به نام آنکه جان را فکرت آموخت

1

Marine Geotechnics

Dr. Mohsen Keramati

Email: Keramati@shahroodut.ac.ir

مروری بر مهندسی ژئوتکنیک دریایی

3

۱- مقدمه ای بر مهندسی ژئوتکنیک

۱-۱ تعاریف

- **مهندسی ژئوتکنیک:** بعنوان شاخه ای از مهندسی عمران در ارتباط با مواد و مصالح طبیعی موجود در نزدیکی و یا سطح زمین بوده که این مصالح زمینی اصطلاحاً خاک و یا سنگ (Geomaterials) نامیده میشود. همچنین در این گرایش به اندرکنش آب و خاک نیز پرداخته می شود.
- واژه ژئوتکنیک در اواسط قرن بیستم توسط انستیتو مهندسین عمران بریتانیا ICEابکار گرفته شد و سپس با گسترهٔ کاربرد آن در سال ۱۹۷٤ توسط انجمن مهندسین عمران آمریکا ASCE بعنوان رشته ای خاص رسمیت یافت.

4

شکل ۱- ۱- همپوشانی مهندسی ژئوتکنیک و دیگر شاخه های علوم

۱-۲- مضامین مورد خطاب مهندسی ژئوتکنیک

- کفایت خاک و سنگ واقع در زیر بنا در تحمل ایمن بار سازه احداثی
- تعیین وضعیت سطح آب زیرزمینی و عواقب تغییرات آتی آن در پروژه
- عوارض و عواقب حاصل از ساخت و ساز، خاکریزی و یا گودبرداری
- طراحی و انتخاب فونداسیونهای مناسب جهت پروژه مورد نظر
- ملاحظات پایداری و ملزومات پایدارسازی برای شیبهای طبیعی و مصنوعی
- ضرورت بکارگیری سازه های حائل در پروژه و چگونگی طراحی آنها
- چگونگی پاسخ و رفتار ساختگاه در مقابل زلزله
- معضلات ژئوزیست محیطی و راهکارهای مقابله با آن

۲- منشأ خاک‌ها

پروژه‌های عمرانی بر خاک، در خاک و یا با خاک ساخته می‌شوند.

- خاک‌ها از متلاشی شدن سنگ‌ها پدید می‌آیند و فضای خالی بین ذرات خاک از آب یا هوا پر شده است.

- اگر مواد حاصل از متلاشی شدن سنگ‌ها در محل اصلی خود باقی بمانند خاک حاصله از نوع برجا و در صورتی که مواد متشکله به محل دیگری حمل و به جای گذاشته شوند خاک از نوع انتقالی می‌باشد.

ویژگی های منحصر به فرد خاک و سنگ

- خاک و سنگ طبیعی موجود اغلب متغیر هستند و حتی در فاصله و محدوده چند میلیمتری نیز متنوع اند
- روابط تنش-کرنش برای این نوع مصالح خطی نمی باشد
- خاکها از حافظه عجیبی برخوردارند
- وابستگی رفتار خاک و سنگ به پارامترهایی چون درز، ترک، لایه بندی و لنزهای مصالح نا متناجس

چهار دستهٔ اساسی خاک‌ها در سیستم طبقه‌بندی متحد

- خاک‌های درشت‌دانه (شن و ماسه)– Coarse-Grained Soils (۷۵ mm-۰۷۵/۰)
- خاک‌های ریزدانه (رس و لای)- Fine-Grained Soils (ذرات کوچکتر از ۰۷۵/۰ میلیمتر)
- خاک‌های آلی- Organic Soils
- خاک‌های نباتی- Peat

۳- شناسایی و طبقه‌بندی خاک‌ها

- در مهندسی پی و پی سازی خاک‌ها به دو دستهٔ مهم یعنی ریزدانه و درشت‌دانه تقسیم می‌شوند که می‌توان تعبیر خاک‌های چسبنده و غیرچسبنده (اصطکاکی) را نیز به ترتیب برای آنها به کار برد.
- مقاومت برشی خاکهای ریزدانه عمدتاً از طریق پارامتر چسبندگی حاصل شده و مقاومت برشی خاک‌های درشت دانه از طریق اصطکاک بین ذرات حاصل می‌شود.
- خاکهای ریزدانه دارای ضریب نفوذپذیری پائینی بوده ولی خاک‌های درشت‌دانه دارای نفوذپذیری و زهکشی قابل توجه می‌باشند.
- نشست خاکهای ریزدانه در هنگام بارگذاری، کند و وابسته به زمان و نشست خاکهای درشت دانه آنی و سریع می باشد.

جدول ۱- ۱-

اسامی و نمادهای

تیپ گروههای خاکی

تقسیم‌بندی اصلی			نماد گروه	اسامی تیپ
خاک‌های درشت‌دانه Coarse – Grained بیش‌تر از ۵۰ درصد مصالح بزرگ‌تر ازاندازهٔ الک شماره ۲۰۰ (0.07mm)	شن‌ها Gravels بیش ازنصف قسمت درشت‌دانه بزرگ‌تر از اندازهٔ الک شماره ۴ (4.76mm)	شن‌های تمیز	GW	شن‌ها و مخلوط شن و ماسه با دانه‌بندي خوب ، بدون ریزدانه و یا ریزدانه کم
			GP	شن‌ها و مخلوط شن و ماسه با دانه‌بندي بد ، بدون ریزدانه و یا ریزدانهٔ کم
		شن‌ها همراه با ریزدانه	GM	شن لاي دار ، مخلوط‌هاي شن-ماسه و لاي
			GC	شن رس دار ، مخلوط‌هاي شن -ماسه و رس
	ماسه‌ها Sands بیش ازنصف قسمت درشت‌دانه کوچک‌تر ازاندازهٔ الک شماره ۴ (4.76mm)	ماسه‌های تمیز	SW	ماسه‌ها و ماسه‌هاي شن دار با دانه‌بندي خوب ، بدون ریزدانه و یا ریزدانهٔ کم
			SP	ماسه‌ها و ماسه‌هاي شن دار با دانه‌بندي بد بدون ریزدانه و یا ریزدانهٔ کم
		ماسه‌ها همراه با ریزدانه	SM	ماسهٔ لاي دار ، مخلوط ماسه و لاي
			SC	ماسهٔ رس دار ، مخلوط ماسه و رس
خاک‌های ریزدانه Fine – Grained بیش از ۵۰ درصد مصالح کوچک‌تر از الک شماره ۲۰۰ (0.07mm)	لای‌ها و رس‌ها Silts and Clays (حد روانی کمتر از ۵۰ درصد)		ML	لاي‌هاي غیر آلي ، ماسه‌هاي خیلي ریز ، پودر سنگ‌ها ، ماسه‌هاي ریز لاي دار ، رس دار ، لاي‌هاي رس‌دار یا خاصیت خمیري کم
			CL	رس‌هاي غیر آلي یا خاصیت خمیري کم تا متوسط ، رس‌هاي شن دار ، رس ماسه دار ، رس لاي دار ، رس‌هاي کم مایه
			OL	لای‌هاي آلي و رس‌هاي لاي دار آلي با خاصیت خمیري کم
	لای‌ها و رس‌ها (حد روانی بیش‌تر از ۵۰ درصد)		MH	لاي‌هاي غیرآلي ، ماسه‌هاي ریز یا لای‌هاي میکادار ، لاي‌هاي الاستیک
			CH	رس‌هاي غیرآلي با خاصیت خمیري زیاد ، رس‌هاي پرمایه
			OH	رس‌هاي آلي با خاصیت خمیري متوسط تا زیاد
خاک‌های خیلی آلی وتباتی Highly Organic Soils			Pt	خاک‌هاي نباتي و سایر خاک‌هاي آلي

