۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

عنوان پایان‌نامه:

تعیین تجربی خواص خستگی عضو مهارکننده سکوی حفاری نیمه‌شناور و تخمین عمر خستگی آن از دیدگاه مکانیک شکست

نگارش:

محمد عباسپور نیاسانی

۹۰۰۵۷۸۴

استاد راهنما:

دکتر رحمت ا... قاجار

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه گاهم،دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم،چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی کران مهربانی‌تان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما. ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگی‌تان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

تائیدیه هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان **تعیین تجربی خواص خستگی عضو مهارکننده سکوی حفاری نیمه شناور و تخمین عمر خستگی آن از دیدگاه مکانیک شکست**، توسط آقای **محمد عباسپورنیاسانی**، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه **کارشناسی‌ارشد** در رشته **مهندسی مکانیک**، گرایش **طراحی کاربردی**، مورد تأیید قرار می‌دهند.

استاد راهنمای اول	دکتر رحمت‌الله قاجار	امضاء
استاد ممتحن	دکتر محمد شرعیات	امضاء
استاد ممتحن	دکتر سهیل نخودچی	امضاء
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد شرعیات	امضاء

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان‌نامه:

تعیین تجربی خواص خستگی عضو مهارکننده سکوی حفاری نیمه شناور و تخمین عمر خستگی آن از دیدگاه مکانیک شکست

اساتید راهنما: دکتر رحمت‌الله قاجار

نام دانشجو: محمد عباسپورنیاسانی

شماره دانشجویی: ۹۰۰۵۷۸۴

اینجانب محمد عباسپورنیاسانی دانشجوی دوره کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده، مورد تأیید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به‌علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ‌جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱ - حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن، تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً، متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲ - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین، استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

حمد و ستایش بی‌قیاس خدای را سزاست که از الطاف خود در انسان دمید و او را اشرف مخلوقات خود قرار داد. حال که به لطف او توفیق تحصیل علم و کسب دانش را پیدا نمودم، از خداوند متعال می‌خواهم که قدم‌هایم را در راه خدمت به جامعه استوار گرداند تا بتوانم از آنچه در این سال‌ها آموخته‌ام در مسیر پیشرفت و آبادانی کشور عزیزم استفاده نمایم.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بر خود لازم می‌دانم که از راهنمایی‌های ارزشمند و زحمات استاد گرانقدرم،جناب آقای دکتر رحمت ا... قاجار که در طول انجام پروژه راهنمایی‌های ارزشمندشان چراغ راهم بود، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از جناب آقای دکتر حامد سعیدی‌گوگرچین به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی چشمداشت ایشان که در کمال سعه صدر در تهیه این پژوهش مرا مورد لطف خود قرار دادند، کمال تشکر را دارم.

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر سید محمدحسین شریفی که با حسن خلق و فروتنی، در انجام پروژه از هیچ کمکی دریغ ننمودند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از اساتید ارجمند، آقایان دکتر محمد شرعیات و دکتر سهیل نخودچی که زحمت داوری این پروژه را بر عهده داشته‌اند، متشکر و سپاسگزارم.

محمد عباسپورنیاسانی

شهریور ۱۳۹۲

چکیده

سکوهای حفاری نیمه‌شناور معمولا در دریاهای عمیق به منظور انجام عملیات حفاری اکتشافی نفت و گاز طراحی شده‌اند. با توجه به هزینه بالای نگهداری و تعمیر سکوها، دقت بیشتری برای تحلیل سازه‌ها ضروری است. سکوهای حفاری نیمه شناور معمولا دارای ۴ ستون می‌باشند که به دو عضو مهاربند متصل می‌شوند.

