

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی مکانیک

## اندازه‌گیری تجربی ضرایب هیدرودینامیکی سکوی نیمه شناور در کانال آب

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

امین گنجی ارجنکی

اساتید راهنما

دکتر محسن تقفیان  
دکتر احمد رضا زمانی فروشانی



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک آقای امین گنجی ارجنکی

تحت عنوان

## اندازه‌گیری تجربی ضرایب هیدرودینامیکی سکوی نیمه شناور در کانال آب

در تاریخ ۱۳۹۲/۸/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر محسن ثقفیان

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه

دکتر احمد رضا زمانی فروشانی

۲- استاد راهنمای دوم پایان‌نامه

دکتر شهریار منصورزاده

۳- استاد مشاور

دکتر مهدی نیلی

۴- استاد داور

دکتر احمد صداقت

۵- استاد داور

دکتر محمد رضا سلیم پور

۶- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

## تشکر و قدردانی

سپاس بیکران خداوندی که موهبت تفکر را به انسان ارزانی داشت تا از برکت آن به پرورش و شکوفایی ذوق و اندیشه خویش پردازد و از سایر موجودات عالم هستی ممتاز گردد. به رسم ادب و حق شناسی، کمال تشکر خود را نسبت به استادان ارجمندم جناب آقای دکتر محسن ثقفیان و دکتر احمد رضا زمانی ابراز می- نمایم که راهنمایی‌های ارزنده ایشان همواره راهگشا و نقطه امیدی بود در تمام لحظات تلاشم. همچنین بر خود لازم می‌دانم که از جناب آقای دکتر شهریار منصورزاده که از الطاف و راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند بوده و هستم تشکر و قدردانی نمایم. در اینجا جا دارد از کارکنان پژوهشکده زیر دریا دانشگاه صنعتی اصفهان که بنده را در انجام این پروژه کمک و یاری نمودند تشکر نمایم.

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی  
اصفهان است.

تقدیم به

# پدر و مادر مهربانم

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
فهرست شکل‌ها	یازده
فهرست جدول‌ها	شانزده
چکیده	۱

### فصل اول: مقدمه

۱-۱	سکوه‌های دریایی	۲
۱-۱-۱	سکوه‌های وزنی (بتنی)	۳
۲-۱-۱	سکوه‌های پایه کششی	۴
۳-۱-۱	سکوه‌های شابلونی	۴
۴-۱-۱	سکوه‌های خودبالابر	۶
۵-۱-۱	سکوه‌های نیمه شناور	۷
۲-۱	اصول تحلیل و طراحی سکوها	۹
۲-۱-۱	بارهای وارده بر سازه‌های فراساحلی	۹
۳-۱	مروری بر کارهای انجام شده	۱۰
۱-۳-۱	کارهای انجام شده در مورد اجزای سکو	۱۰
۲-۳-۱	کارهای انجام شده قبلی بر سکو	۱۴
۴-۱	حرکات کلی یک شناور	۱۵
۵-۱	معرفی سکوی امیر کبیر	۱۵
۶-۱	صورت مساله	۱۶
۷-۱	تفاوت با سایر کارهای انجام شده	۱۷

### فصل دوم: تئوری امواج و نحوه محاسبه نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی

۱-۲	تئوری امواج و نیروهای وارده بر سازه	۱۸
۱-۱-۲	نیروی درگ	۱۹

۱۹.....	۲-۱-۲ نیروی اینرسی
۲۰.....	۳-۱-۲ نیروی حاصل از پراش
۲۰.....	۴-۱-۲ بیان ساده موج دریا
۲۱.....	۵-۱-۲ محدوده بکارگیری تئوری امواج
۲۲.....	۶-۱-۲ روشهای حل امواج
۲۳.....	۷-۱-۲ مقایسه پروفیل سطح آزاد برای چند تئوری خاص
۲۴.....	۲-۲ معادلات اساسی جریان
۲۶.....	۱-۲-۲ شرط مرزی مورد نیاز در حل امواج سطحی
۲۷.....	۳-۲ تئوری امواج خطی
۲۷.....	۱-۳-۲ بیان شرط دینامیکی سطح آزاد برای حرکات آهسته
۲۸.....	۲-۳-۲ بیان خطی شرط سینماتیکی سطح آزاد
۲۹.....	۴-۲ تئوری امواج خطی با دامنه کوچک
۳۰.....	۱-۴-۲ روشهای حل امواج خطی
۳۳.....	۲-۴-۲ روابط امواج خطی برای آبهای کم عمق و آبهای عمیق
۳۶.....	۳-۴-۲ بررسی ترسیمی نتایج حاصل از تئوری خطی
۳۷.....	۵-۲ تئوری غیرخطی امواج
۳۷.....	۱-۵-۲ تئوری تروکویدال
۳۷.....	۲-۵-۲ تئوری کنویدال
۳۷.....	۳-۵-۲ تئوری استوکس
۳۷.....	۴-۵-۲ تئوری سولیتری
۳۸.....	۶-۲ محاسبه نیروهای وارد بر سازه های دریایی
۳۸.....	۱-۶-۲ معادله موریسون
۳۸.....	۲-۶-۲ تئوری پراش
۳۹.....	۳-۶-۲ محدوده بکارگیری معادله موریسون و تئوری پراش