جدول ۱- ۲- طبقه‌بندی خاکهای درشت‌دانه و ریزدانه براساس‌تراکم وسختی در محل(French, 2000)

نوع خاک	شرح چگونگی سفتی و متراکمی
شن و ماسه	شل: کندن آن با بیل امکان پذیر است و می‌توان باك میخ چوبي به قطر۵۰ mm را در آن کوبید.
	متراکم: براي کندن آن کلنگ لازم و میخ چوبي به قطر۵۰ mm رابه سختي مي‌توان در آن کوبید.
	کمي‌سیماني شده: با کلنگ به صورت کلوخه‌هایي که مي‌توان آن را خراش داد ، کنده مي‌شود.
لای‌ها (سیلت‌ها)	نرم یا سست: به سادگي با انگشتان فرم داده شده و یا خرد مي‌گردند.
	سفت یا متراکم: مي‌توان آن را با فشار قوي بین انگشتان فرم داد و یا خرد کرد.
رس‌ها	خیلي نرم: چنانچه در دست بسته فشار داده شود از بین انگشتان بیرون مي‌زند.
	نرم: با فشار کم انگشتان فرم مي‌گیرد.
	سفت: با فشار زیاد انگشتان مي‌توان آن را فرم داد.
	سخت: نمي‌توان با انگشتان آن را فرم داد و به وسیله شست مي‌توان در آن شیار ایجاد نمود.
	خیلي سخت: به سختي با ناخن شست مي‌توان آن را دندانه‌دار و در آن شیار ایجاد نمود.
خاکهاي آلي ، نباتي	سفت: فیبرها از قبل درهم فشرده شده اند.
	اسفنجي: خیلي فشار پذیر و داراي ساختاري باز ومتخلخل مي‌باشند.
	پلاستیك: در دست فرم داده شده و آثار آن بر انگشتان مي‌ماند.

جدول ۱- ۳- تقسیم بندی خاکهای ریزدانه با استفاده از نتایج آزمایش تک محوری، q_u

قوام خاک	$C_u = S_u = \frac{q_u}{2}$	
خیلی نرم	<0.1	انگشت شست رامی‌توان بیش از 25mmدرخاک فروبرد.
نرم	0.1-0.25	انگشت شست رامی‌توان در حدود 25mmدرخاک فروبرد.
متوسط	0.25-0.5	باتلاش متوسط می‌توان انگشت شست رادرخاک فروبرد.
سفت	0.5-1	با انگشت شست می‌توان خاک رادرحدود8mm خراش داد.
خیلی سفت	1-2	خاک با انگشت شست متاثر نشده ، بلکه با ناخن شیار دار می‌شود.
سخت	>2	با ناخن شست به سختی و یا حتی نمی‌توان در خاک خراش ایجاد نمود.

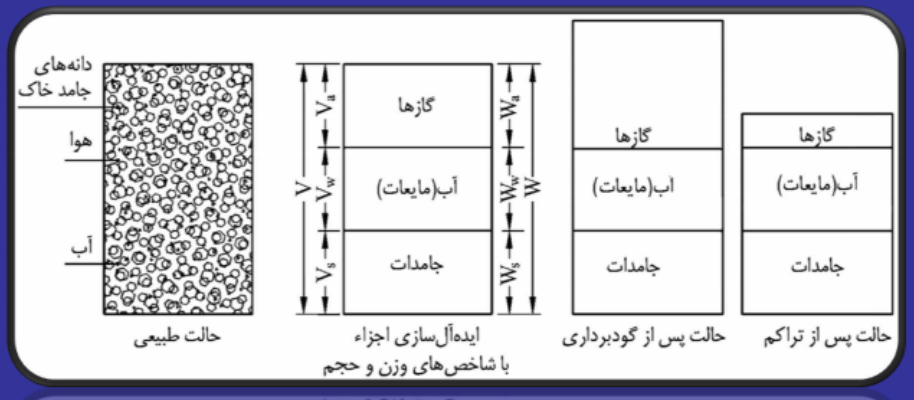
٤- خاکهای مسئله دار

- خاکهای با منشا آلی و نباتی- Peat and Organic soils
- خاکهای رس اشباع و نرم- Soft and saturated clays
- خاکهای ماسه ای و لای شل- Loose silts and sands
- خاکهای رمبنده یا فروریزشی- Collapsive soils
- خاکهای واگرا- Dispersive soils
- خاکهای انبساطی- Expansive soils
- خاکریزها- Fills
- خاکهای با منشا زباله و ضایعات- Land fills

❖ ***خسارات عمرانی سالیانه در آمریکا در نتیجه عواقب حاصل از خاکهای مساله دار بیش از موارد مربوط به سیل ها، طوفان ها و زلزله ها می باشد.***

(Holtz & Kovacs,1981 – Coduto, 2002)

