



دانشکده‌ی مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه:

# بررسی و تحلیل تنش و کرنش در سازه مهارکننده سکوی حفاری نیمه‌شناور

دانشجو:

سید محمد نوید قریشی

9006854

استاد راهنما:

دکتر رحمت ا... قاجار

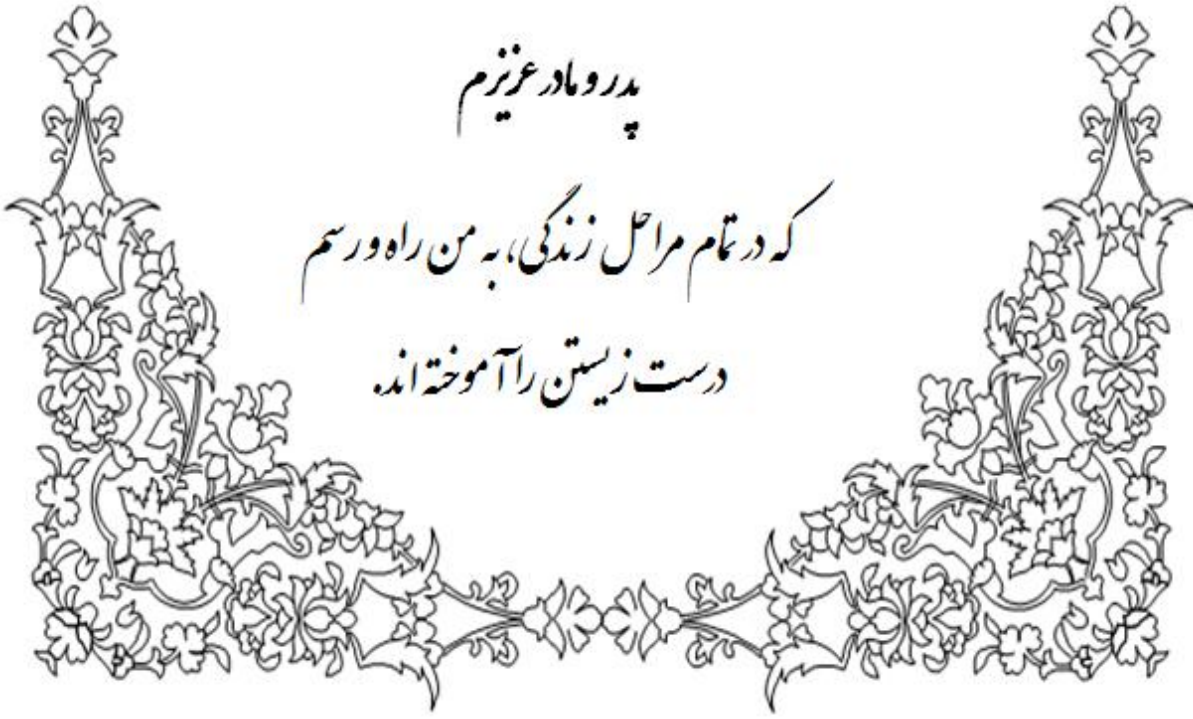
شهریور 1392

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تقدیم به:

چشمه های جوشان محبت، جلوه های مهر  
و عطاقت الهی، لبخند های پر مهر زندگیم



پدر و مادر عزیزم

که در تمام مراحل زندگی، به من راه و رسم  
دست زین سن را آموخته اند.