### فصل سوم: امکانات آزمایشگاهی و طرحریزی آزمونها

۴۱.....	۱-۳ امکانات آزمایشگاهی
---------	------------------------



۴۲.....	کانال آب (حوضچه کشش).....	۱-۱-۳
۴۲.....	سیستم موج ساز.....	۲-۱-۳
۴۳.....	سیستم جاذب امواج.....	۳-۱-۳
۴۴.....	ارابه حوضچه کشش (ترولری).....	۴-۱-۳
۴۵.....	سیستم نیروسنج.....	۵-۱-۳
۴۶.....	سیستم داده برداری.....	۶-۱-۳
۴۷.....	آزمونهای تجربی در محاسبه ضرایب نیروی درگ و اینرسی.....	۲-۳
۴۷.....	برپایی آزمایش.....	۱-۲-۳
۴۹.....	پردازش اطلاعات حاصل از آزمونهای تجربی.....	۲-۲-۳
۵۱.....	نحوه انجام آزمایش.....	۳-۳
۵۱.....	مدل استوانه عمودی با مقطع دایره‌ای سکوی نیمه شناور.....	۱-۳-۳
۵۴.....	مدل پانتونهای سکوی نیمه شناور.....	۲-۳-۳
۵۷.....	مدل سکوی نیمه شناور امیرکبیر.....	۳-۳-۳

#### فصل چهارم: نتایج آزمون‌ها

۶۴.....	نیروهای وارده بر استوانه عمودی واقع در مسیر امواج.....	۱-۴
۶۷.....	صحت سنجی ضرایب نیروهای استوانه عمودی.....	۲-۴
۶۹.....	نیروهای وارد بر پانتونهای سکوی نیمه شناور.....	۳-۴
۷۴.....	نیروهای وارد بر مدل سکوی نیمه شناور.....	۴-۴
۷۴.....	تاثیر افزایش عمق آب‌خور سکوی نیمه شناور بر ضریب درگ و اینرسی.....	۱-۴-۴
۷۸.....	تاثیر تغییر زاویه موج برخوردی به سکوی نیمه شناور بر ضریب درگ و اینرسی.....	۲-۴-۴
۸۰.....	مقایسه نیروهای اجزا و نیروهای کلی سکوی نیمه شناور.....	۵-۴
۸۱.....	مقایسه سکوی یکپارچه و سکوی چند تکه در عمق آب‌خورهای مختلف.....	۱-۵-۴
۸۵.....	مقایسه سکوی یکپارچه و سکوی چند تکه در زوایای مختلف موج برخوردی.....	۲-۵-۴
۸۷.....	نحوه محاسبه نیروی سکوی اصلی.....	۶-۴

#### فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۹۱.....	عوامل موثر در آزمایش.....	۱-۵
---------	---------------------------	-----