۵- روابط وزنی و حجمی در خاک



شکل ۱- ۲- فازهای موجود درون توده خاک

جدول ۱- ٤- تعاریف محدوده پارامترهای وزنی و حجمی خاکها

NO.	Soil Physical Parameters		Definition	Current Range of Variation
1	Void Ratio	تخلخل	e= V_v/V_s	0.1 – 1.5
2	Porosity	درجه پوکي	n= V_v/V= e/1+e	9-60 %
3	Water Content	در صد رطوبت	ω = $W_w/W_s \times 100$	3-70 %
4	Degree of Saturation	درجه اشباع	Sr= $V_w/V_v \times 100$	2-100 %
5	Specific Gravity	چگالي ويژه	Gs= $W_s/V_s.\gamma_w$	2.6 – 2.8
6	Wet Density	وزن مخصوص مرطوب	γ_{wet}= γ = W/V	1.1 – 2.1 ton/m3
7	Dry Density	وزن مخصوص خشک	γ_d = W_{dry}/V	1 – 1.9 ton/m3
8	Saturated Density	وزن مخصوص اشباع	γ_{sat} = W_{sat}/V	1.2 – 2.3
9	Submerged Density	وزن مخصوص غوطه ور	γ' = γ_{sat} - γ_w	0.4 – 1.1
10	Air Content	درصد هوا	A= $V_a/V \times 100$	5 - 30

۶- آب در خاک

وجود آب در خاک به خصوص در مورد خاک‌های ریزدانه در رفتار آن‌ها اثر می‌گذارد و حرکت آب در خاک، حتی در خاک‌های درشت‌دانه ممکن است ناپایداری خاک را به همراه داشته و در خاکهای ریزدانه اثری جدی روی مقاومت آنها دارد.

❖ ***کارل ترزاقی (Terzaghi 1939) "مشکلات درمهندسی ژئوتکنیک صرفاً به سبب ذرات جامد خاک درتودهٔ خاک نیست بلکه مربوط به سیالات موجود در فضاهای خالی است ودر روی یک سیارهٔ بدون آب نیازی به علم مکانیک خاک نمی‌باشد."***

عوارض وجود آب در خاک

- کاهش تنش موثر، مقاومت برشی و توان باربری
- موئینگی
- انقباض، تورم و نشست تحکیمی خاکهای ریزدانه
- رمبندگی
- واگرایی
- پدیده رگاب
- روانگرایی و جوشش ماسه

۷- تنش در خاک

تنش درخاک دارای دو منشأ می‌باشد:

- ✓ ژئواستاتیکی
- ✓ تحمیلی

- **تنش‌های ژئواستاتیکی (Geostatic stresses):** در نتیجهٔ نیروی جاذبه ایجاد شده و متاثر از وزن مخصوص و ضخامت لایه ها می باشد.

- **تنش‌های تحمیلی (Induced Stresses):** به سبب بارهای خارجی وبارگذاری از طریق پی ها و یا پایه ها به زمین منتقل میشود.

تنش ژئواستاتیک قائم

- مهم‌ترین تنش موجود در خاک, تنش فشاری قائم است

$$\sigma_t = \sum_{i=1}^{n} \gamma . z_i$$

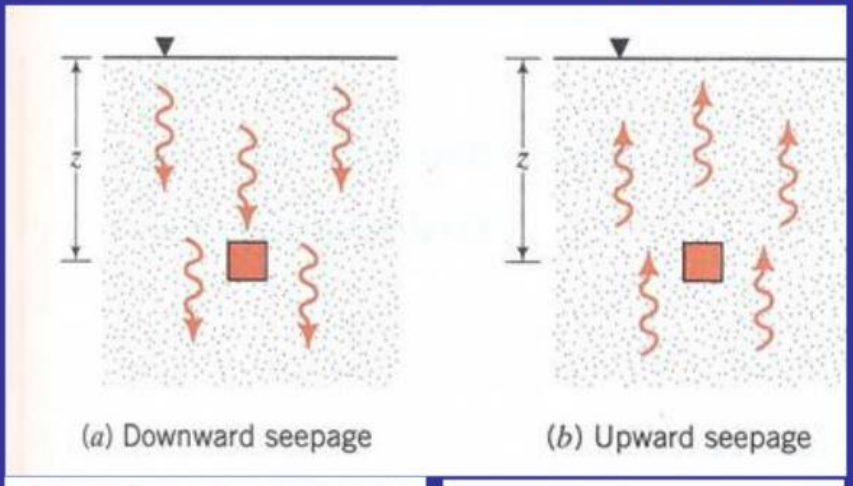
$$u_i = \gamma_\omega . z_\omega$$

- رفتار یک تودهٔ خاک که تحت تأثیر تنش کل معینی قرار می‌گیرد، بستگی به مقدار فشار آب حفره‌ای موجود در آن دارد.

- اصل تنش مؤثر، میزان تأثیر فشار آب حفره‌ای را بر رفتار خاک نشان می‌دهد.

$$\sigma' = \sigma_t - u \begin{cases} u_h \\ u_e \end{cases}$$

تاثیر تراوش بر تنش موثر توده خاک



$$\sigma'_z = \gamma' z + i z \gamma_w = \gamma' z + j_s z$$

$$\sigma'_z = \gamma' z - i z \gamma_w = \gamma' z - j_s z$$

شکل ۱- ۳- تراوش درون توده خاک

توجیه سه پدیده تحکیم، روانگرائی و موئینگی

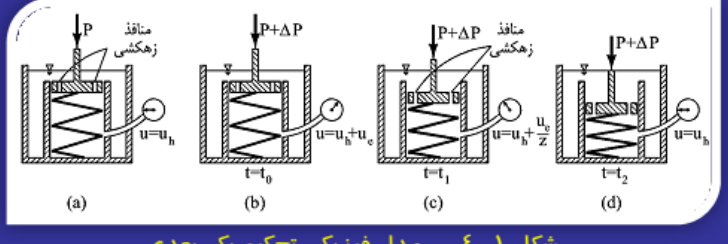
$$\sigma_t + \Delta\sigma_{Load} = \sigma' + u + u_e$$

تحکیم: $t = 0 \Rightarrow u_e = \Delta\sigma_{Load} \quad , \quad \Delta\sigma' = 0$

$t = \infty \Rightarrow u_e = 0 \quad , \quad \Delta\sigma' = \Delta\sigma_{Load}$

روانگرایی: $u = \sigma \quad , \quad \sigma' = \sigma - u = \sigma - (\sigma) = 0$

موئینگی: $\sigma' = \sigma - u = \sigma - (-u) = \sigma + u$



شکل ۱- ٤- مدل فیزیکی تحکیم یک بعدی

تنش‌هاي تحميلي درخاک در اثر بارگذاري

- تنش‌هاي اضافي يا تحميلي مواردي را در برمي‌گيرند که مربوط به بارهاي خارجي ازقبيل فونداسيون سازه‌ها و بارگذاري مي‌باشند.
- در نتيجة اعمال بار بر روي زمين ، لازم است محدودة تأثير, مقدار و عکس‌العمل زمين درمقابل آنها تعيين گردد.
- تعيين مقدار اين پارامترها در محاسبات نشست, تداخل تنش‌ها, حفاري‌هاي آتي و طراحي ديوارهاي حائل نقش مهمي دارد.

$$\sigma_z = \frac{q_\circ \times B \times L}{(B+Z)(L+Z)}$$

۸- مقاومت برشی خاک

ایمنی هر سازه ژئوتکنیکی به مقاومت خاک بستگی دارد. درصورت گسیختگی خاک واقع در زیر یک سازه احتمال وقوع خسارات جانی و مالی زیادی وجود خواهد داشت.