## تأییدیه هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان بررسی و تحلیل تنش و کرنش در سازه مهارکننده سکوی حفاری نیمه شناور، توسط آقای سید محمد نوید قریشی، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک، گرایش طراحی کاربردی، مورد تأیید قرار می دهند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	استاد	دکتر رحمت ا... قاجار	استاد راهنما
	دانشیار	دکتر محمد شرعیات	استاد ممتحن
	استادیار	دکتر سهیل نخودچی	استاد ممتحن
	دانشیار	دکتر محمد شرعیات	نماینده تحصیلات تکمیلی

## اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان نامه:

بررسی و تحلیل تنش و کرنش در سازه مهارکننده سکوی حفاری نیمه شناور

استاد راهنما: دکتر رحمت ا... قاجار

نام دانشجو: سید محمد نوید قریشی

شماره دانشجویی: 9006854

اینجانب سید محمد نوید قریشی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه 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. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

## فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1 - حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن، تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

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

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

همچنین، استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## تشکر و قدردانی

حمد و ستایش بی‌قیاس خدای را سزااست 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 رحمت‌ا... قاجار که در طول انجام پروژه راهنمایی‌های ارزشمندشان چراغ راهم بود، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. از همکاری‌ها و راهنمایی‌های جناب آقای دکتر سید محمد حسین شریفی نیز تشکر و قدردانی می‌گردد.

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

سید محمد نوید قریشی

شهریور 1392

## چکیده

وجود منابع عظیم نفتی در حوزه‌ی دریای خزر و ضرورت استخراج و بهره‌برداری از حوزه نفتی ایران که در قسمت آب‌های عمیق این دریا واقع شده، استفاده از سکوهای حفاری نیمه‌شناور را الزامی می‌نماید. به علت اهمیت استخراج مداوم نفت از این سکوها تعطیلی سکو به علت خرابی و تعمیرات می‌تواند باعث هدر رفتن مقدار زیادی از سرمایه‌های ملی شود. برای جلوگیری از این خرابی‌ها شناسایی اعضای بحرانی سکو از دیدگاه تحمل بارهای وارده امری ضروری می‌باشد. نخستین گام در تحلیل تنش و کرنش در کل سکو محاسبه نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر سکو می‌باشد. لذا در این پروژه ابتدا برای صحت‌سنجی تحلیل هیدرودینامیکی از سه کار تحقیقاتی که بر روی یک سکوی اسپار انجام شده بود استفاده می‌شود. سپس پس از اطمینان از روند تحلیل هیدرودینامیکی به محاسبه نیروهای وارد بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ناشی از امواج دریا، جریان دریایی و باد با استفاده از تئوری تفرق پرداخته می‌شود. با توجه به اهمیت نیروی وارده از طرف امواج، بازه وسیعی از امواج با مشخصات متفاوت و زوایای برخورد متفاوت در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار می‌گیرند و نمودارهایی ارائه می‌گردد که با استفاده از آنها می‌توان نیروی وارد بر سکو ناشی از امواج را برای شرایط مختلف محیطی دریای خزر تعیین نمود. سپس با توجه به نیروهای محاسبه شده به تعیین توزیع تنش و کرنش در کل سکو و شناسایی اعضای بحرانی می‌پردازیم. با توجه به تحلیل‌های انجام شده، محل اتصال ستون با پانتون سکو به عنوان قسمت بحرانی در کل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر معرفی می‌شود. همچنین برای بررسی احتمال وقوع پدیده تشدید در سکو، فرکانس‌های طبیعی سکو نیز تعیین و با فرکانس بارهای اعمالی مقایسه می‌گردند و محرز می‌گردد پدیده تشدید سکوی امیرکبیر را تهدید نمی‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** سکوی حفاری نیمه‌شناور، تئوری تفرق، نیروهای هیدرودینامیکی، پدیده تشدید، فرکانس طبیعی



