



دانشکده مهندسی مکانیک

انواع پی در سازه‌های دریایی

مریم محمدپور

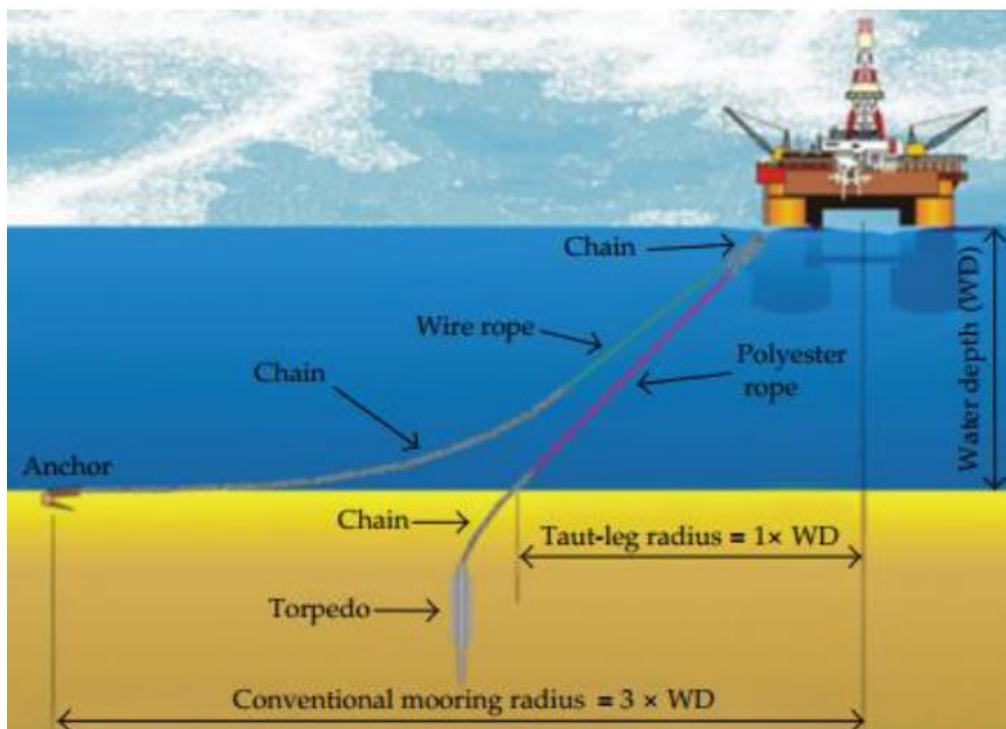
نظارت و راهنمایی:

محمد رضا تابش پور

درس:

تحلیل و طراحی سکوهای شناور

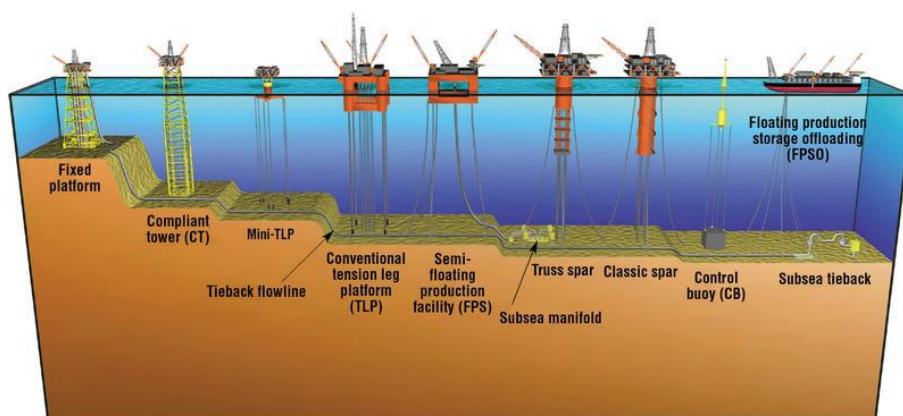
بهمن ۹۵



عوامل بسیاری ممکن است انتخاب یک توسعه استراتژی مناسب برای ذخیره ی منابع هیدرو کربن دریایی را تحت تاثیر قرار دهد.

- عمق آب
- سائز مخزن
- نزدیک بودن به زیر ساخت های موجود
- تعداد چاه ها
- ملاحظات عملیات
- عوامل اقتصادی
- فرکانس مداخله پیش بینی شده

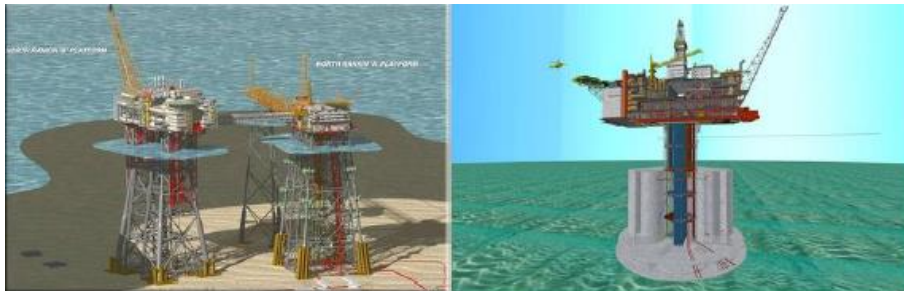
سازه های دریایی را می توان به طور گسترده به دسته های سکوهای ثابت، برج های تطبیقی، سازه های شناور و سیستم های زیردریایی تقسیم کرد. انواع مختلف سیستم های توسعه دریایی در حال حاضر در شکل زیر نشان داده شده است.



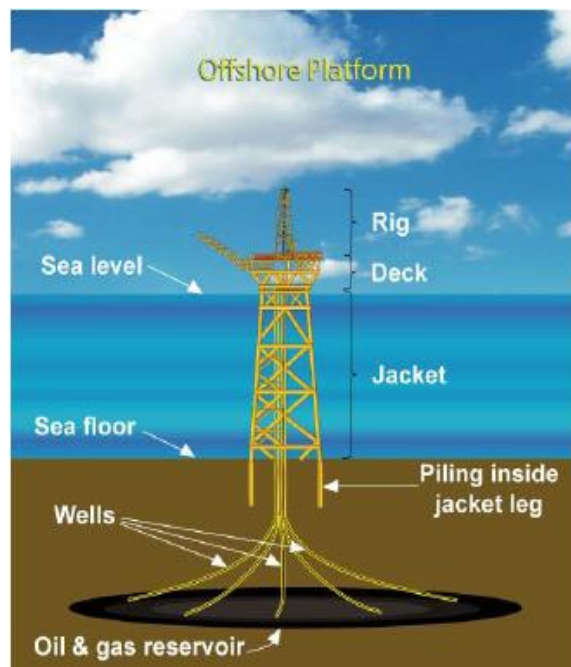
شکل ۱) سیستم گسترش فرا ساحل: مهر شده در کف، سازه های مهار افقی، شناور های تولیدی و سیستم های زیر دریا [۱]

سکوهای ثابت

سکوهای ثابت برای حمایت کردن از دک توسط پایه هایی که به طور مستقیم به پی کف دریا متصل است، می باشند. آن ها می توانند به صورت لوله های فلزی متصل شده به جکت و یا بتنی و یا به صورت هیبریدی (ترکیبی از آهن و بتن) باشند. جکت های فولادی برای ساپورت کردن پایل ها (شمع) می باشند در حالی که سازه های گرانشی به دلیل چگالی بالا، وزن زیاد و قطرهای عظیم باعث پایداری می شوند. پایداری مضاعف با استفاده از نفوذ بسیار زیاد پایه های جکت به درون بستر دریا فراهم می گردد. مسایل اقتصادی باعث محدودیت استفاده از این نوع سازه ها می شود، به همین دلیل برای اعماق بیشتر از ۵۰۰ متر استفاده نمی شود. شکل زیر جکت مربوط به سکو Bullwinkle که واقع در خلیج مکزیک می باشد را نمایش می دهد. این سکو دارای ارتفاع کلی ۵۱۲ متر می باشد که ۴۱۲ متر آن در زیر سطح آب قرار دارد.