در این پژوهش، به بررسی ضریب شدت تنش مود اول ترک محیطی نیم‌بیضوی در سطح خارجی مهاربند پرداخته می‌شود. باتوجه به بحرانی‌تر بودن مقطع میانی و به تبع آن خطرناکتر بودن موقعیت ترک برای رشد و وامانده شدن مهاربند، ترک نیم‌بیضوی بصورت محیطی در سطح خارجی مهاربند در نظر گرفته می‌شود. این عضو استوانه‌ای شکل بوده و دارای قطر ۲ متر و ضخامت ۳۰ میلیمتر می‌باشد. تحلیل مسئله با استفاده از مدلسازی سه بعدی اجزاء محدود انجام می‌شود. در ابتدا بر اساس معادلات ترموالاستیسیته نیمه کوپل، میدان تنش در استوانه‌ای تحت بارهای حرارتی و مکانیکی تعیین می‌گردد. سپس یک ترک محیطی نیم-بیضوی در جدار خارجی استوانه در نظر گرفته می‌شود. مدلسازی برای ۲۵ هندسه مختلف ترک در نرم‌افزار آباکوس انجام شده، سپس ضرایب شدت تنش نقاط عمقی و سطحی ترک نیم‌بیضوی به عنوان نقاط بحرانی ترک برای سه بارگذاری مرجع یکنواخت، درجه یک و درجه ۲ بر روی جبهه ترک استخراج می‌شود. با استفاده از نتایج ضریب شدت تنش برای نقطه عمقی و سطحی و برازش تابع مناسب بر این ضرایب، تابع وزن مسئله برای نقاط عمقی و سطحی ترک بدست می‌آید. با استفاده از میدان تنش ترموالاستیسیته و تابع وزن استوانه ترکدار، روابط صریح و بسته ضریب شدت تنش برای نقاط سطحی و عمقی ترک ارائه می‌گردد. اختلاف نتایج ضریب شدت تنش حاصل از تابع وزن پیشنهادی با نتایج ضریب شدت تنش حاصل از روش اجزاء محدود عموما کمتر از ۱٪ می‌باشد. تست کشش و رشد ترک خستگی بمنظور تعیین خواص مکانیکی عضو مهارکننده و تعیین ثوابت رابطه پاریس طبق استاندارد E-647 انجام می‌شود. رشد ترک با استفاده از روابط صریح ضریب شدت تنش و الگوریتم رشد ترک شبیه سازی می‌گردد. آنگاه تعداد سیکل لازم برای واماندگی عضو در نسبت‌های مختلف طول ترک بدست می‌آید.

کلمات کلیدی: سکوی نیمه‌شناور، ترک نیم بیضوی محیطی، تابع وزن، رشد ترک، ضریب شدت تنش

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول- تاریخچه و انواع سکوهای دریایی ۱

۱-۱ - مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه و انواع سکوهای دریایی ۳