# فهرست مطالب

1	فصل 1: آشنایی با سازه‌های دریایی .....
2	1-1 مقدمه .....
2	2-1 سازه‌های ساحلی .....
3	3-1 سازه‌های فراساحلی .....
3	1-3-1 تاریخچه احداث سکوه‌های فراساحلی .....
4	2-3-1 سکوه‌های ثابت .....
8	3-3-1 سکوه‌های شناور و متحرک .....
12	4-1 جانمایی و معرفی قسمت‌های مختلف سکوی نیمه‌شناور .....
16	5-1 حرکات سکوی نیمه‌شناور .....
17	6-1 پیشینه تحقیق .....
22	فصل 2: مکانیک موج و مبانی نیروهای وارده به سکوه‌های دریایی .....
23	1-2 مقدمه .....
23	2-2 کلیات مکانیک امواج .....
23	1-2-2 کلیات .....
24	2-2-2 مبانی موج و طبقه‌بندی امواج .....
25	3-2 معادلات حاکمه در تئوری‌های امواج .....
27	4-2 تئوری موج دامنه کوتاه (موج ایری) [1] .....
29	5-2 امواج استوکس [1] .....
30	6-2 امواج کنویدال [1] .....
31	7-2 تعاریف نیروها و بارهای وارده بر سکوه‌های دریایی .....
31	1-7-2 بارهای دائمی (مرده) .....
31	2-7-2 بارهای کارکردی متغیر (زنده) .....
32	3-7-2 بارهای محیطی .....

32	4-7-2 بارهای ناشی از ساخت، حمل و نصب
32	5-7-2 بارهای تصادفی
32	8-2 نیروهای هیدرودینامیکی وارده بر سکوهاى دریایی
33	1-8-2 نیروهای ناشی از امواج
38	2-8-2 نیروهای ناشی از جریان دریایی
39	3-8-2 نیروهای ناشی از باد
41	<b>فصل 3: مدل سازی هندسی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر</b>
42	1-3 مقدمه
42	2-3 مدل سازی هندسی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر
52	3-3 شرایط محیطی دریای خزر
53	4-3 تعیین ممان اینرسی های جرمی کل سکو نسبت به مرکز جرم خود
57	<b>فصل 4: تحلیل هیدرودینامیکی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر</b>
58	1-4 مقدمه
58	2-4 صحت سنجی مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی
64	3-4 محاسبه نیروی وارده بر سکو ناشی از امواج دریا
73	4-4 تعیین نیروی وارد بر سکو ناشی از جریان دریایی و باد
75	5-4 تعیین نیرو در سیستم مهاربندی سکو
	<b>فصل 5: تحلیل تنش، کرنش، مودال و تخمین عمر خستگی اتصال بحرانی در سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر</b>
77	1-5 مقدمه
78	2-5 تحلیل تنش و کرنش
88	3-5 تعیین عمر خستگی اتصال بحرانی به روش تنش نقطه حاد
88	1-3-5 روش تنش نقطه حاد
91	2-3-5 منحنی های S-N ارائه شده توسط آیین نامه های مختلف
94	4-5 تحلیل فرکانس های طبیعی و مودال

100	..... فصل 6: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
101	..... 1-6 نتیجه‌گیری
101	..... 2-6 پیشنهادات برای پروژه‌های آتی

# فهرست شکل‌ها

- شکل 1-1: شمای گسترش سکوها در خلیج مکزیک [1] ..... 4
- شکل 2-1: شمایی از یک سکوی ثابت نوع شابلونی [6] ..... 5
- شکل 3-1: شمایی از یک سکوی برجی [6] ..... 6
- شکل 4-1: شمایی از یک سکوی ثابت وزنی [6] ..... 7
- شکل 5-1: شمایی از یک سکوی پایه کششی [6] ..... 8
- شکل 6-1: شمایی از یک سکوی حفاری جک‌آپ [6] ..... 9
- شکل 7-1: شمایی از یک سکوی نیمه‌شناور [6] ..... 10
- شکل 8-1: شمایی از یک سکوی اسپار [15] ..... 11
- شکل 9-1: نمای جانبی از یک سکوی نیمه‌شناور [16] ..... 12
- شکل 10-1: نمای از دوران لنگر درون پانتون‌ها [16] ..... 13
- شکل 11-1: نمای از قفل زنجیری درون ستون‌ها [16] ..... 13
- شکل 12-1: جانمایی قایق‌های نجات، محل اسکان و باند هلیکوپتر نسبت به مون پول [16] ..... 15
- شکل 13-1: حرکات یک سکوی نیمه‌شناور [16] ..... 16
- شکل 1-2: شمای پروفیل موج [1] ..... 26
- شکل 2-2: مقایسه بین پروفیل موج خطی و پروفیل موج استوکس مرتبه 2 [1] ..... 29
- شکل 3-2: محدوده کاربرد تئوری‌های امواج [1] ..... 31
- شکل 4-2: نمایی از توزیع سرعت جریان در عمق آب ..... 38
- شکل 1-3: نمای جانبی از سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر [39] ..... 43
- شکل 2-3: نما از روبروی سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر [39] ..... 44
- شکل 3-3: نما از پشت سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر [39] ..... 45
- شکل 4-3: نمایی از پانتون مدل شده سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 46
- شکل 5-3: نمایی از ستون مدل شده سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 46
- شکل 6-3: نمایی از مهار مدل شده سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 47
- شکل 7-3: نمایی از عرشه مدل شده سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 47
- شکل 8-3: نمایی از مدل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 48
- شکل 9-3: نمای جانبی از مدل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 48
- شکل 10-3: نما از بالا مدل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 49
- شکل 11-3: نما از روبرو مدل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 49

