

عناوين فصل:

- گامهاي مطالعات ژئوتكنيک و كاربرد آن
- بررسي هاي ژئوفيزيكي
- عمليات حفاري
- تستهاي آزمايشگاهي و درجا
- گزارش مهندسي ژئوتكنيک

۱- کاربرد مطالعات ژئوتکنیک

- ارزیابی کلی سایت
- تعیین مقاومت و سختی خاک و سنگ
- تصمیم گیری درخصوص نوع و چگونگی ساخت فونداسیون احداثی
- شناخت منابع قرضه
- پیش بینی عملکرد سازه در مراحل مختلف (کوتاه مدت، میان مدت و دراز مدت)
- شناخت مشکلات ژئوزیست محیطی و ارائه راهکارهای مناسب جهت رفع آنها



شکل ۲- ۱- تاثیر هزینه مطالعات ژئوتکنیک بر بهینه سازی ساخت واجراءِ پروژه

۲- گا مهای انجام مطالعات ژئوتکنیک

۱- جمع آوری اطلاعات اولیه (Data Collection)

۲- بازدید از سایت و انجام آزمایشات غیر مخرب (Site Visit)

۳- عملیات حفاری، نمونه گیری و آزمایشات درجا (Drilling Operations)

٤- تستهای آزمایشگاهی (Laboratory Tests)

۵- تهیه گزارش ژئوتکنیکی (Geotechnical Report)

۶- ابزار گذاری و پایش (Instrumentation and Monitoring)

قضاوت مهندسی(**Engineering Judgement**)

۲-۱- مراحل متعدد اکتشافات ژئوتکنیکی در دریا

- مرور داده های موجود و برنامه ریزی: اتمام و ارزیابی داده های موجود و برنامه ریزی دقیق تمامی فازهای مطالعاتی
- بررسی های ژئوفیزیکی: جمع آوری داده های ژئوفیزیکی دقیق و نمونه گیری از بستر دریا و در برخی موارد بازبینی عینی از بستر دریا
- جمع آوری داده های اقیانوس نگاری: جمع آوری درجای اطلاعات مربوط به باد، موج، جریان آب و داده های اقیانوس نگاری و محیطی مشابه. جمع آوری این داده ها می بایست بصورت دراز مدت یا پیوسته بوده و این امکان وجود دارد که تا طراحی نهایی نیز ادامه داشته باشد.

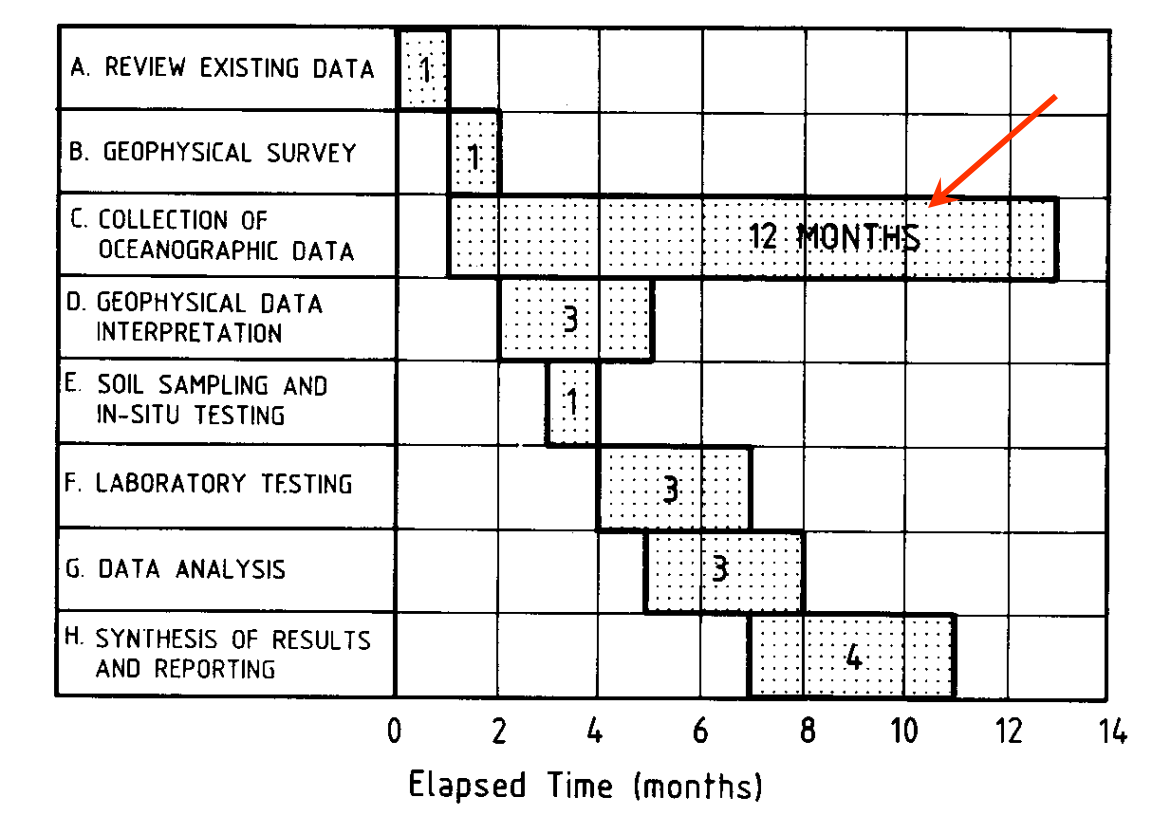
- تفسير داده هاي ژئوفيزيكي: تفسير داده هاي نقشه هاي موجود شامل ژرفاسنجي ، نقشه هاي زمين شناسي و خاكها و مقاطع عرضي ؛ انتخاب مكانهاي گمانه زني مناسب

- نمونه گيري در خاک و آزمايشات درجا: كارهاي درجاي ژئوتكنيكي

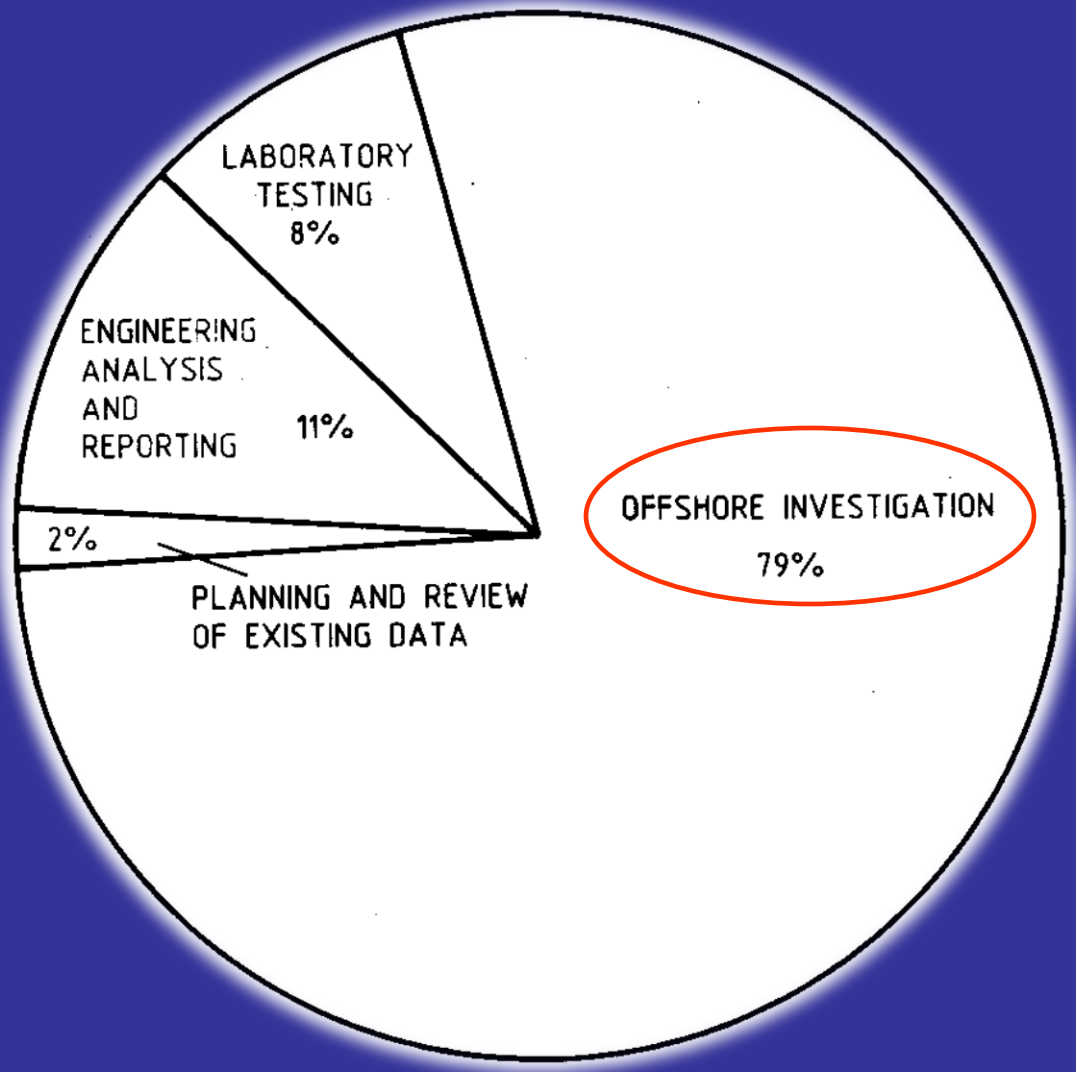
- آزمايشات آزمايشگاهي: تحليلهاي ساحلي ژئوتكنيكي و آزمايشات خاک

- تحليل داده ها: تحليلهاي ژئوتكنيكي و قضاوت مهندسي نتايج آزمايشات

- تركيب نتايج و گزارش: جمع آوري و تركيب نتايج تمامي تحليلهاي مهندسي و زمين شناسي و مهيا نمودن گزارش نهايي



شکل ۲- ۲ فازهای تحقیقاتی ژئوتکنیکی در دریا



شکل ۲- ۳ سهم هر یک از فازهای تحقیقاتی در مطالعات ژئوتکنیکی دریایی

عوامل تاثیر گذار بر گستره مطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی در دریا

- عمق آب
- نوع سازه
- بارهای محیطی
- شرایط خاک
- تجربه محلی
- مخاطرات زمین شناسی
- صرفه جویی در هزینه فونداسیون

جدول ۲- ۱- محدوده اعماق مطالعاتی در تحقیقات زئوفیزیکی و ژئوتکنیکی

Geophysical depth ranges		Geotechnical depth ranges	
Inshore, ports and harbours	< 25 m	Shallow water/near-shore	< 20 m
Shallow water	25–250 m	Offshore	20–500 m
Medium depth	250–1500 m	Deepwater	500–1500 m
Deepwater	1500–3000 m	Ultra-deepwater	> 1500 m
Ultra-deepwater	> 3000 m		

۳- بررسی های ژئوفیزیکی

هدف از انجام مطالعات ژئو فیزیکی عبارت است از:

- تهیه لایه بندی زمین
- مکان یابی حفرات موجود در اثر غار زایی ها
- تامین اطلاعات در زمینه ویژگی های دینامیکی و الاستیک خاک و سنگ
- ارائه پروفیل سرعت موج برشی جهت تقویت لرزه ای سایت

مزایای آزمایشات ژئوفیزیکی

- غیر مخرب
- سریع و اقتصادی
- تفسیر نتایج بر پایه تئوری
- قابل انجام در خاک و سنگ

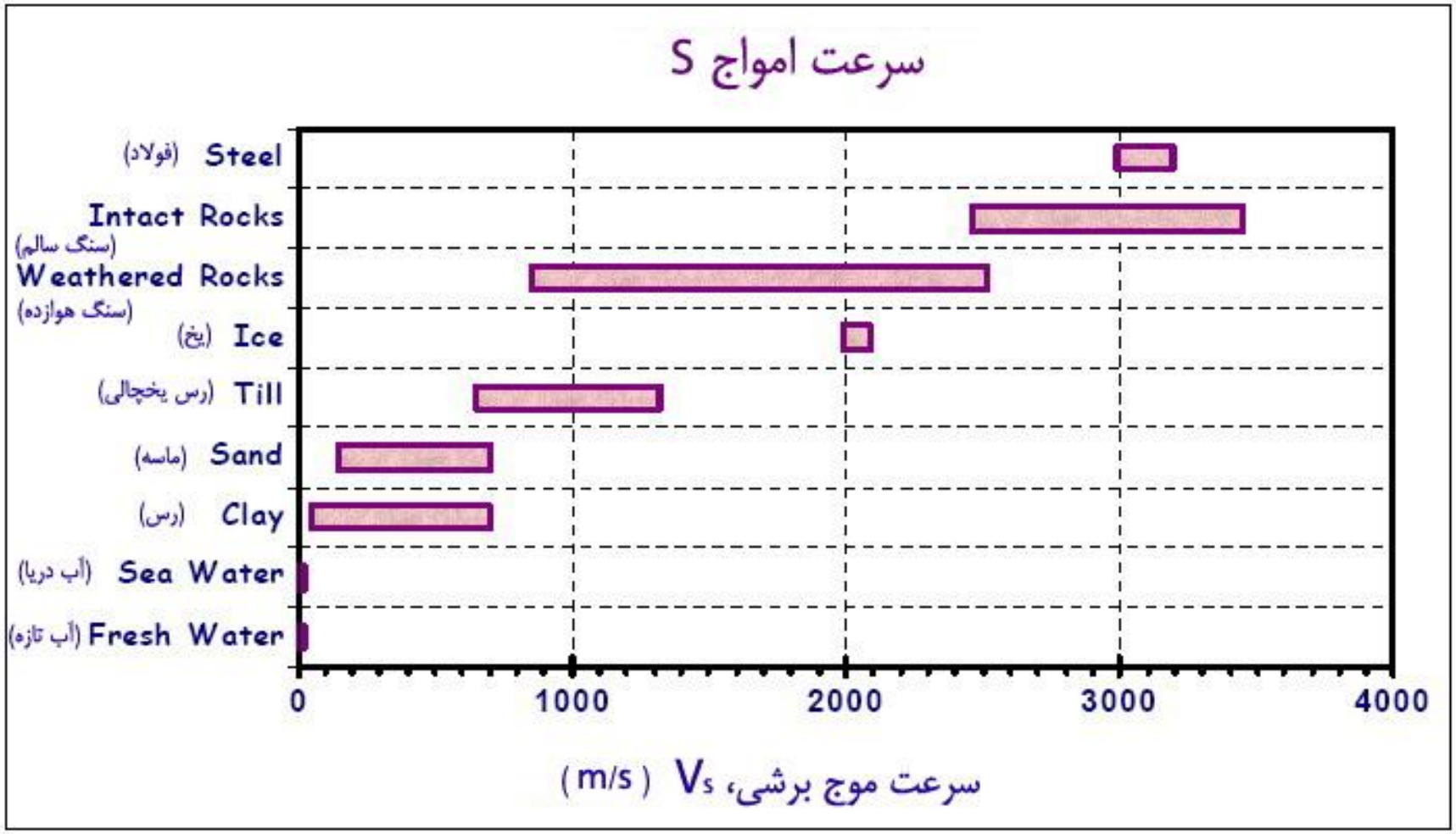
معایب آزمایشات ژئوفیزیکی

- عدم نمونه گیری و یا نفوذ فیزیکی سیستم
- استفاده از مدل در تفسیر
- تحت تاثیر لایه های سمانته
- نتایج تحت تاثیر آب، رس و عمق

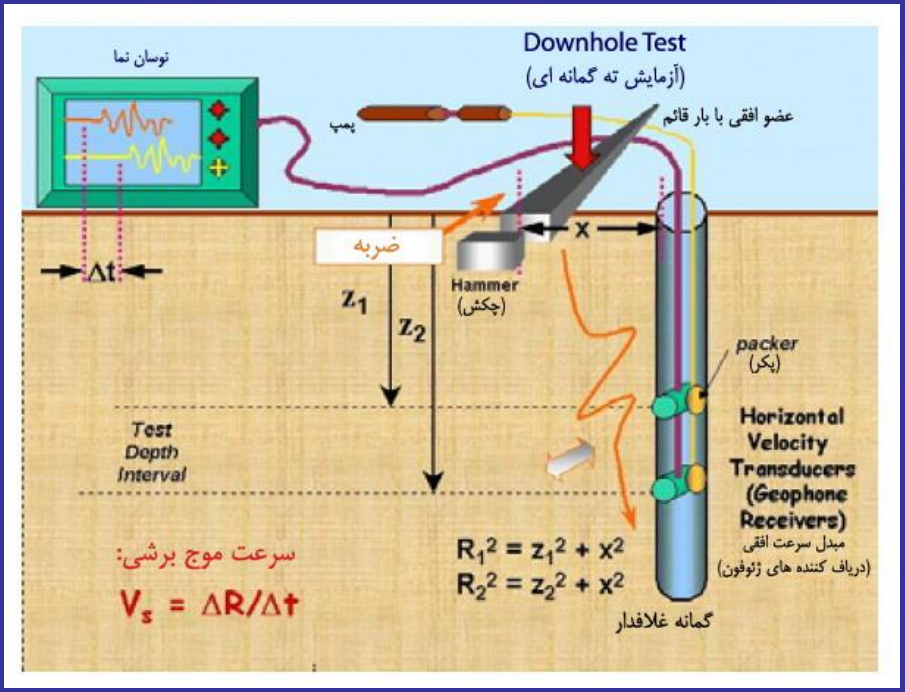
روشهاي ژئوفيزيكي

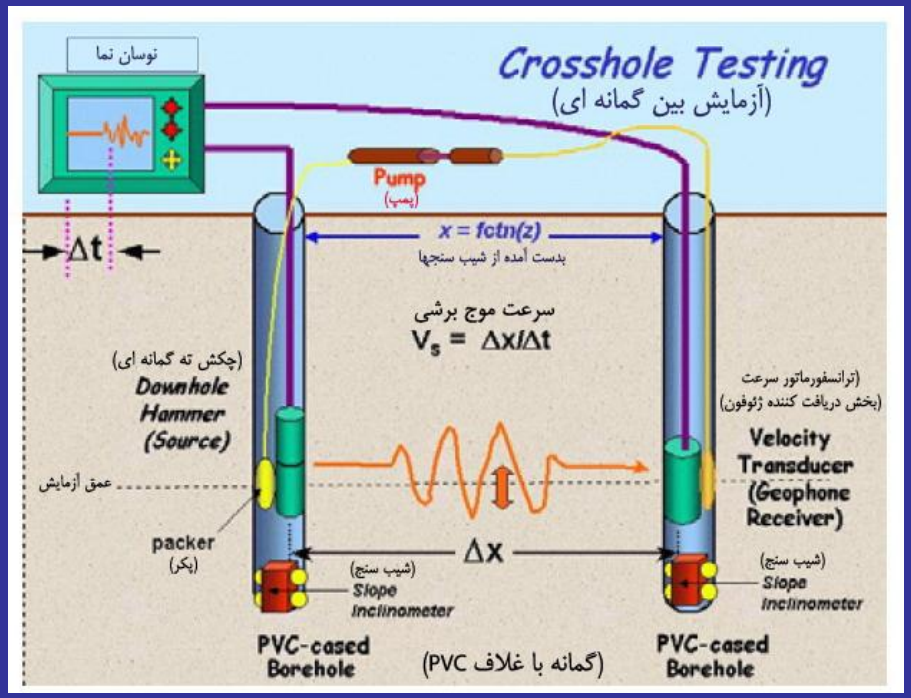
روشهای ژئوفیزیکی مشتمل بر دو نوع اندازه گیری امواج مکانیکی و تکنیکهای الکترومغناطیسی می گردد:

- انکسار لرزه اي- Seismic Refraction
- بين گمانه اي- Crosshole Test
- درون گمانه اي- Downhole Test
- تحليل طيفي امواج سطحي- Spectral Analysis of Surface Waves
- مقاومت الكتريكي- Electric Resistivity Surveys
- رديابي راداري- Ground Penetrating Radar



شکل ۲- ٤- نمونه سرعتهای موج برشی انواع مصالح خاکی و سنگی





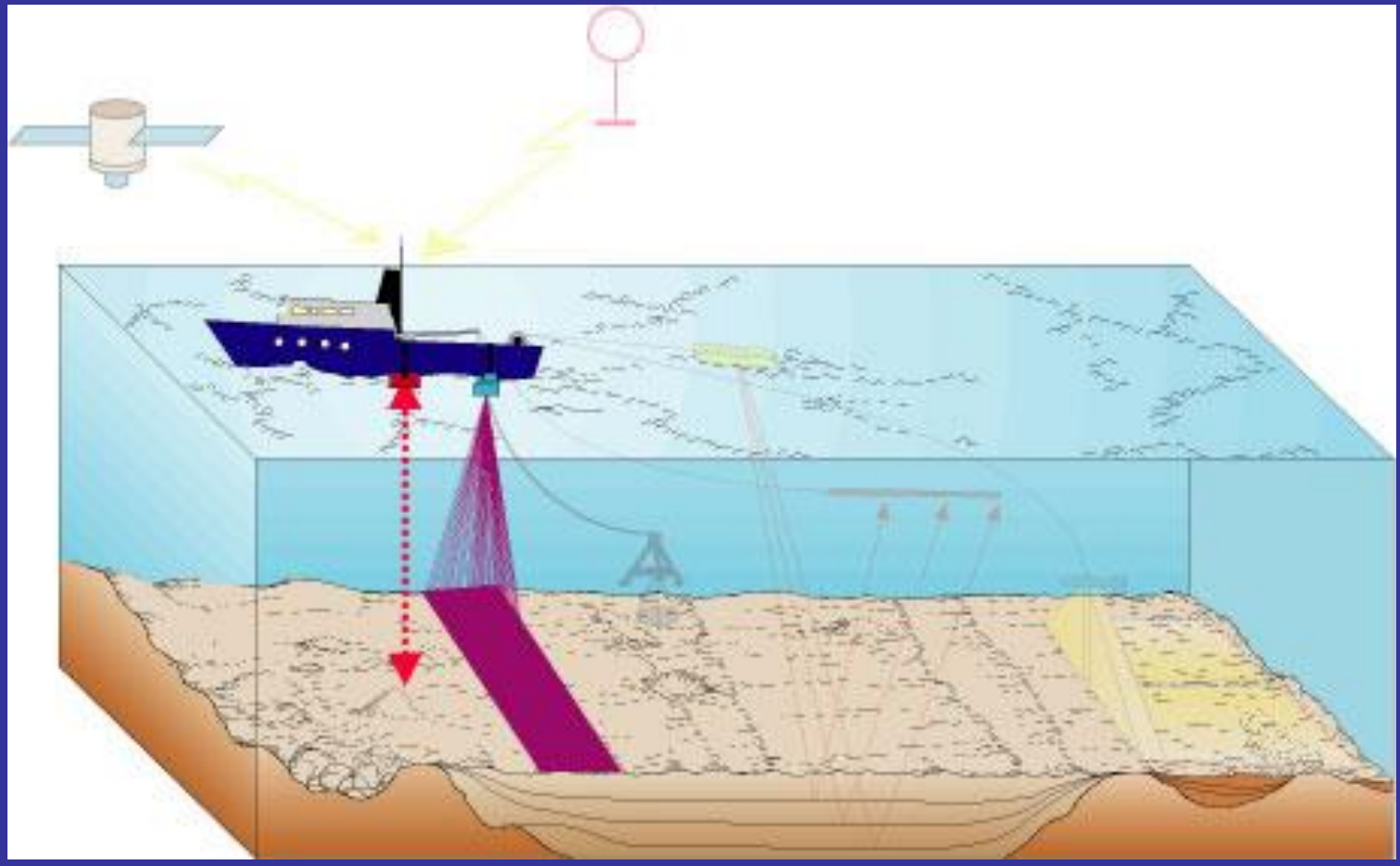
شکل ۲- ۵- شمایی از آزمایشات غیر مخرب بین گمانه ای و درون گمانه ای

۳-۱ اصلی ترین بخشهای بررسی ژئوفیزیکی

- ژرفا سنجی (Bathymetry)
- توپوگرافی بستر دریا (Seabed Topography)
- تهیه پروفیلهای قائم (Vertical Profiling)

ژرفا سنجي

عمق آب معمولا" با استفاده از یک ژرفا سنج صوتی دقیق که امواج صوتی با فرکانس بالا (حدود ٤٠ هرتز) را به بستر دریا فرستاده و انعکاس این امواج به مبدل را دریافت می نماید اندازه گیری می شود. این ژرفا سنج صوتی بطور کلی روی یک کشتی بررسی لرزه ای قرار می گیرد.



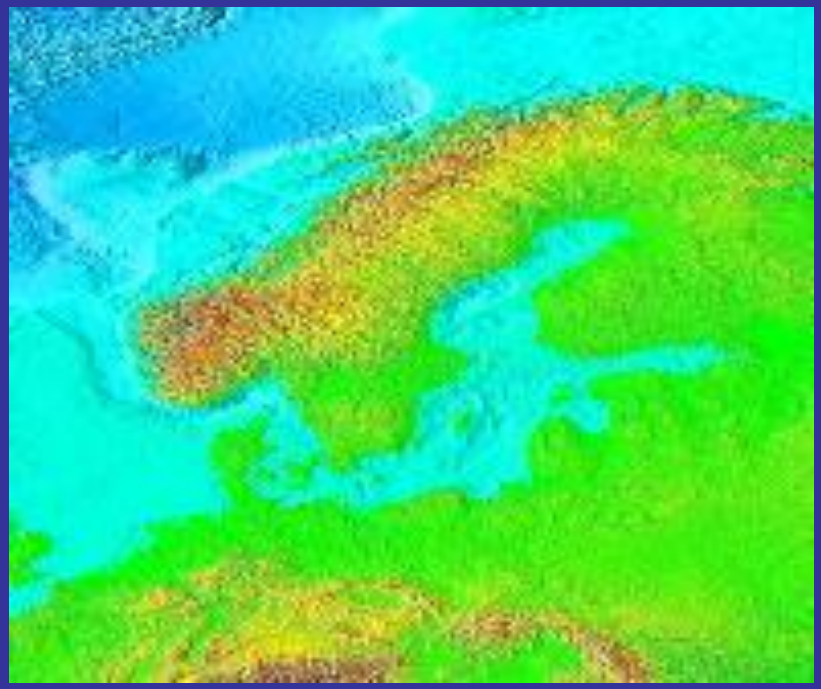
شکل ۲- ۶ ژرفا سنجی

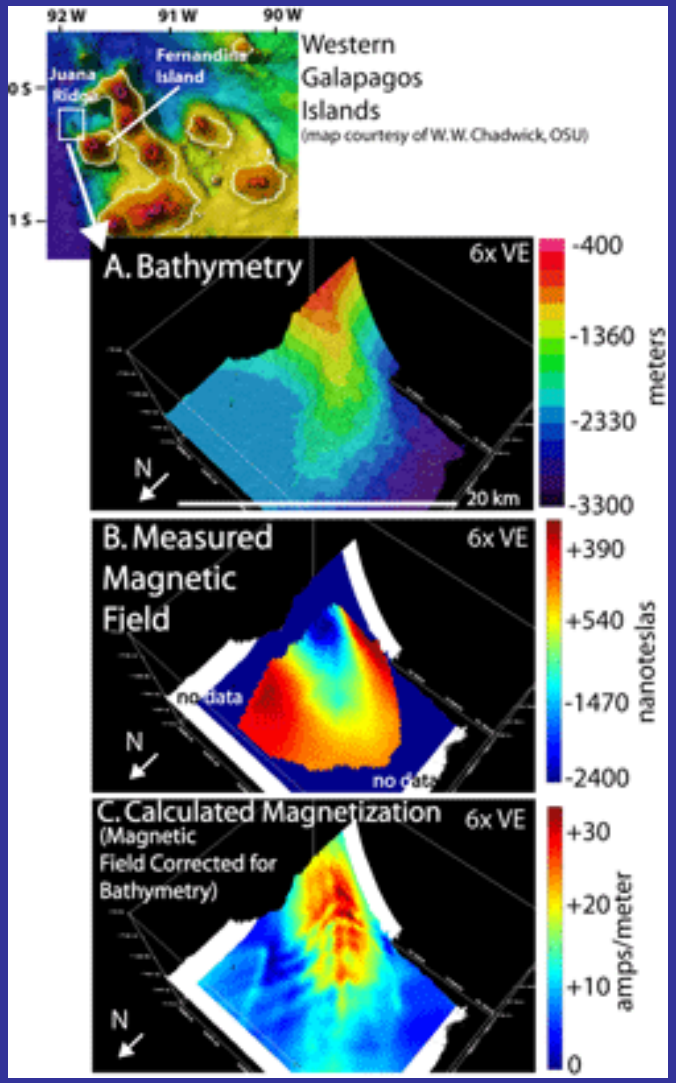
توپوگرافی بستر دریا

نقشه های جغرافیای طبیعی توسط داده های ثبت شده از زیر دریایی های کاشف تهیه می گردند. این زیردریایی ها پالسهایی با فرکانس بالای ۵۰ تا ۵۰۰ هرتز را به شکل نازک و پره ای فرستاده و امواجی را از کف دریا دریافت می نماید.

تهیه پروفیلهای قائم

یک سیستم تهیه پروفیل قائم لرزه ای مناسب به عمق نفوذ مورد نیاز، میزان دقت مورد نظر و مبهم بودن صوتی تشکیلات سطحی بستگی دارد.





شکل ۲- ۸ نمونه هایی از توپوگرافی شرایط بستر دریا

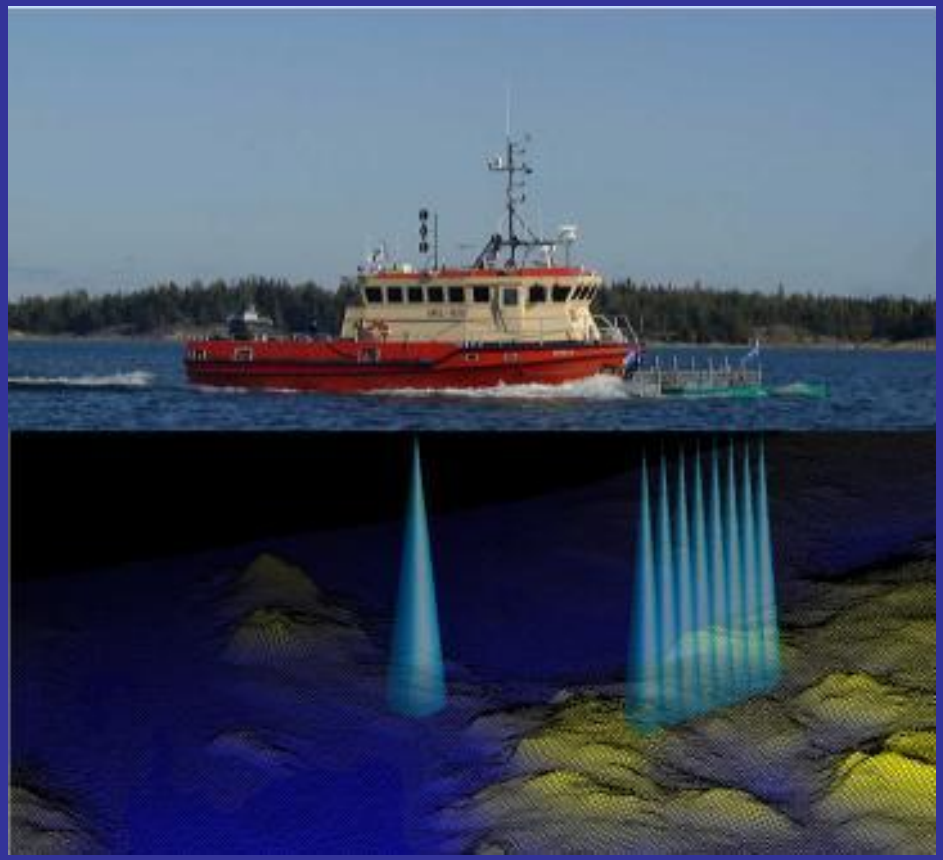
۳-۲ روشهای ژئوفیزیکی

ابزار گوناگونی جهت ثبت گرافیکی شرایط بستر دریا و همچنین شرایط زمین شناسی زیر آن موجود می باشد:

- Echo sounder
- Sub-bottom profiler
- Medium penetration profiler
- Deep penetration profiler
- Side-scan sonar
- Marine magnetometer

عمق یاب صوتی Echo sounder

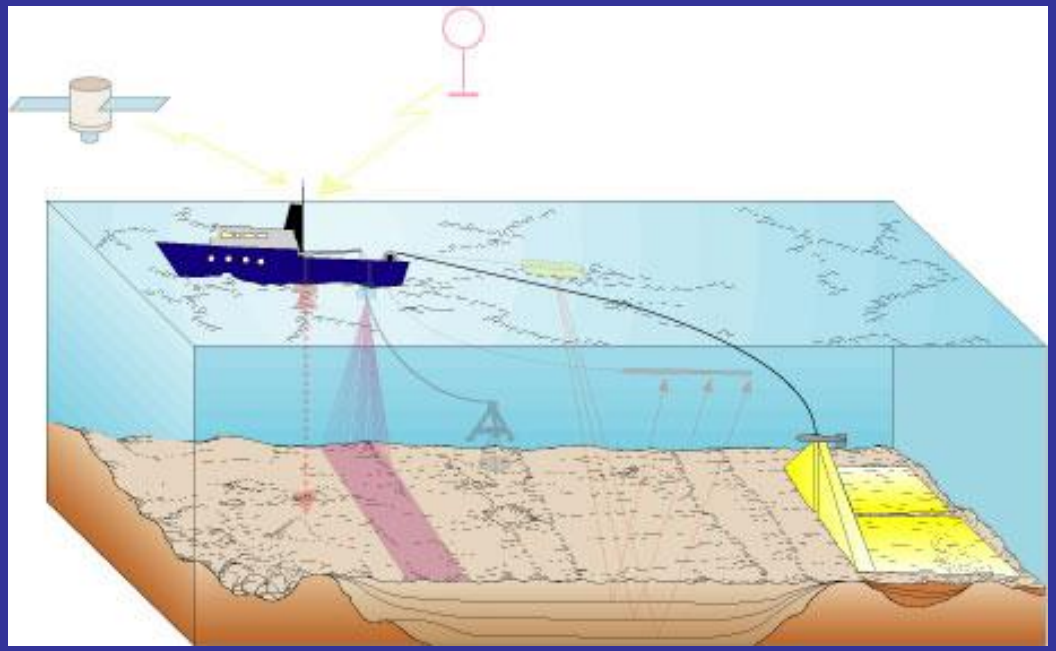
این ابزار، عمق آب را توسط اندازه گیری زمان سفر دو طرفه یک پالس فرستاده شده اندازه گیری می نماید. انتخاب این شیوه به عوامل متعددی از قبیل میزان دقت مورد نیاز و عمق آب وابسته می باشد.



شکل ۲-۹ Echo Sounder

Side scan sonar

این سیستم، رکوردهای گرافیکی را فراهم می نماید که نقشه های دو بعدی توپوگرافی بستر دریا و احجام موجود در آن را به تصویر می کشاند. این تصاویر را می توان معادل با عکسهای هوایی گرفته شده از زمین دانست.