۱-۲-۱- سکوهای چوبی ۳

۱-۲-۲- سکوهای فولادی ۳

۱-۳- سکوهای متحرک ۴

۱-۳-۱- سکوهای شناور ۵

۱-۳-۲- سکوهای خود بالابر ۷

۱-۴- سکوهای ثابت ۸

۱-۴-۱ سکوهای ثابت نوع شابلونی ۸

۱-۴-۲- سکوهای وزنی (بتنی) ۱۱

۱-۴-۳- سکوهای پایه کششی ۱۲

۱-۵- سکوی حفاری نیمه شناور ایران-امیرکبیر ۱۳

۱-۵-۱- ویژگی‌های سکوی ایران-امیرکبیر ۱۳

۱-۶- مصالح در سکوهای دریایی ۱۶

۱-۷- پدیده شکست در اجسام ۱۸

۱-۸- بیان مسئله ۲۰

فصل دوم- شرح اجمالی تحقیقات انجام شده در زمینه ترک و تابع وزن در استوانه‌ها ۲۲

۲-۱- مقدمه ۲۳

۲-۲- شرح اجمالی تحقیقات انجام شده در زمینه ترک و تابع وزن در استوانه‌ها ۲۳

فصل سوم- مدلسازی اجزاء محدود ۲۷

۳-۱- مقدمه ۲۸

۳-۲- مدلسازی اجزاء محدود ۲۹

فصل چهارم- روش تابع وزن ۳۸

۴-۱- مقدمه ۳۹

۴-۲- توابع وزن بوکنر و رایس ۳۹

۴-۳- تابع وزن پتروسکی-آخن باخ ۴۰
۴-۴- استخراج تابع وزن برای ترک‌های سطحی ۴۱
۴-۵- استخراج تابع وزن در نقطه عمقی ترک نیم‌بیضوی ۴۵
۴-۶- استخراج تابع وزن در نقطه سطحی ترک نیم‌بیضوی ۴۷
۴-۷- تنش‌های مکانیکی و حرارتی ۴۸
۴-۸- تابع صریح ضریب شدت تنش ۵۱
۴-۹- صحت سنجی ۵۲
فصل پنجم- تعیین تجربی خواص خستگی ۶۱
۵-۱- مقدمه ۶۲
۵-۲- تست کشش ۶۲
۵-۳- تست رشد ترک خستگی ۶۴
۵-۴- ساخت فیکسچر ۶۷
۵-۵- روش انجام آزمایش رشد ترک خستگی طبق استاندارد E647-05 ..... ۷۰
۵-۵-۱- اندازه‌گیری بازه ضریب شدت تنش سیکلی ۷۲
۵-۵-۲- خروجی تست ۷۲
۵-۵-۳- ایجاد پیش ترک خستگی ۷۳
۵-۵-۴- تست اصلی ۷۳
فصل ششم- شبیه‌سازی رشد ترک و تخمین عمر خستگی ۷۸
۶-۱- مقدمه ۷۹
۶-۲- تخمین عمر خستگی با استفاده از روش تابع وزن ۸۰
فصل هفتم- ارزیابی و نتایج ۹۰
پیشنهادات ۹۲
مراجع و منابع ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول- تاریخچه و انواع سکوهای دریایی ۱

شکل ۱-۱ سکوی نیمه شناور ۶

شکل ۱-۲ سکوی حفاری خود بالابر ۸

شکل ۱-۳ سکوی ثابت شابلون ۹

شکل ۱-۴ سکوی وزنی یا بتنی ۱۲

شکل ۱-۵ اجزاء تشکیل دهنده سکوی نیمه شناور ۱۵

شکل ۱-۶ سکوی نیمه شناور ایران-امیرکبیر ۱۶

شکل ۱-۷ اجزاء سکوی امیرکبیر ۱۷

شکل ۱-۸ نمای شماتیک از انواع ترک ها در استوانه الف) ترک طولی سرتاسری ب) ترک موضعی محیطی ج) ترک محیطی سرتاسری ۱۹

فصل سوم- مدلسازی اجزاء محدود ۲۷

شکل۳-۱ تقارن هندسی و بارگذاری لوله تحت کششی ۳۰

شکل۳-۲ ترک محیطی نیم‌بیضوی ۳۰

شکل ۳-۳ مدل حاضر المانبندی شده لوله با ترک نیم بیضوی محیطی خارجی در آباکوس مطابق مدل شاهانی ۳۲

شکل ۳-۴مدل المانبندی شده مهاربند سکوی امیرکبیر با ترک نیم بیضوی خارجی ۳۴

شکل ۳-۴ تغییرات ضریب شدت تنش بی‌بعد در جبهه ترک بر حسب مسافت‌طی شده روی پیشانی ترک برای عمق نسبی ۰/۱.. ۳۶

شکل ۳-۵- تغییرات ضریب شدت تنش‌بی‌بعد در جبهه ترک برحسب مسافت‌طی شده روی پیشانی‌ترک برای عمق نسبی ۰/۳.... ۳۶

شکل ۳-۶ تغییرات ضریب شدت تنش بی‌بعد در جبهه ترک بر حسب مسافت طی شده روی پیشانی ترک برای عمق نسبی۰/۵.. ۳۷

شکل ۳-۷ تغییرات ضریب شدت تنش بی‌بعد در جبهه ترک بر حسب مسافت طی شده روی‌پیشانی ترک برای عمق نسبی ۰/۷.. ۳۷

فصل چهارم- روش تابع وزن ۳۸

شکل ۴-۱ ترک محیطی نیم‌بیضوی خارجی ۴۲

شکل ۴-۲ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد نسبت به عمق نسبی برای نقطه عمقی تحت بارگذاری درجه دو ۵۴

شکل ۴-۳ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد نسبت به عمق نسبی برای نقطه عمقی تحت بارگذاری درجه سه ۵۴

شکل ۴-۴ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد نسبت به عمق نسبی برای نقطه سطحی تحت بارگذاری مرتبه دو ۵۵