شکل ۲) سکوی جکت فولادی و سازه بتنی تحت وزن [۱]



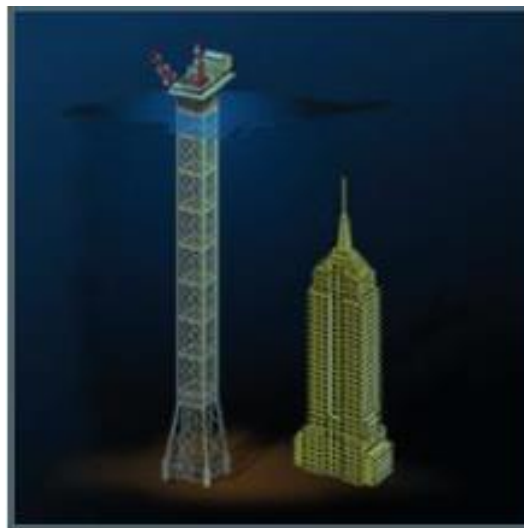
شکل ۳) المان سکوی فراساحل [۱]



شکل ۴) انتقال زیر ساخت جکت Bullwinkle [۱]

برج های تطبیقی

برج تطبیقی، یک قاب فضایی فولادی باریک است که دارای پی پایل شکل هستند. این برج ها قابلیت انعطاف بیشتری نسبت به سازه های ثابت دارند بنابراین قابلیت تطبیق بیشتری با محیط اطراف دارند. تطبیق بدین معنی است که سکو می تواند تغییرات جانبی بزرگ سازه ایی را در مقابل بار های جانبی بزرگ تحمل کند. برج های تطبیقی برای اعماق بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر مناسب می باشند. بلند ترین برج تطبیقی در جهان، برج Petronius می باشد. ارتفاع کلی آن ۶۰۹,۹ متر است که ۵۳۵ متر آن در زیر سطح آب قرار دارد. که یکی از بلندترین سازه های ایستای آزادی می باشد که تا کنون ساخته شده است.

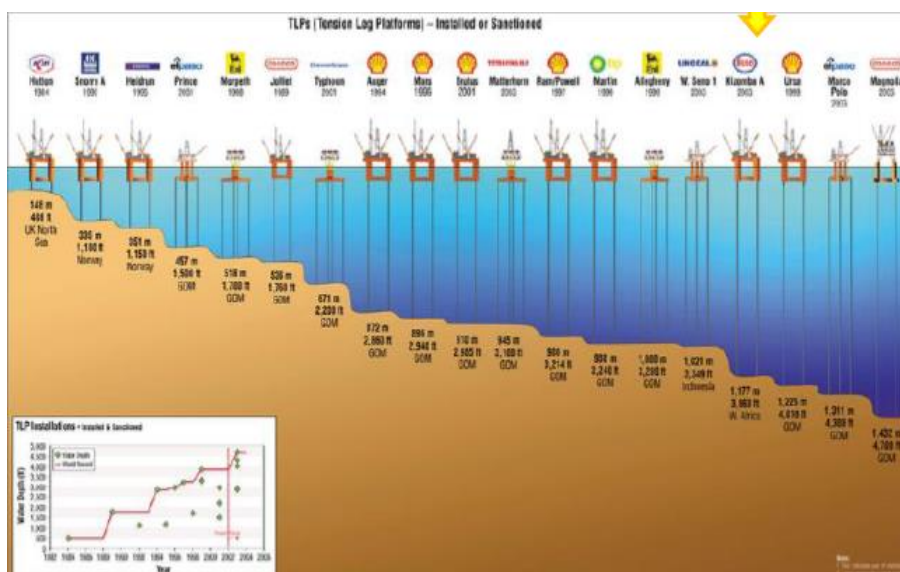


شکل (۵) قیاس برج تطبیقی Petronius و ساختمان Empire state [۱]

سکوهای پایه کششی:

سکوهای پایه کششی (TLP) شامل سکو های نیمه مغروق است که توسط تاندون های افقی در بستر دریا مهار شده است. بویانسی اضافی ارائه شده توسط اجزای مختلف بدنه باعث حفظ کشیدگی

سیستم مهار حتی در زمان بارگذاری طوفان نیز می باشد. TLP ها قابلیت کاربرد تا عمق ۲۰۰۰ متر رانیز دارند. در شکل زیر انواع TLP ها نمایش داده شده است.



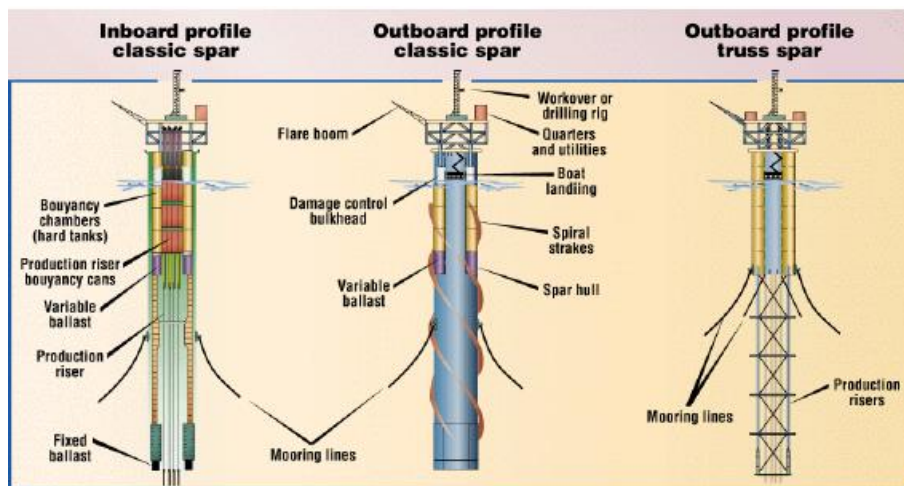
شکل ۶) نصب و مجوز های اجرایی ناوگان های TLP در سراسر جهان [۱]

سیستم های FPS:

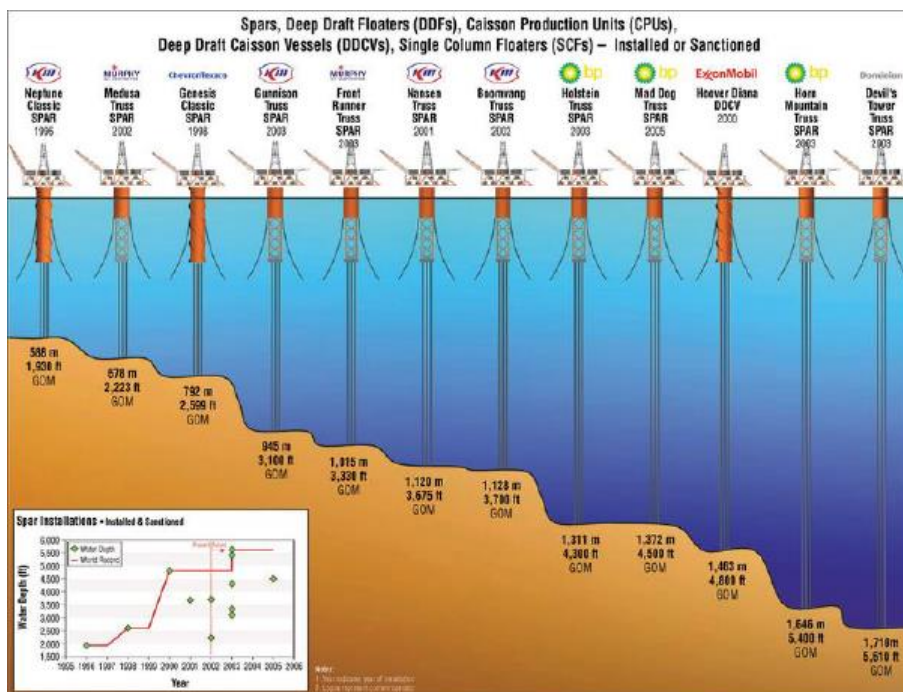
سیستم های نیمه شناور تولیدی (FPS) معمولاً شامل پایه های عمودی متعددی هستند که به قسمت فوقانی (Topside) متصل می باشند. سیستم های نیمه مغروق قابلیت جابه جایی دارند. خود ستون ها و پانتون ها می توانند با آب پر شوند تا پایداری سیستم را توسط بویانسی کافی در مقابل شرایط بد آب و هوایی و امواج تامین کنند. سیستم های نیمه مغروق قابلیت بهره برداری در طیف گسترده ایی از اعماق، جهت عملیات موقت و دائم را دارند. شکل زیر گستره اعماق بهره برداری از FPSS ها را نشان می دهد.

سکوهای اسپار (SPAR):

اسپار شامل بدنه های استوانه ایی عمودی با قطر بسیار بزرگ می باشد که سیستم را با استفاده از خاصیت شناوری حمایت می کند. اتاقک های بویانسی در نزدیکی بدنه تعبیه شده اند که باعث حفظ پایداری شناور از طریق خاصیت شناوری می باشند. علاوه بر این، شکاف های مارپیچی که بر روی بدنه تعبیه شده است باعث حفظ تعادل سیستم در مقابل حرکات جانبی ناشی از جریان های گردابه ایی می شوند. اسپارها به وسیله سیستم های مهار عمودی Taut mooring، Tether ها و یا Catenary ها مهار می شوند که استفاده از Taut mooring ها و Catenary ها رایج تر است. اسپارها قابلیت اجرایی شدن و بهره برداری تا عمق ۳۰۰۰ متر را دارا می باشند. در حال حاضر عمیق ترین سیستم اسپار بهره برداری شده در دنیا Perdido SPAR است که در خلیج مکزیک ساخته شده است که ۲۴۳۸ متر آن در زیر خط آب قرار دارد.