۲-۵ نتایج آزمایش ..... ۹۲

۳-۵ پیشنهاد کارهای آتی ..... ۹۳

مراجع: ..... ۹۴

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) نمای کلی از سکویای بتنی	۳
شکل (۲-۱) سکوی پایه کششی	۴
شکل (۳-۱) سکوی شابلونی	۵
شکل (۴-۱) نمایی دیگر از سکوی ثابت شابلونی	۶
شکل (۵-۱) بخش‌های اصلی سکوی خودبالابر	۷
شکل (۶-۱) سکوی نیمه شناور	۸
شکل (۷-۱) سکوی نیمه شناور با عمق آبخور زیاد	۹
شکل (۸-۱) مدل سکوی نیمه شناور با پانتون و صفحات هیو	۱۱
شکل (۹-۱) مشخصات استوانه مقطع مربعی	۱۲
شکل (۱۰-۱) طریقه قرارگیری سیلندر مستطیلی در کانال آب و در جهت عمود بر موج ورودی	۱۲
شکل (۱۱-۱) نمایی از نحوه نصب و راه اندازی آزمایش	۱۳
شکل (۱۲-۱) نمایی از سکوی پایه کششی	۱۴
شکل (۱۳-۱) مدلی از سکوی پایه کششی	۱۴
شکل (۱۴-۱) نمایی از حرکات چرخشی و انتقالی برای یک کشتی	۱۴
شکل (۱۵-۱) نمایی از سکوی نیمه شناور امیر کبیر	۱۷
شکل (۱-۲) موج نوسانی جلو رونده	۲۰
شکل (۲-۲) نواحی بکارگیری تئوری‌های مختلف امواج	۲۲
شکل (۳-۲) مقایسه پروفیل سطح آزاد برای چند تئوری مختلف	۲۴
شکل (۴-۲) نمایش موج و محورهای مختصات	۲۶
شکل (۵-۲) نمایش شیب موج	۲۸
شکل (۶-۲) معرفی پارامترهای موج	۳۰
شکل (۷-۲) مقایسه مسیر ذرات به همراه توزیع سرعت تقریبی	۳۶
شکل (۸-۲) محدوده مجاز برای دو تئوری موریسون و تئوری پراش	۳۹
شکل (۱-۳) کانال آب آزمایشگاه هیدرودینامیک	۴۲
شکل (۲-۳) سیستم موج ساز	۴۳
شکل (۳-۳) ارتباط بین فرکانس کاری موج ساز و فرکانس منبع تولیدی	۴۳
شکل (۴-۳) سیستم جاذب امواج	۴۴
شکل (۵-۳) ارابه حوضچه کشش	۴۵
شکل (۶-۳) نمایی از نیروسنج	۴۵
شکل (۷-۳) کانال‌ها و کارت A/D سیستم داده برداری	۴۶

- شکل (۸-۳) شمایی از سیستم داده برداری..... شکل ۴۷
- شکل (۹-۳) ایجاد جریان نوسانی بوسیله لوله U شکل..... شکل ۴۷
- شکل (۱۰-۳) اعمال نیروی نوسانی به جسم در کانال آب ساکن..... شکل ۴۸
- شکل (۱۱-۳) اعمال موج منظم به جسم ساکن در کانال آب..... شکل ۴۸
- شکل (۱۲-۳) اطلاعات ثبت شده..... شکل ۴۹
- شکل (۱۳-۳) مدل ستون سکوی نیمه شناور..... شکل ۵۱
- شکل (۱۴-۳) نحوه نصب مدل ستون استوانه‌ای..... شکل ۵۲
- شکل (۱۵-۳) محدوده مورد آزمایش برای استوانه عمودی مورد آزمایش..... شکل ۵۳
- شکل (۱۶-۳) استوانه عمودی با مقطع دایره‌ای در مسیر امواج..... شکل ۵۳
- شکل (۱۷-۳) نقشه پانتون‌ها..... شکل ۵۴
- شکل (۱۸-۳) پانتون‌های چوبی قبل و بعد از روغن کاری..... شکل ۵۴
- شکل (۱۹-۳) سکوی نیمه شناور MOSS CS-۵۰ با پانتون لبه مستطیلی..... شکل ۵۵
- شکل (۲۰-۳) سکوی نیمه شناور COSCO با پانتون لبه مثلثی..... شکل ۵۵
- شکل (۲۱-۳) سکوی نیمه شناور DNV با پانتون لبه دایروی..... شکل ۵۵
- شکل (۲۲-۳) نحوه نصب پانتون به ارابه کشش..... شکل ۵۶
- شکل (۲۳-۳) نمایی از لحظه اعمال موج به یکی از پانتون‌ها..... شکل ۵۷
- شکل (۲۴-۳) محدوده مورد آزمایش برای پانتون‌های مورد آزمایش..... شکل ۵۷
- شکل (۲۵-۳) نمایی از نحوه اتصال اجزای سکوی نیمه شناور..... شکل ۶۰
- شکل (۲۶-۳) نمایی از سکوی نیمه شناور مدل شده..... شکل ۶۱
- شکل (۲۷-۳) نمایی از نحوه نصب مدل سکو..... شکل ۶۱
- شکل (۲۸-۳) نمایی از لحظه برخورد موج به سکوی نیمه شناور..... شکل ۶۲
- شکل (۲۹-۳) محدوده مورد آزمایش برای سکوی نیمه شناور مورد آزمایش..... شکل ۶۳
- شکل (۱-۴) نمودار نیروی حاصل از فرکانس ۰/۸ هرتز برای مدل استوانه عمودی با مقطع دایره..... شکل ۶۴
- شکل (۲-۴) نیروی وارد بر ستون استوانه عمودی واقع در مسیر در فرکانس ۰/۸ هرتز..... شکل ۶۵
- شکل (۳-۴) نیروی وارد بر استوانه عمودی واقع در مسیر در فرکانس ۰/۹۳ هرتز..... شکل ۶۵
- شکل (۴-۴) نیروی وارد بر استوانه عمودی واقع در مسیر در فرکانس ۱/۰ هرتز..... شکل ۶۵
- شکل (۵-۴) نیروی وارد بر استوانه عمودی واقع در مسیر در فرکانس ۱/۰۵ هرتز..... شکل ۶۵
- شکل (۶-۴) نیروی وارد بر استوانه عمودی واقع در مسیر در فرکانس ۱/۱۳ هرتز..... شکل ۶۶
- شکل (۷-۴) نمودار ضریب درگ استوانه مقطع دایره واقع در مسیر امواج بر حسب عدد کولگان - کارپنتر..... شکل ۶۷
- شکل (۸-۴) نمودار ضریب اینرسی استوانه مقطع دایره واقع در مسیر امواج بر حسب عدد کولگان - کارپنتر..... شکل ۶۷
- شکل (۹-۴) رابطه ماکزیمم نیرو - عدد فرود در استوانه عمودی..... شکل ۶۹
- شکل (۱۰-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه پنج ضلعی در فرکانس ۰/۸ هرتز..... شکل ۶۹