شکل ۲-۱۰ Side Scan Sonar

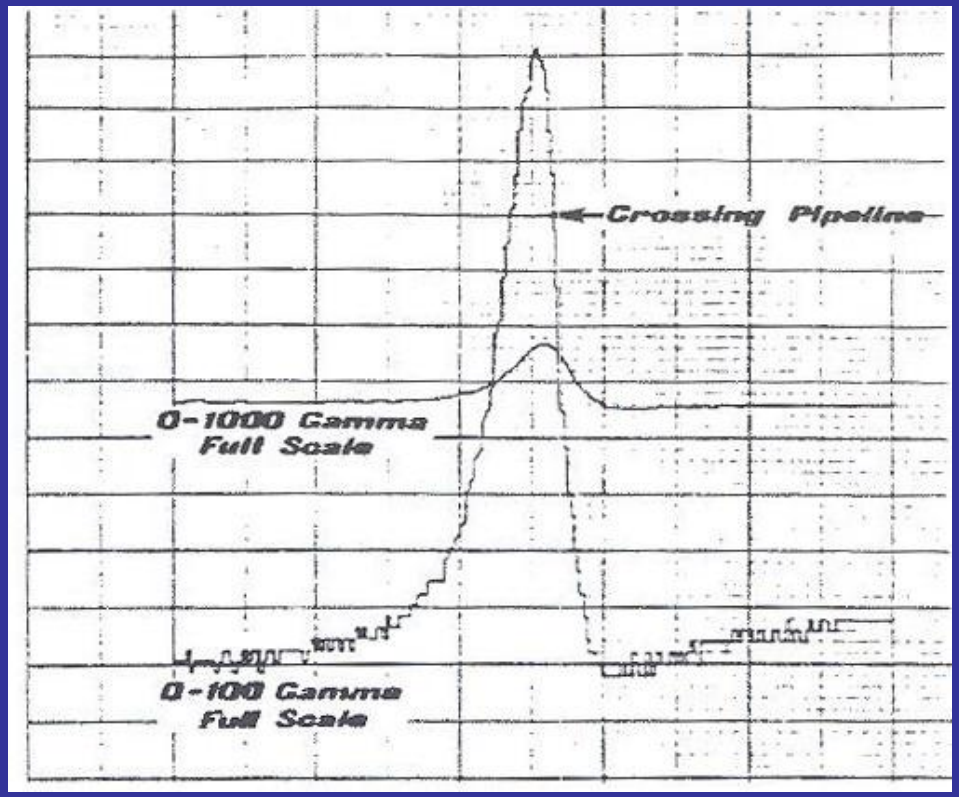
Sub-buttom profiler

این سیستمها همچنین در برخی موارد بعنوان سیستمهای تک کاناله ای شناخته می شوند که برای پروفیله کردن کم عمق ترین بسترهای دریایی در صنعت بکار می روند. این سیستم، یک ابزار با نفوذ کم بوده و بصورت لرزه ای به پروفیل نمودن بستر دریا می پردازد تا بدین وسیله رکوردهای دقیقی را فراهم نماید. این سیستم تنها در خاکهای نرم و به میزان حدود ۳۰ متر نفوذ می نماید.

شکل ۲- ۱۱ Subbottom Profiler

مغناطیس سنج دریایی Marine Magnetometer

از این سیستم جهت ردیابی میدانهای مغناطیسی غیر عادی در میدان مغناطیسی زمین بکار می رود. این اشیاءِ فلزی بر روی منحنی توسط نقاط پیک و یا فرورفتگی ها قابل تشخیص می باشند.



۳-۳ سکو های ژئوفیزیکی از راه دور

- Remotely Operated Vehicles (ROV)
- Autonomous Underwater Vehicles (AUV)

1.Remotely Operated Vehicles (ROV)

از این ابزار برای سالیان درازی است که بعنوان سکوی سنسورهای ژئوفیزیکی استفاده می گردد. این وسیله نقلیه به شناور اصلی و مرکز الکتریکی متصل شده و بدین وسیله با side scan sonar و echo sounder ها با یکدیگر ادغام می گردند. این وسیله دارای مزایای زیر می باشد:

- قابلیت مانور بالا
- تحت کنترل مستقیم انسان
- منبع ثابتی از نیرو

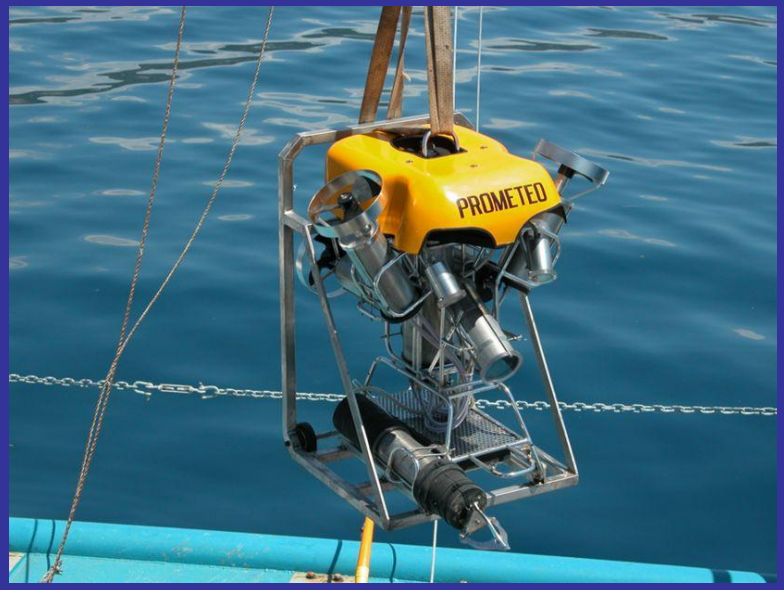


Fig. 2.12 Remotely Operated Vehicles

2. Autonomous Underwater Vehicles

با توسعه AUV ها، فرضیه جدیدی در بررسی های ژئوفیزیکی ارائه گردید. این نوع از وسایل نقلیه قادر بوده تا به echosounder، side scan sonar و sub-buttom profiler با فرکانسهای بالا مجهز گردد.

AUV ها داده های با کیفیت بالایی را ارئه و ذخیره می نمایند و قادرند تا بطور پیوسته در ارتفاعات بهینه سنسور بالای بستر دریا کار نموده و ظاهر خود را بموجب همخوانی با عوامل محیطی تغییر دهند.

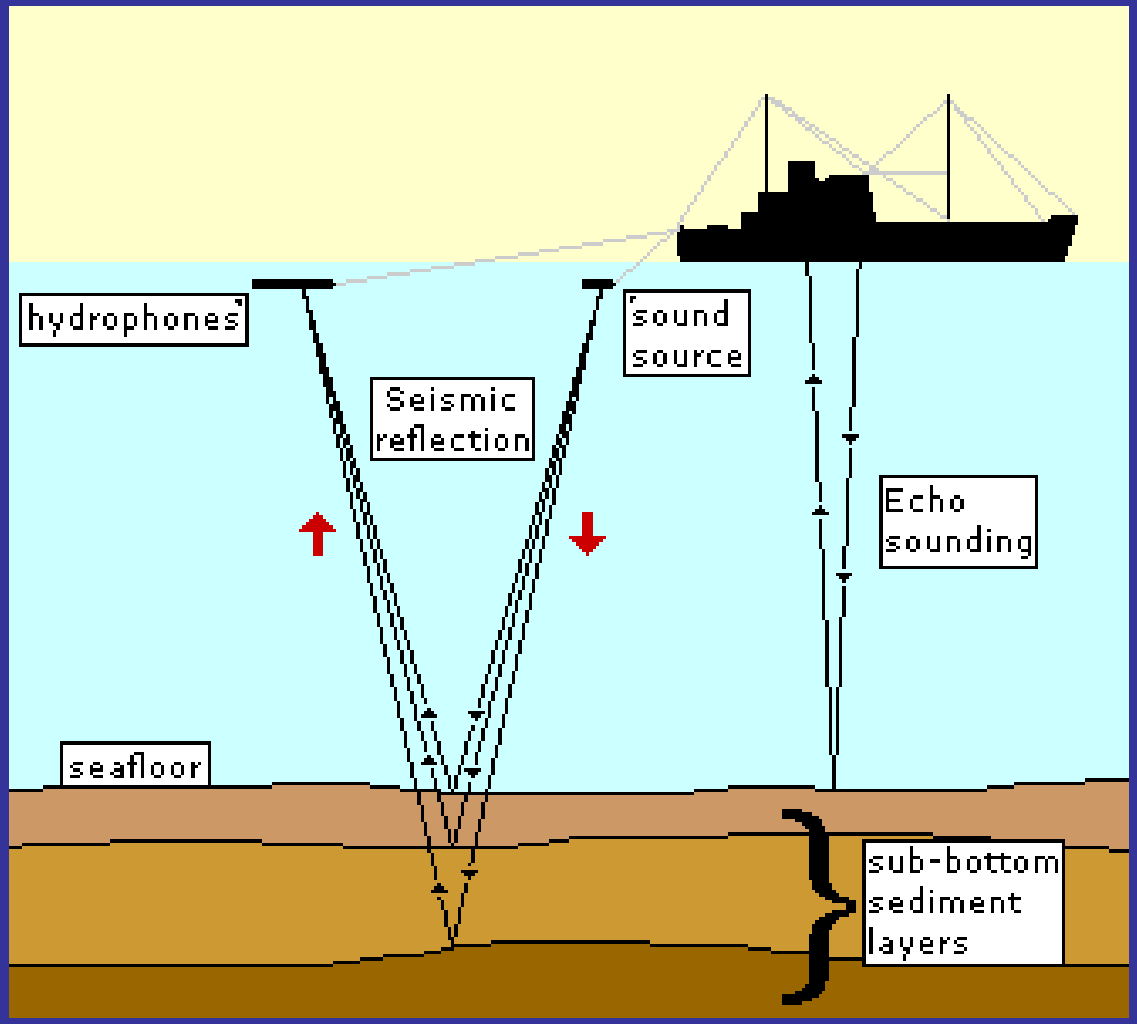
Fig. 2.13 Autonomous Underwater Vehicles

۳- ٤ سیستمهای انکسار لرزه ای

انکسار لرزه ای، روشی است که با سرعت بالا قادر به جمع آوری اطلاعات دقیقی از ساختارهای نهشته های خاکی بستر دریا می باشد.

از این روش در مواقعی استفاده می گردد که جزئیات مناسبی در ارتباط با ۳ متر اول و بویژه برای ا متر فوقانی بستر دریا مورد نیاز باشد.

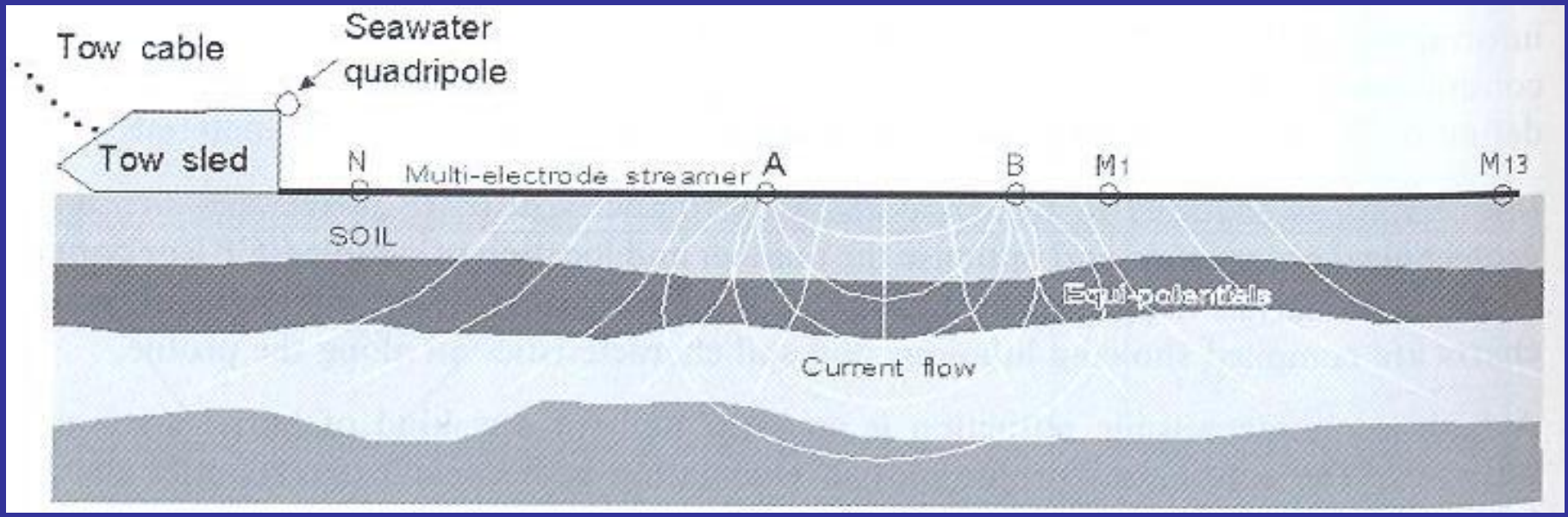
روش لرزه ای مبتنی بر اختلاف سرعت امواج لرزه ای در انواع خاکهاست. در این روش نیز با ایجاد تحریکات یا انفجارات کوچک سرعت موجهای حاصله اندازه گیری شده و جنس خاک تخمین زده می شود. حتی از برگشت و انعکاس امواج مختلف می توان به وجود و عمق لایه های سنگ بستر پی بـــرد.



شکل ۲-۱٤ سیستمهای انکسار لرزه ای

۳- ۵ شناسایی های الکتریکی

در شناسایی های الکتریکی، اساس کار بر تفاوت مقاومت یا رسانائی الکتریکی انواع خاکها و سنگهاست. در این روش به کمک جریان الکتریسیته مقاومت الکتریکی ظاهری زمین تعیین می شود که بر اساس آن می توان نوع خاک ویا سنگ محل را مشخص نمود.



۳-۶ دوربین های زیر آبی

بازرسی درجای رنگ خاکهای سالم (آلوده نشده)، شرایط و محتویاتشان اطلاعات ارزشمندی برای زمین شناس یا اقیانوس شناس برای ارزیابی های محطیطی فراهم می نماید.

انواع دوربینهای موجود جهت بازرسی عینی زیر دریا بقرا زیر می باشد:

- دوربینهای ویدوئی (با قابلیت ضبط تصاویر)
- فیلم (در حال حاضر معمول نبوده ولی برخی از فیلمهای حساس ویژه همچنان در برخی موارد استفاده می گردد)
- دوربینهای عکسبرداری، معمولا" با فرمت ۳۵ میلیمتری
- دوربینهای عکسبرداری دیجیتال

٤- برنامه ریزی جهت کاوش در خاک محل

- تعیین محل اولیه چاههای دستی، گمانه های ماشینی، ترانشه زنی و یا حفر گالری
- شماره گذاری محلهای حفاری و تعیین عمق حفاری ها
- شیوه ها و متدهای مختلف حفاری و چگونگی تراشه زنی و حفر گالری
- موقعیت، چگونگی و تعداد نمونه گیری و تعداد آزمایشات درجا
- ابزاربندی و مشاهدات آب زیرزمینی و نمونه گیری ازآن

۵- هدف از انجام عملیات حفاری

۱. تعیین و تشخیص پروفیل زمین و لایه ها

۲. نمونه گیری و انجام تستهای آزمایشگاهی

- **نمونه‌دست‌نخورده** حقیقی که درآن نمونه خاک گرفته شده بافت وحالت طبیعی تنش و شرائط فیزیکی مانند درصد رطوبت و وزن مخصوص خود را حفظ نموده است .
- **نمونه دست خورده** (**نمونهٔ انبوهی**) که در آن به عللی نمونه خاک گرفته شده دچار تغییرات شده و نتیجتاً خواص و شرایط اولیه اش را از دست می دهد.

۳. تستهای درجا

متدهاي حفاري

- حفاری دستی (چاه دستی – گودال ماشینی)– Test Pits
- گالری– Gallery
- حفاری ماشینی– Powered Augers

۱. حفاری ضربه ای– Percussion Drilling

۲. حفاری شستشوئی– Wash Boring

۳. حفاری دورانی– Rotary Drilling

روش حفاری	مزایا	معایب
چاه‌های دستی **Test Pits** چاه توسط دست و یا بیل مکانیکی کنده می‌شود.	- اقتصادی - فراهم نمودن اطلاعات پروفیل زمین با جزئیات - تهیهٔ مقادیر زیادی از نمونه‌های خاک دست خورده و دست نخورده - بلوک‌های بزرگ نمونه‌های دست نخورده از بخشهای مختلف چاه - انجام آزمایشهای درجا در کف ویا جدار چاه یا گودال	- محدودیت عمق تا ٦ متر (متداول در ایران تا اعماق ۲۰ متر) - چاه‌های عمیق تر اقتصادی نیست . - حفاری در زیر آب زیرزمینی و یا داخل سنگ مشکل و پر هزینه است. - مشکلات دست خوردگی زیاد سایت و پر نمودن چاه‌ها
مته‌ها یا آگرهای دستی **Hand Augers** توسط دوران و فشار به پایین، دستهٔ اوگر یا مته به صورت دورانی به زمین رانده می‌شود.	- اقتصادی - پرتابل و فضای کمتری نیاز است . - در چاهک‌های بدون محفظه و قالب قابل کاربرد است . - سطح آب زیرزمینی به آسانی قابل شناسایی و اندازه گیری است .	- محدودیت تا عمق ٦ متر وحساس به اپراتور - تهیهٔ نمونه‌های دست نخورده فقط برای خاکهای رسی - عدم به کارگیری در سنگ ، رس های سخت و ماسه‌های خشک
مته‌ها یا آگرهای ماشینی **Power Augers** مته‌ها(آگرهای) پیوسته نصب شده در کامیون که قادر به حفر گمانه به قطر 100 تا 250mm می باشند. ساقه مته‌ها توخالی و یا توپر است.	- سریع - قابل استفادهٔ در گمانه‌های بدون جدار - نمونه‌های دست نخورده به آسانی می‌توانند گرفته شوند . - به گل حفاری نیازی نیست . - سطح آب زیرزمینی به آسانی می‌تواند شناسایی شود .	- محدودیت تا عمق ۲۰ متر - حفاری در اعماق پایین، توام با مشکل و پرهزینه - قابلیت دسترس نمودن سایت توسط ماشین آلات و وسایل نقلیه سنگین
حفاری ضربه‌ای **Percussion Drilling** سقوط تیغهٔسنگین از ارتفاع مناسب و خرد نمودن خاک و سنگ ونفوذ در زمین	- حفاری در زمینهای سخت و یا سنگ - مناسب برای حفر چاه‌های آب	- محدودیت عمق - دست خوردگی خاک و مشکلات تهیه نمونه دست نخورده - نیاز به آب
حفاری بطریق آب شویی **Wash Boring** یک متهٔ حفاری در حال چرخیدن با جت آب موجب نفوذ و کندن خاک یا سنگ شده و توسط فشار آب از ته گمانه خاکها شسته و به سطح زمین فرستاده می‌شود.	- پایین بودن هزینهٔ و وزن تجهیزات - قابل استفاده در چاه‌های بدون جدار (غلاف) - قابل حمل، حفاری در سایت های مشکل‌دار به لحاظ دسترسی - قطر دلخواه برای گمانه‌ها جهت حفاری	- محدودیت تا عمق ٤٠ متر - حفاری کند در رسها - مشکل درتعیین موقعیت دقیق سطح آب زیرزمینی - عدم تهیهٔ نمونه‌های دست نخورده خاک واختلاط نمونه‌ها با گل حفاری - نیاز به آب جهت حفاری
حفاری دورانی **Rotary Drilling** توسط وزن تجهیزات حفاری، مته به زمین رانده و توسط یک موتور چرخانده وبه زمین فرو برده می‌شود.	- سریع - می‌توان حفاری را در داخل هر نوع خاک یا سنگ انجام داد. - حفاری تا اعماق 7500m می‌تواند انجام شود . - نمونه‌های دست نخورده را می توان به آسانی تهیه نمود.	- تجهیزات گران - سایت باید قابل دسترسی با ماشین آلات باشد . - نیاز به گل حفاری جهت جلوگیری از ریزش - زمان اضافی جهت نصب و جمع آوری دستگاه