شکل ۴-۵ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد نسبت به عمق نسبی برای نقطه سطحی تحت بارگذاری مرتبه سه ۵۵

شکل ۴-۶ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد ترک نسبت به عمق نسبی برای نقطه سطحی با نسبت منظر ۲/..... ۵۷

شکل ۴-۷ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد ترک نسبت به عمق نسبی برای نقطه سطحی با نسبت منظر ۰/۶ ..... ۵۷

شکل ۴-۸ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد ترک نسبت به عمق نسبی برای نقطه سطحی با نسبت منظر ۱ ..... ۵۸
شکل ۴-۹ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد ترک نسبت به عمق نسبی برای نقطه عمقی با نسبت منظر ۰/۲ ..... ۵۸
شکل ۴-۱۰ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد ترک نسبت به عمق نسبی برای نقطه عمقی با نسبت منظر ۰/۶ ..... ۵۹
شکل ۴-۱۱ منحنی ضریب شدت تنش بی‌بعد ترک نسبت به عمق نسبی برای نقطه عمقی با نسبت منظر ۱ ..... ۵۹
فصل پنجم- تعیین تجربی خواص خستگی ۶۱
شکل ۵-۱ نمونه استاندارد تست کشش ۶۲
شکل ۵-۲ منحنی تنش نسبت به درصد ازدیاد طول ۶۳
شکل۵-۳ نمونه CT طبق استاندارد E647 ..... ۶۵
شکل۵-۴ نمونه با ترک مرکزی MT طبق استاندارد E647 ..... ۶۵
شکل ۵-۵ دستگاه تست خستگی مورد استفاده جهت انجام تست ۶۶
شکل ۵-۶ فیکسچر متصل به فک های دستگاه ۶۷
شکل ۵-۷ ابعاد فیکسچر نمونه CT طبق استاندارد E647 ..... ۶۸
شکل۵-۸ ابعاد نمونه CT جهت انجام تست طبق استاندارد E647 ..... ۶۹
شکل ۵-۹ شکل نمونه CT از جنس فولاد E36 ..... ۶۹
شکل ۵-۱۰ اتصال نمونه به دستگاه تست خستگی ۷۰
شکل ۵-۱۲ منوی مربوط به نرم افزار دستگاه تست خستگی ۷۲
شکل ۵-۱۳ سه ناحیه پیش ترک خستگی، رشد پایدار و ناپایدار ترک در نمونه CT ۷۳
شکل ۵-۱۴نمونه در حال رشد ناپایدار ترک ۷۴
شکل۵-۱۵ منحنی رشد ترک برحسب تعداد سیکل برای نمونه CT ۷۵
شکل ۵-۱۶ منحنی نرخ رشد ترک خستگی بر حسب بازه ضریب شدت تنش سیکلی برای نمونه CT ۷۷
فصل ششم- شبیه سازی رشد ترک و تخمین عمر خستگی ۷۸
شکل۶-۱ منحنی نرخ رشد ترک خستگی ۷۹
شکل۶-۲ الگوریتم محاسبه رشد ترک ۸۲
شکل ۶-۳ رشد ترک بعد از ΔN سیکل ۸۳
شکل ۶-۴- عضو مهاربند تحت بارهای فشاری و کششی ۸۵
شکل۶-۵ شبیه سازی رشد ترک با نسبت منظر اولیه ۱ ..... ۸۵
شکل ۶-۶ شبیه سازی رشد ترک با نسبت منظر اولیه ۰/۸ ..... ۸۶
شکل ۶-۷ منحنی تغییرات نسبت منظر ترک نسبت به تعداد سیکل برای نسبت منظرهای مختلف ۸۷
شکل ۶-۸ منحنی تغییرات نسبت منظر ترک نسبت به عمق نسبی برای نسبت منظرهای مختلف ۸۷
شکل ۶-۹ منحنی تغییرات عمق نسبی ترک نسبت به تعداد سیکل برای نسبت منظرهای مختلف ۸۸