- شکل (۱۱-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه پنج ضلعی در فرکانس  $0/93$  هرتز..... ۶۹
- شکل (۱۲-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه پنج ضلعی در فرکانس  $1/05$  هرتز..... ۷۰
- شکل (۱۳-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه پنج ضلعی در فرکانس  $1/19$  هرتز..... ۷۰
- شکل (۱۴-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه مثلثی در فرکانس  $0/8$  هرتز..... ۷۰
- شکل (۱۵-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه مثلثی در فرکانس  $0/93$  هرتز..... ۷۰
- شکل (۱۶-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه مثلثی در فرکانس  $1/05$  هرتز..... ۷۰
- شکل (۱۷-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه مثلثی در فرکانس  $1/19$  هرتز..... ۷۰
- شکل (۱۸-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه دایروی در فرکانس  $0/8$  هرتز..... ۷۱
- شکل (۱۹-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه دایروی در فرکانس  $0/93$  هرتز..... ۷۱
- شکل (۲۰-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه دایروی در فرکانس  $1/05$  هرتز..... ۷۱
- شکل (۲۱-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه دایروی در فرکانس  $1/19$  هرتز..... ۷۱
- شکل (۲۲-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه مستطیلی در فرکانس  $0/93$  هرتز..... ۷۱
- شکل (۲۳-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه مستطیلی در فرکانس  $1/05$  هرتز..... ۷۱
- شکل (۲۴-۴) نیروی وارد بر پانتون لبه مستطیلی در فرکانس  $1/19$  هرتز..... ۷۱
- شکل (۲۵-۴) مقایسه ضرایب درگ پانتون‌ها بر حسب عدد فرود..... ۷۲
- شکل (۲۶-۴) مقایسه ضرایب اینرسی پانتون‌ها بر حسب عدد فرود..... ۷۲
- شکل (۲۷-۴) مقایسه ماکزیمم نیروی کلی پانتون‌ها بر حسب عدد فرود..... ۷۳
- شکل (۲۸-۴) نیرو در فرکانس  $0/8$  هرتز و عمق  $15$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۲۹-۴) نیرو در فرکانس  $0/93$  هرتز و عمق  $15$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۳۰-۴) نیرو در فرکانس  $1/05$  هرتز و عمق  $15$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۳۱-۴) نیرو در فرکانس  $1/13$  هرتز و عمق  $15$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۳۲-۴) نیرو در فرکانس  $0/8$  هرتز و عمق  $19$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۳۳-۴) نیرو در فرکانس  $0/93$  هرتز و عمق  $19$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۳۴-۴) نیرو در فرکانس  $1/05$  هرتز و عمق  $19$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۳۵-۴) نیرو در فرکانس  $1/13$  هرتز و عمق  $19$  سانتیمتر..... ۷۵
- شکل (۳۶-۴) نیرو در فرکانس  $0/8$  هرتز و عمق  $23$  سانتیمتر..... ۷۶
- شکل (۳۷-۴) نیرو در فرکانس  $0/93$  هرتز و عمق  $23$  سانتیمتر..... ۷۶
- شکل (۳۸-۴) نیرو در فرکانس  $1/05$  هرتز و عمق  $23$  سانتیمتر..... ۷۶
- شکل (۳۹-۴) نیرو در فرکانس  $1/13$  هرتز و عمق  $23$  سانتیمتر..... ۷۶
- شکل (۴۰-۴) ضریب درگ سکوی نیمه شناور در عمق آبخورهای مختلف در زاویه موج برخوردی صفر..... ۷۷
- شکل (۴۱-۴) ضریب اینرسی سکوی نیمه شناور در عمق آبخورهای مختلف در زاویه موج برخوردی صفر..... ۷۷
- شکل (۴۲-۴) سکو در زاویه  $30$  درجه نسبت به موج برخوردی..... ۷۸