شکل ۲- ۱۵-

انواع روشهای حفاری و ویژگی های مربوطه

عمق بررسی ها

- عمق متناظر با یکی از دو معیار ۱۰٪ مقدار تنش تماسی وارده از کف پی به زمین و یا ۵٪ میزان تنش مؤثر در خاک
- کاهش در عمق شناسایی در صورت مواجهه با سنگ بستر و یا خاک سخت
- ادامه گمانه ها تا اعماق پائین تر از نهشته های نامناسب جهت اهداف پی سازی
- الزام در رسیدن عمق چاه تا عمق ۶ متری از کف پی
- نفوذ بیش از یک گمانه بمقدار حداقل ۳ متر در صورت برخورد به سنگ بستر

بر پایه معیار ۱۰٪ مقدار تنش

پی مربعی- ۲ تا ۳ برابر عرض پی

پی نواری- ۳ تا ٤ برابر عرض پی

پی گسترده- ۵/۱ برابر عرض پی

جدول – نمونه ای از اعماق شناسایی پیشنهاد شده در مطالعات ژئوتکنیک دریایی

Geophysical depth ranges		Geotechnical depth ranges	
Inshore, ports and harbours	< 25 m	Shallow water/near-shore	< 20 m
Shallow water	25–250 m	Offshore	20–500 m
Medium depth	250–1500 m	Deepwater	500–1500 m
Deepwater	1500–3000 m	Ultra-deepwater	> 1500 m
Ultra-deepwater	> 3000 m		

۶- روشهای حفاری و نمونه گیری در دریا

این روشها شامل مراحل زیر می گردد:

- کشتی تحقیقاتی و سیستم حفاری (Investigation Vessel and Drilling Systems)
- نمونه گیری نفوذی سطحی (Shallow Penetrating Sampler)
- نمونه گیری عمیق (Deep Penetrating Sampler)

۶-۱ کشتی تحقیقاتی و سیستم حفاری

انتخاب کشتی و دکل حفاری برای تحقیقات توسط عوامل زیر کنترل می گردد:

الف) شرایط دریا، از قبیل عمق آب، حالت دریا و شرایط مهاری بستر دریا

ب) برنامه طرح ریزی شده تحقیقاتی

ج) میزان دسترسی و هزینه

دکلهای حفاری و شناورها

- دکل حفاری که در دریا مورد استفاده قرار می گیرد مشابه با دکل حفاری بکار گرفته شده درون خشکی بوده و تنها بمنظور کارایی درون آب اندکی اصلاحات را متحمل گشته است.
- لازمه اصلی یک دکل حفاری برای استفاده در کارهای آبی این است که دارای ظرفیت عمقی کافی باشد تا بدین منظور از عهده عمق آب و میزان حفاری بر آید.
- بهترین روش در حفاری های دریایی استفاده از دکلهای حفاری دورانی بر روی سکو یا شناور می باشد.

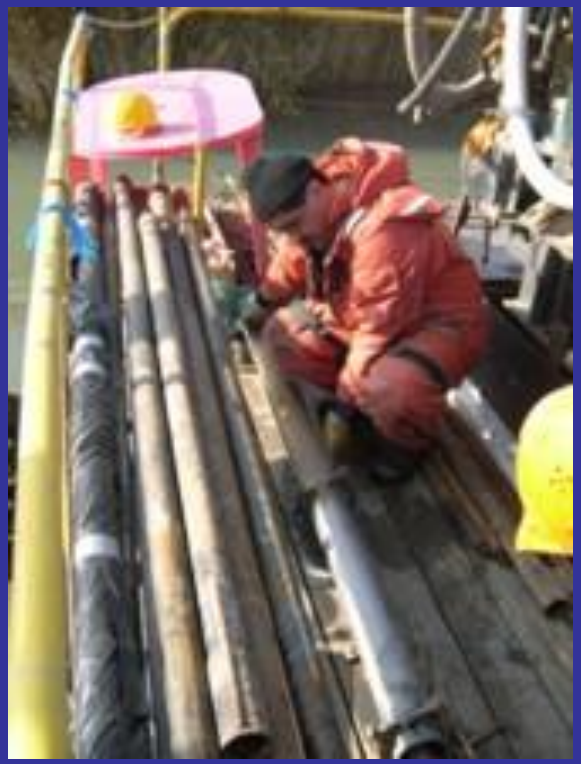
روشهای حفاری

- روشهای قدیمی اکتشافات دریایی در دهه ٤٠ مشابه روشهای اکتشافی موجود در خشکی اجرا می گردید.
- عملیات حفاری و نمونه گیری در زمانهای قدیم از یک سکوی مغزه گیری یا کشتی های بزرگ مهار شده در بستر دریا صورت می گرفت.
- در این روش نمونه ها بصورت هیدرولیکی و توسط یک تیوب جدار نازک یا نمونه گیر اسپلیت بارل اخذ می شدند.
- از این روش همچنان برای آبهای سطحی و گمانه های کم عمق نیز استفاده می گردید.

Drill Rig

Mobile Rig

Geotechnical Drilling Vessel



شکل ۲- ۱۶ سیستمهای حفاری در دریا

شکل ۲- ۱۷ سکوهای حفاری

۲-۶ نمونه گیری نفوذی سطحی

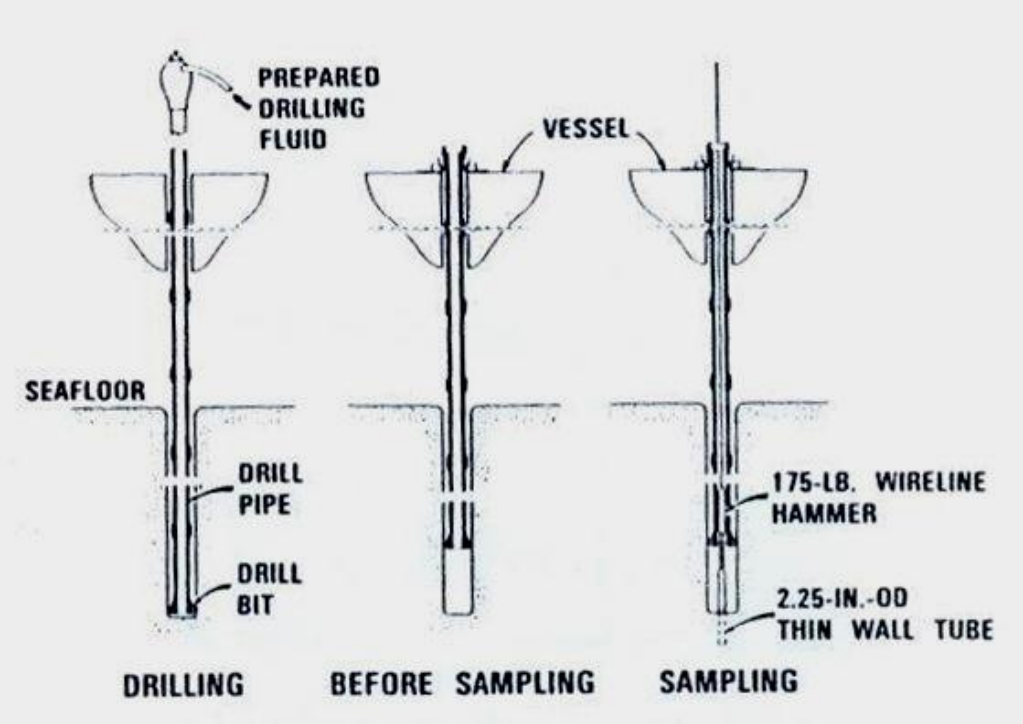
این نمونه گیرها معمولاً برای آزمایشات طبقه بندی خاک مناسب بوده ولی برای ارزیابی داده های کمی قابل اعتماد نمی باشند. این نمونه ها را می توان توسط مغزه گیر های پیستونی یا ثقلی با غلاف باز اخذ نمود.

ابزار نمونه گیری از خاک

ابزار نمونه گیری مورد استفاده در دریا مشابه با آن دسته از نمونه گیر هایی است که تاریخچه طولانی مدت و موفقی را در خشکی دارند. این ابزار در خاکها شامل نمونه گیر های liner، تیوبهای جدار نازک (شلبی) و اسپلیت بارل و در سنگها مغزه گیر های غلافی می باشد.

جدول ۲- ۲ انواع نمونه گیر و کاربرد هر یک

نوع نمونه گیر	کاربرد
نمونه گیر liner	خاکهای بسیار نرم
تیوب جدار نازک	خاکهای ریزدانه
اسپلیت بارل	خاکهای سخت



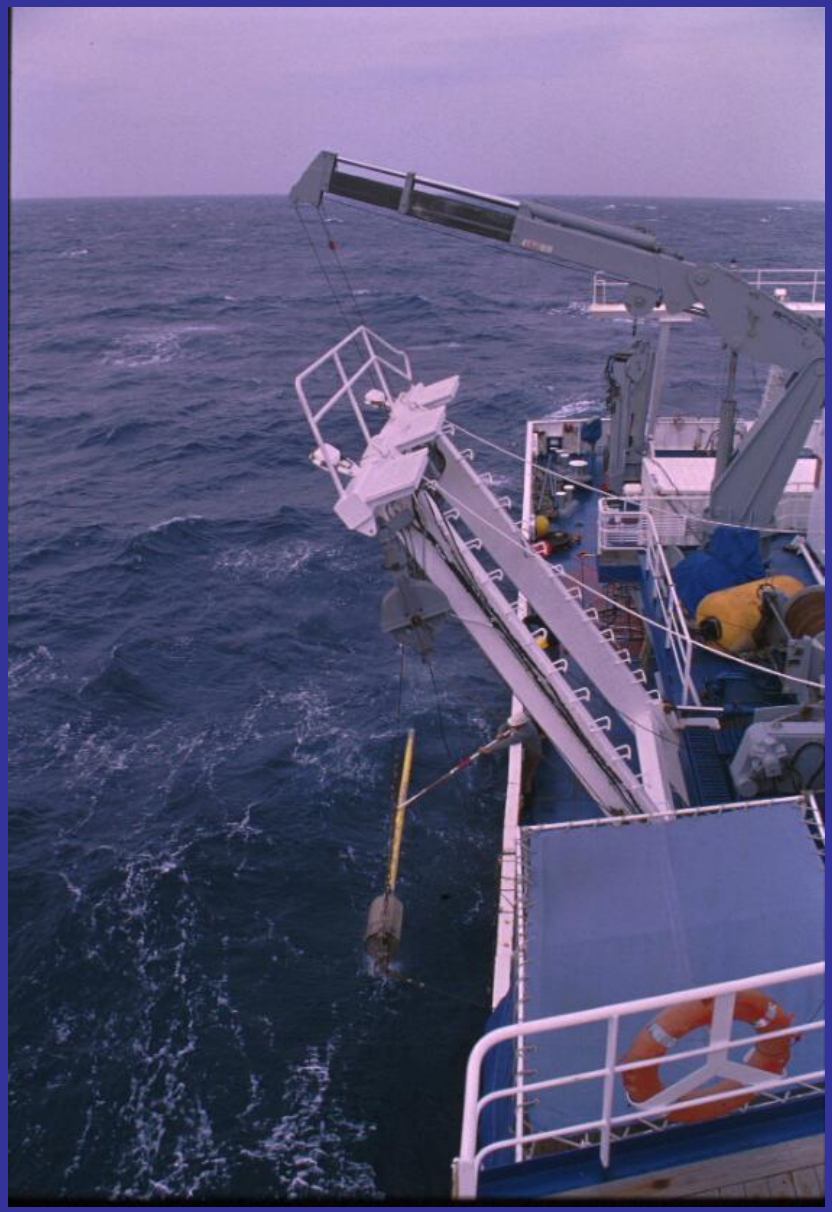
شکل ۲- ۱۸ نحوه عملکرد نمونه گیر Wire-liner

مغزه گیر ثقلي (Gravity Sampler)

- مغزه گیرهای ثقلی ابزاری سریع جهت اخذ نمونه های مغزه ای پیوسته در اعماق زیاد (تا چند هزار متر) می باشند.
- این مغزه گیر ها را می توان توسط شناورهای متنوعی بدرون آب فرستاد.
- مغزه گیر ثقلی تقریباً تمامی تحقیقات خاکی بستر دریا ها را در بر می گیرد.
- طول این مغزه گیر از ۱ تا ۶ متر با قطر خارجی ۱۰۲ میلیمتر می باشد.

مزایا و محدودیتها

- تنها برای رسهای بسیار نرم یا سخت مناسب می باشند.
- نمونه های اخذ شده بطور کلی دارای کیفیت متوسطی می باشند.



شکل ۲- ۱۹- مغزه گیر ثقلی

مغزه گیر پیستونی (Piston Sampler)

بمنظور اخذ نمونه های مغزه ای ثقلی با کیفیت بالا تر در خاکهای نرم، غلافهای مغزه با یک پیستون استاتیکی مجهز می گردند. نمونه های بدست آمده از درون مغزه گیرهای پیستونی امکان نمونه گیری دقیق تر و بیشتر از خاک و تحلیل مقاومتی صحیح تر را فراهم می نماید.

این نحوه نمونه گیری در مواقعی که داده های با کیفیت بالا مورد نیاز می باشد انجام می گیرد.

مزایا و محدودیتها

- اخذ نمونه های با کیفیت در خاکهای نرم در صورت طراحی و اجرای صحیح
- توانایی حذف نیاز به شناور های حفاری با استفاده از مغزه گیرهای پیستونی طویل و قابل استفاده در آبهای عمیق
- نیاز به عملیات ایمن و کارآمد در استفاده از شناورهای بزرگ و مجهز

شکل ۲- ۲۰ نمونه گیر پیستونی

مغزه گیر ارتعاشی

از مغزه گیر ارتعاشی در مواردی استفاده می گردد که شرایط خاک برای مغزه گیرهای ثقلی مناسب نبوده و یا اینکه نفوذ بیشتری در بستر دریا لازم باشد. از این نوع مغزه گیرهای ارتعاشی بطور وسیعی در مطالعات ژئوتکنیکی استفاده گردیده و می توان آن را تا اعماق ۱۰۰۰ متر نیز بکار گرفت.

مزایا و محدودیتها

- فراهم نمودن اطلاعات با ارزش برای آزمایشات آزمایشگاهی درون ساحلی جهت طبقه بندی خاک
- دقت در اندازه گیری مقاومت برشی خاک به جهت دست خوردگی آن بواسطه حرکتهای ارتعاشی
- نیاز به کشتی های بزرگ جهت حمل آنها

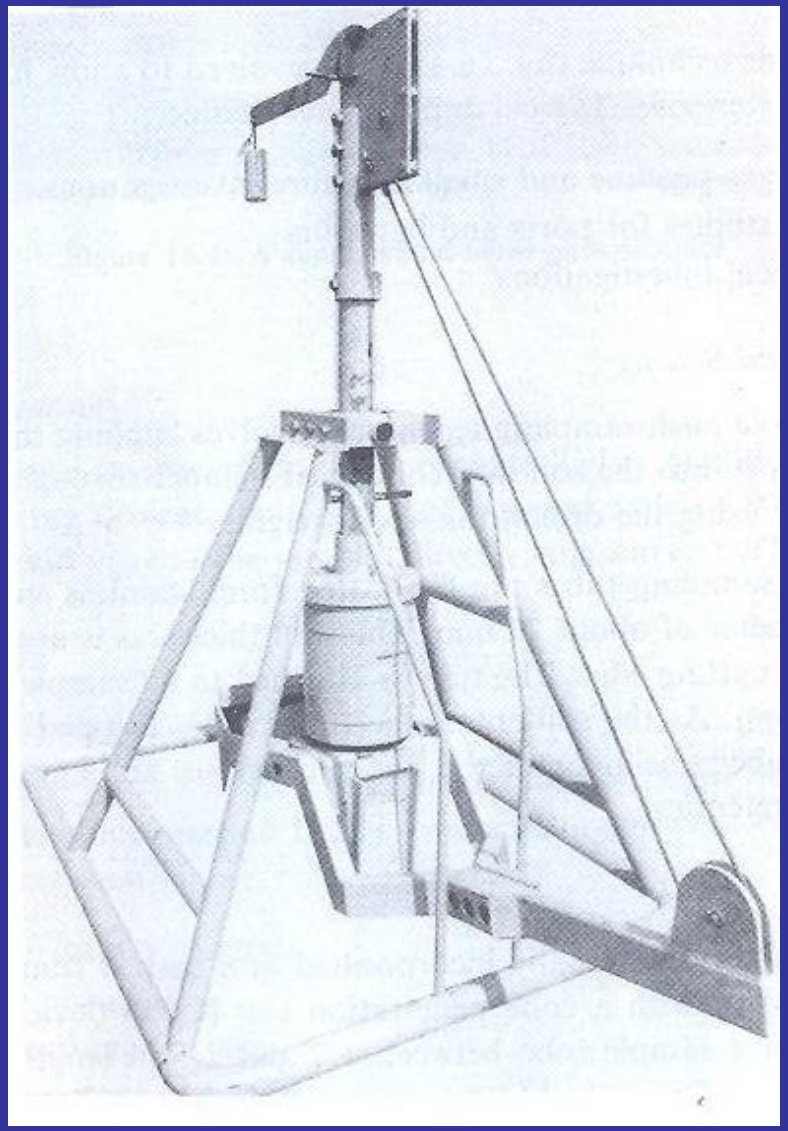
شکل ۲- ۲۱ مغزه گیر ارتعاشی

مغزه گیر باکسی

از مغزه گیر باکسی در بستر دریا جهت اخذ نمونه های بلوکی نسبتا" دست نخورده از رسوبات چسبنده نرم استفاده می گردد.
این مغزه گیر دارای تجهیزات بسیار ساده ای می باشد که بخشی از بستر دریا را احاطه کرده و کف خود را جهت مراقبت از نمونه در مقابل دست خوردگی های آتی در حین بازیابی آن مهر و موم می نماید.