بنابراین مقاومت خاک از اهمیت بالایی برای مهندسین ژئوتکنیک برخوردار می باشد. واژه مقاومت در اینجا به معنی مقاومت برشی بوده که همان مقاومت اصطکاکی داخلی خاک در برابر نیروهای برشی می باشد.

از پارامتر مقاومت برشی خاک جهت تخمین ظرفیت باربری خاکها، پایداری سازه های ژئوتکنیکی و تحلیل خضوضیات تنش-کرنش خاکها استفاده می گردد.

۸-۱ آزمایشـــات آزمایشـــگاهی جهـــت تعیـــین پارامترهـــای مقاومت برشی

۱- آزمایش برش مستقیم

۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته- زهکشی شده (CD)

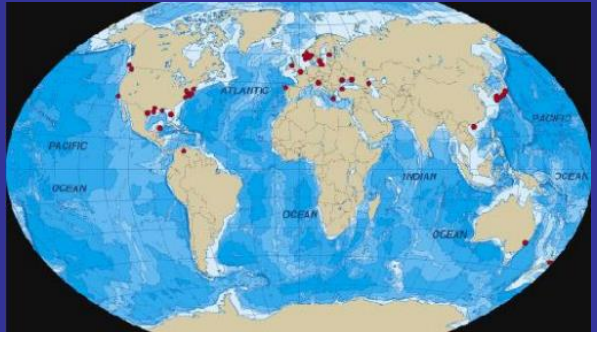
۳- آزمایش سه محوری تحکیم یافته- زهکشی نشده (CU)

٤- آزمایش سه محوری تحکیم نیافته- زهکشی نشده (UU)

۵- آزمایش فشاری محدود نشده

۹- محیط های دریایی:

- امروزه در حدود $\frac{3}{4}$ سطح زمین بوسیله دریاها پوشیده شده است.
- در گذشته سطح دریاها از این هم تجاوز می نموده است.
- اکثر رسوبات موجود در خشکی از نوع دریایی هستند



۹- محیط های دریایی:

- انتخاب نوع و روش انجام مطالعات ژئوتکنیک در محیطهای دریایی متاثر از پارامترهای مختلفی است.

- Water depth
- Type of structure
- Environmental loading
- Soil conditions
- Local experience
- Geologic hazards
- Potential foundation savings

۹- محیط های دریایی:

- تقسیم بندی عمق دریاها جهت انجام مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک

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		

۹- محیط های دریایی

جدول ۱- ۶ طبقه بندی انواع محیطهای دریایی جهت اتخاذ روش مناسب جهت انجام مطالعات ژئوتکنیک

Category	Description
نواحی طوفانی Harsh	An environment such as the North Sea and the North Atlantic seaboards where there is a high frequency of sudden storms.
دریاهای گرمسیری Tropical seas	Normally benign and swell-free regions but which lie within tropical storms paths. Such storms are invariably announced by weather warning notices.
دریاهای محصور Bounded seas	Enclosed seas such as the Caspian, Mediterranean and Black Sea that are free of oceanic swells but where storms can be sudden.
نواحی بی خطر Benign tropics	Areas, such as the west coast of Africa, with continental shelves open to the ocean where storms are infrequent but which suffer from prolonged intervals of long-period swells.
نواحی قطبی Arctic	In general, the high latitudes bounded by the limits of summer sea ice. These areas are subject to sudden storms and, beyond their equinoctial circles, provide limited working opportunities.

شکل ۱- ۸ محیط های دریایی

۱۰- نهشته های دریایی

چهار دسته اصلی نهشته های دریایی شامل موارد زیر می گردد:

- Lithogenous,
- Biogenous,
- Hydrogenous, and
- Cosmogneous.

نام هر یک از گروههای فوق بر اساس نحوه ورود آنها بداخل اقیانوس انتخاب شده است.

10. 1 Lithogenous

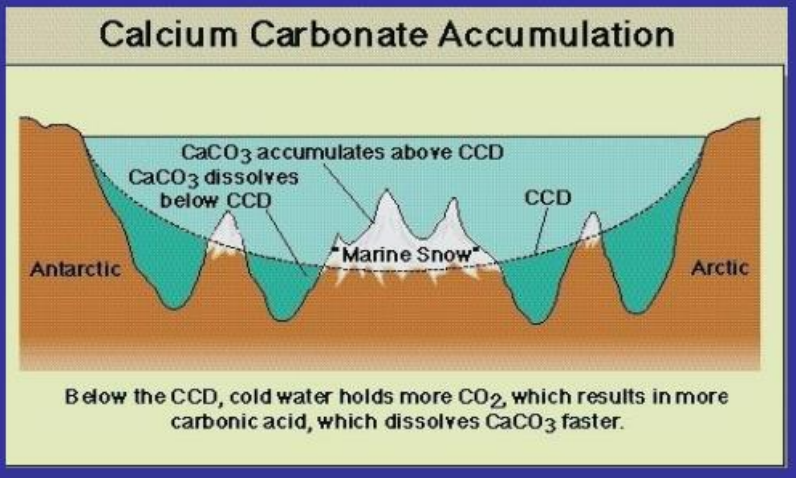
- این نوع از نهشته، در خشکی شکل می گیرد و معمولا" حاصل یک پروسه هوازدگی است که توسط عواملی از قبیل رودخانه ها یا وزش باد به اقیانوس می رسد.
- سرعت رسیدن نهشته های درشت تر به اقیانوس، بخصوص در نزدیکی حواشی قاره ای بیشتر می باشد.
- سرعت رسیدن رس و لای معمولا" پایین بوده و نرخ رسوب رسهای اقیانوسی معمولا" بسیار کم می باشد.

10. 2 Biogenous

- این نوع از نهشته های دریایی از صدفها و اسکلت موجودات دریایی بوجود می آیند. در نتیجه، توزیع این دسته از نهشته ها توسط فرآیندهای آب و هوایی و محیطی کنترل می گردد.