- شکل 3-12: آرایش سیستم مهاربندی سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در صفحه‌ی افق [16] ..... 50
- شکل 3-13: نمایی از مدل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر همراه با سیستم مهاربندی در نرم‌افزار ANSYS/AQWA ..... 52
- شکل 3-14: نمایی از دستگاه مختصات دکارتی انتخابی برای سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 54
- شکل 3-15: نمای جانبی از دستگاه مختصات دکارتی انتخابی برای سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 54
- شکل 3-16: نما از بالای دستگاه مختصات دکارتی انتخابی برای سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 55
- شکل 4-1: نمایی شماتیک از هندسه سکوی اسپار [19] ..... 59
- شکل 4-2: نمایی از سکوی اسپار مدل شده در نرم‌افزار ANSYS/AQWA ..... 60
- شکل 4-3: نمایی از موج وارده با ارتفاع 10 متر و دوره تناوب 10 ثانیه به سکوی اسپار ..... 60
- شکل 4-4: نیروی موج وارد بر سکوی اسپار بر حسب دوره تناوب موج در درجه آزادی سرج ..... 61
- شکل 4-5: نیروی موج وارد بر سکوی اسپار بر حسب دوره تناوب موج در درجه آزادی هیو ..... 61
- شکل 4-6: گشتاور ناشی از موج وارد بر سکوی اسپار بر حسب دوره تناوب موج در درجه آزادی رول ..... 62
- شکل 4-7: گشتاور ناشی از موج وارد بر سکوی اسپار بر حسب دوره تناوب موج در درجه آزادی پیچ ..... 62
- شکل 4-8: نمایی از مدل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ANSYS/AQWA ..... 64
- شکل 4-9: نمایی از معرفی قسمت‌هایی از سکو که درون آب و قسمت‌هایی که در هوا قرار می‌گیرند ..... 65
- شکل 4-10: نمایی از مش‌بندی سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ANSYS/AQWA ..... 66
- شکل 4-11: نمایی از موج برخوردی با زاویه 0 درجه نسبت به راستای  $x$  سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 66
- شکل 4-12: نمایی از موج برخوردی با زاویه 30 درجه نسبت به راستای  $x$  سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 67
- شکل 4-13: نمایی از موج برخوردی با زاویه 60 درجه نسبت به راستای  $x$  سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 67
- شکل 4-14: نمایی از موج برخوردی با زاویه 90 درجه نسبت به راستای  $x$  سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 68
- شکل 4-15: نیروی موج وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب فرکانس موج در درجه آزادی سرج ..... 69
- شکل 4-16: نیروی موج وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب فرکانس موج در درجه آزادی اسوی ..... 69
- شکل 4-17: نیروی موج وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب فرکانس موج در درجه آزادی هیو ..... 70
- شکل 4-18: گشتاور ناشی از موج وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب فرکانس موج در درجه آزادی رول ..... 70
- شکل 4-19: گشتاور ناشی از موج وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب فرکانس موج در درجه آزادی پیچ ..... 71
- شکل 4-20: گشتاور ناشی از موج وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب فرکانس موج در درجه آزادی یاو ..... 71
- شکل 4-21: نمایی از اعمال جریان دریایی و باد بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ANSYS/AQWA ..... 73
- شکل 4-22: نمایی از سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر همراه با سیستم مهاربندی آن ..... 75
- شکل 4-23: نمودار کشش ایجاد شده در خط مهاربندی سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب زمان ..... 76
- شکل 5-1: نمایی از مدل اجزاء محدود سکو حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ANSYS/MECHANICAL ..... 79
- شکل 5-2: نمایی از توزیع تنش فون مایز در کل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 79