- شکل (۴۳-۴) نیرو در فرکانس ۰/۸ هرتز و زاویه موج ۳۰ درجه..... ۷۸
- شکل (۴۴-۴) نیرو در فرکانس ۰/۹۳ هرتز و زاویه موج ۳۰ درجه..... ۷۸
- شکل (۴۵-۴) نیرو در فرکانس ۱/۰۵ هرتز و زاویه موج ۳۰ درجه..... ۷۹
- شکل (۴۶-۴) نیرو در فرکانس ۱/۱۳ هرتز و زاویه موج ۳۰ درجه..... ۷۹
- شکل (۴۷-۴) نیرو در فرکانس ۰/۸ هرتز و زاویه موج ۶۰ درجه..... ۷۹
- شکل (۴۸-۴) نیرو در فرکانس ۰/۹۳ هرتز و زاویه موج ۶۰ درجه..... ۷۹
- شکل (۴۹-۴) نیرو در فرکانس ۱/۰۵ هرتز و زاویه موج ۶۰ درجه..... ۷۹
- شکل (۵۰-۴) نیرو در فرکانس ۱/۱۳ هرتز و زاویه موج ۶۰ درجه..... ۷۹
- شکل (۵۱-۴) نمودارهای ضریب درگ در زوایای مختلف موج برخوردی..... ۸۰
- شکل (۵۲-۴) نمودارهای ضریب اینرسی در زوایای مختلف موج برخوردی..... ۸۰
- شکل (۵۳-۴) اعمال اختلاف فاز اجزا..... ۸۱
- شکل (۵۴-۴) نمایی از سکوی چند تکه متشکل از ۲ پانتون و ۴ ستون استوانه ای..... ۸۱
- شکل (۵۵-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۸ هرتز و عمق ۱۵ سانتیمتر..... ۸۲
- شکل (۵۶-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۹۳ هرتز و عمق ۱۵ سانتیمتر..... ۸۲
- شکل (۵۷-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۱/۰۵ هرتز و عمق ۱۵ سانتیمتر..... ۸۲
- شکل (۵۸-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۸ هرتز و عمق ۱۹ سانتیمتر..... ۸۳
- شکل (۵۹-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۹۳ هرتز و عمق ۱۹ سانتیمتر..... ۸۳
- شکل (۶۰-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۱/۰۵ هرتز و عمق ۱۹ سانتیمتر..... ۸۳
- شکل (۶۱-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۸ هرتز و عمق ۲۳ سانتیمتر..... ۸۳
- شکل (۶۲-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۹۳ هرتز و عمق ۲۳ سانتیمتر..... ۸۳
- شکل (۶۳-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۱/۰۵ هرتز و عمق ۲۳ سانتیمتر..... ۸۴
- شکل (۶۴-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۸ هرتز و زاویه ۳۰ درجه..... ۸۵
- شکل (۶۵-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۹۳ هرتز و زاویه ۳۰ درجه..... ۸۵
- شکل (۶۶-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۱/۰۵ هرتز و زاویه ۳۰ درجه..... ۸۵
- شکل (۶۷-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۸ هرتز و زاویه ۶۰ درجه..... ۸۵
- شکل (۶۸-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۰/۹۳ هرتز و زاویه ۶۰ درجه..... ۸۶
- شکل (۶۹-۴) نیرو اجزای سکو در فرکانس ۱/۰۵ هرتز و زاویه ۶۰ درجه..... ۸۶
- شکل (۷۰-۴) نیروی وارد بر سکوی نیمه شناور امیرکبیر تحت تاثیر موج منظم در عمق آبخور ۱۲/۷۵ متری و زاویه موج صفر درجه..... ۸۹
- شکل (۷۱-۴) نیروی وارد بر سکوی نیمه شناور امیرکبیر تحت تاثیر موج منظم در عمق آبخور ۱۶/۲ متری و زاویه موج صفر درجه..... ۸۹
- شکل (۷۲-۴) نیروی وارد بر سکوی نیمه شناور امیرکبیر تحت تاثیر موج منظم در عمق آبخور ۱۶/۲ متری و زاویه موج ۳۰ درجه..... ۸۹
- شکل (۷۳-۴) نیروی وارد بر سکوی نیمه شناور امیرکبیر تحت تاثیر موج منظم در عمق آبخور ۱۶/۲ متری و زاویه موج ۶۰ درجه..... ۸۹
- شکل (۷۴-۴) نیروی وارد بر سکوی نیمه شناور امیرکبیر تحت تاثیر موج منظم در عمق آبخور ۱۹/۵ متری و زاویه موج صفر درجه..... ۹۰