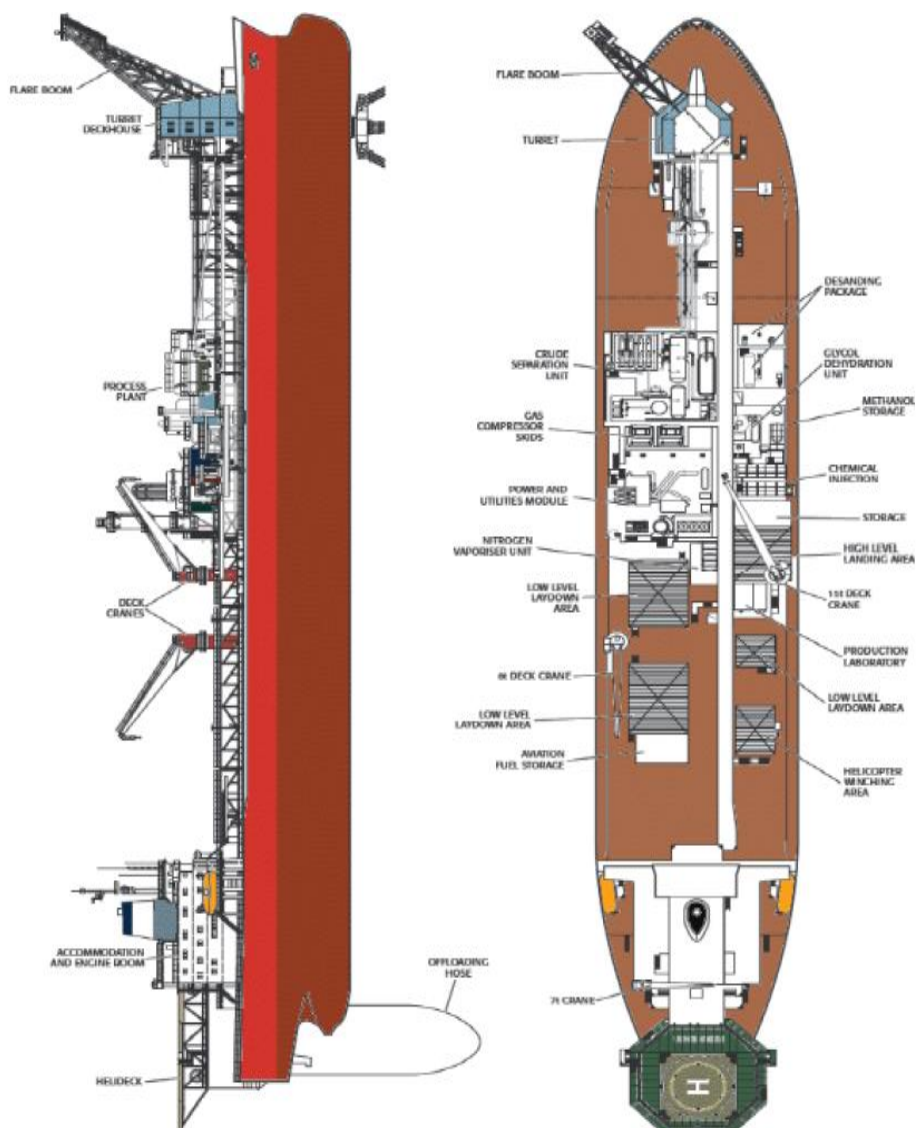
شکل ۹) پروفیل سه نوع اسپار متفاوت [۱]



شکل ۱) ناوگان جهانی اسپار نصب شده [۱]

شناورهای تولید و نگه داری وامكانات تخلیه:

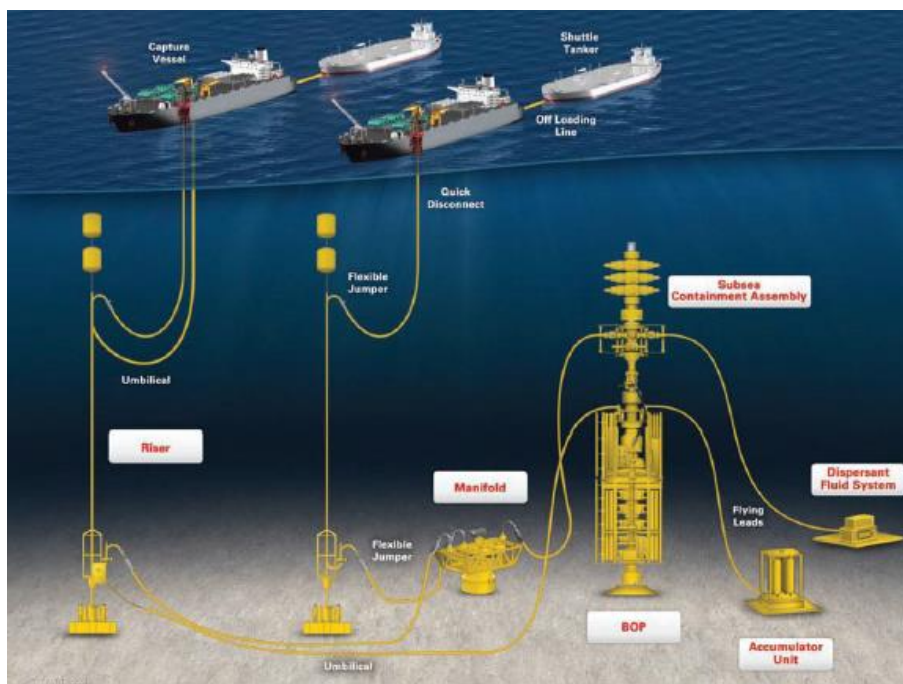
شناورهای FPSO شامل تجهیزاتی به شرح زیر می باشند. یک کشتی تانکر بزرگ که مجهز به امکانات تولید و ذخیره سازی هیدروکربن ها می باشد. قابلیت ذخیره سازی FPSO ها به این دلیل است که برای میدان های نفتی و گازی که در حاشیه مناطق به نسبت دورافتاده هستند و خط لوله وجود ندارد از نظراقتصادی مقرون به صرفه می باشد. تانکر های شاتل کوچکتر برای نقل و انتقال هیدروکربن ها به تاسیسات پالایشگاهی خشکی مورد استفاده قرار می گیرد. FPSO ها می توانند در یک مکان fix شوند و چندین خط مهار (mooring line) در یک نقطه به هم برسند. اینکه خطوط مهار در یک نقطه به هم می رسند باعث می شود که جهت گیری مناسب در شرایط آب و هوایی داشته باشند. برای مثال، FPSO P-5 در منطقه Albacora Leste واقع در Campos Basin Brazil خط مهاری با اندازه ۱۲۴۰ متر دارد.



شکل ۱۱) امکانات تخلیه و ذخیره شناور [۱]

سیستم های زیر دریا :

سیستم های زیر دریا به طور معمول شامل یک چاه مستقل هستند که تولیدات آن به نزدیک ترین سکو منتقل می شود و یا شامل چندین چاه تولید هستند که از طریق چندین خطوط انتقال به سکوها به فاصله به نسبت دور منتقل می شوند. تجهیزات چند جزئی بستر دریا از قبیل چاهها، لوله های چند راهی، بندهای کنترل (Umbilical Control) و خطوط جریان باعث بازیابی هیدروکربن ها در اعماق می شوند و همین طور در شرایطی مانع نصب سکوها مرسوم fix و شناور می شوند. سیستم های زیرآبی قادر به اجرای عملیات در هر عمقی از آب می باشند. شکل زیر انواع اجزای یک سیستم زیر دریایی را نمایش می دهد.