مزایا و محدودیتها

- قابلیت اخذ نمونه های بزرگ، نسبتاً دست نخورده و با کیفیت بالا جهت مطالعه و انجام آزمایشات آزمایشگاهی
- قابل کاربرد در ارزیابی های زیست محیطی
- تسهیل شناسایی چشمی بخشی از سطح بستر دریا



شکل ۲-۲۲ مغزه گیر باکسی

نمونه گیر های چنگکی (Grab Samplers)

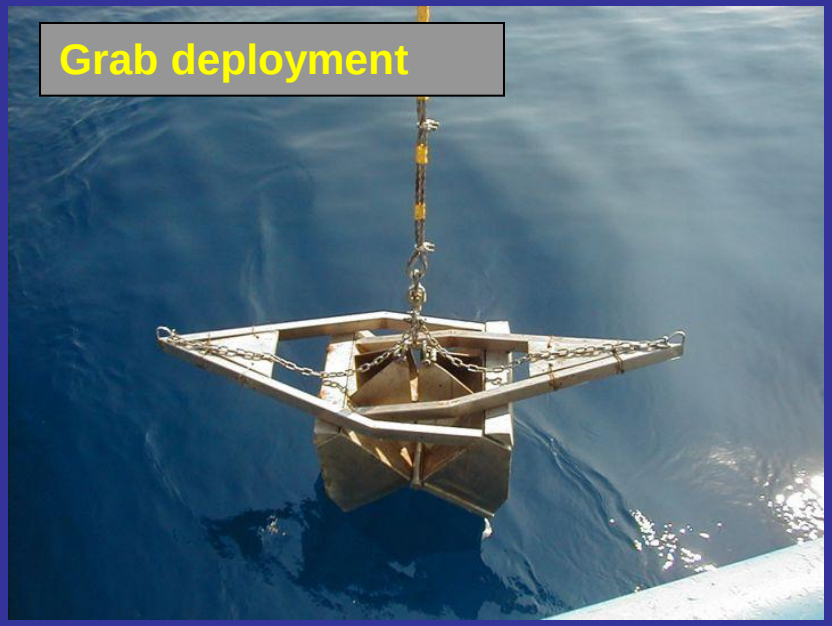
نمونه گیرهای چنگکی یکی از معمول ترین روشهای موجود جهت بازیابی نمونه های خاک از بستر دریا می باشد.

این نمونه گیر، دستگاهی است که به آسانی نمونه ای را از بالاترین لایه های بستر دریا توسط جمع کردن دو چنگک فولادی و برش بخشی از خاک تهیه می نماید.

مزایا و محدودیتها

- توانایی در اخذ نمونه های نسبتا" سالم و حجیم تر از خاکهای تحکیم یافته
- چنگکهای کوچک را می توان در انواع شناورها استفاده نمود.
- ارزش ژئوتکنیکی مناسب نمونه های خاکی بدست آمده در حین بیرون آوردن نمونه بواسطه محدود نمودن میزان دست خوردگی موجود در خاکهای غیر چسبنده

Grab deployment



Sample recovery from the grab

Sample inside the Grab

Grab recovery

۷- تستهای آزمایشگاهی

- **آزمایشهای شناسایی و اندکس:** مثل درصد رطوبت, توزیع دانه ها یا دانه بندی (آنالیز الک ویاهیدرومتری) حدود اتربرگ, وزن مخصوص

- **آزمایشهای تغییرات حجمی :** تراکم، تحکیم، رمبندگی، CBRو تورم

- **آزمایشهای آب در خاک :** نفوذپذیری، تحکیم، تورم، جوشش ماسه ای

- **آزمایشهای شیمیایی و خوردگی:** مثل تعیین یونهای سولفات، کلراید، pH آب

- **آزمایشهای تعیین پارامترهای مقاومت برشی:** تک محوری، برش، سه محوری

- **آزمایشهای دینامیکی:** مثل سه محوری سیکلی، ستون تشدید، برش سیکلی

محدودیت تستهای آزمایشگاهی

- تهیه نمونه های دست نخورده
  - حذف فشار هیدرو استاتیک در اثر نمونه گیری
  - ایجاد ضربه در حین نمونه گیری
  - تغییرات حجمی نمونه در اثر رها شدگی تنشها
- محدودیت اندازه نمونه ها
- حمل و نقل و نگهداری نمونه ها
- مدل نمودن تنش های واقعی در محل

۸- تستهای درجا

- آزمایش نفوذ استاندارد — Standard Penetration Test, SPT
- آزمایش نفوذ مخروط — Cone Penetration Test, CPT
- برش پره‌ای وین — Vane Shear Test, VST
- آزمایش فشارسنجی یا پرسیومتری — Pressuremeter Test, PMT
- آزمایش بارگذاری صفحه‌ای — Plate Load Test, PLT

✓ ***داده های آزمایشات درجا کاربرد بیشتری در مهندسی پی دارند.***

نام آزمایش، مرجع	مناسب برای	نامناسب برای	ویژگیهای قابل تعیین	مزایا و معایب
آزمایش نفوذ استاندارد Standard Penetration Test (S.P.T)	ماسه	رس های نرم تا سفت	- ارزیابی کیفی تراکم خاک در محل - مقایسه کیفی مقاومت وسختی بین لایه های زیرین	- نتایج آن وابسته به بروسه آزمایش - عدم اجرای استاندارد واحد - وجود خطا در عدد N - عدم کاربرد در خاکهای رسی - سریع و اقتصادی - امکان نمونه گیری مجدد - انجام آزمایش آسان - عدم نیاز به افراد متخصص - انجام آزمایش همگانی و فراگیر
آزمایش نفوذ مخروط (پنتروتر) یا پیزوپنتروتر Cone Penetration Test (CPT,CPTu)	ماسه ، لای و رس	شن	- ارزیابی پیوسته ای از دانسیته و مقاومت ماسه ها - ارزیابی پیوسته ای از مقاومت برشی زهکشی نشدهٔ رسها - ارزیابی فشار آب منفذی	- محدودیت در خاکهای درشت دانه و متراکم - نیاز به افراد متخصص - عدم امکان تهیه نمونه های خاک - اجرای سریع و آسان - دادن نتایج پیوسته ای بر حسب عمق - تفسیر نتایج بر مبنای روشهای تئوری و تحلیلی
آزمایش برش پره وین Field Vane Test (FVT)	رس	ماسه و شن	- حصول مقاومت برشی زهکشی نشده (نتایج آزمایش را باید در رسهای ترک دار و با پلاستیسیته بالا با دقت استفاده نمود)	- دست خوردگی خاک حین انجام آزمایش - اقتصادی - سریع - کاربرد مناسب در رسها
آزمایش پرسیومتری Pressere meter Test(PMT)	سنگهای نرم، ماسه های متراکم ، شن	رسهای نرم وحساس ، ماسه ها و لایهای شل	- مقاومت باربری - ویژگیهای تراکم پذیری	- نتایج تحت تاثیر دست خوردگی خاک ناشی از حفر چاه - قابلیت بکارگیری برای انواع خاکها و سنگها - ارائه رابطه تنش ـ کرنش خاک
آزمایش اتساع سنجی Dilatometer Test (DMT)	رس و ماسه	شن	- روابط تجربی برای نوع خاک - درجهٔ پیش تحکیمی، K_o مقاومت برشی زهکشی نشده، مدول الاستیسیته خاک	- تکنولوژی و اجرای آزمایش فراگیر نیست - تفسیر تجربی
آزمایش صفحهٔ بارگذاری Plate Load Test (PLT)	ماسه و رس		- مدولهای تغییر شکل، ضریب عکس العمل بستر - توان باربری	- نتایج آزمایشات دارای محدودیتها و گاهی خطاهای زیاد - احتیاج به افراد متخصص - اثر سربار روی پی به خوبی در نظر گرفته نمی شود. - تفاوت زیادی بین نمونه اصلی و مدل در عمق تاثیر پی آزمایش واقعی بارگذاری در محل جهت تعیین رفتار نیرو - جابجائی
آزمایش نفوذپذیری در محل Permeability Test	ماسه و شن		- ارزیابی ضریب نفوذپذیری آب در خاک	آزمایشات با حد متغیر در گمانه ها دارای دقت کمی هستند . تا ده برابر نتایجات متغیر بوده حتی اگر از آزمایشات پمباز در درازمدت و چاههای بزرگ بدست آیند . - تعیین نفوذ پذیری در شرائط واقعی و در جهات مختلف با حداقل دست خوردگی خاک

شکل ۲- ۲۳-

مشخصات آزمایشات درجای متداول

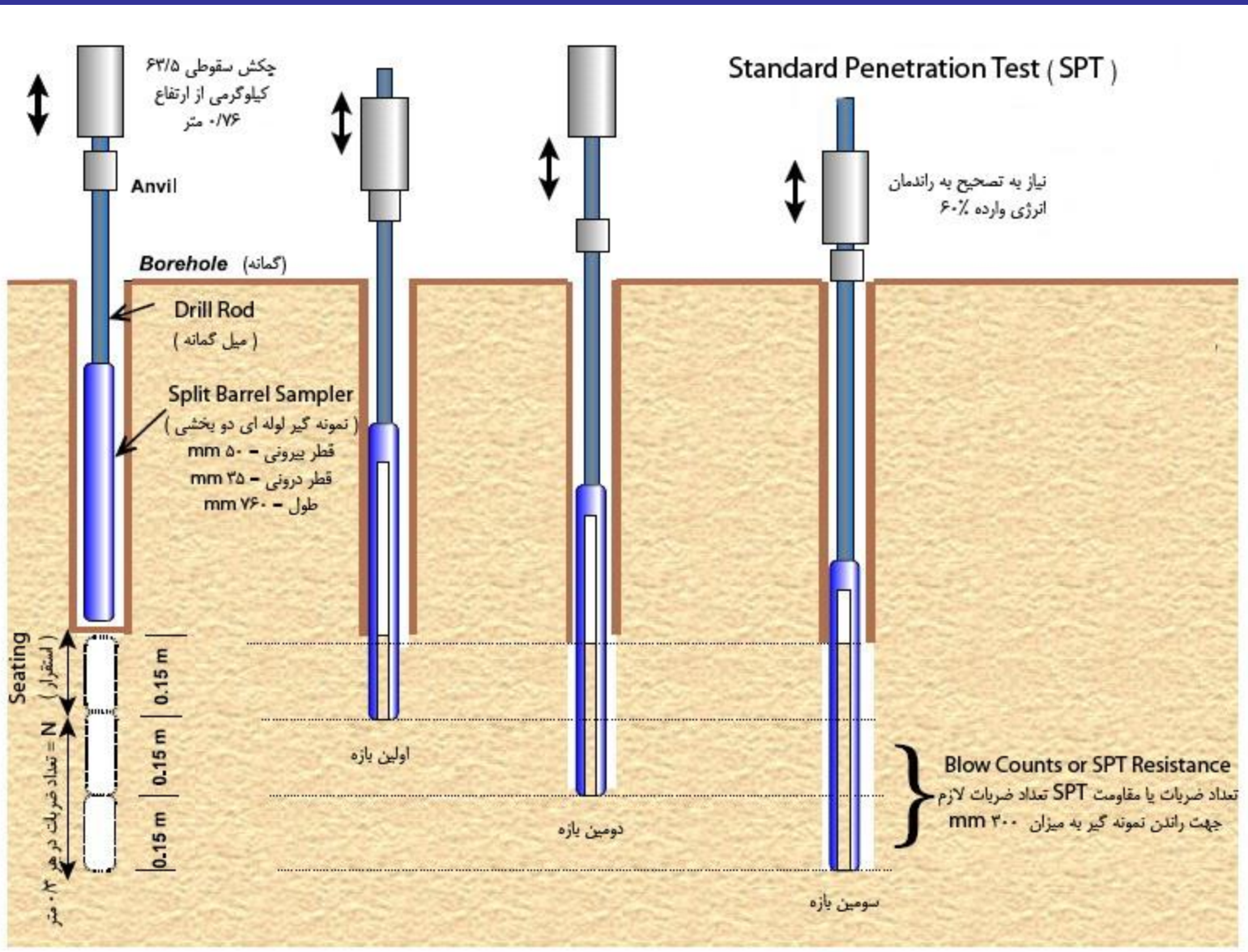
نوع آزمایش	پروفیل خاک	دانسیتهٔ نسبی D_r	زاویهٔ اصطکاک داخلی ϕ	مقاومت برشی زهکشی نشده S_U	فشار آب منفذی u	OCR	مدول یانگ G,E	ضرائب تحکیم فشردگی	نفوذپذیری K	منحنی تنش ـ کرنش	پتانسیل روانگرائی
پنترومتر الکتریکی CPT	A	B	C	B	-	C	B	C	-	-	B
پیزوپنترومتر $CPTu$	A	A	B	B	A	A	B	B	B	B	A
انساع سنجی DMT	A	B	C	B	-	B	B	C	-	C	B
وین VST	C	-	-	A	-	B	-	-	-	-	-
نفوذ استاندارد SPT	B	B	C	C	-	-	-	C	-	-	A
پرسیومتر منارد PMT	B	C	B	B	-	C	B	B	-	C	C
پرسیومتر خودحفار SBPMT	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A

شکل ۲- ۲٤- مقایسه و کاربرد انواع تستهای درجا

۸-۱ آزمایش نفوذ استاندارد SPT

- در آزمایش SPT یک نمونه‌گیر قاشقی دو تکه با جدار ضخیم به قطر ۵۱ میلیمتر در انتهای گمانه توسط چکش 63.5 کیلوگرمی (۱۴۰ پوند) و ارتفاع سقوط ۷۶۰ میلیمتر (۳۰ اینچ) به طرف پایین کوبیده می‌شود.

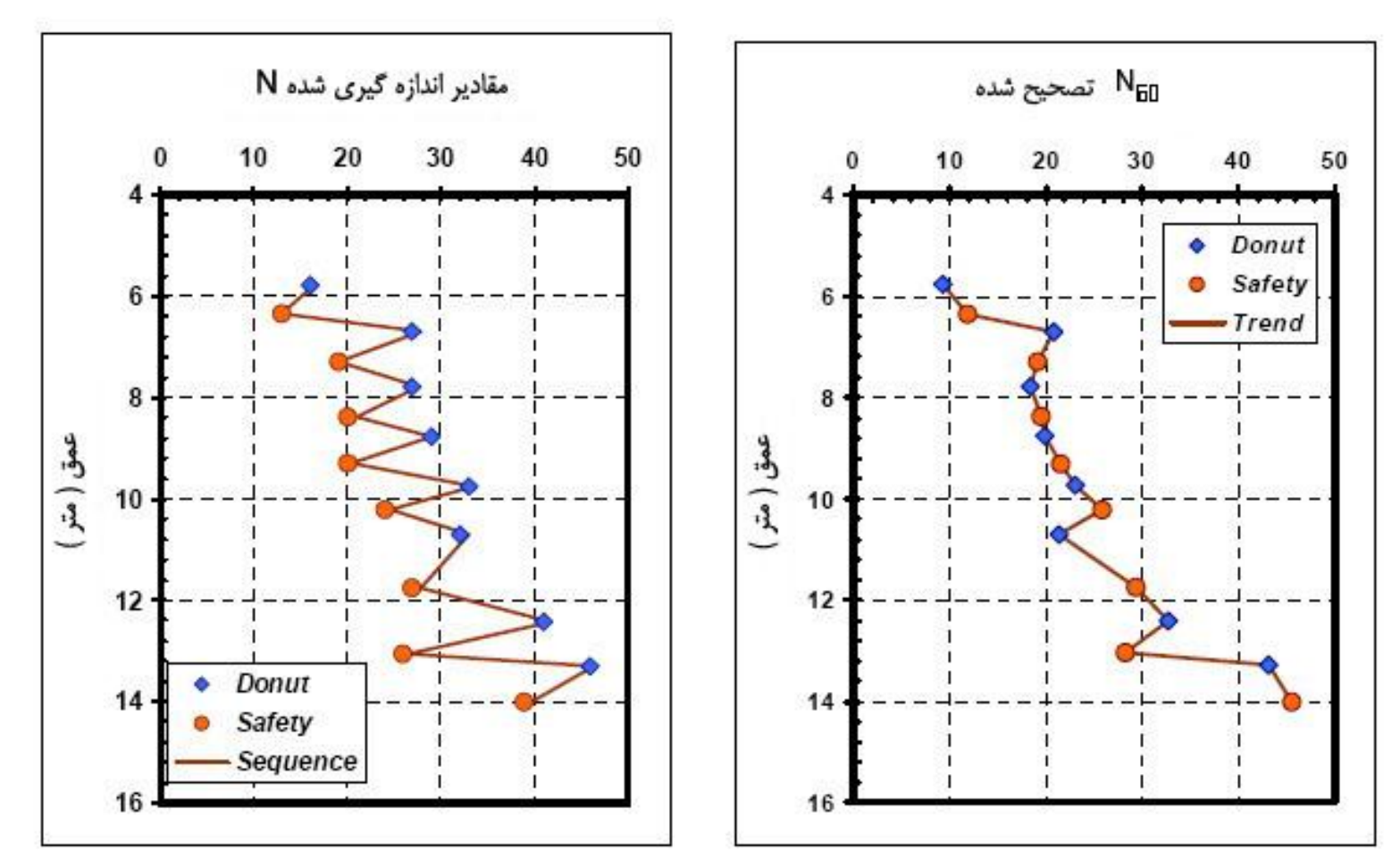
- تعداد ضربه‌های لازم (N) برای کوبیدن نمونه‌گیر به اندازهٔ ۳۰ سانتیمتر معادل دو ۱۵ سانتیمتر در مراحل دوم و سوم با حذف ۱۵ سانتیمتر اول ثبت می‌شود. آزمایش بطور معمول هر 1.5 تا 3 متر انجام می‌شود،



شکل ۲- ۲۵- نحوه اجرای آزمایش SPT

جدول ۲- ۳- ویژگی های برخی خاکها تفسیر شده با نتایج SPT

رس			ماسه				
وضعیت تحکیم رس	q_u KPa	قوام	حدود, D_r%	وزن مخصوص مرطوب ton/m^3	ϕ	دانسیته نسبي	مقدار N
تحکیم عادي NC	<25	خيلي نرم	<15	1.1-1.6	27	فوق العاده شل	<2
" "	25-50	نرم	<15	1.1-1.6	28	خيلي شل	2-4
" "	50-100	متوسط	15-20	1.3-1.6	29	شل	4-8
" "	100-200	سخت	20-40	1.4-1.8	29-31	شل تا متوسط	8-15
پيش تحكيم OC	200-400	خيلي سفت	40-60	1.7-2	31-39	متوسط تا متراكم	15-30
" "	400-800	سفت	60-85	1.7-2.2	39-41	متراكم	30-50
" "	>800	خيلي سفت	>85	2-2.3	41-45	خيلي متراكم	>50