## فهرست جدول‌ها

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
جدول (۱-۱) مشخصات موج اعمال شده به استوانه های مقطع مربعی و دایروی.....	۱۱
جدول (۱-۲) روابط حاصل از تئوری امواج خطی در حالت کلی.....	۳۴
جدول (۲-۲) نتایج تئوری امواج خطی برای آبهای کم عمق و آبهای عمیق.....	۳۵
جدول (۱-۳) مشخصات موج اعمالی به استوانه عمودی با مقطع دایره‌ای.....	۵۲
جدول (۲-۳) مشخصات موج اعمال به پانتون‌ها.....	۵۶
جدول (۳-۳) اندازه‌های نمونه اصلی و اندازه‌های مدل شده.....	۶۰
جدول (۴-۳) مشخصات موج اعمالی به سکوی نیمه شناور مدل شده.....	۶۲
جدول (۱-۴) محدوده عدد فرود و کولگان- کارپنتر برای هر آزمون استوانه عمودی.....	۶۶
جدول (۲-۴) ضریب درگ و اینرسی بر حسب عدد فرود و کولگان- کارپنتر استوانه عمودی.....	۶۸
جدول (۳-۴) ماکزیمم نیروی وارد بر استوانه عمودی.....	۶۸
جدول (۴-۴) محدوده عدد فرود برای هر آزمون پانتون.....	۷۲
جدول (۵-۴) سرعت و شتاب به همراه ماکزیمم نیروی وارد بر پانتون‌ها.....	۷۴
جدول (۶-۴) محدوده عدد فرود برای هر آزمون سکوی نیمه شناور مدل.....	۷۷
جدول (۷-۴) مقایسه ماکزیمم نیروی وارد بر سکوی یکپارچه و سکوی چند تکه در اعماق مختلف.....	۸۴
جدول (۸-۴) مقایسه ماکزیمم نیروی وارد بر سکوی یکپارچه و سکوی چند تکه در زوایای مختلف.....	۸۷
جدول (۹-۴) ماکزیمم نیروی وارد بر سکوی نیمه شناور مدل شده و اصلی بر حسب عدد فرود.....	۸۸

## چکیده

از سکوه‌های نیمه شناور در عملیات حفاری آب‌های عمیق استفاده می‌شود و در حال حاضر در کشور ما و در دریای خزر یک نمونه از سکوی نیمه شناور آب عمیق به آب اندازی شده که در حال بهره برداری است. کار حاضر اختصاص به برخی از آزمون‌های هیدرودینامیکی مدل ساده شده ای از سکوی فوق دارد. آزمون‌های هیدرودینامیکی در حوضچه کشش دانشگاه صنعتی اصفهان (پژوهشکده علوم و فناوری زیردریا) انجام شده است. اجزای زیر آب یک سکوی نیمه شناور عبارتند از پانتون‌های زیر آب و ستون‌های نگهدارنده آنها به عرشه سکو دارد. به همین دلیل در آزمون‌های طراحی شده سعی شده است که اولاً نیروی وارد بر ستون‌های عمودی و پانتون‌های سکو به شکل تجربی و بصورت مجزا تعیین گردیده و ثانیاً امکان پذیری استفاده از برهم نهی نیروهای وارد بر اجزا در تعیین نیروی کلی وارد بر مدل کلی سکو بررسی شود.

مدل سکوی مورد استفاده که بر اساس تشابه فرود ساخته شده است و دارای نسبت تشابه ۱:۸۵ می‌باشد. علاوه بر این با توجه به مشخصات موج تولیدی حوضچه کشش، نتایج تجربی برای استوانه عمودی در محدوده اعداد فرود ۰/۲۶۳ تا ۰/۹۸۱، برای مدل پانتون‌ها در محدوده اعداد فرود ۰/۲ تا ۱/۱۸۱ و برای مدل سکوی نیمه شناور در محدوده اعداد فرود ۰/۱۸۱ تا ۰/۷۰۳ ارائه می‌شوند.