شکل ۱۲) اجزا سیستم زیردریایی BOP - Blowout preventer [۱]

پی های آب کم عمق:

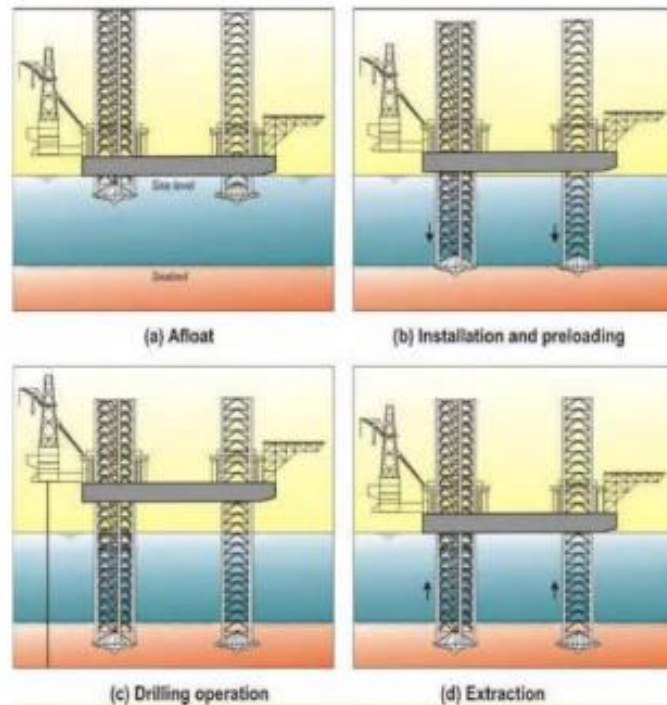
اگر عمق آب از ۵۰۰ متر تجاوز نکند، کم عمق محسوب می شود. انواع اصلی پی هایی که در این شرایط اجرا می شوند عبارتند از:

- Spudcans
- پایل ها (Pile)
- ساختار های پایه گرانشی (Gravity base structures) یا GBS
- محفظه های بتنی (Concrete caissons)
- سطل های فلزی (Steel Buckets)

تمام این روش ها معایب و مزایای خاص خود را دارند. بعضی از آن ها قابلیت اجرا در هر شرایط ژئوتکنیکی خاک را ندارند و برخی دیگر بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. GBS در خاک رس به دلیل وزن زیاد خودش بیشتر نفوذ میکند. از این رو در قسمت بعد به انواع پی ها و جوانب مثبت و منفی آن ها پرداخته می شود.

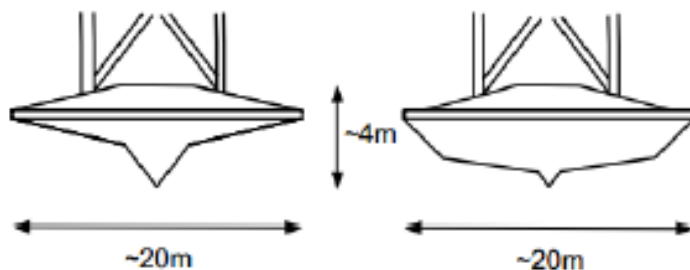
اسپادکن:

در صنعت فرا ساحل نقش بسیار مهمی توسط واحد سیار حفاری خود بالا بر به نام جک آپ، به دلیل مقرون به صرفه بودن و منعطف بودن ایفا می شود. ثابت شده است که این وسیله بسیار کارآمد می باشد به خصوص زمانی که در شرایط دریایی آب آشفته، جریان ها سریع می باشد و همین طور در مقابل شکست موج در خطوط ساحلی و یا سدها. این سازه شامل یک واحد بویانت مثلی می باشد که بر روی سه یا چهار پایه مستطیلی شکل قرار دارد. این واحد در واقع واحد پشتیبانی حفاری و سایر تجهیزات رو سازه می باشد SPUDCANS. با پایه های جمع شده در موقعیت مورد نظر قرار می گیرد و سپس پایه ها را در بستر دریا باز می کند و بدنه به سمت بالا کشیده می شود. در شکل زیر مراحل تصویر شده است.



شکل ۱۳) مراحل نصب جکاپ [۱]

این پی ها هندسه منحصر به فرد خود را دارند. زمانی که نصب می شوند فقط به نیروی وزن خود و پیش بارگذاری طراحی شده، که برای کاهش ته نشینی و افزایش مقاومت در برابر شرایط محیطی است، وابسته می باشند. Spudcans ها معمولاً دایره ایی شکل هستند و به طور معمول یک مخروط با عمق کم و توپی با بیرون زدگی به نسبت شدید در قسمت زیرین آن قرار دارد (با زاویه ۱۵ تا ۳۰ درجه نسبت به افق). در جک آپ هایی که امروزه طراحی می شوند، قطر Spudcans به بیش از ۲۰ متر می رسد. ارتفاع معمول این نوع جک آپ ها بیش از ۱۶۰ متر می باشد.



شکل ۱۴) نمونه ای از اشکال اسپادکن [۱]

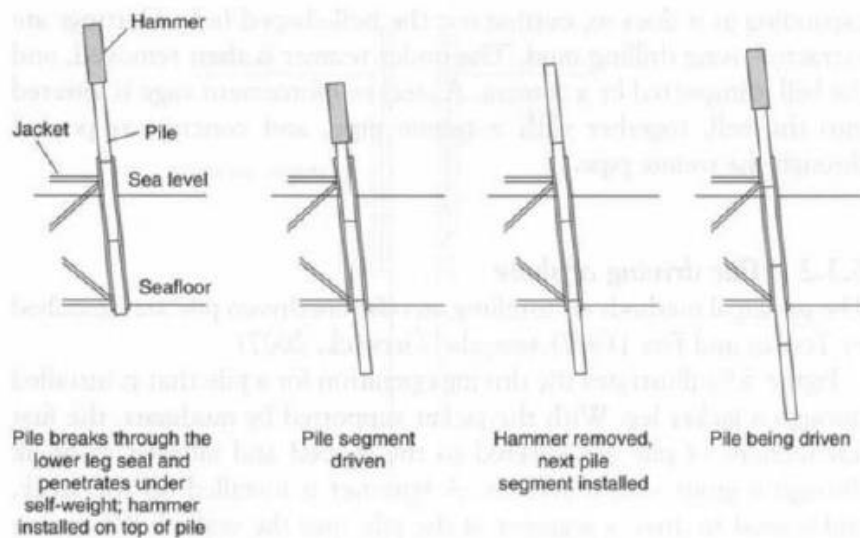
شمع (Pile Foundation):

شمع ها همان های ستونی شکل باریک و بلندی هستند که عملکرد انتقال بار را از روسازه و لایه های ضعیف فشرده و یا آب به خاک های سخت تر و صخره ایی تر را دارا می باشند. شمع ها در سازه های دریای تحت تاثیر بارهای جانبی متاثر از پهلوی گیری کشتی ها و امواج می باشند. شمع ها در مناطق کم عمق و یا عمیق بسته به نوع اتصال به سکو قابل بهره برداری می باشند. در آب های کم عمق این اتصال از طریق ساختار های شبکه ای فولادی به نام جکت می باشد، که پر استفاده ترین ساختار ثابت در صنایع فرا ساحل است. شمع ها می توانند به عنوان لنگر درمهار تجهیزات شناور مورد استفاده قرار بگیرند.

دو روش ساخت برای شمع های صنایع فرا ساحل وجود دارد: شمع کوبیده و شمع به همراه دوغاب

شمع کوبیده (Driven Piles):

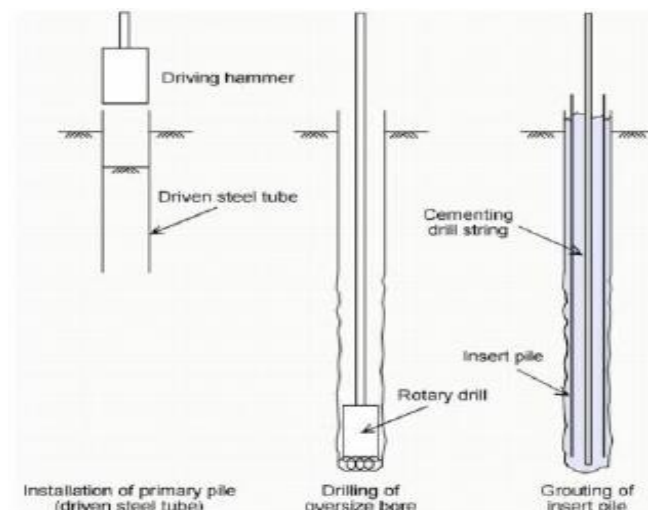
بیشترین شمعی که در صنایع فرا ساحل مورد استفاده قرار می گیرد، شمع کوبشی است که به وسیله یک چکش به درون بستر دریا کوبیده می شود. قطر این نوع شمع ها از ۷۶/۰ متر تا ۲/۵ متر می باشد که به طور استثنا در پی توربین بادی از یک پایل کوبشی به قطر ۵/۱ متر نیز استفاده شد که نتایج موفقیت آمیزی به همراه داشت. ضخامت ورق در شمع در طول آن متغیر است و در جایی که نیروی مومنتوم بیشتری به آن وارد می شود ضخیم تر می باشد. معمولاً نسبت قطر به ضخامت ورق شمع بین ۲۰ تا ۶۰ می باشد. در شکل زیر مراحل نصب شمع نشان داده شده است.



شکل ۱۵) نفوذ شمع به درون پایه جکت [۱]

شمع های دوغابی (Grouted Pile):

این نوع از شمع ها نیز در صنایع فرا ساحل مورد استفاده قرار می گیرند و معادل دیگر آن Boerd Pile می باشد. در این نوع شمع در سوراخی که قبلا توسط شمع حفر شده بود، تزریق صورت می گیرد. شکل زیر مراحل اعمال شمع دوغابی را نشان می دهد. ابعاد آن نیز مانند ابعاد شمع کوبشی می باشد.