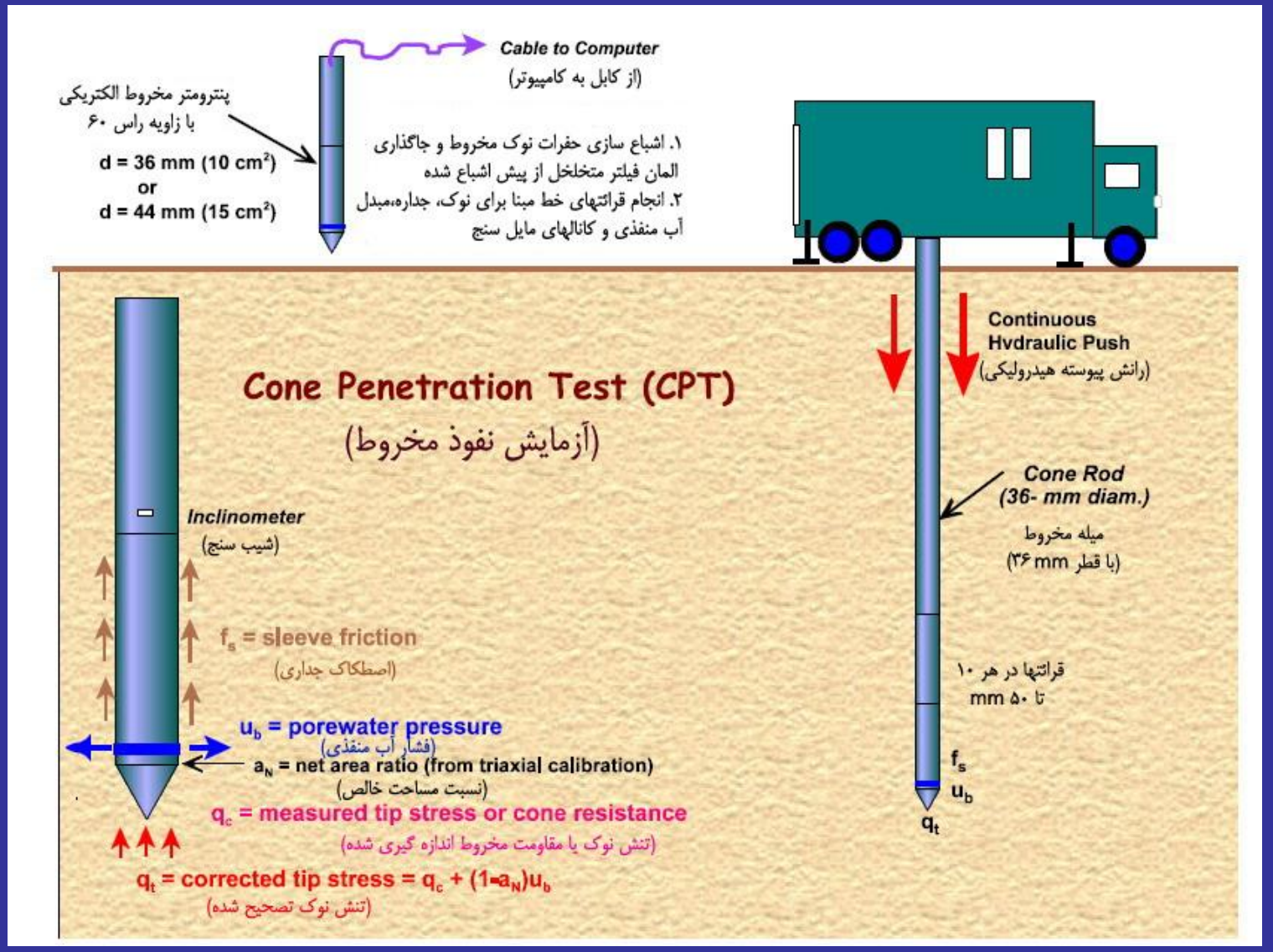


شکل ۲- ۲۶- نمونه ای از نتایج آزمایش SPT

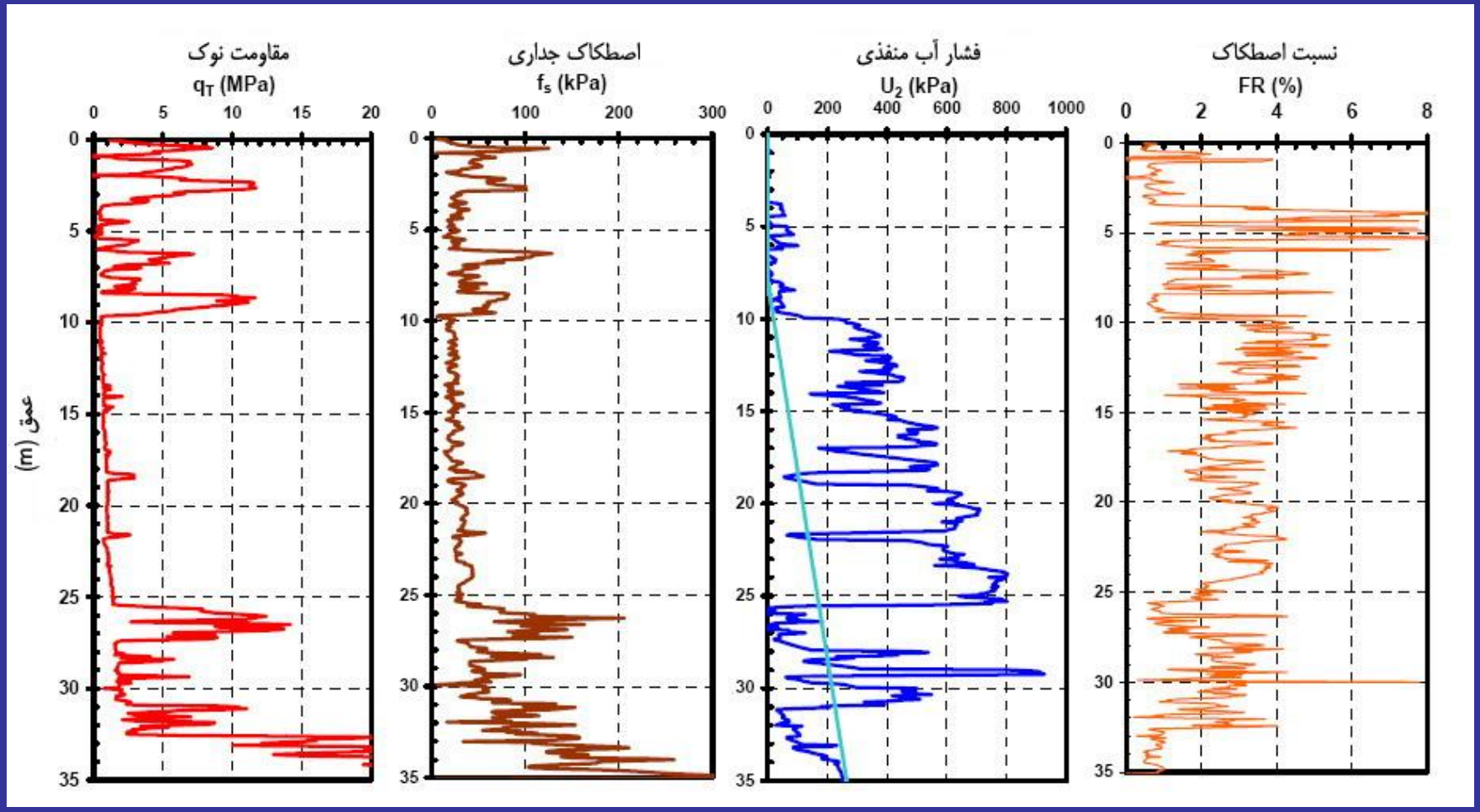
۸- ۲ آزمایش نفوذ مخروط CPT

- دستگاه CPT شامل سيستم جك هيدروليكي و سيستم عكس‌العملي و يك نفوذسنج و همچنين وسيله‌اي براي اندازه‌گيري و ثبت داده‌ها مي‌باشد. پنترومتر در اكثر حالات توسط ميله‌هايي بطول يك متر كه به هم متصل مي‌شوند به زمين هدايت مي‌شود .

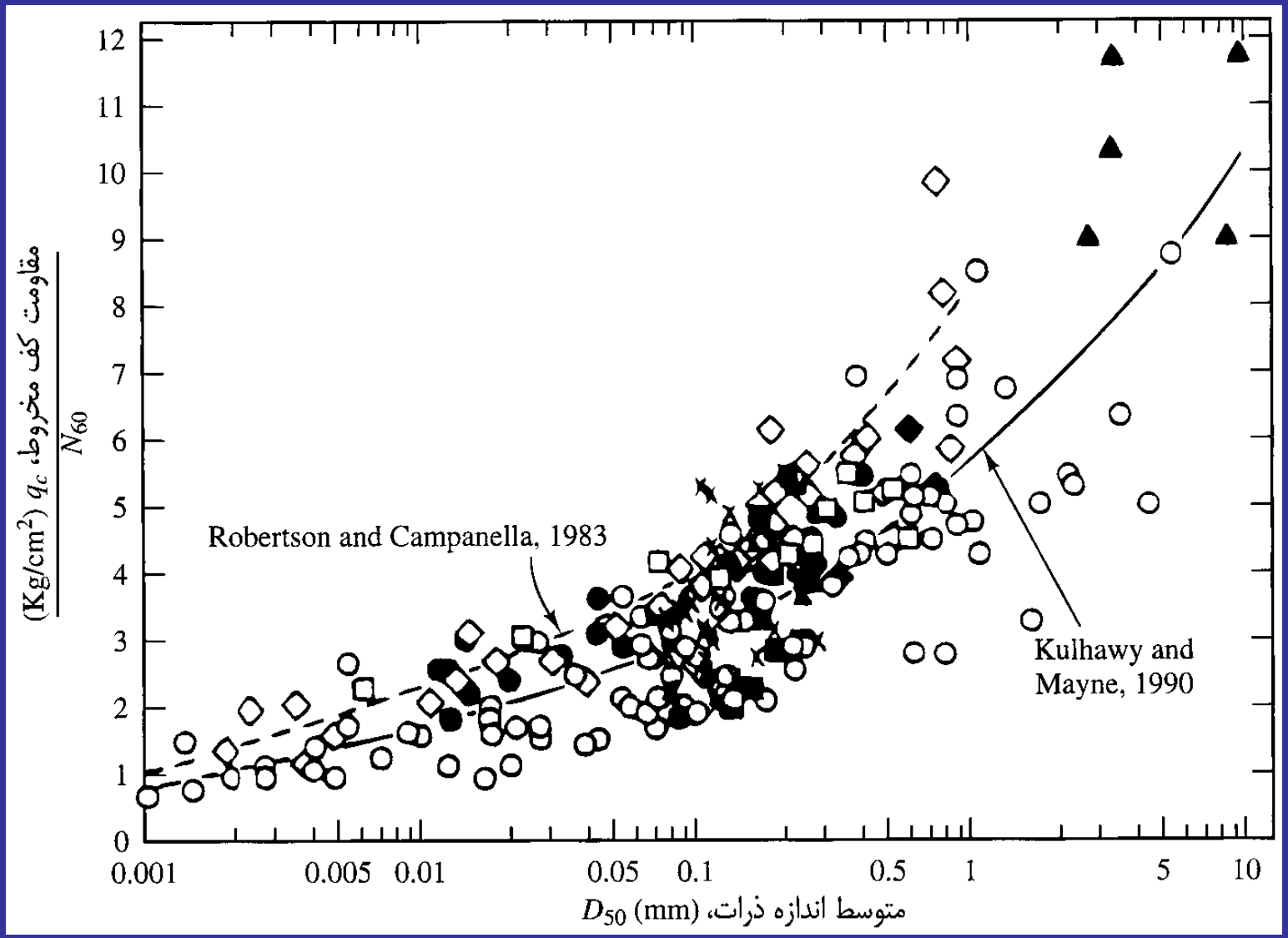
- معمولاً دو اندازه‌گيري عمده در CPT صورت مي گيرد: مقاومت نوك مخروط (q_c) و اصطكاك جداري (f_s). مقاومت نوك مخروط نسبت نيروي عمودي روي تصوير نوك مخروط (قاعده) است. اصطكاك جداري تنش برشي موثر روي غلاف اصطكاكي جداري است.



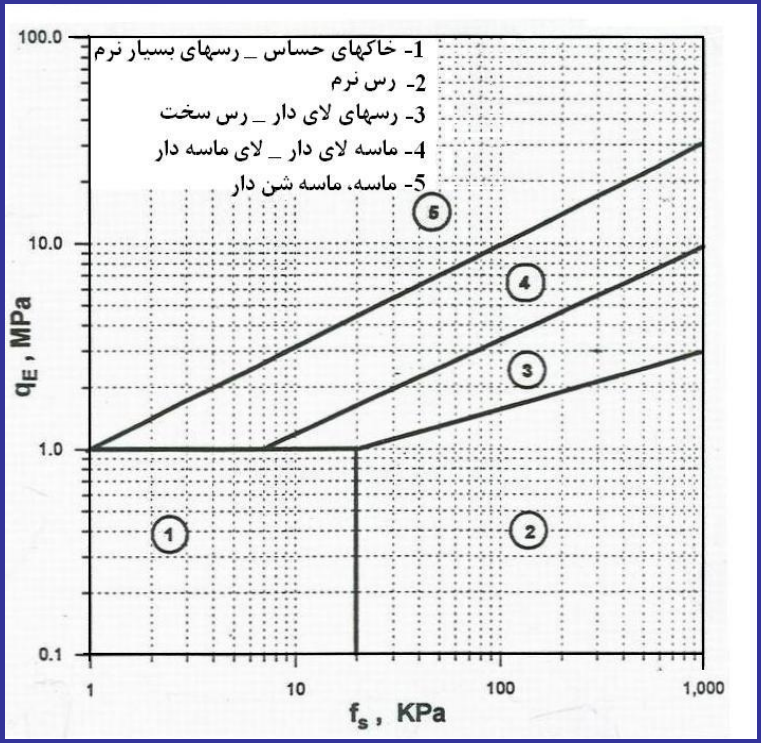
شکل ۲- ۲۷- شمایی از روش انجام آزمایش CPT