- شکل 5-3: نمایی از توزیع حداکثر تنش برشی در کل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 80
- شکل 5-4: نمودار همگرایی حداکثر تنش فون مایز در سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب تعداد المان‌ها .... 82
- شکل 5-5: نمای جانبی از توزیع تنش فون مایز در سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 82
- شکل 5-6: نما از بالای توزیع تنش فون مایز در سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 83
- شکل 5-7: نما از روبروی توزیع تنش فون مایز در سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 83
- شکل 5-8: نمایی از توزیع کرنش معادل در کل سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 84
- شکل 5-9: نمای جانبی از توزیع کرنش معادل در سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 84
- شکل 5-10: نما از بالای توزیع کرنش معادل در سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 85
- شکل 5-11: نما از روبروی توزیع کرنش معادل در سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 85
- شکل 5-12: نمایی از توزیع تنش فون مایز در محل اتصال مهار با ستون سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 86
- شکل 5-13: نمایی از توزیع حداکثر تنش برشی در محل اتصال مهار با ستون سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 87
- شکل 5-14: نمایی از توزیع کرنش معادل در محل اتصال مهار با ستون سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 87
- شکل 5-15: نحوه تعیین تنش نقطه حاد در اتصالات جوشی [41] ..... 89
- شکل 5-16: نمایی از حداکثر توزیع تنش اصلی حداکثر ایجاد شده در سکو امیرکبیر در یک دوره تناوب موج ..... 89
- شکل 5-17: نمایی از حداقل توزیع تنش اصلی حداکثر ایجاد شده در سکو امیرکبیر در یک دوره تناوب موج ..... 90
- شکل 5-18: نمایی از منحنی تغییرات تنش در پای جوش اتصال بحرانی و تعیین تنش نقطه حاد برای حداکثر تنش ایجاد شده در یک دوره تناوب موج ..... 90
- شکل 5-19: نمایی از منحنی تغییرات تنش در پای جوش اتصال بحرانی و تعیین تنش نقطه حاد برای حداقل تنش ایجاد شده در یک دوره تناوب موج ..... 91
- شکل 5-20: انواع نمودارهای خستگی اتصالات [42] ..... 92
- شکل 5-21: نمایی از مدل اجزاء محدود سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در نرم‌افزار ABAQUS ..... 94
- شکل 5-22: نمودار همگرایی فرکانس طبیعی اول سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر بر حسب تعداد المان‌ها ..... 96
- شکل 5-23: شکل مود اول سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 96
- شکل 5-24: شکل مود دوم سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 97
- شکل 5-25: شکل مود سوم سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 97
- شکل 5-26: شکل مود چهارم سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 98
- شکل 5-27: شکل مود پنجم سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 98
- شکل 5-28: شکل مود ششم سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ..... 99