شکل ۱۶) سطوح نصب و نفوذ شمع [۱]

سازه های پایه گرانشی:

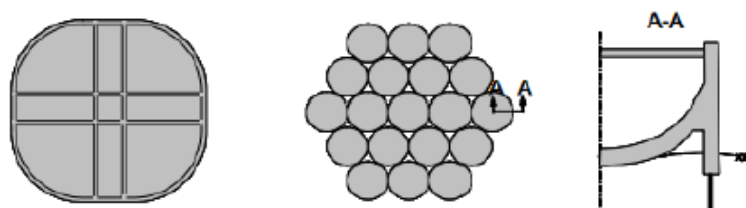
در مکان هایی که امکان نفوذ کمی وجود دارد از سازه های پایه گرانشی استفاده می شود. در این سازه ها معمولاً از بتن مسلح شده و مقاوم شده استفاده می شود ولی در برخی مواقع از فولاد و مواد ترکیبی (فولاد و بتن) استفاده می شود. این سازه ها معمولاً دارای سطح مقطع های بزرگ به منظور کاهش نیروی اعمال شده به خاک هستند. مهمترین ویژگی این نوع پی ها قابلیت ذخیره نفت و فرآوری آن در Basement می باشد.

این نوع پایه ها معمولاً برای پایه های توربین بادی در دریا به کار می رود. تا پایان سال ۲۰۱۰، ۱۴ مزرعه تولید انرژی بادی با پی GBS ساخته شد.

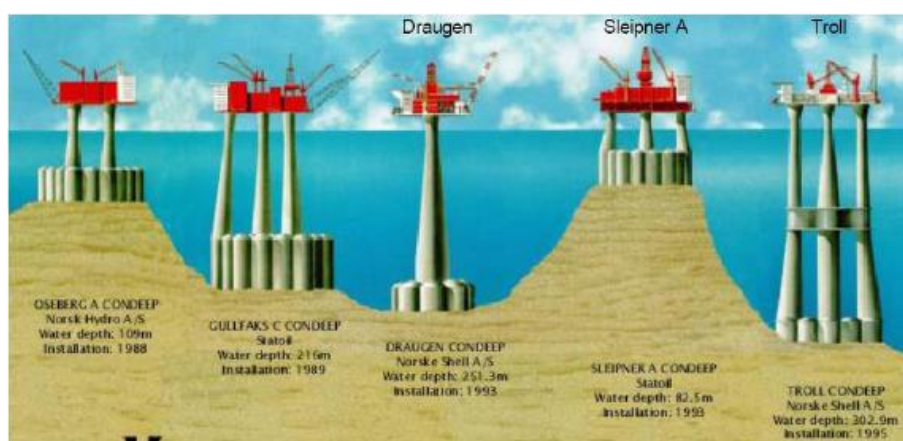
بارهای وارده بر GBS ها در دریا بسیار بیشتر از بارهای وارده نسبت خشکی می باشد. به دلیل حجم بسیار بزرگ، نیروی اینرسی تحت امواج، زلزله و ضربه کشتی یا کوه یخ بسیار بزرگ تر از حد معمول می باشد. بنابراین جابه جایی عرضی باعث شکست سازه می شود. برای جلوگیری از این امکان از بتن، دامن های فولادی و یا پرچ های اتصال استفاده می شود. بنابراین سطح شکست در عمق های بیشتری از بستر دریا قرار می گیرد.

اولین نوع این سازه Ekofisk tank بود که در سال ۱۹۷۳ در دریای شمال ساخته شد. تجربه ایی که در ساخت این نوع سازه به دست آمد باعث درک بهتر و اصلاح آن و سازه امروزی تر به

نام Condeep شد. سازه گرانشی Condeep شامل تعدادی سیلندر می باشد که به صورت شش ضلعی در کنار هم قرار گرفته اند. قسمت زیرین سلول ها محدب می باشد و نیم متر در داخل قسمت دامنی شکل بتنی قرار گرفته است. پایین ترین قسمت گنبدی شکل، بستر دریا را لمس می کند. در شکل زیر توضیحات، تصویر شده است.



شکل ۱۷) کاشت تانک Ekofisk و طراحی اولیه وزنی Condeep [۱]



شکل ۱۸) سازه های نصب شده Condeep [۱]

نوع دیگری از انواع GBS وجود دارد که به صورت ترکیبی از بتن و فولاد می باشد، که پایه ها از بتن و شبکه ها از فولاد است. از مزایای این نوع GBS سبک بودن نسبت به نوع مشابه بتنی و همین طور سرعت ساخت آن می باشد. از طرفی ساخت GBS ها از جکت ها پیچیده تر می باشد. زیرا در ساخت GBS ها باید موارد بسیاری از جمله توانایی خاک در تحمل وزن GBS در نظر گرفته شود. سه کد آئین نامه ایی طراحی برای GBS ها عبارتند از :

ISO 19903:2006, API RP2A and DNV-OS-C502:2012

پی آب های بسیار عمیق:

تقاضا برای محصولات نفت و گاز طبیعی باعث شده بسیاری از شرکت ها، مناطق بسیار دور را مورد ارزیابی قرار بدهند. بیشتر این مناطق دارای عمقی بیش از ۱۰۰۰ متر می باشند. آب با عمق بیش از ۵۰۰ متر آب عمیق نامیده می شود و اگر بیش از ۱۰۰۰ متر باشد فوق عمیق نام دارد. ساخت سازه های انتقال بار مانند جکت ها یا GBS در این اعماق غیر منطقی و غیر اقتصادی است. راه حل های متفاوتی برای این مسئله وجود دارد. می توانیم پی ها را به دو گروه لنگرهای گرانشی و لنگرهای بستر نشین تقسیم کنیم.

لنگر های گرانشی

- جعبه ایی شکل
- مشبک

لنگر های بستر نشین

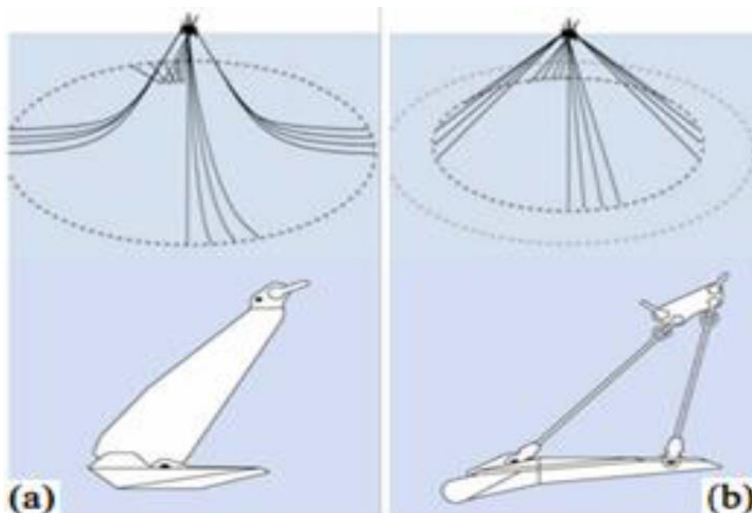
- لنگر های شمعی
- کیس ها مکش
- لنگر های درگ (Fixed Fluck)
- لنگر های درگ عمودی (VLA)
- لنگر های صفحه ایی مکشی نفوذی (SEPLA)
- لنگر های نفوذ دینامیکی (DPA)



شکل ۱۹) موقعیت گسترش سازه های آب عمیق [۱]

سیستم مهار بندی نقش بسیار مهمی در آب های بسیار عمیق و بسیار عمیق دارد. زیرا سازه هایی که از سطح آب تا عمق آب ساخته می شوند قابلیت تحمل بارهای گذارای جانبی در آب عمیق را ندارند. برای فائق آمدن بر این مشکل از دو نوع لنگر مناسب که به سیستم مهار بندی متصل می شوند، استفاده می شود.

- Catenary mooring سیستم ها از آب های کم عمق تا آب های عمیق (بیشتر از ۱۰۰۰ متر) استفاده می شوند. از زنجیرها و طناب های سیمی شکل برای سیستم مهار بندی استفاده می شود که قسمتی از طول آن ها بر روی بستر دریا قرار دارد و لنگر آن به صورت افقی قرار می گیرد. معمولاً از Conventional Drag Embedment Anchors برای سیستم مهاربندی استفاده می شود.