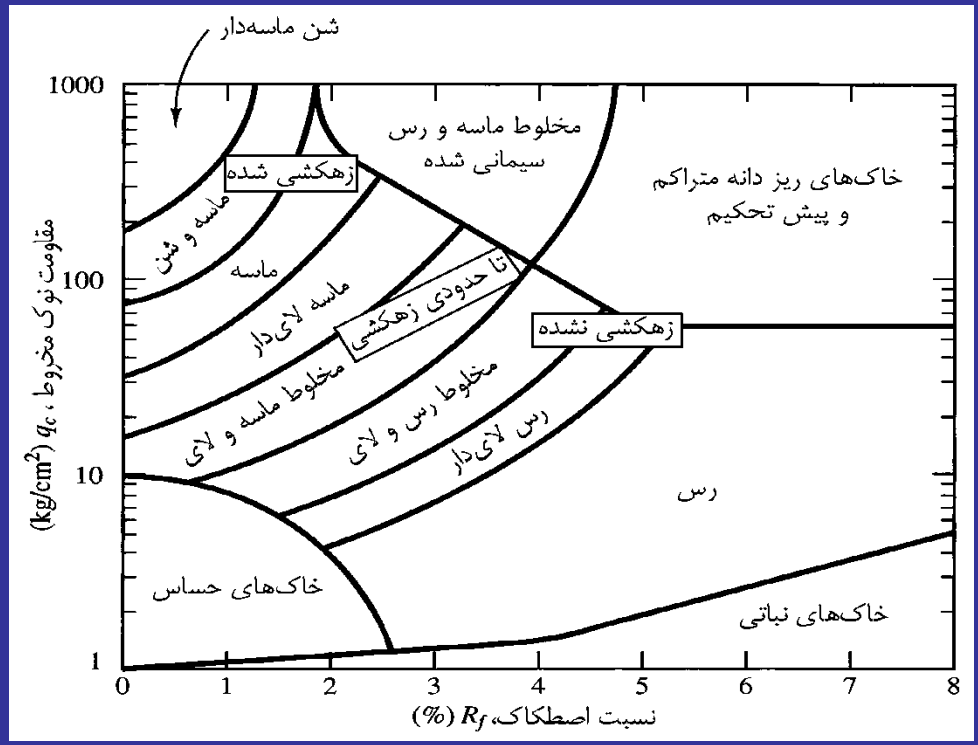
شکل ۲- ۲۸- یک نمونه از نتایج CPTu



شکل ۲- ۲۹- روابط بین نتایج SPT و CPT

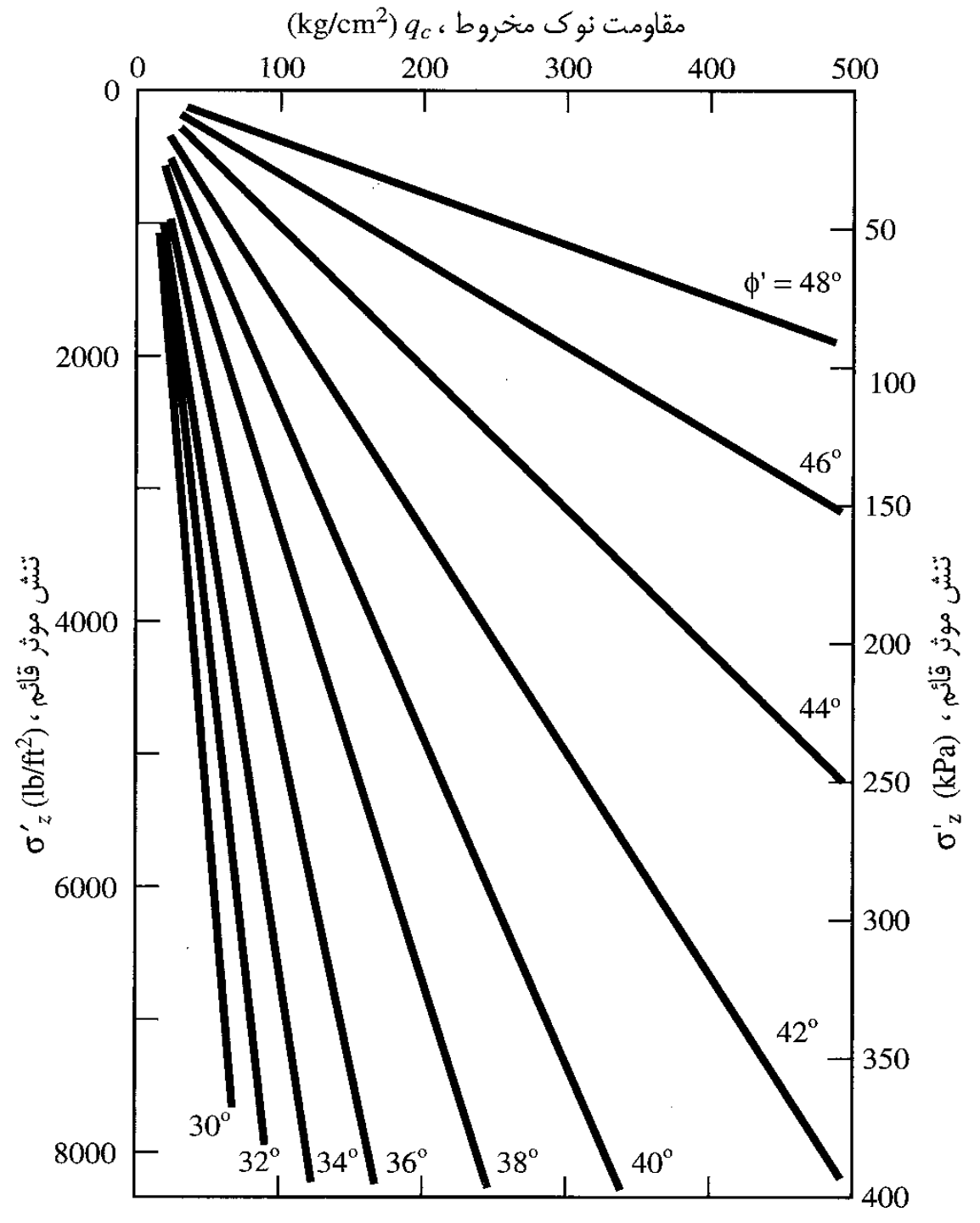


Eslami&Fellenius, 1997



Campanella, 1983

شکل ۲- ۳۰- نمونه ای از طبقه بندی خاکها توسط نتایج CPT و CPTu



شکل ۲- ۳۱-

استفاده از qc حاصل از CPTجهت تخمین ϕ

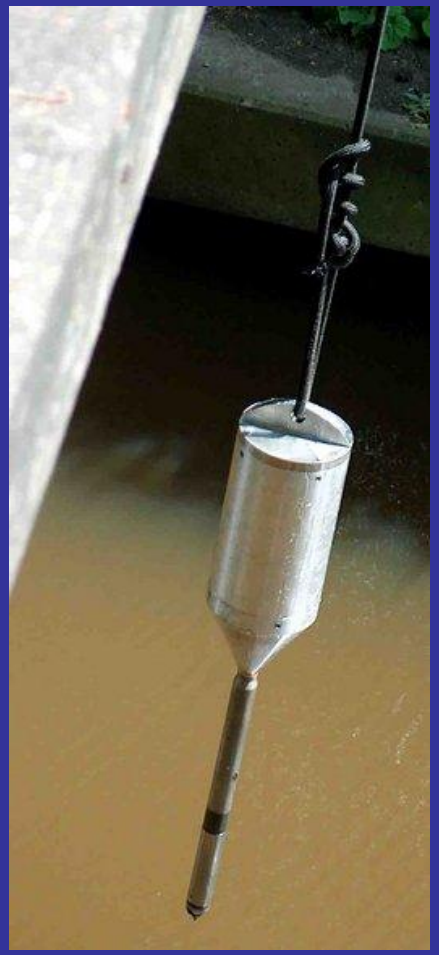
تجهیزات انجام آزمایشات نفوذ مخروط بر روي سطح آب

- انجام تست نفوذ مخروط بر روی آبها به دو دسته فعالیت بر روی آبهای کم عمق (عمق‌های کمتر از ۳۰-۴۰ متر) و آبهای عمیق (عمق‌های بیش از ۳۰-۴۰ متر) تقسیم می‌شود.
- برای انجام تست‌های نفوذ مخروط در آبهای کم عمق، تجهیزات و مراحل مشابه انجام اینگونه تست‌ها بر روی زمین است.
- یک لنج یا سکو و یک پوشش دو جداره برای مهار جانبی میله‌ها اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قایق لنگردار باید دارای سیستم تعلیق مناسب باشد.

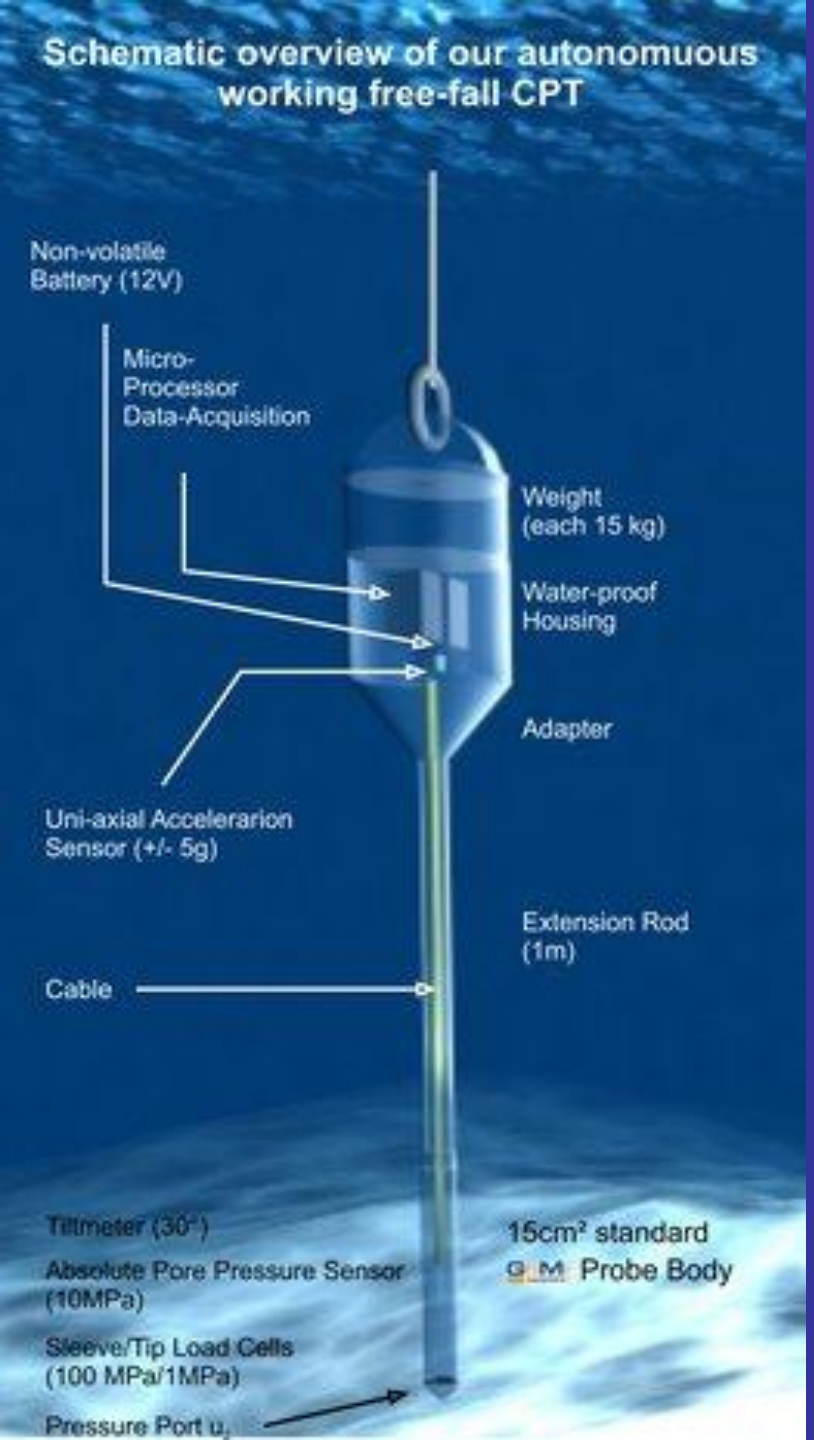
- اگر عمق آب کم باشد استفاده از یک سکوی معلق و یا یک لنج که بر روی یک خط گل میانی قرار گرفته است بسیار مطلوب است و جلوی اعمال موجی را خواهد گرفت.
- برای انجام آزمایشات نفوذ مخروط در آبهای عمیق، ابزار و تجهیزات خاصی نیاز است که به دو دسته زیر تقسیم می‌شود.

۱. درون گمانه ای

۲. بستر دریا

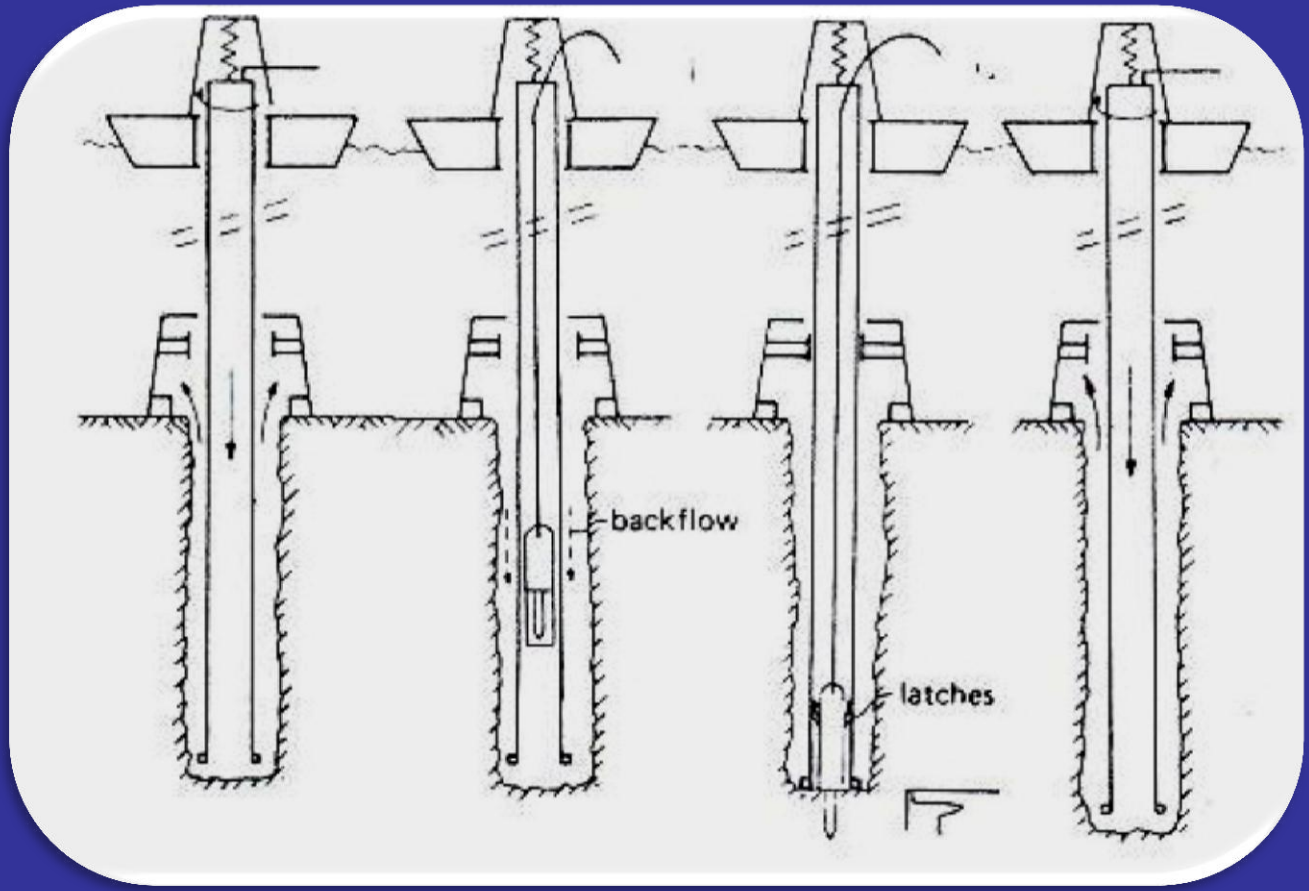


شکل ۲- ۳۲ - نمونه ای از آزمایشات نفوذی مورد استفاده در دریا

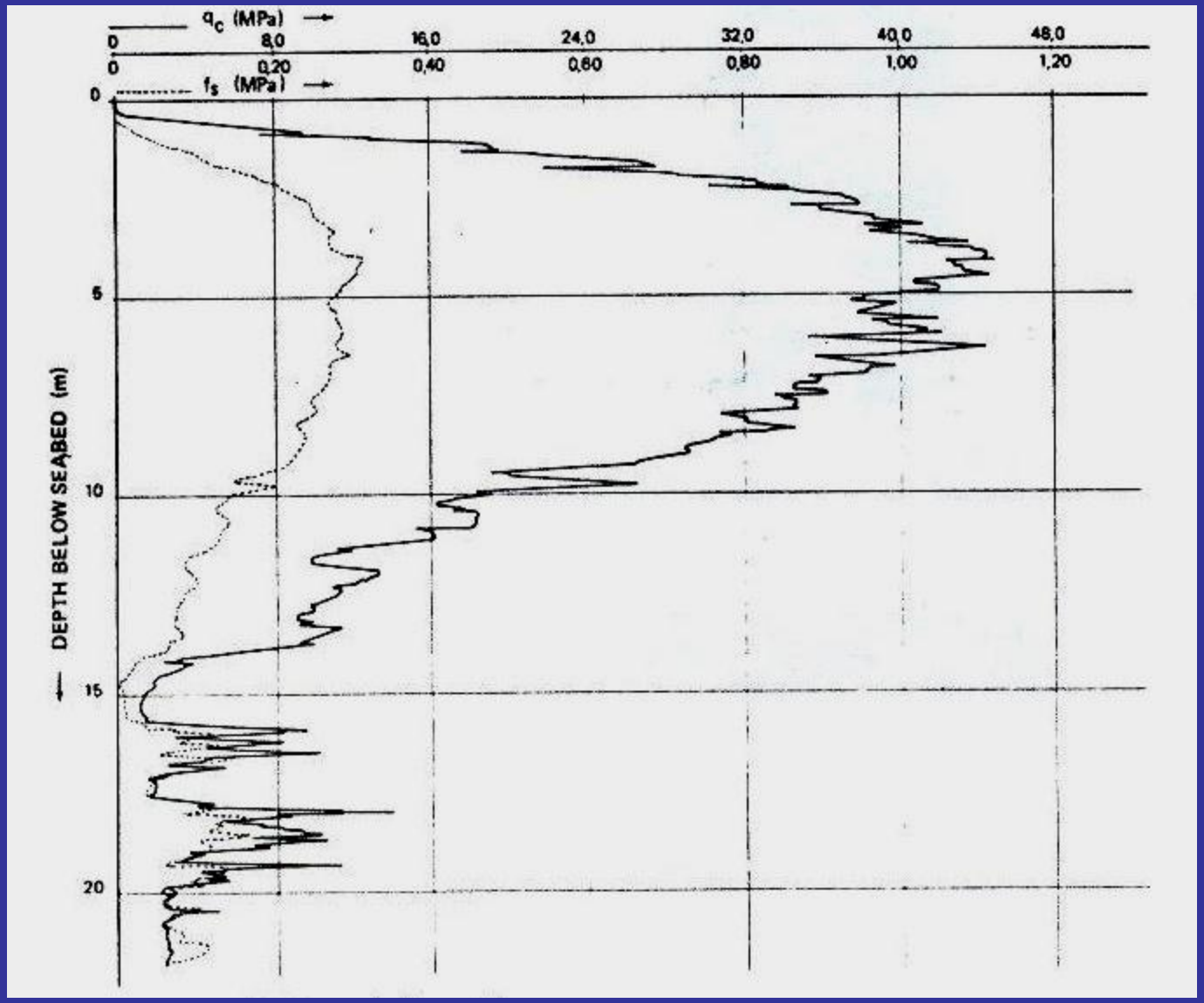


شکل ۲- ۳۳

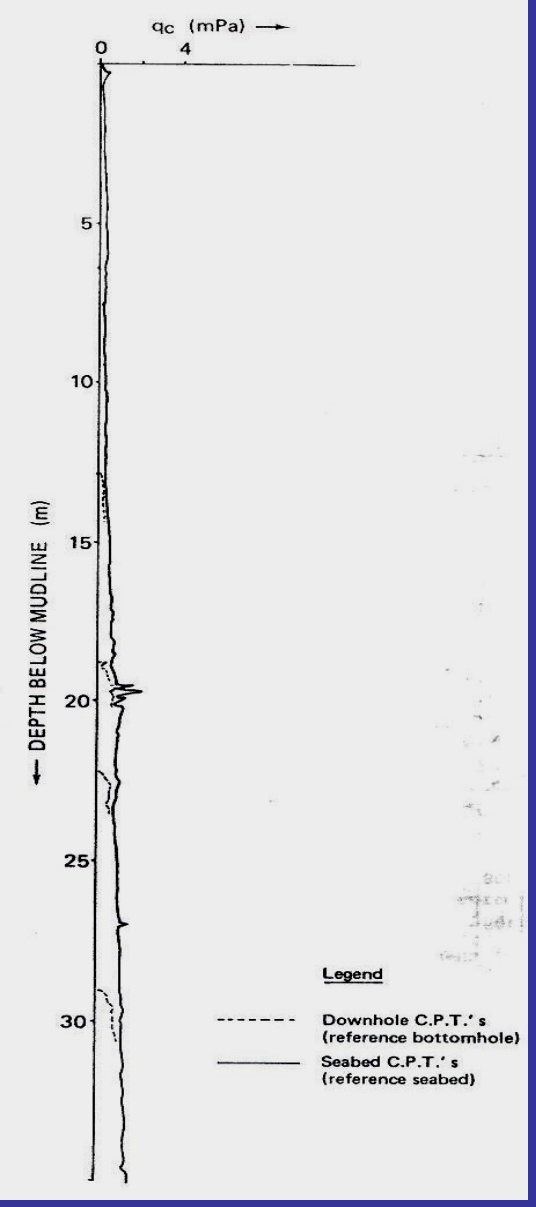
تصویری شماتیک از آزمایش CPT سقوطی در دریا