# فهرست جداول

جدول 1-1: تاریخچه‌ای از مطالعات انجام شده در زمینه سکوه‌های فراساحلی.....	17
جدول 1-2: مشخصات تئوری موج خطی (ایری) [1].....	28
جدول 2-2: ضریب شکل $C_s$ برای اعضای سازه‌ای [1].....	39
جدول 1-3: خصوصیات مصالح سیستم مهاربندی سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر [16].....	51
جدول 2-3: مختصات قرقره مهار [16].....	51
جدول 3-3: مشخصات محیطی دریای خزر برای دوره 100 ساله [17].....	53
جدول 4-3: مختصات مرکز جرم کل سکو حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر نسبت به دستگاه مختصات انتخابی.....	55
جدول 5-3: ممان اینرسی‌های جرمی کل سکو حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر حول مرکز جرم خود.....	56
جدول 1-4: مشخصات فیزیکی و هندسی سکوی اسپار مدل شده [19].....	59
جدول 2-4: حداکثر خطای نتایج مربوط به نرم‌افزار ANSYS/AQWA نسبت به نتایج موجود در مراجع.....	63
جدول 3-4: نیروها و گشتاورهای وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر در فرکانس موج 11/53 ثانیه.....	72
جدول 4-4: نیروهای ناشی از جریان دریایی وارده به سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر.....	74
جدول 5-4: نیروهای ناشی از باد وارده به سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر.....	74
جدول 1-5: ثوابت مربوط به تعیین عمر خستگی اتصالات لوله‌ای طبق آیین‌نامه API [42].....	93
جدول 2-5: فرکانس‌های طبیعی سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر.....	95

## فصل 1

### آشنایی با سازه‌های دریایی



## 1-1 مقدمه

سازه‌های دریایی در برگیرنده طیف وسیعی از سازه‌ها می‌باشند که با اهداف مختلف و متنوعی احداث می‌گردند. در یک تقسیم بندی کلی شاید بتوان این سازه‌ها را به دو گروه اصلی سازه‌های ساحلی و سازه‌های فراساحلی تقسیم کرد.

سازه‌های ساحلی برای کاربردهای مختلفی از جمله ایجاد امکان پهلوگیری شناورها، حفاظت ساحل از فرسایش، ایجاد سدهای حفاظتی در مقابل امواج، جزر و مد، نصب خطوط انتقال نفت و گاز احداث می‌گردند. این سازه‌ها عمدتاً از یک طرف به خشکی و از طرف دیگر به دریا متصل می‌باشند و در حقیقت نقش حلقه اتصال بین خشکی و دریا را ایفا می‌کنند.

سازه‌های فراساحلی که در اعماق زیاد آب و به فاصله از ساحل احداث می‌شوند عمدتاً شامل سکوه‌های دریایی، مخازن زیر دریایی و خطوط انتقال نفت و گاز به ساحل می‌باشند. نظر به مشکلات خاص کار در دریا، این سازه‌ها عموماً در ساحل به صورت پیش ساخته تولید شده و پس از انتقال به محل مورد نظر در داخل دریا نصب می‌گردند. این کار علاوه بر کاهش خطر انهدام سازه در هنگام ساخت، موجب کاهش چشمگیر هزینه‌ها نیز می‌گردد.

حال هر یک از این سازه‌ها را به طور اختصار تشریح می‌کنیم.

## 2-1 سازه‌های ساحلی

سازه‌های ساحلی را شاید بتوان به طور کلی به صورت زیر دسته بندی نمود:

1- سازه‌های حفاظت ساحلی و موج شکن‌ها: سازه‌های حفاظت ساحلی و موج شکن‌ها به منظور حفاظت از ساحل در برابر دریا ساخته می‌شوند. به طور کلی اصول و مبانی حفاظت از سواحل در راستای اهداف حفاظت سازه‌ها و تأسیسات مستقر در ساحل در برابر برخورد امواج دریا، تثبیت موقعیت خط ساحلی و متوقف کردن تغییرات مقطع طولی یا عرضی ساحل، حفاظت زمین‌های ساحلی در مقابل بالا آمدن سطح آب و غرق شدن زمین‌ها و حفاظت و نگهداری بعضی از تأسیسات تفریحی احداث شده در کنار ساحل انجام می‌شود.

