



دانشکده عمران  
گروه مهندسی آب

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه های دریایی

عنوان

# تحلیل دینامیکی سکوی پایه کششی و مقایسه نتایج با پاسخ اندازه گیری شده

استاد راهنما

دکتر محمد علی لطف الهی یقین

استاد مشاور

دکتر محمد حسین امین فر

پژوهشگر

رضا خلیج

اردیبهشت ۸۹

به نام نامی دوست که هر چه داریم از اوست

تقدیم به پدر بزرگوارم که تمام هستی ام بر شانه های صبورش شکل گرفت

تقدیم به مادر مهربانم که تمام وجودش را در قالب عشق به من بخشید

و تقدیم به بهترین همراهن زندگیم، خواهر و برادر عزیزم.

باشکر از محبت او، همکاری های:

❖ دکتر علی لطف الهی که راهنمایی پایان نامه را بر عهده داشتند.

❖ اساتید گرانقدری که در مراحل مختلف تحصیل در خدمت آنها کسب علم نمودم.

❖ کلیه دوستانی که در مراحل مختلف پایان نامه باینده همکاری داشتند.

❖ پدر، مادر، خواهر و برادر عزیزم که همواره پشتیبان من بوده اند.

نام خانوادگی دانشجو : خلج

نام : رضا

عنوان پایان نامه : تحلیل دینامیکی سکوی پایه کششی و مقایسه نتایج با پاسخ اندازه گیری شده

استاد راهنما : دکتر محمد علی لطف الهی یقین

استاد مشاور : دکتر محمد حسین امین فر

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : سازه دریایی گرایش : مهندسی آب دانشگاه : تبریز

دانشکده : مهندسی عمران تاریخ فارغ التحصیلی : تعداد صفحه : ۲۲۹

کلید واژه ها : سازه های آب عمیق، موج تصادفی، پاسخ کوپله دینامیکی، سیستمهای ریزر و مهار، مدل

*Fortran mini-TLP ABAQUS* برنامه نویسی

چکیده :

سازه های فراساحل تطبیقی برای استخراج نفت در آب عمیق استفاده می شوند. سکوی پایه کششی (*TLP*) نوع مناسبی برای آبهای بسیار عمیق می باشد. پاسخ دینامیک غیرخطی *TLP* تحت موج دریای تصادفی برای تعیین تغییر شکل ها و نیروهای حداکثر ضروری است. پاسخ های دقیق و قابل اطمینان برای طراحی بهینه و کنترل سازه نیاز هستند. از سوی دیگر، اندرکنش کوپله دینامیکی میان بدنه یک سکوی شناور و تندون ها و ریزرهایش نقش مهمی در حرکات *global* سکو و بارهای کششی در تندون ها و ریزرها بازی می کند. برای محاسبه حرکات و کشش های دینامیک مربوط به سازه شناوری که توسط سیستم مورینگ / تندون و ریزرش موقعیت دهی و مهار گشته، مدلی در *ABAQUS* ایجاد شد. در این مطالعه حرکات اندازه گیری شده آزمایشگاهی یک *mini-TLP* (برگرفته از *Xiaohong Chen* و همکاران در سال ۲۰۰۵) با مقادیر محاسبه شده توسط مدل *ABAQUS* مقایسه شده اند. تاریخچه زمانی ۳ ساعته موج نامنظمی (مطابق با آزمایش) مبتنی بر طیف *JONSWAP* با استفاده از یک کدنویسی *Fortran* ایجاد شده است. این کد، سینماتیک مؤلفه های موج تصادفی را محاسبه و این داده ها را به *ABAQUS* ارسال می کند. مقایسه ها تأیید کردند که مدل *ABAQUS* قادر به پیش بینی اندرکنش بین بدنه و سیستمهای تندون و ریزرش است. پس از این تأیید، برای بررسی اثر شکل بدنه روی

پاسخ دینامیک *TLP* ها، آنالیز دینامیکی یک مدل *TLP* مربعی و مدل *TLP* مثلثی معادلش تحت امواج منظم انجام گرفت. بررسی های عددی برای مقایسه پاسخ کوپله این دو *TLP* معادل انجام یافته اند. تمرکز این مطالعه روی تصدیق و تحقق مدل *ABAQUS* ایجاد شده با نتایج اندازه گیری شده آزمایشگاهی و پس از آن مقایسه میان رفتار دینامیکی *TLP* های با بدنه مربعی و مثلثی است.