نهشته های Biogenous آهکی (حاوی $CaCO_3$؛ کربنات کلسیم)

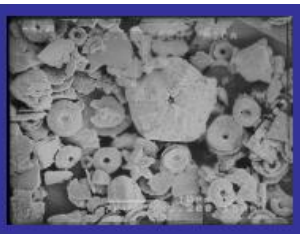
- توزیع نهشته های Biogenous آهکی به مقدار زیادی از تجزیه و از هم پاشیدگی نهشته های کربناتی موجود در اقیانوسهای عمیق حاصل می گردد:
- نرخ تجزیه و از هم پاشیدگی با افزایش عمق و کاهش حرارت افزایش می یابد.



شکل ۱- ۹ نحوه تجمع کربنات کلسیم

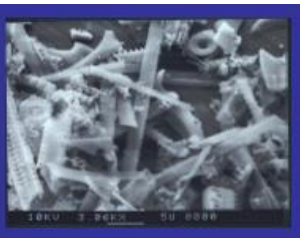
نهشته های Biogenous سیلیسی (دارای $SiO_2.nH_2O$)

- این نهشته ها در سراسر دنیا موجود بوده، اما معمولا" در آبهای سردتر به وفور یافت می شوند.
- سنگهای سیلیسی با سرعت بسیار پایینی در اقیانوسهای عمیق تجزیه می شوند.
- بنابراین معمولا" در مقایسه با نهشته های آهکی در آبهای عمیق تر یافت می شوند.



Calcerous

Calcerous Nanofossil Ooze

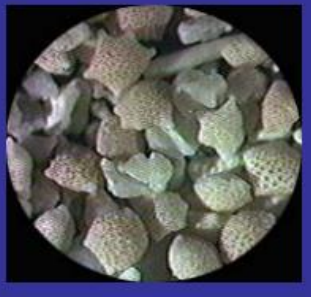


Silicious

Silicious Diatom Ooze

Calcerous

Calcerous foraminifinal Ooze



Foraminiferal Sand

10. 3 Hydrogenous

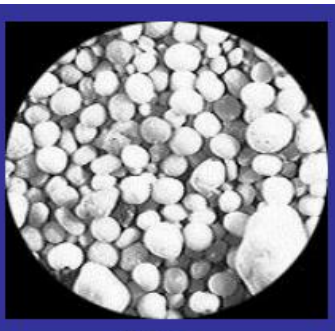
نهشته های Hydrogenous و ذرات رسوبی حاصل رسوب مستقیم ترکیبات شیمیایی (کانی ها) درون آب دریا می باشند:

- **Evaporite (تبخیری):** بواسطه تبخیر آب دریا تشکیل می یابند.

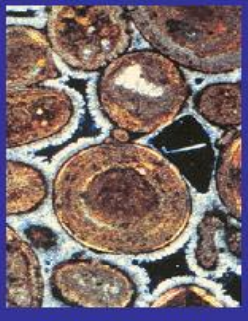
- **منگنز:** بصورت کلوخه هایی در نواحی مشخص و در بستر اقیانوس ها شکل میگیرد. این مصالح از اکسید منگنز حاوی مقادیر زیادی کبالت، آهن، مس، منیزیم و سایر اکسیدهای فلزی تشکیل می یابد.این نوع از نهشته های بسیار آرام شکل می گیرند.

- **سنگ آهک (Oolites):** این نهشته توسط رسوب غیر آلی کربنات کلسیم در آبهای کم عمق و گرم شکل می گیرد.

Manganese Nodule Field



Oolites



Oolitic Limestone

Typical Evaporite

10. 4 Cosmogenous

نهشته های Cosmogenous رسوباتی هستند که از فضا بداخل زمین سقوط می نمایند. این گروه از نهشته ها خود شامل دو گروه متفاوت می گردند:

- **شهاب سنگها و ریزشهاب سنگها:** توده های سنگی متراکمی هستند که از فضا بر روی زمین سقوط می کنند.

- **سنگهای آسمانی (Tektites):** این نوع سنگها در اثر برخورد شهاب سنگها به زمین، پخش نمودن مصالح ذوب شده از پوسته زمین به هوا و سپس تغییر حالت این مواد به حالت جامد و شیشه شکل می یتبند. سپس این مصالح مجددا" به زمین بر می گردند.

خصوصیات کلي نهشته هاي دریایي

- اینگونه نهشته ها اکثراً خاکهای نرم و اشباع می باشند.
- در تحلیل ظرفیت باربری این نوع نهشته ها همواره از پارامتر مقاومت برشی زهکشی نشده استفاده می گردد.
- این قبیل نهشته ها اغلب خاکهای مستعد روانگرایی هستند.
- قابلیت فشردگی و تراکم پذیری بالایی دارند.

سازه های دریایي

- اسکله های ثابت

سازه های دریایی

- اسکله های ثابت

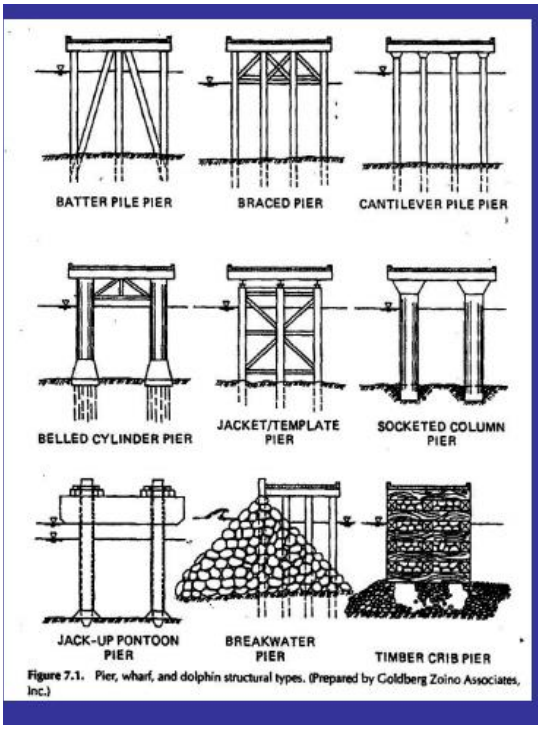
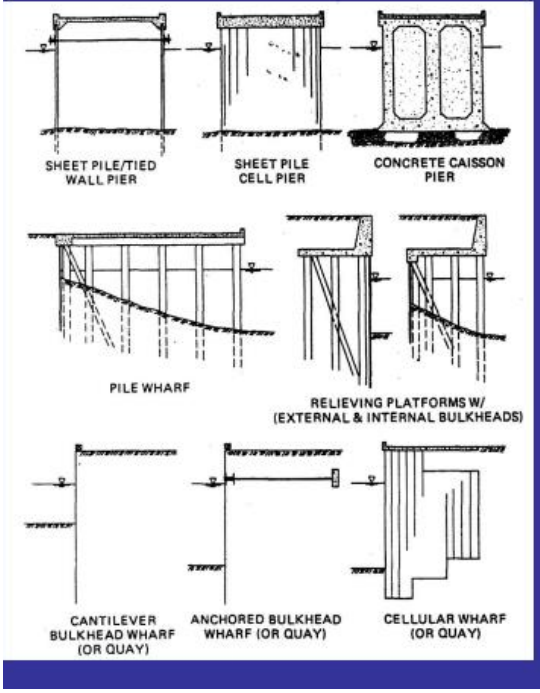