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

فصل سوم- مدلسازی اجزاء محدود ۲۷

جدول ۳-۱- الف صحت سنجی ضرایب شدت تنش بی‌بعد مدل اولیه برای نقطه عمقی ترک ۳۱

جدول ۳-۱- ب صحت سنجی ضرایب شدت تنش بی‌بعد مدل اولیه برای نقطه سطحی ترک ۳۱

فصل چهارم- روش تابع وزن ۳۸

جدول ۴-۱ ضرایب شدت تنش بی‌بعد ناشی از اعمال بار یکنواخت روی سطح ترک در نقطه عمقی ۴۳

جدول ۴-۲ ضرایب شدت تنش بی‌بعد ناشی از اعمال بار یکنواخت روی سطح ترک در نقطه سطحی ۴۳

جدول ۴-۳ ضرایب شدت تنش بی‌بعد ناشی از اعمال بار درجه یک روی سطح ترک در نقطه عمقی ۴۴

جدول ۴-۴ ضرایب شدت تنش بی‌بعد ناشی از اعمال بار درجه یک روی سطح ترک در نقطه سطحی ۴۴

جدول ۴-۵ ضرایب شدت تنش بی‌بعد ناشی از اعمال بار درجه دو روی سطح ترک در نقطه عمقی ۴۴

جدول ۴-۶ ضرایب شدت تنش بی‌بعد ناشی از اعمال بار درجه دو روی سطح ترک در نقطه سطحی ۴۵

فصل پنجم- تعیین تجربی خواص خستگی ۶۱

جدول ۵-۱ درصد مواد بکاررفته در فولاد E36 ..... ۶۲

جدول ۵-۲ ابعاد نمونه تست کشش ۶۳

جدول ۵-۳ نتایج تست کشش ۶۳

جدول ۵-۴ نتایج بازه ضریب شدت تنش سیکلی و نرخ رشد ترک ۷۶

فصل ششم- شبیه سازی رشد ترک و تخمین عمر خستگی ۷۸

جدول ۶-۱ تعداد سیکل برای واماندگی در نسبت منظرهای مختلف ۸۸

فصل اول
تاریخچه و انواع سکوهای دریایی

۱-۱ - مقدمه

سکوهای دریایی برای حفاری میدان‌ها و استخراج نفت وگاز نصب می‌شوند. بطورکلی سکوهای دریایی به دو نوع متحرک و ثابت تقسیم می‌شوند. سکوهای متحرک سکوهای حفاری هستند که قابلیت حرکت و جابه جایی دارند. این سکوها تا محل مورد نظر حرکت کرده و پس از توقف، عملیات حفاری را انجام می‌دهند. پس از انجام حفاری سکوها مجدداً به ساحل بازگشته و توانایی انجام این عملیات را به طور مکرر دارند.

سکوهای ثابت سکوهایی هستند که بر روی چاه حفاری به صورت ثابت نصب می‌شوند. این سکوها دارای تجهیزات کافی برای استخراج، پالایش اولیه و انتقال فراورده‌های استخراج به ساحل و همچنین نیازمندی‌های پرسنل و کارکنان سکو می‌باشند. سکوهای حفاری نیمه‌شناور بالغ بر چندین هزار تن وزن دارند و در آب‌های عمیق مورد استفاده قرار می‌گیرند. سکوهای حفاری نیمه‌شناور به منظور انجام عملیات حفاری اکتشافی نفت و گاز طراحی شده‌اند. اهداف عمده ساخت سکوهای حفاری نیمه‌شناور، انجام عملیات اکتشافی و حفاری‌های تولیدی می‌باشد. با توجه به هزینه بالای نگهداری و تعمیر سکوهای فراساحلی، دقت بیشتری برای تحلیل سازه‌ها ضروری می‌باشد. ماهیت بارهای ناشی از باد و موج باضافه اثرات ناشی از خوردگی آب دریا، عامل‌های مهمی برای ایجاد و رشد ترک‌ها در سازه‌های دریایی می‌باشند. این ترک‌ها می توانند سبب شکست‌های ناگهانی در سازه‌های دریایی گردند.

۱-۲- تاریخچه و انواع سکوهای دریایی

احتمالا اولین تلاش جهت دستیابی به نفت در بستر دریا در کالیفرنیا حدود سال ۱۹۰۰ میلادی به ثمر رسید که چاه‌های نفت از روی اسکله‌ای متصل به ساحل و به فاصله ۵۰۰ متر از ساحل حفر گردید[۱].