2- سازه‌های پهلوگیری شناورها: معمولاً هر بندر از انواع تجاری، نفتی، نظامی، صیادی و یا تفریحی علاوه بر نیاز به سازه‌های حفاظت ساحلی به سازه‌های پهلوگیری شناورها، امکانات و تسهیلات ترابری و ... نیاز دارد برای نیل به این اهداف از سازه‌های پهلوگیری شناورها استفاده می‌شود.

- 3- سازه‌های صنایع دریایی: سازه‌های صنایع دریایی برای پشتیبانی از سازه‌های ساحلی و فراساحلی ساخته می‌شوند و عمدتاً شامل کارگاه، بالابرهای کشتی و ... می‌باشند.
- 4- خطوط انتقال نفت، گاز، آب و برق از دریا: خطوط انتقال نفت، گاز، آب و برق از دریا به منظور انتقال نفت، گاز، آب و برق از دریا به ساحل طراحی می‌شوند.

### 3-1 سازه‌های فراساحلی

سکوهای فراساحلی که در اعماق زیاد آب و به فاصله از ساحل احداث می‌شوند خود به دو بخش زیر تقسیم می‌شوند:

الف) سکوهای ثابت

ب) سکوهای شناور و متحرک

پس از بیان تاریخچه‌ای از احداث سکوهای فراساحلی به بررسی این سکوها خواهیم پرداخت.

#### 1-3-1 تاریخچه احداث سکوهای فراساحلی

احتمالاً اولین تلاش جهت دستیابی به نفت در بستر دریا در کالیفرنیا حدود سال 1900 میلادی به ثمر رسید که چاه‌های نفت از روی اسکله‌ای متصل به ساحل و به فاصله 500 متر از ساحل حفر گردیدند. در سال 1909 یا 1910 میلادی در دریاچه فری<sup>1</sup> در کادوپاریش<sup>2</sup> 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. عملیات احداث سکوهای چوبی تا سال 1940 میلادی ادامه یافت و پس از آن به علت شروع جنگ جهانی دوم گسترش عملیات معلق گردید.

اولین سکوی فولادی در سال 1946 میلادی در عمق 4/3 متری ساخته شد. شایان ذکر است که جهت احداث این سکو 238 شمع بکار رفت. اولین سکوی فولادی از نوع شابلونی<sup>3</sup> با روش ساخت کنونی (یعنی ساخت در ساحل و پس از حمل، نصب در محل) در سال 1947 میلادی در آب‌های خلیج مکزیک ساخته شد که این سکو در 29 کیلومتری از ساحل و در عمق 6/1 متری نصب گردید. سپس یک سکوی دیگر از این نوع در عمق 15/2 متری احداث گردید و بدین ترتیب یک صنعت جدید متولد شد. در سال 1976 میلادی کمپانی نفتی شل<sup>4</sup> اعلام کرد که بلندترین سکوی نفتی دنیا را در آب‌های خلیج مکزیک نصب خواهد کرد. این سکو کامل و مجهز به