Figure 7.1. Pier, wharf, and dolphin structural types. (Prepared by Goldberg Zoino Associates, Inc.)

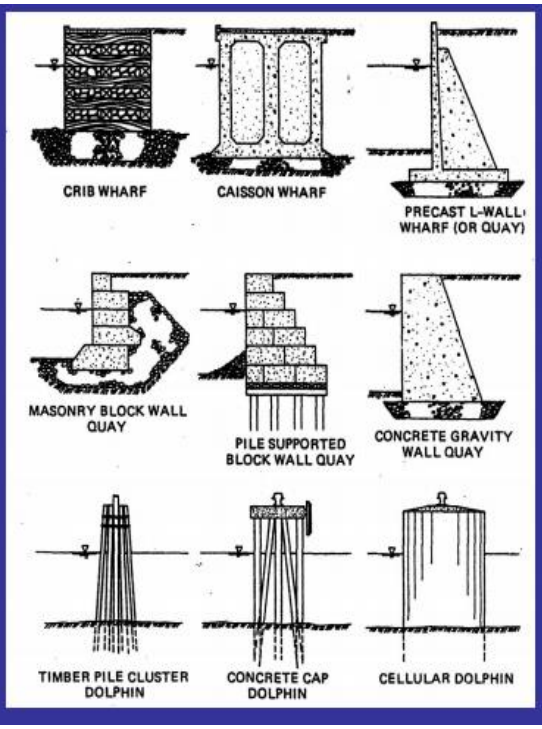
سازه های دریایی

- اسکله های ثابت



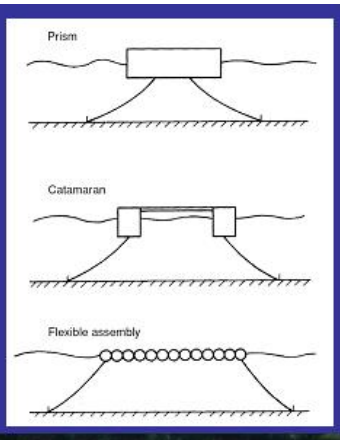
سازه های دریایی

- اسکله های ثابت



سازه های دریایی

- اسکله های شناور



سکوهای دریایی:

- سکوهای متحرک:

تا محل مورد نظر حرکت کرده و پس از توقف عملیات حفاری را انجام می دهند.

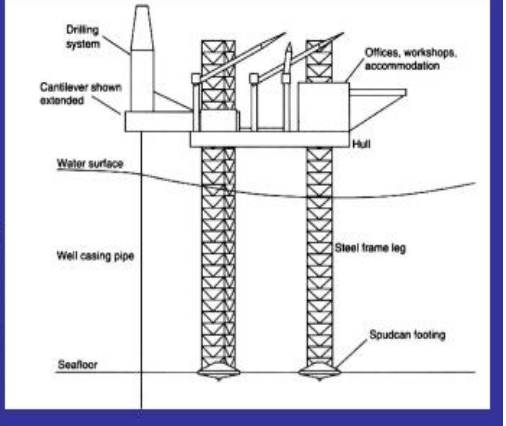
۱-سکوی شناور:
پس از رسیدن به نقطه حفاری با پر کردن مخازن از آب غرق میشوند و پس از اتمام حفاری مخازن خالی شده و به نقطه بعدی برده می شوند.

۲-نیمه شناور:
قسمت اعظم شناوری آن در عمق آب قرار می گیرند تا از اثرات امواج در امان باشند. با استفاده از تثبیت کننده دینامیکی یا لنگر در اعماق کم مهار می شوند.

۳-خود بالابر (Jackup)
دارای پایه های بلندی هستند که بعد از مستقر شدن در محل پایه های پایین رفته و در بستر دریا تثبیت می شوند

سازه های دریایی

- Jackup platform



سازه های دریایی

- Jack-up construction barge

- سکوهای ثابت:

بر روی چاه حفاری شده به صورت مستحکم نصب می شوند. این سکوها دارای تجهیزات کافی برای استخراج، پالایش اولیه، و انتقال فرآورده های استخراجی به ساحل و همچنین نیازمندی های پرسنل و کارکنان سکو می باشند.

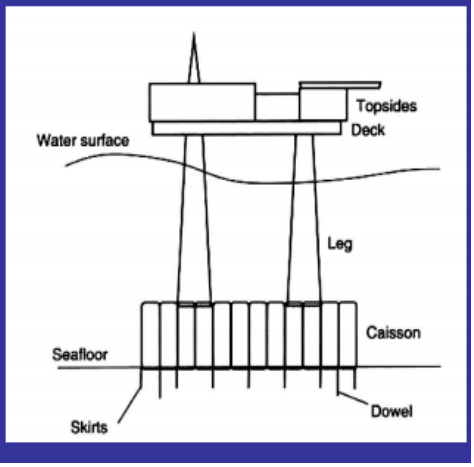
۱-سکوی وزنی (بتنی):
از وزن زیاد برای اتکا بر بستر استفاده می شود، در پایه های خود دارای مخازن نفت هستند، در نقاطی به کار می روند که عمق آب زیاد و محل استقرار در فاصله زیادی با ساحل است

۲-سکوی پایه کششی:
پایه های از جنس کابل هستند
در مقابل بارهای قائم به صورت شناور و در مقابل بارهای جانبی و محیطی با تغییرمکان و ایجاد تعادل بین نیروهای شناوری و کششی مقاومت می کنند