۱-۲-۱- سکوهای چوبی

در سال ۱۹۰۹ در دریاچه فری[1] در کادوپاریش لا[2] با استفاده از شمع‌های چوبی و دکل‌های حفاری چوبی سکویی چوبی ساخته شد و از روی آن چاه‌هایی حفر گردید. بدین ترتیب اتصال سکو به ساحل از بین رفت و سکو با استفاده از شمع در دریا احداث گردید. در سال ۱۹۲۰ یک سکوی چوبی در آب‌های کم عمق دریاچه ماراسی بیو[3] واقع در ونزوئلا ساخته شد و از روی آن عملیات حفاری انجام پذیرفت. از آنجایی که شدت امواج در این دریاچه به مراتب کمتر از دریا می‌باشد نمی‌توان آن را سکوی دریایی قلمداد نمود. در سال ۱۹۳۰ در جنوب لوئیزیانا از روی یک سکوی چوبی که کانالی در کنار آن جهت استفاده از سرویس بارج‌ها و قایق‌ها جهت حمل و نقل احداث شده بود حفاری صورت گرفت. ایجاد سکوهای چوبی با استفاده از شمع‌های چوبی همچنان ادامه یافت به نحوی که در سال ۱۹۳۳ سکویی در اعماق ۳/۷ متری آب و به فاصله یک کیلومتری از ساحل احداث گردید. در سال ۱۹۳۷ شرکت روت و بران آمریکایی در فاصله ۱/۶ کیلومتری از ساحل یک سکوی چوبی در عمق ۴/۳ متری احداث نمود. عملیات احداث سکوهای چوبی تا سال ۱۹۴۰ ادامه یافت و پس از آن به علت شروع جنگ جهانی دوم گسترش عملیات معلق گردید[۱].

۱-۲-۲- سکوهای فولادی

در زمان جنگ جهانی دوم و پس از آن به دلیل نیازهای جنگ، صنایع فولاد پیشرفت شایان توجهی نمود و پس از پایان جنگ سازه‌های فولادی از جمله سکوهای فولادی رواج یافتند. اولین سکوی فولادی در سال ۱۹۴۶ میلادی در عمق ۴/۳ متری ساخته شد. شایان ذکر است که جهت احداث این سکو ۲۳۸ شمع به کار رفت. اولین سکوی فولادی از نوع شابلونی با روش ساخت کنونی (یعنی ساخت در ساحل و پس از حمل نصب در محل) در سال ۱۹۴۷ در آب‌های خلیج مکزیک ساخته شد. این سکو در ۲۹ کیلومتری از ساحل و در عمق ۶/۱ متری نصب گردید. سپس یک سکوی دیگر از این نوع در عمق ۱۵/۲ متری احداث و بدین ترتیب یک صنعت جدید متولد گردید. در طول دوره پیشرفت سکو سازی به موازات پیشرفت صنایع فولاد به مرور قطر شمع ها بزرگتر گردیده و از تعداد آنها کاسته شد و روشهای اجرایی بهبود یافت. در سال ۱۹۴۹ ده

[1]- Ferry
[2]- Caddo parish la
[3]- Marasi bio

سکو در خلیج مکزیک احداث گردید. این سکوها در اثر نیروی امواج طوفانی یا کاملا از بین رفتند و یا اینکه صدمه کلی را متحمل شدند. برای اولین‌بار در سال ۱۹۵۵ با ساخت سکویی به طور کامل در ساحل، حمل توسط بارج و نصب توسط بارج‌های جرثقیل دار عظیم درعمق ۳۰/۵ متری، ساخت سکوهای بلند تر رواج یافت و روز به روز بر ابعاد سکوها افزوده گردید. سکوها در اعماق بیشتر و به فاصله دورتر از ساحل نصب شدند[۱].