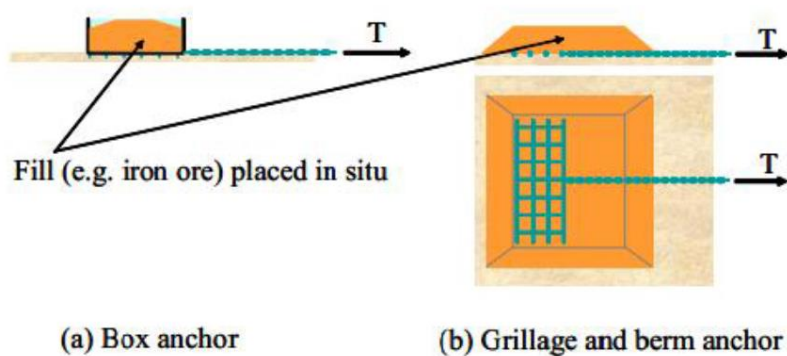
شکل ۲۰ (a) سیستم گسترش مهارمنحنی و لنگر درگی در بستر (b) مهار پایه Taut و VLA [۱]

- Taut leg mooring سیستم، معمولاً برای آب های عمیق و فوق عمیق (عمق بیشتر از ۱۰۰۰ متر) به کار می روند. سیستم های مهار، وزن سبکی دارند (طناب های ترکیبی یا طناب های سیمی) و با زاویه مشخصی وارد بستر دریا می شوند. لنگر معمولاً به صورت عمودی و افقی بارگذاری می شود. معمولاً از لنگر های (VLA) به روش های متفاوتی استفاده می شود. در شکل بالا نمایشی (شکل ۳۰-b) از این نوع سیستم های مهاربندی را مشاهده می کنید.

لنگر های گرانشی:

معمولاً از این نوع سیستم لنگر گذاری برای مقاومت در برابر نیرو های افقی و نیرو های دوره ای استفاده می شود. لنگر های گرانشی شامل فولادهای سنگین (به صورت جعبه ایی و شبکه بندی شده) که با مواد چگال مانند سنگ یا زغال سنگ و یا آهن پر می شوند می باشند و در بستر دریا قرار می گیرد. به سادگی در ابتدا قسمت سازه ایی در بستر قرار می گیرد و در مرحله بعد متریال چگال افزوده می شود.

در شکل زیر دو سازه متفاوت نشان داده شده است. سمت چپ لنگر سازه جعبه ایی شکل است که با زغال سنگ و آهن پر شده است که بالاست را تامین می کند و در سمت راست جعبه به صورت گریلاژ شده می باشد. دومی از نظر حجم فولاد قرار گرفته مقرون به صرفه تر است ولی از نظر مقداری که می توان بارگذاری کرد از نظر اقتصادی به صرفه نیست. طراحی این نوع از سازه ها به نسبت مشکل است زیرا باید مودهای متفاوت شکست در نظر گرفته شود. برای مثال جابه جایی کشویی باریکه خاک، کشیده شدن گریلاژ، ترکیب درگیری مکانیکی و هندسه خاک و سازه



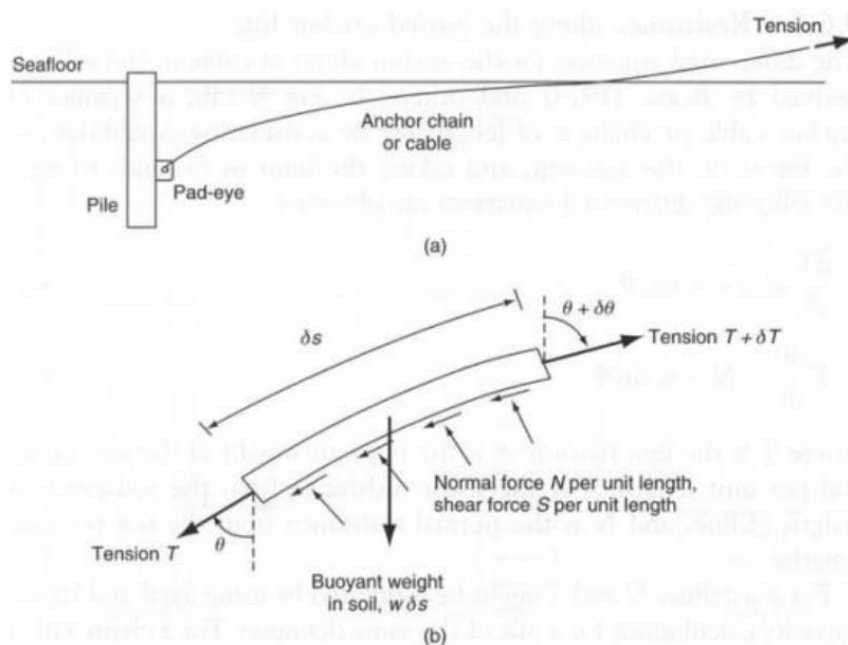
شکل (۲۱) لنگرهای وزنی [۱]

لنگرهای شمعی

لنگرهای شمعی شکل رفتاری مانند پی های شمعی (Pile) دارند. (اصطکاک پوسته ای کمی با خاک آهکی دارد) ولی روش ساخت و نیروهایی که باید تحمل کند، متفاوت است. این نوع لنگرها در خاک های متفاوت موثر هستند و برای سازه های فراساحل مانند دکل های حفاری متحرک کاربرد دارند و به وسیله ی چکش های آبی به درون خاک فرو برده می شوند. پیشرفت های بسیاری در زمینه چکش های هیدرولیکی در آب های عمیق و توان این نوع چکش ها انجام شده است به همین دلیل مسئله فرو رفتن چکش مسئله قابل توجهی نیست.

سیستم Anchor Pile System شامل کابل ها و یا زنجیر های مهار می باشند. شکل ۳۲_ a، سیستم ساده ای شامل Anchor Pile و زنجیر را نشان می دهد. در سیستم مهار منحنی، قسمتی از زنجیر بر روی بستر قرار گرفته است و مابقی به صورت یک منحنی با شیب ملایم قرار گرفته است. نیروی لنگر شامل وزن خط مهار، نیروی اصطکاک بستر، نیروی اصطکاک قسمتی از خط

مهار که در زیر خاک مدفون شده است و نیروی مقاومت خود Pile است. مقاومت خاک در قسمتی که در طول خط مهار در زیر خاک مدفون شده است، سهم عمده ای از مقاومت کل لنگر است. شکل ۳۲_b المانی از یک قسمت از سیستم مهار منحنی را نشان می دهد. در سیستم Taut mooring تمام قسمت کابل یا زنجیر مهار تحت کشش است و هیچ قسمتی از آن بر روی زمین قرار نگرفته است. مفهوم Anchor Pile از Pad-eye متصل شده به Pile و زنجیر متصل به pad-eye شروع می شود (شکل ۳۲_a). موقعیت قرار گرفتن Pad-eye با هدف جلوگیری و کاهش پتانسیل چرخشی Pile در زمان بارگذاری می باشد. Pile به درون خاک فرو برده می شود البته ممکن است قسمتی از آن بیرون از خاک قرار بگیرد و هدف از این بیرون زدگی امکان بررسی و اصلاح بعد از گذشت زمان می باشد. بعد از نصب Pile، زنجیر به قسمت متحرک سکو متصل و محکم می شود. سخت ترین نوع خاک جهت Anchoring، گل (Mud)، سیلت (Silt)، شن و ماسه سست که بر روی کلوخ (Conglomerate) و یا سنگ های چگال و لجن قرار گرفته است می باشد. ممکن است Pile های ترکیبی درون حفره های از قبل حفر شده قرار بگیرند و بعد به وسیله سنگ پر شوند. البته این روش با افزایش عمق آب دشوارتر می شود.