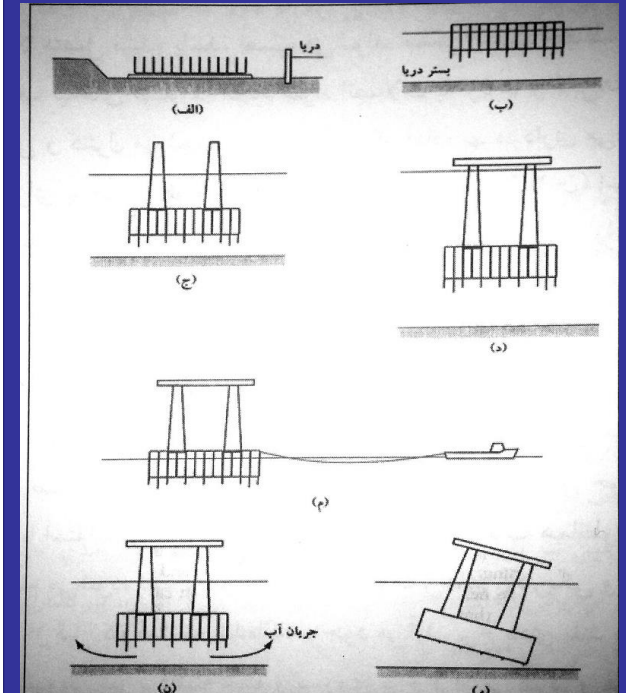
۳-سکوی شابلونی (**Jacket**):
در نواحی با اعماق کم
از جاکت به عنوان پایه و نصب شمع ها استفاده می شود

سازه های دریایی

- Gravity platform



۹- ساخت و نصب:



مراحل ساخت و نصب
یک سکوی وزنی

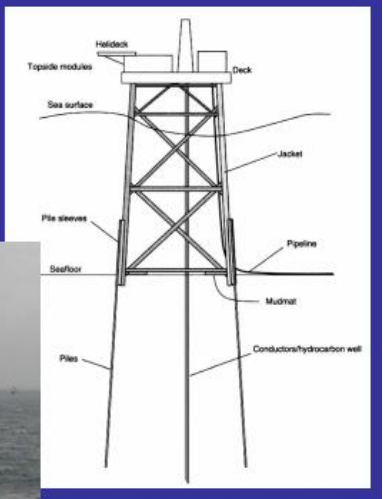
سازه های دریایی

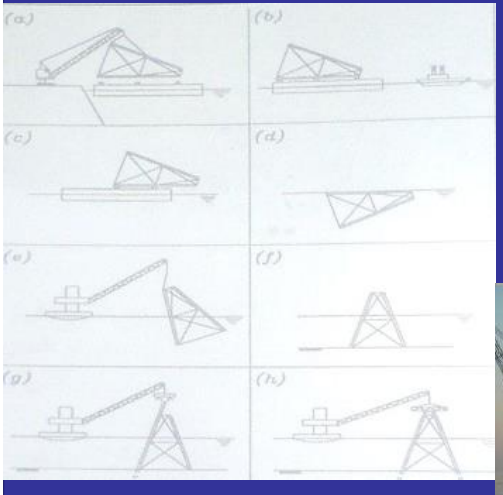
- Concrete gravity-base platform

- سکوهای پایه کششی چهار پایه:

سازه های دریایی

- Jacket platform





۹- ساخت و نصب:

مراحل ساخت و نصب
یک سکوی شابلونی

سازه های دریایی

- Breakwater

سازه های دریایی

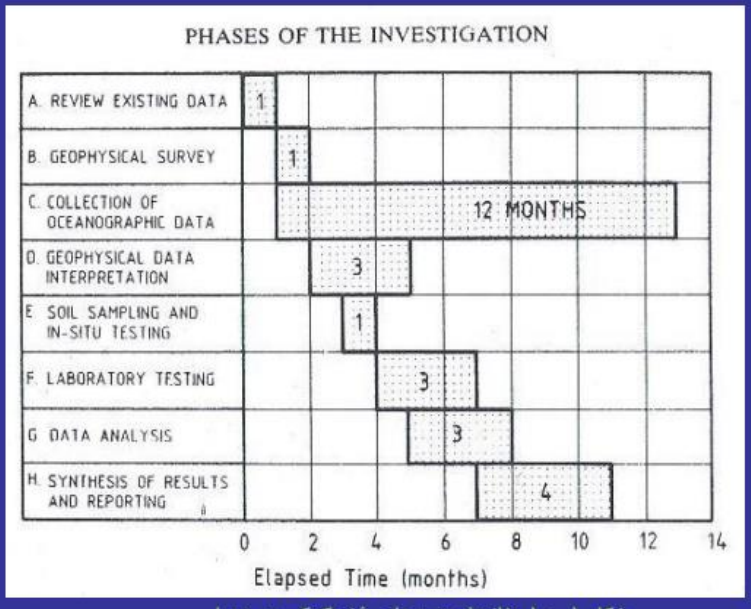
- Boat Lift

سازه های دریایی

- Seawall

مروری برفصول آتی
درس ژئوتکنیک دریایی

مطالعات و اکتشافات ژئوتکنیکي در دریا

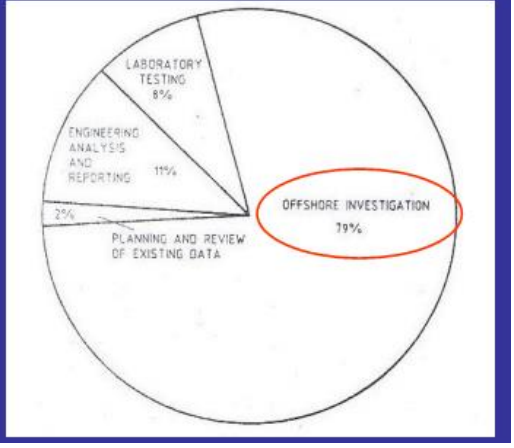


شکل ۱- ۱۰- فازهای تحقیقاتی ژئوتکنیکی در دریا

عوامل تاثیر گذار بر گستره مطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی در دریا