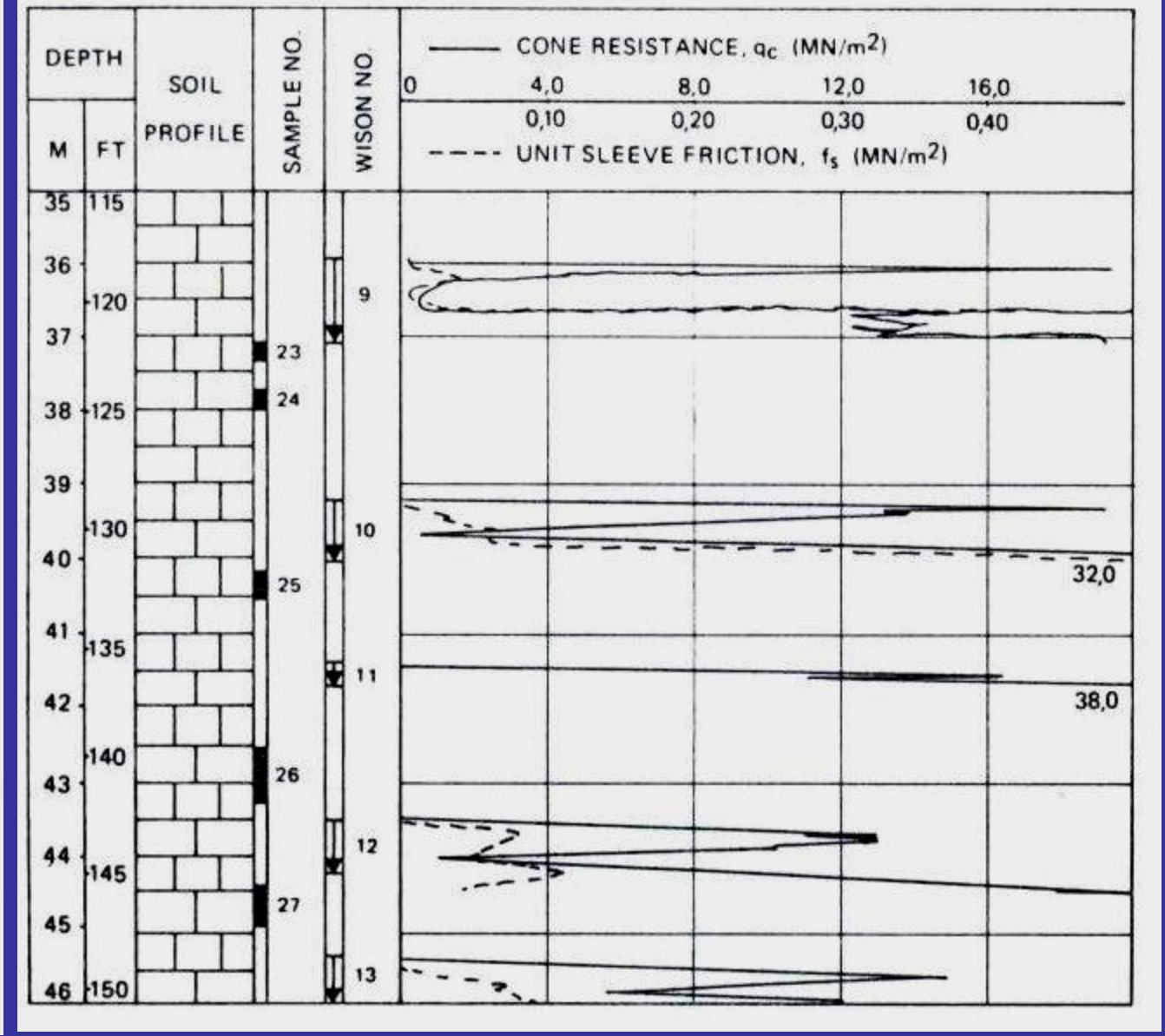


شکل۲- ۳٤- نحوه اجرای آزمایش CPT بروش درون گمانه ای



شکل ۲- ۳۵- نمونه ای از نتایج آزمایش CPT در دریا





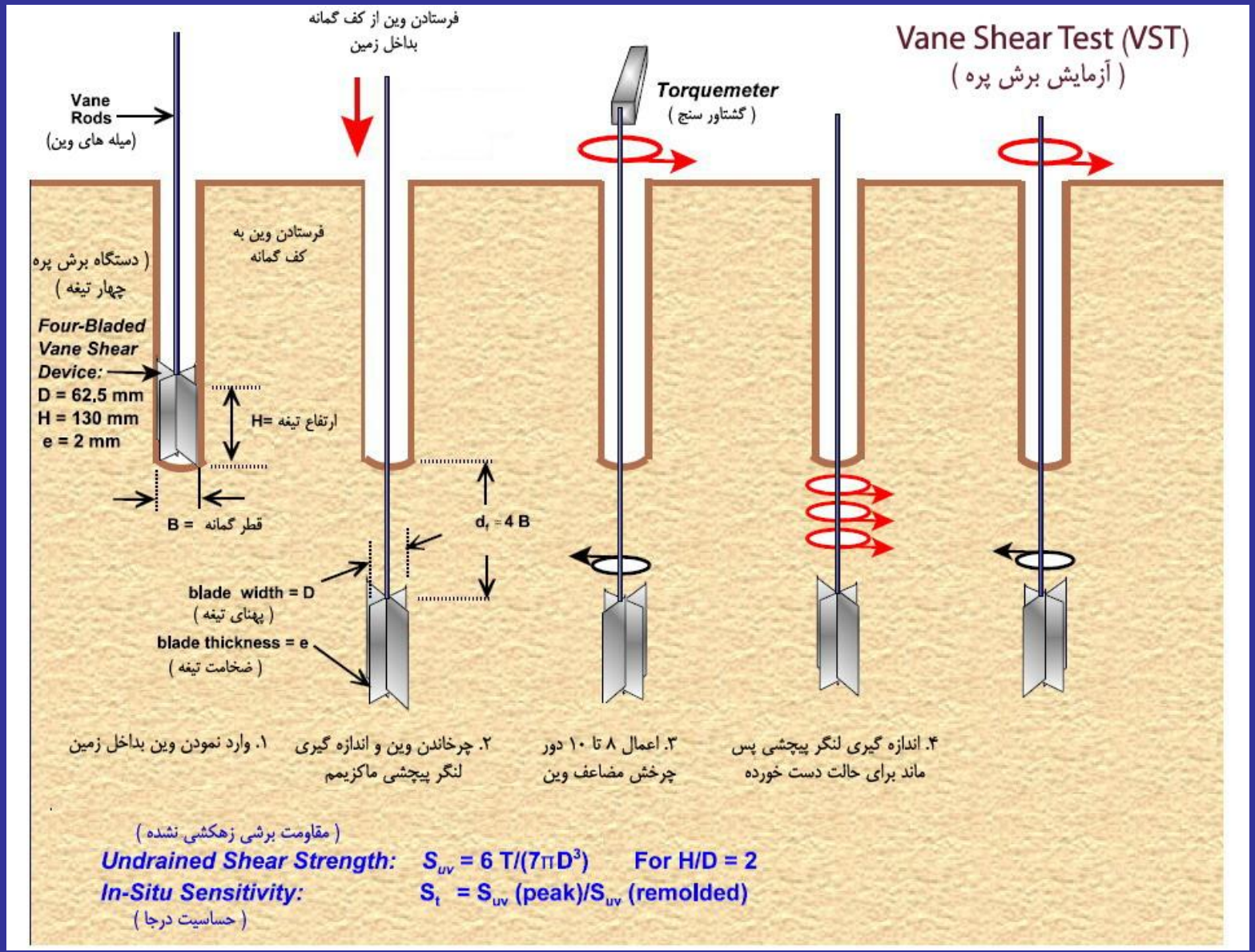
شکل ۲- ۳۶ - نمونه ای از نتایج آزمایش CPT در دریا

۸- ۳- آزمایش برش پره ای یا برش وین VST

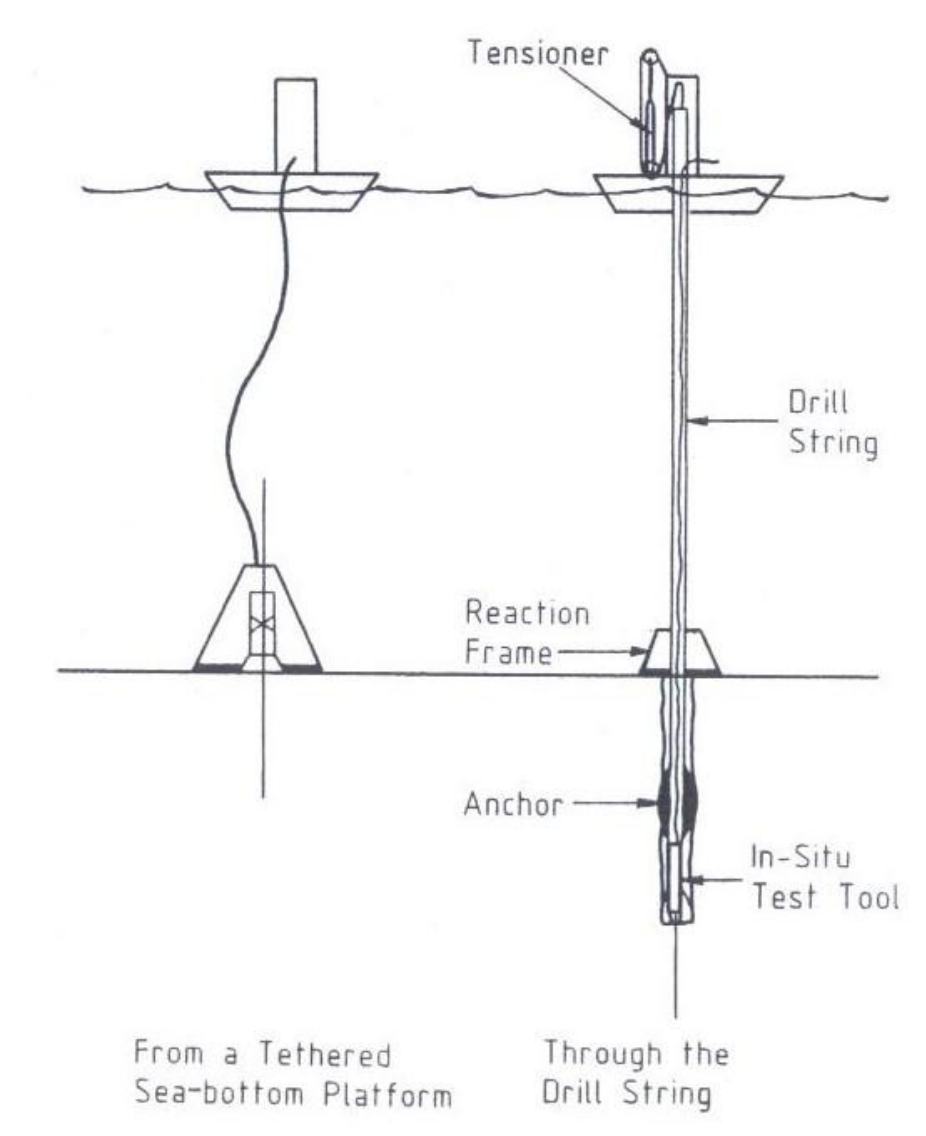
- ورود یک تیغه چهار پره بدرون خاک و اعمال لنگر پیچشی
- اندازه گیری لنگر پیچشی جهت برش و گسیختگی خاک
- تعیین مقاومت برشی خاک رسی

$$S_u = \frac{2T}{\pi D^3 (\frac{H}{D} + \frac{a}{2})}$$

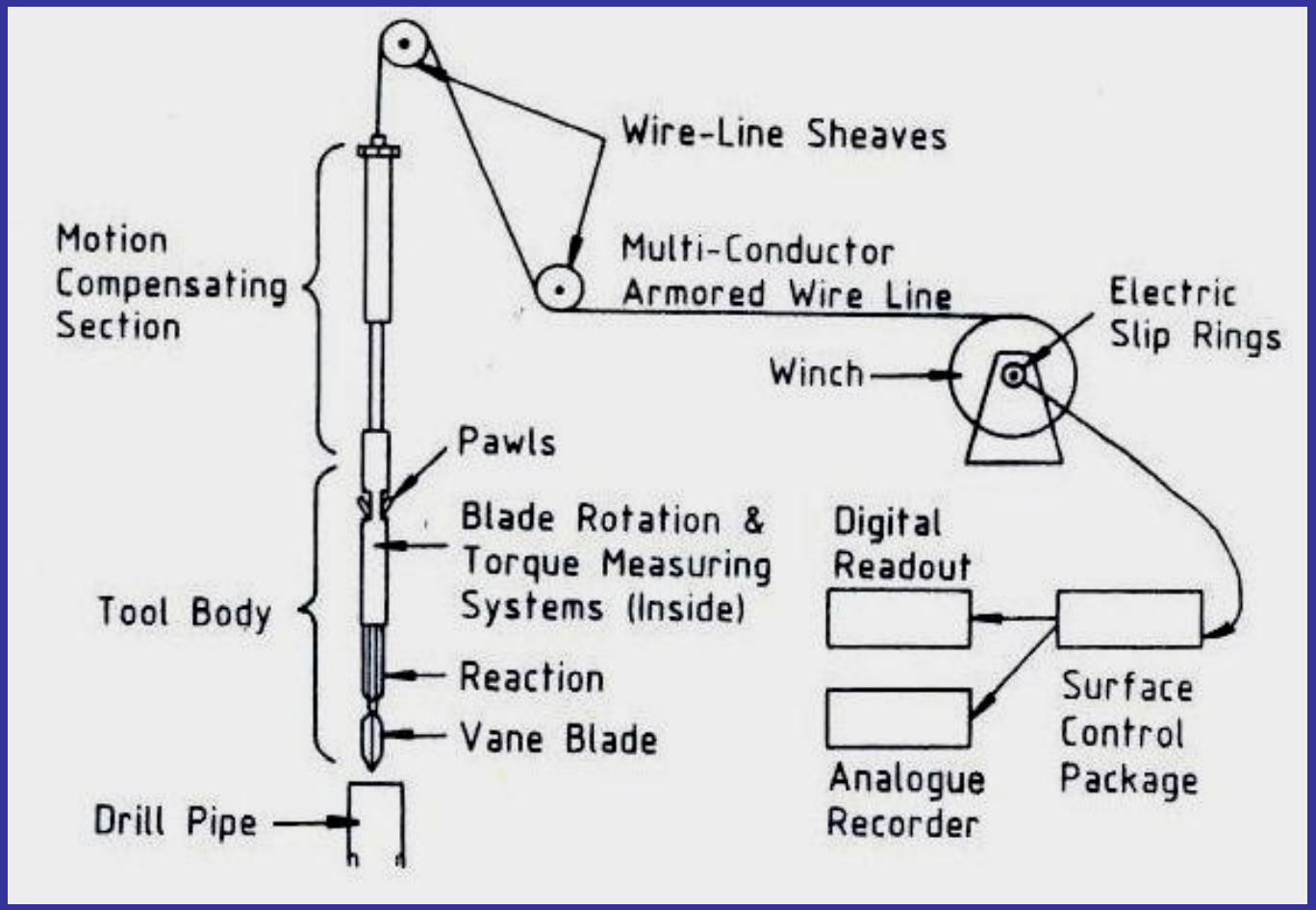
- عدم کاربرد در خاکهای درشت دانه و غیر چسبنده
- انجام سریع آزمایش



شکل ۲- ۳۷ - چگونگی اجرای آزمایش VST



شکل ۲- ۳۸ - روش انجام آزمایش VST در دریا



شکل ۲- ۳۹ - مکانیزم انجام آزمایش VST در دریا

گزارش مهندسی ژئوتکنیک

۱ـ موقعیت محل و خصوصیات کلی پروژه و نحوه قرارداد جهت مطالعات ژئوتکنیک

۲ـ زمین شناسی عمومی منطقه

۳ـ خلاصه ای از نوع پی ها و بارهای وارده جنبه های مختلف سازه ای و معماری

٤ـ خلاصه ای از عوارض سایت مربوط به جنبه های هیدرولوژی، توپوگرافی و زمین شناسی

۵– روش های حفاری و نمونه گیری

۶– لیست و چگونگی آزمایش های درجا و آزمایشگاهی به همراه نمودارهای مربوط

۷– تغییرات رقوم آب زیرزمینی، حرکت آب در خاک

۸ـ پروفیل زمین بر اساس لوگ گمانه

۹ـ خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک

۱۰ـ مقاومت مجاز، نشست فونداسیون ها

۱۱ـ بررسی پتانسیل مخاطرات ژئوتکنیکی، مانند رانش، آب شستگی، تورم، روانگرایی و ...

۱۲ـ ضرایب فشار جانبی خاک در حالات مختلف و نیز ضریب عکس العمل بستر

۱۳ـ ضرائب فشار جانبی خاک درحالت مختلف ونیز ضریب عکس العمل بستر

۱٤ـ مشخصات شیمیائی آب و خاک محل مورد مطالعه

۱۵ـ پارامترهای ژئوتکنیکی مربوط به زلزله و مبانی لرزه زمین ساخت

۱۶ـ توصیه ها و پیشنهادات در خصوص طراحی و اجرای زیرسازه

۱۷– توصیه جهت نگهداری و مقابله با عوامل مهاجم و خورنده حاصل از املاح مضر در آب وخاک

۱۸– تعیین وضعیت منابع قرضه و چگونگی استحصال آنها

۱۹– چگونگی گود برداری و حفاری و شیوه های پایدار سازی آنها

۲۰ـ محدودیتهای مطالعات, آزمایشات روابط وپارامترهای پیشنهادی

۲۱ـ منابع و مراجع

✓ ***گزارش ژئوتکنیک شامل اطلاعات حاصله از گام هاي مطالعات ژئوتکنیک بعلاوه تجارب ، تفسیر و قضاوت مهندسي مي باشد.***