در سال ۱۹۷۶ کمپانی نفتی شل[1] اعلام کرد که بلندترین سکوی نفتی دنیا را در آبهای خلیج مکزیک نصب خواهد کرد. این سکو کامل و مجهز به تمامی تجهیزات (دکل حفاری مخازن- گل حفاری–محل اقامت افراد- وسایل تولید و غیرو...) بود. نام این سکو کونیاک گذارده شد و در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب شرقی ایلت لوئیزیانا و حدود ۱۵ کیلومتری دهانه می‌سی‌سی‌پی در عمق ۳۱۰/۹ متری نصب گردید. حدود ۲۲/۹ متر این سکو (علاوه بر عمق آب) از آب بیرون بود. کمپانی شل و ۱۴ کمپانی دیگر در این کار شرکت داشتند و هزینه آن بالغ بر ۲۵۰ میلیون دلار گردید. در حال حاضر بلندترین سکوی ثابت شابلونی[2] در عمق ۳۱۵/۵ متری در خلیج مکزیک نصب شده است. سکوهای عظیم از نوع ثابت وزنی بتونی در دریای شمال احداث گردیده است. برای اعماق خیلی زیاد از سکوهای شناور و سکوهای پایه کششی استفاده می‌گردد . در سال ۱۹۸۴ میلادی در اعماق ۶۰۹/۶ متری به وسیله شرکت بکتل[3] یک سکوی پایه کششی نصب گردید .

از آنجایی‌که نفت و گاز و به طبع آن سکوی حفاری به عنوان یک مساله سیاسی و نفتی همیشه مطرح بوده است در روند تکاملی ساخت سکوها شتاب زیادی وجود داشته، بطوریکه این صنعت حدود ۵۰ سال قدمت دارد. به موازات پیشرفت سکوهای فوق الذّکر سکوهای حفاری مانند سکوهای خود بالابر[4] و غوطه ور[5] و نیمه غوطه‌ور[6] نیز مراحل تکاملی خود را طی نموده‌اند[۱].

۱-۳- سکوهای متحرک

سکوهای متحرک بر دو نوع می باشند:

- سکوی شناور و نیمه شناور
- سکوی خود بالابر

---

[1]- Shell company
[2]- Template fixed platform
[3]- Bechtel
[4]- Jack up
[5]- Submersible
[6]- Semi-submersible

۱-۳-۱- سکوهای شناور

سکوهای شناور به صورت دو پانتون هستند که تجهیزات حفاری و جرثقیل‌ها بر روی آنها واقع شده‌اند. این پانتون‌ها بر روی دریا شناور هستند و تجهیزات را تا محل مورد نظر حمل می‌کنند. پس از رسیدن به نقطه حفاری، بارج‌ها با پر کردن مخازن سنگین شده و در آب غرق می‌شوند. به این ترتیب تجهیزات حفاری در ارتفاع مورد نظر قرار می‌گیرند و عملیات حفاری را آغاز می‌کنند. پس از اتمام حفاری مخازن تخلیه شده، بارج به روی سطح آب باز می‌گردد و به سمت ساحل انتقال داده می‌شوند[۱].

سکوهای نیمه شناور در آب‌های کم عمق مانند سکوهای شناور و در آب‌های عمیق مانند واحدهای شناور عمل می‌نمایند. این سکوها به نحوی طراحی می‌گردند که در هنگام استفاده از آن‌ها به عنوان سکوهای شناور، قسمت اعظم شناوری[1] آن به حد کافی در زیر سطح آب باشد تا اثرات مختلف امواج سطحی بر روی آن نسبتاً بی اثر گردد. و به همین سبب نیمه‌شناورها در مقایسه با کشتی‌ها خیلی پایدارتر می‌باشند و این پایداری امکان انجام عملیات حفاری را مهیا می‌سازد. سازه‌های نیمه شناور از شناورهای سنگین و ضد آب استفاده می‌کنند که زیر سطح آب و پایین‌تر از محل اثر امواج قرار دارند. عرشه یا به عبارت دیگر سکوی عملیات، بالاتر از سطح دریا قرار دارد و سکو نیز از امواج، دور است. شناور و سکو توسط ستون‌های سازه به هم متصل می‌شوند. با توجه به اینکه قسمت شناور سکو در زیر آب قرار دارد، از امواج کمتر اثر می‌گیرد. اما بدلیل سطح تماس کم آب و سازه، در برابر تغییرات بار، حساس است و باید با دقت کشیده شود تا پایداری خود را از دست ندهد.