آزمون‌های انجام شده بر روی سکوی نیمه شناور در سه آب‌خور مختلف و در سه زاویه صفر، ۳۰ درجه و ۶۰ درجه نسبت به موج و تحت تاثیر چهار فرکانس موجی مختلف (۰/۸ تا ۱/۱۳ هرتر) به انجام رسیده است. بخش اعظمی از آزمون‌ها در محدوده امواج خطی واقع بوده و به همین دلیل و با استفاده از تئوری امواج آب عمیق و رابطه موريسون و با داشتن نیروهای افقی وارد به سکو به محاسبه ضرایب نیروی درگ و اینرسی سکو و اجزای آن در اعداد مختلف فرود پرداخته شده است.

بررسی نتایج در مورد استوانه‌های عمودی به کار رفته با مقطع دایره ای در مقایسه با کارهای دیگران حدود ۱۵٪ خطا و در رابطه با بکارگیری اصل برهم نهی نیروها ۱۴/۸٪ خطا برای تغییر عمق و ۱۵/۱۵٪ خطا برای تغییر زاویه را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: ۱- ضرایب هیدرودینامیکی ۲- سکوی نیمه شناور ۳- معادله موريسون ۴- امواج منظم ۵- عدد فرود



## فصل اول

### مقدمه

طراحی و تحلیل سکوهای دریایی مورد استفاده برای تولید و استخراج نفت و گاز در بردارنده مسائل فنی بسیاری است که باید به دقت مورد بررسی قرار گیرند. این گونه سازه‌هایی دریایی در معرض نیروهای ناشی از باد و جریان‌های دریایی و نیروهای متناوب امواج قرار دارند که این نیروها با توجه به عمق آب، شکل سکو و سیستم‌های مورد استفاده برای مهار سکو محاسبه می‌شوند. در این فصل در ابتدا توضیحاتی در مورد سکوهای نفتی و کاربرد آنها داده می‌شود. در ادامه نیز به مروری بر کارهای انجام شده بر اجزای سکو و سکوهای دریایی می‌پردازیم.

### ۱-۱ سکوهای دریایی

سکوهای دریایی به طور کلی به دو نوع متحرک و ثابت تقسیم می‌شوند. سکوهای متحرک سکوهای حفاری هستند که قابلیت حرکت و جا به 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 سکوهای سر چاهی هستند که بر روی چاه حفاری شده به صورت مستحکم نصب می‌شوند. این سکوها دارای تجهیزات کافی برای استخراج، پالایش اولیه و انتقال فرآورده های استخراج به ساحل و همچنین نیازمندی های پرسنل و کارکنان سکو می‌باشد.

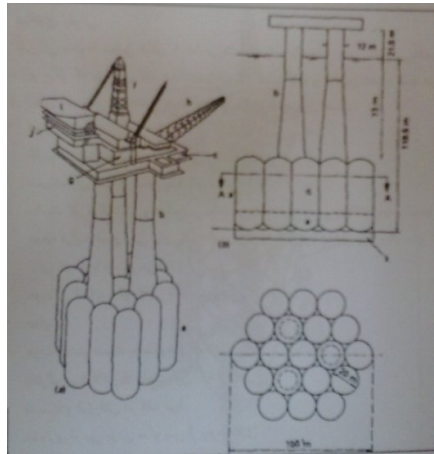
سکو های ثابت دارای انواع مختلفی هستند که چند نمونه از آنها در ادامه نام برده می شود:

### ۱-۱-۱ سکوهای وزنی (بتنی)<sup>۱</sup>

شکل کلی این سکوها مطابق شکل (۱-۱) می‌باشد که پایه سکوها از جنس بتون می‌باشد. استوانه‌های متعدد زیر سکو که بر روی کف دریا نشسته‌اند نیز بتونی بوده و مخازن ذخیره نفت هستند. این سکوها برای آبهای کم عمق استفاده می‌شوند و دارای مزایا و معایب زیر هستند:

مزایا:

- کاربرد در شرایط بسیار بد جوی و دریا‌های طوفانی
- ذخیره سازی نفت در داخل پایه‌های سکو
- ساخت کل سکو (پایه و عرشه) در ساحل و عدم نیاز به نصب جداگانه پایه و عرشه در دریا
- حذف فرآیند شمع کوبی برای ثابت کردن پایه به کف دریا (بدلیل وزن زیاد سکو که به راحتی بر کف دریا مستقر می‌شود)
- خوردگی اندک سکو بدلیل جنس بتونی آن