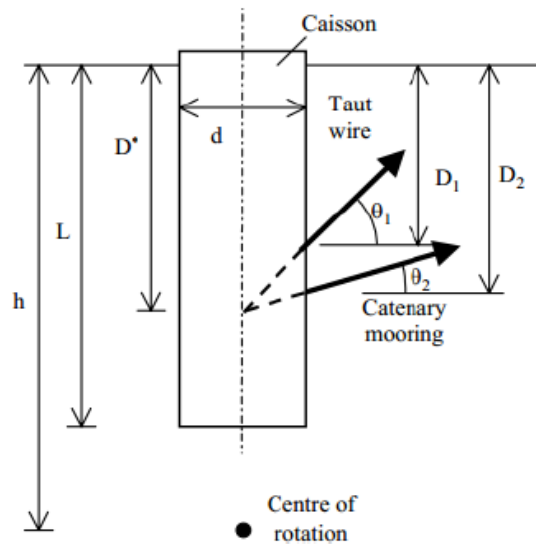


شکل ۳۲ (a) لنگر شمی و زنجیر (b) نیرو های وارده بر روی المان خطی لنگر [۱]

کیس های مکش (SUCTION CAISSONS):

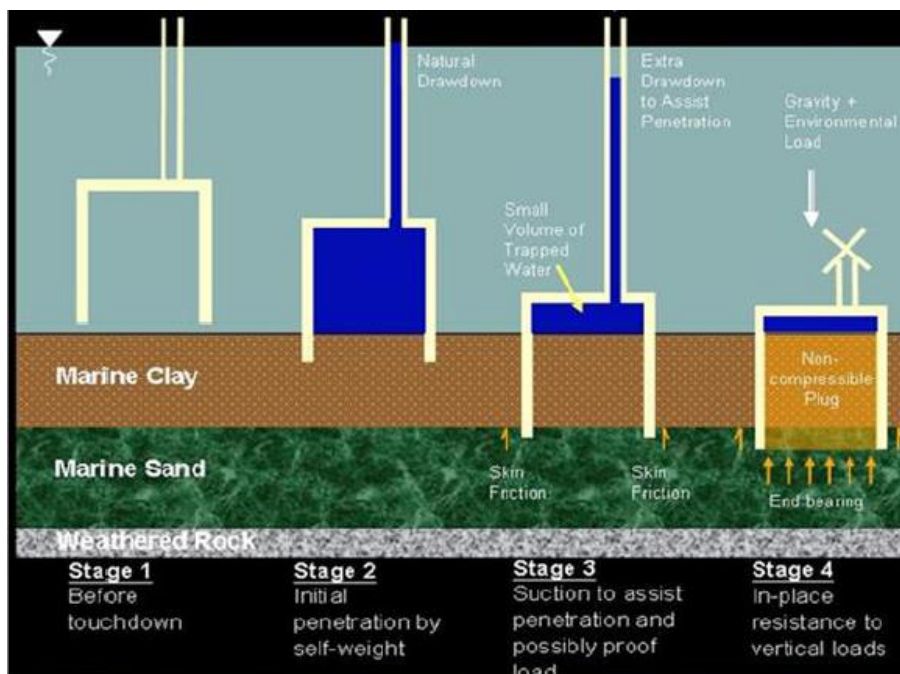
علی رغم استفاده از کیس های بتنی، اغلب کیس ها از فولاد ساخته می شوند و همان مفهوم ساختاری کیس های فولادی آب کم عمق را دارند. (کیس ها معمولاً به شکل استوانه می باشند و گاهی به اصطلاح به آن ها کیس های سطلی هم گفته می شود). کیس های مکش عملکردی مانند لنگر دارند. توانایی تحمل نیروهای عمودی توسط وزن آن که درون خاک است و اصطکاک سطح بیرونی آن و همین طور مقاومت منفی انتهای آن. در دومی، درون سطل فولادی یک نیرو برای جدا کردن قسمت پایینی و پایانی متصل درون خاک با قسمت دست نخورده درون خاک نیاز است.

معمولاً، لنگر های مکشی در قسمت پایین باز و در قسمت بالا بسته می باشند. قطرهای بزرگی معادل ۵ متر و طولی در حدود ۲۰ تا ۳۰ متر دارند. و نسبت (L/D) آنها در حدود ۳ تا ۶ متر می باشد. به طور معمول، سیلندر ها نسبت بالایی از قطر به ضخامت که در حدود ۱۰۰ تا ۲۵۰ می باشند را دارند. ($d/t \sim 100$ or 250) که نیازمند نگه دارنده ها و تقویت کننده های داخلی می باشد برای جلوگیری از کماتش در برابر نیروهای وارده در زمان نصب و نیرو های انتقالی از مهار taut ها می باشد. بارهای ناشی از سیستم مهار به قسمتی از کیس که درون خاک است منتقل می شود. معمولاً این نقطه در مرکز محوری سیلندر می باشد که در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد به درون خاک فرو می رود. در شکل زیر عمق بهینه Padeye نمایش داده شده است که نیاز به عمقی معادل عمق سیستم مهار منحنی ندارد.



شکل ۲۳) نقطه تعبیه مهار و تغییرات عمق Padeye به همراه زاویه بارگذاری مرکز چرخش [۱]

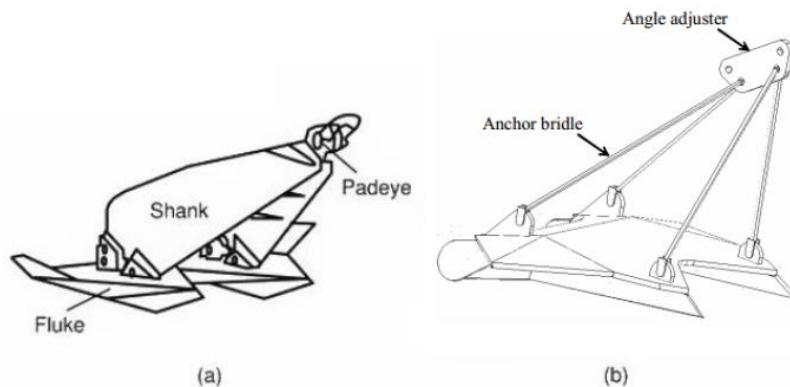
کیس های مکش مراحلی نصبی همانند مراحل نصب کیس های بتنی دارد. چهار ترتیب از مهمترین مراحل نصب در شکل زیر نمایش داده شده است. در ابتدا کیس در موقعیت مورد نظر قرار داده می شود. در مرحله دوم کیس تحت وزن خودش به درون زمین نفوذ می کند. البته یک لوله تخلیه هوا در بالای کیس قرار دارد. این لوله مکش، آب درون کیس را به بیرون می کشد. این کار توسط پمپ هایی که به کلاhek شیر بالای کیس متصل است توسط ROV به راحتی انجام می شود. وقتی که دامنه نفوذ مورد انتظار برآورده شد، مکش توسط پمپ ها متوقف می شود. این مکش باعث افزایش اصطکاک بین ذرات خاک درون کیس و خود کیس و باعث ثابت ماندن کیس در برابر نیرو های افقی و عمودی حرکت می شود.



شکل ۲۴) مراحل نصب کیس مکش [۱]

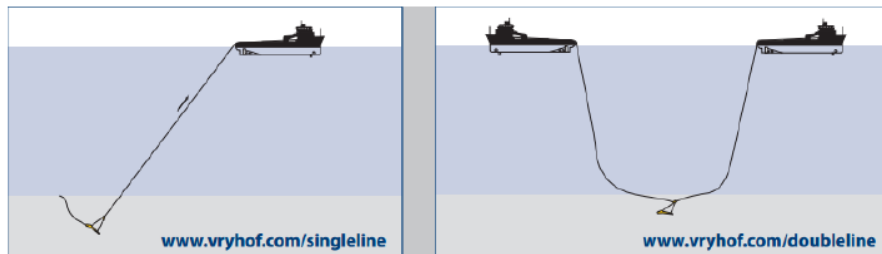
:VERTICALLY LOADED DRAG ANCHOR

Drag anchor ها از طریق کشتی های مرسوم و سنتی گسترش پیدا کردند. به طور سنتی این نوع لنگر از خار پهن (Board Fluck) و ساق (Shank) تشکیل شده است همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است. زاویه بین Fluck و Shank از قبل مشخص شده است و ممکن است از قبل به محل اتصال در بستر دریا متصل شده باشد. زاویه مورد نظر معمولاً در گل (Clay) 5° درجه و در صخره (Sand) و یا مکانی که چگالی گل زیاد است، در حدود 3° درجه باشد. در زمان نصب، لنگر در موقعیت مکانی مناسب قرار می گیرد و بعد در بستر تحت پیش کشیدگی بار اصلاح شده قرار می گیرد. بنابر شرایط خاک، عمق نفوذ ۱ تا ۵ برابر طول خار (Fluck) می باشد. (به طور معمول طول خار ۱ تا ۸ متر می باشد). خار می باست مسافتی معادل 10° تا 20° برابر طول خار را طی کند.