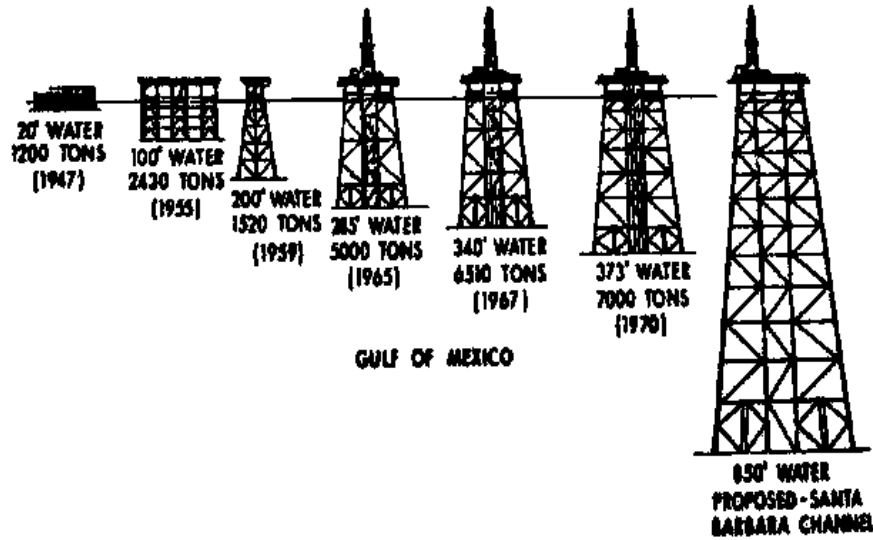
<sup>1</sup> Ferry

<sup>2</sup> Caddo parish la

<sup>3</sup> Template platform

<sup>4</sup> Shell company

تمامی تجهیزات (دکل حفاری، محل اقامت افراد، وسایل تولید و...) بود. نام این سکو کونیاک گذارده شد. بدین ترتیب ساخت سکوه‌های بلندتر رواج یافت و روز به روز بر ابعاد سکوها افزوده گردید. شکل 1-1 نمایشگر گسترش سکوها در خلیج مکزیک می‌باشد.



شکل 1-1: شمای گسترش سکوها در خلیج مکزیک [1]

### 1-3-2 سکوه‌های ثابت

سکوه‌های ثابت اصولاً از مزیت خاصی برخوردارند زیرا هزینه نصب آنها نسبتاً پایین و سکوه‌های پایدار می‌باشند که در خارج از سطح آب بدون ایجاد حرکت مهمی می‌توانند عملیات حفاری، تولید و دیگر کارها مانند خشکی بر روی آنها انجام گیرد [2-5].

سکوه‌های ثابت خود می‌توانند به موارد زیر تقسیم شوند:

الف) سکوه‌های ثابت نوع شابلونی<sup>1</sup>

ب) سکوی برجی<sup>2</sup>

ج) سکوی برجی مهار شده<sup>3</sup>

د) سکوه‌های وزنی<sup>4</sup>

ه) سکوی پایه کششی<sup>5</sup>

در ادامه به اختصار، به تشریح هر یک از موارد فوق می‌پردازیم.

<sup>1</sup> Template fixed platform

<sup>2</sup> Tower platform

<sup>3</sup> Guyed tower platform

<sup>4</sup> Gravity platform

<sup>5</sup> Tension leg platform

## الف) سکوهای ثابت نوع شابلونی

سکوهای ثابت نوع شابلونی معمولاً در محل آب‌های کم عمق‌تر نصب می‌گردد. البته امروز از این نوع در اعماق 315 متری نیز نصب شده است ولی معمولاً بیشتر تا عمقی حدود 100 متر از آن‌ها استفاده می‌گردد. نام گذاری این سکو بدین سبب می‌باشد که از پایه‌های سکو به عنوان هادی جهت نصب شمع‌ها استفاده می‌شود. این نوع سکو شامل قسمت‌های زیر می‌باشد:

1- جاکت یا قاب فضایی که جهت سرویس دادن در نصب شمع‌ها و به عنوان مهارهای جانبی<sup>1</sup> برای شمع‌ها طراحی گردیده‌اند.

2- شمع‌ها که منتقل کننده بار افقی و عمودی دائمی به کف دریا می‌باشند.

3- روسازه<sup>2</sup> که شامل خرپاهای فضایی و عرشه‌های ضروری جهت تحمل بارهای بهره‌برداری و دیگر بارها می‌باشد.

قسمت اعظم این نوع سکوها در دنیا در خلیج مکزیک واقع می‌باشند که بلندترین سکو از این نوع در عمق 315 متری در آب‌های خلیج مکزیک نصب گردیده است. شکل 1-2 یک نمونه از سکوی ثابت نوع شابلونی را نشان می‌دهد.



شکل 1-2: شمایی از یک سکوی ثابت نوع شابلونی [6]

<sup>1</sup> Lateral bracing

<sup>2</sup> Super structure