شکل (۱-۱) نمای کلی از سکوهای بتنی [۱]

معایب:

- هزینه بیشتر نسبت به سکوهای فولادی
- بکارگیری فولاد زیاد داخل بتون
- نشست و فرورفتن در کف دریا
- دشواری از بین بردن سکو پس از بهره‌برداری
- امکان نشست نفت از درزهای مخازن بتونی

<sup>1</sup>. gravity platform

سکوهای بتونی برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ در دریای شمال ساخته و نصب شدند. ابتدا وقتی مخازن نفتی خالی هستند، سکو بر روی آب شناور می‌ماند. برای قرارگیری سکو در کف دریا، مخازن آن را پر از آب می‌کنند، سکو سنگین شده و بر کف دریا می‌نشیند. [۱]

### ۲-۱-۱ سکوهای پایه کششی<sup>۱</sup>

سکوهای پایه کششی برای استخراج نفت در اعماق بسیار زیاد مناسب می‌باشد. همانطور که در شکل (۱)-۱ می‌بینید این سازه شامل بخش‌های پی، تاندون‌ها، رایزرها، بدنه و عرشه می‌باشد که در بین آنها بدنه یک بخش مهم از نظر نیروهای هیدرودینامیکی، وزن، هزینه و کاربری می‌باشد. بدنه سکوی پایه کششی متشکل از ستونهای قائم، پانتون‌های افقی و مهاربندها با مقطع دایروی، مستطیلی یا مربعی می‌باشد. مهمترین نیروی وارد بر بدنه سکوی پایه کششی نیروی ناشی از امواج می‌باشد. ابعاد هندسی بدنه می‌تواند عامل مهمی در عملکرد بهینه و همچنین صرفه جویی اقتصادی در طراحی و اجرای یک سکوی پایه کششی باشد. [۲]



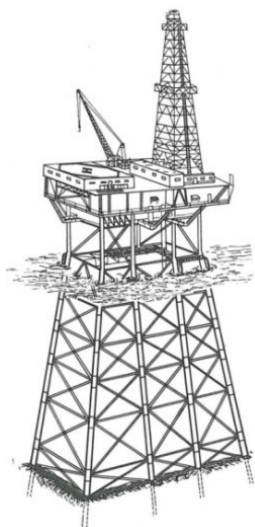
شکل (۲-۱) سکوی پایه کششی [۲]

### ۳-۱-۱ سکوهای شابلونی<sup>۲</sup>

سکوی شابلونی (شکل ۱-۳) معمولاً در آبهای کم عمق تر نصب می‌گردد و البته امروزه از این نوع در اعماق ۳۱۵/۵ متری نیز نصب شده است ولی معمولاً بیشتر تا عمقی حدود ۱۰۰ متر از آنها استفاده می‌گردد. نام گذاری این سکو بدین سبب می‌باشد که از پایه‌های سکو به عنوان هادی جهت نصب شمع‌ها استفاده می‌شود (شمع‌ها از داخل پایه سکو یا از خارج و متصل به پایه سکو کوبیده می‌شوند) به این سکو اصطلاحاً سکوی جاکت<sup>۱</sup> نیز گفته می‌شود.

<sup>۱</sup>. tension leg platform

<sup>۲</sup>. template platform



شکل (۳-۱) سکوی شابلونی [۳]

این سکو شامل قسمت‌های زیر می‌باشد:

۱- جاکت یا یک قاب فضایی که جهت سرویس دادن در نصب شمع‌ها و به عنوان مهارهای جانبی<sup>۲</sup> برای شمع‌ها طراحی گردیده‌اند.

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

۳- روسازه<sup>۳</sup> یا عرشه که شامل خرپاهای فضایی و عرشه‌های ضروری جهت تحمل بارهای بهره برداری و دیگر بارها می‌باشد.

قسمت اعظم این نوع سکوها در دنیا (حدود ۶۰٪ کل این سکوها) در خلیج مکزیک واقع می‌باشند که بلندترین سکو از این نوع در عمق ۳۱۵/۵ متری در آبهای خلیج مکزیک نصب گردیده است. از این نوع سکو علاوه بر خلیج مکزیک در دریاچه ماراسی بیو- خلیج فارس- آفریقا علی الخصوص نیجریه و سواحل کالیفرنیا استفاده می‌گردد. شکل (۴-۱) یک نمای دیگر از سکوی ثابت شابلونی و قسمت‌های مختلف آنرا نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> . jacket

<sup>۲</sup> . lateral bracing

<sup>۳</sup> . super structure