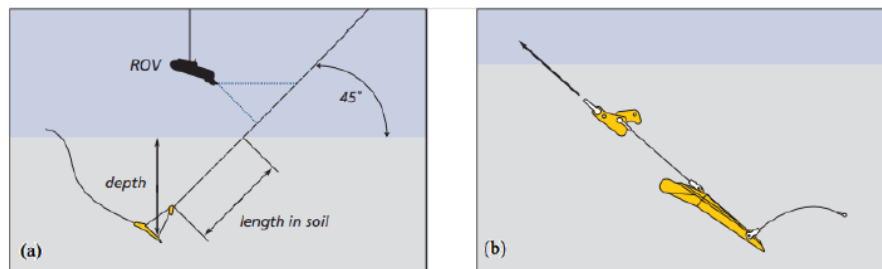


شکل ۲۵) لنگر درگی، (a) لنگر قلاب ثابت (b) VLA Stevmanta Vryhof [۱]

VLA ها که به نام لنگر های کشش در صفحه شناخته می شوند، برای فائق آمدن بر محدودیت های لنگرهای Fixed Fluck (خار ثابت) که توانایی مقابله با اجزای نیروی عمودی در بستر دریا را ندارند، ساخته شده اند. Fixed fluck لنگر ها جای خود را به Fluck های زنجیری برای تحمل نیرو های افقی داده اند. بنابراین از لنگرهای کششی معمول با سیستم های مهار Taut و Polyster نمی توان برای آب عمیق استفاده کرد. VLA ها بسیار به لنگرهای مرسوم شباهت دارند با این تفاوت که خار آن باریک تر می باشد و ساق آن ها هم بسیار لاغرتر می باشد. این نوع لنگرها مانند لنگرهای مرسوم و سنتی متصل می شوند و بارافقی زنجیر را تحمل می کنند. و بعد، از مکانیزم دیگری جهت کنترل چرخش خار تا زمانی که بر بار وارده عمود شود، و توانایی تحمل نیروهای عمودی و افقی را داشته باشد اعمال می شود. در اینجا دو روش متفاوت نصب وجود دارد، که می تواند اتصال تک خطی و یا دو خطی باشد. در شکل ۳۶ روش هر دو شیوه اتصال نشان داده شده است. برای هر دو شیوه، روش بازیابی قابل قبول می باشد. به طور معمول زنجیر یا سیمی که در جلو تعبیه شده است جدا می شود و از طریق سیم پستی به سمت خلاف جهت لنگر به سمت محل اتصال کشیده می شود.



شکل ۲۶) روش های نصب [۱]



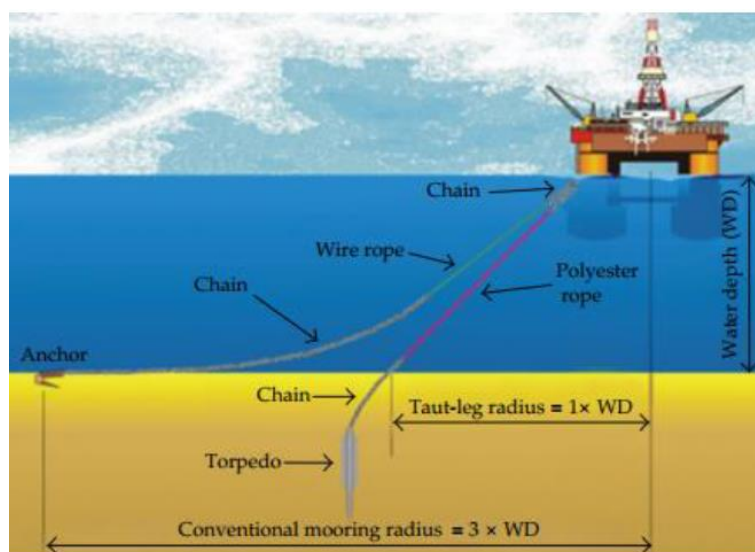
شکل ۲۷) (a) تعیین عمق لنگر (b) بازیابی ساده VLA [۱]

بنا به دلایلی این نوع از لنگرها به عمق محاسبه شده و تحت زاویه مورد نظر نمی رسد. امروزه از این نوع لنگرها (VLA) برای FPSO ها استفاده می شود. مانند FPSO که در Campos Basin در برزیل قرار در عمق ۱۶۰۰ متری آب به وسیله Taut mooring مهار شده و به وسیله ۹ عدد VLA به مساحت ۱۴ متر مربع محافظت می شود.

لنگر های نفوذ دینامیکی (DYNAMICALLY PENETERATED) ANCHORS):

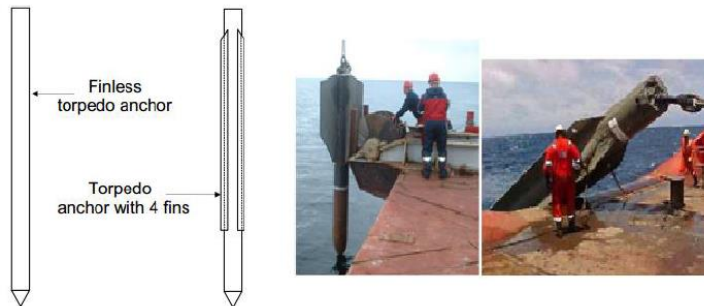
بهره برداری از صنایع فراساحل به عمق ۳۰۰۰ متر هم رسیده است. تکنولوژی های جدیدی می بایست گسترش پیدا می کرد تا هزینه های ساخت و بهره برداری به حداقل می رسید. به علاوه

تعدد واحدهای شناور و حفاری جهت بهره برداری باعث افزایش و ازدحام رایزرها و سایر امکانات زیر آبی شده بود. در این سناریو، لنگر های نفوذ دینامیکی (DPA) و لنگر های اژدری برای جایگزینی در صنایع فراساحل برزیل گسترش پیدا کردند. کاهش شعاع خط مهار به کار گرفته شده در TORPIDO در مقایسه با خط مهار منحنی لنگر های کششی باعث کاهش ازدحام تجهیزات در بستر دریا گردید.



شکل ۲۸) مقایسه شعاعی بین اتصال واحد های شناور به لنگر های درگی مرسوم لنگر های اژدری [۱]

لنگرهای اژدری (TORPIDO) نوع خاصی از DPA ها هستند که توسط یک شرکت برزیلی به نام Petrobars گسترش پیدا کرد. لنگر های اژدری (TA) دارای نوک های مخروطی شکل هستند و به شکل استوانه فولادی تو خالی که به وسیله متریال قراضه و یا بتن پر می شوند، می باشند. آن ها با استفاده از انرژی جنبشی که ناشی از رها شدن از ارتفاع ۳۰ تا ۱۵۰ متری به دست می آورند به درون زمین نفوذ می کنند. لنگرهای اژدری (TAs) دارای ابعاد مختلفی می باشند، از قطر ۷۶/۰ متر تا ۱۰۷/۰ متر و طول ۱۲ تا ۱۷ متر و وزن های ۲۴۱ KN تا ۹۶۱ KN. درون سیلندر به وسیله متریال چگال پر می شود تا پایداری اژدر فراهم شود و نقطه مرکز ثقل زیر مرکز بویانسی قرار بگیرد. برخی از انواع TAs دارای چهار خار (Fluck) در انتها می باشند. بنابراین لنگرهای اژدری دارای دو نوع دارای fin و بدون fin می باشند. TAs به سرعت های ۲۵ تا ۳۵ متر بر ثانیه در ارتفاعی بالای ۲۰ تا ۴۰ متر از بستر دریا می رسند و به راحتی به درون خاک به اندازه ۳ برابر طول اژدر نفوذ می کنند.



شکل ۲۹) لنگر های نفوذ دینامیکی، (a) لنگر های اژدری به همراه باله و بدون باله (b) نصب لنگر اژدری ۴ خاره ای [۱]

Anchor	Advantages	Disadvantages
Suction caisson anchor	- simple to install accurately with respect to location, orientation and penetration - leverage design experience with driven piles - well developed design and installation procedures - anchor with the most experience in deep water for mooring MODUs and permanent facilities	- heavy derrick barges may be required - large, more trips to shore to deploy full anchor spread - requires ROV for installation - requires soil data from advanced laboratory testing for design - concern with holding capacity in layered soils - lack of formal design guidelines - limited data on set-up time for uplift
Drag embedment vertically loaded anchor (VLA)	- lower weight - smaller, fewer trips to transport the full anchor spread to site - well developed design and installation procedures	- requires drag installation, keying and proof testing; limited to bollard pull of installation vessel - requires 2 or 3 vessels and ROV - no experience with permanent floating facilities outside of Brazil - difficult to assure installation to, and orientation at, design penetration
Suction embedded plate anchor (SEPLA)	- uses proven suction caisson installation methods - cost of anchor element is the lowest of all the deep-water anchors - provides accurate measure of penetration and positioning of anchor plate - design based on well developed design procedure for plate anchors	- proprietary or patented installation - installation time about 30 % greater than for suction caissons and may require derrick barge - requires keying and proof testing; limited to bollard pull of installation vessel; also requires ROV - limited field load tests and applications limited in numbers to MODU only
Dynamically penetrating anchor	- simple to design: conventional API RP 2A pile design procedures used for prediction of capacity; thus capacity calculations are likely to be readily acceptable for verification agencies - simple and economical to fabricate - robust and compact design makes handling and installation simple and economical using 1 vessel and no ROV - accurate positioning with no requirements for specific orientation and proof testing during installation	- proprietary or patented design - no experience outside Brazil - lack of documented installation and design methods with verification agencies - verification of verticality

شکل ۳۰) مزایا و معایب انواع لنگر هاب آب عمیق [۱]

مرجع:

- 1- OFFSHORE FOUNDATIONS: TECHNOLOGIES, DESIGN AND APPLICATION