نحوه‌ی کار این سکو به صورتی است که به هنگام حرکت، محتوای مخازن آب تخلیه شده و سکو مانند کشتی حرکت می‌نماید و به هنگام حفاری مخازن آن پر از آب گردیده و سکو در محل تثبیت می‌گردد. در اعماق زیاد از تثبیت کننده‌ی دینامیکی[2] استفاده می‌شود که در آن با استفاده از سیستم کامپیوتری و با حرکت پروانه‌های مخصوصی، سکو ثابت نگه داشته می‌شود. در اعماق کمتر از لنگر با یک سیستم زنجیرهای مهاری جهت تثبیت سکو استفاده می‌گردد. سکوهای نیمه‌شناور هنگام یدک کش شدن دارای اشکالات زیادی بوده و جهت ساخت و حمل و نقل و بیمه، هزینه گزافی را در بر دارند.

در اعماق زیاد از تثبیت کننده‌های دینامیکی استفاده می‌شود. در این سیستم با حرکت پروانه‌های مخصوصی سکو ثابت نگه داشته می‌شود. در اعماق کم تر، از لنگر با سیستم زنجیرهای مهاری جهت تثبیت سکو در دریا استفاده می‌شود.

نیمه شناورها به خاطر یدک‌کش شدن دارای اشکالات زیادی هستند و از جمله ساخت، حمل و نقل و بیمه آنها هزینه بالایی دارد. شکل ۱-۱، یک سکوی نیمه‌شناور را نشان می‌دهد.

---

[1]- Buoyancy
[2]- Dynamic positining

شکل ۱-۱ سکوی نیمه‌شناور[۱]

۱-۳-۲- سکوهای خود بالابر

سکوهای خود بالابر یا جک آپ دارای پایه‌های بلند و محکمی هستند که ابتدا بر روی عرشه سکو واقع هستند. این نوع سکو نیز تا محل مورد نظر یدک می‌شوند و در نقطه حفاری با پایین رفتن پایه‌ها در بستر دریا تثبیت و سپس عملیات حفاری انجام می‌گیرد. پس از پایان حفاری پایه‌ها بالا کشیده می‌شوند و سکو به مکان دیگری انتقال داده می‌شود[۱].

عملیات تثبیت سکوها و پایین راندن پایه‌ها با جک‌های هیدرولیکی یا الکتریکی انجام می‌شود. پایه سکوها تا کف دریا پایین رانده می‌شود و بعد سطح عرشه را به سمت بالا تا ارتفاعی که لازم است بالا برده تا از اثرات موج مصون بماند و ارتفاع لازم را جهت حفاری بدست آورد. یک نوع از این سکو در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. سکوی خود بالابر در مواقع استقرار در محل پایداری زیادی دارد و می تواند عملیات حفاری حتی تا اعماق ۱۴۰ متری از روی آن انجام گیرد، ولی معمولاً برای اعماق ۱۵ تا ۱۰۰ متر از آن استفاده می‌شود. بر روی این سکو محل اسکان پرسنل، محل فرود هلیکوپتر، دکل حفاری، جرثقیل، قایق نجات و دیگر وسایل ضروری تعبیه می‌شود. شایان ذکر است که دولت ایران در سال ۱۳۶۳(ه.ش) یک دستگاه سکوی حفاری خود بالابر از شرکت هیتاچی ژاپن خریداری کرد. این دستگاه با حدود ۸۳۰۰ تن وزن و مساحت ۴۰۰۰ متر-مربع و با پایه‌های قابل نصب تا عمق ۹۳ متری قابلیت حفاری تا عمق ۶۱۰۰ متری را دارد. این دستگاه دارای امکانات لازم از قبیل خوابگاه‌های متعدد، نماز خانه، رستوران، سالن کنفرانس، باشگاه، بهداری، محل فرود هلیکوپتر و دیگر امکانات فنی جهت حفاری می‌باشد و مجموعا امکانات زندگی جهت حدود یکصد نفر را فراهم می‌کند. در ایران علاوه بر این سکو، یک سکوی خود بالابر دیگری به نام شهید مدرس وجود دارد[۱].