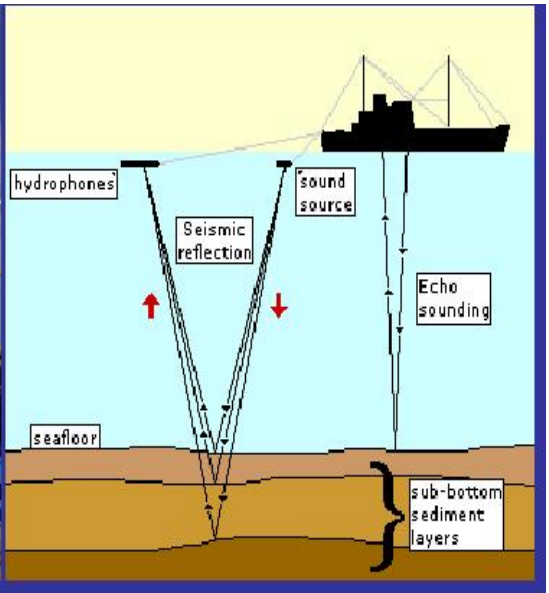
- عمق آب
- نوع سازه
- بارهای محیطی

- شرایط خاک
- تجربه محلی
- مخاطرات زمین شناسی
- صرفه جویی در هزینه فونداسیون



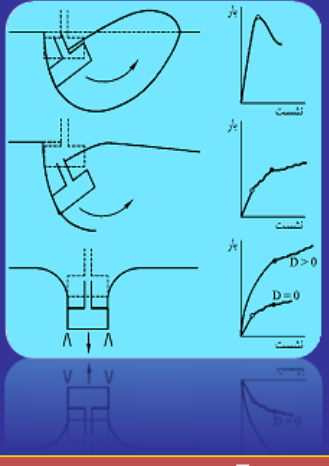
شکل ۱- ۱۱ سهم هر یک از فازهای تحقیقاتی در مطالعات ژئوتکنیکی دریایی

شکل ۱- ۱۳ سیستمهای حفاری در دریا



شکل ۱- ۱۲ نمونه ای از روش های ژئوفیزیکی

مباني طراحي



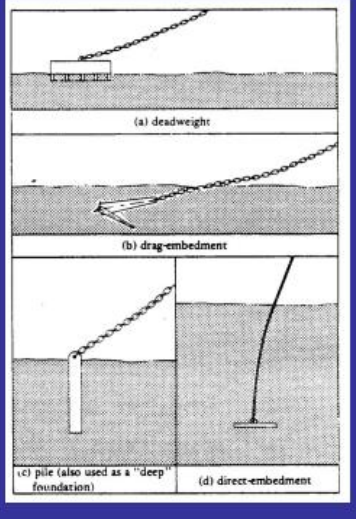
- ملاحظات هیدرولیکی
- مبانی طراحی سازه ای
- مبانی طراحی ژئوتکنیکی
- نشست
- فشار جانبی خاک

$$q_{ult} = CN_c S_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q} N_q S_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\,\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

پي سازي در دريا

شکل ۱-۱٤- پی سازی در دریا

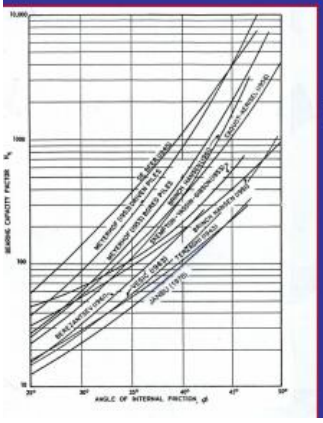
شکل ۱- ۱۵- عملیات شمع کوبی درون دریا



شکل ۱-۱۶- انواع مهار دریایی

طراحی ژئوتکنیکی پی های عمیق

متدهاي متداول جهت تعيين توان باربري شمع ها



- آنالیز استاتیکی
- آنالیز استاتیکی با استفاده از نتایج تستهای درجا
- آزمایش بارگذاری استاتیکی
- تحلیل دینامیکی و تستهای دینامیکی

ناپايداري هاي ژئوتكنيكي

گسترش جانبي (Lateral Spreading)

روانگرایی(liquefaction)

سونامي و گرداب (Tsunamis and Seiches)

بهسازي و اصلاح بستر دريا

۱- حفاری وبرداشت, جابه‌جایی ویا جایگزینی- Excavation, Displacement or Replacement

۲- تراکم سطحی- Shallow Compaction

۳ ـ تراکم دینامیکی- Dinamic Compaction

٤ـ تراکم وایبره - شناوری در عمق- Vibrifloatation

۵ ـ انفجار- Blasting

۶ ـ پیش فشردگی از طریق پیش بارگذاری- Precompression by Preloading

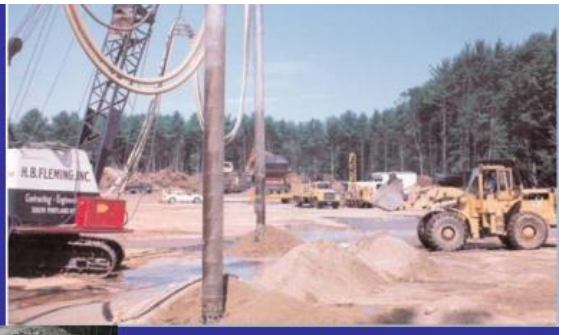
۷ ـ تزریق- Grouting

۸ ـ استفاده از مواد افزودنی- Admixtures

۹ ـ سیستم‌های حرارتی- Thermal System

۱۰ـ تسلیح خاک- Soil Reinforcing

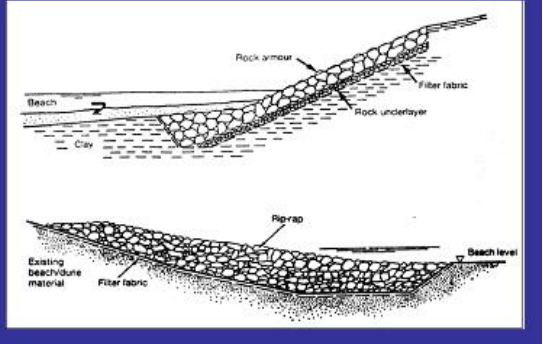
انفجار(Blasting)



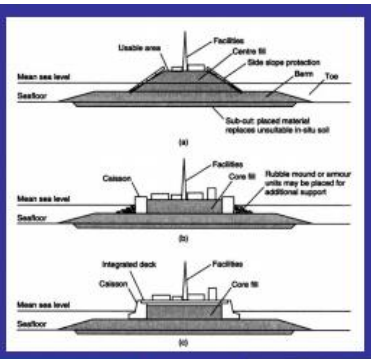
تراکم ویبره ای (Vibro compaction)

شکل ۱-۲۰ نمونه ای از روش های بهسازی

سازه های نگهبان ساحلی و فرا ساحلی، جزایر مصنوعی



شکل ۱-۲۱- نمونه ای از دیوارهای ساحلی



شکل ۱-۲۲- نمونه ای از جزایر مصنوعی

خطوط لوله مستقر در کف دریا