## فهرست

### فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ..... ۱
- ۲-۱- هدف تحقیق ..... ۲
- ۳-۱- روش انجام تحقیق ..... ۲
- ۴-۱- فصل بندی پایان نامه ..... ۲

### فصل دوم: معرفی کلی *TLP*

- ۱-۲- مقدمه ..... ۴
- ۲-۲- معرفی کلی *TLP* ..... ۵
- ۳-۲- تاریخچه *TLP* ..... ۶
- ۴-۲- مرور کلی بر ایده، هندسه و طراحی *TLP* ..... ۸
- ۱-۴-۲- اجزا و عملکرد اجزاء *TLP* ..... ۸
- ۲-۴-۲- انواع سکوه‌های پایه کششی ..... ۱۱
- ۵-۲- روش های اجرای *TLP* ..... ۱۷
- ۱-۵-۲- اجرای فونداسیون در *TLP* ها ..... ۱۷
- ۲-۵-۲- روش نصب یک *TLP* و تندون های آن ..... ۲۱
- ۶-۲- مرور منابع و مطالعات پیشین ..... ۳۰
- ۱-۶-۲- مطالعات پاسخ دینامیک کوپله *TLP* ها ..... ۳۰
- ۲-۶-۲- مطالعات هیدرودینامیکی *TLP* ها ..... ۳۶
- ۳-۶-۲- مطالعات تعیین *run up* موج و *airgap* در *TLP* ها ..... ۴۲

### فصل سوم: ضوابط محیطی و بارگذاری *TLP*

- ۳-۱- ضابطه طراحی محیطی برای سکوه‌های پایه کششی ..... ۴۴
- ۱-۱-۳- مقدمه ..... ۴۴
- ۲-۱-۳- پاسخ *TLP* ..... ۴۵
- ۳-۱-۳- شرایط عملیاتی و طراحی محیط اقیانوس ..... ۴۸
- ۴-۱-۳- توصیه *API-RP 2T* در مورد ضابطه محیطی ..... ۵۰

۲-۳- بارگذاری *TLP* ..... ۵۲

۱-۲-۳- انواع بار وارد بر *TLP* ..... ۵۲

۲-۲-۳- بارهای محیطی وارد بر *TLP* ..... ۵۲

### فصل چهارم: مرور کلی بر طراحی و مکانیک *TLP*

۱-۴- اهداف طراحی ..... ۵۹

۲-۴- تعیین اندازه *TLP* ..... ۵۹

۳-۴- روش های آنالیز ..... ۶۳

۴-۴- انتخاب روش آنالیز ..... ۷۰

۵-۴- مکانیک *TLP* ..... ۷۲

۱-۵-۴- کلیات ..... ۷۲

۲-۵-۴- *Set down and Offset* ..... ۷۴

۳-۵-۴- کشش تندون ..... ۷۵

۴-۵-۴- حرکات و جابجائی ها ..... ۷۸

۶-۴- اندازه گذاری *TLP* ..... ۷۹

۱-۶-۴- ملاحظات طراحی اولیه ..... ۸۱

۲-۶-۴- پروسه طراحی اولیه ..... ۸۴

۳-۶-۴- طرح کلی پروسه طراحی اولیه ..... ۸۶

۴-۶-۴- محاسبات فرم بسته نیروی *Heave* و کشش تندون ..... ۸۸

۷-۴- تخمین های وزن *TLP* ها ..... ۹۲

۱-۷-۴- کلیات ..... ۹۳

۲-۷-۴- تخمین وزن *lightship* ..... ۹۵

۳-۷-۴- بار متغیر ..... ۹۷

۸-۴- سازه بدنه *TLP* ..... ۹۷

۱-۸-۴- کلیات ..... ۹۷

۲-۸-۴- مقاومت موضعی *TLP* ها ..... ۹۸

۳-۸-۴- مقاومت کلی *TLP* ها ..... ۱۰۱

۹-۴- بدست آوردن معادلات پارامتری آنالیز دینامیکی دو *TLP* مثلثی و مربعی معادل ..... ۱۱۰

۱۱۰	۱-۹-۴- ماتریس سختی
۱۲۱	۲-۹-۴- ماتریس جرم
۱۲۵	۴-۹-۴- ماتریس استهلاک سازه ای
۱۲۵	۵-۹-۴- بردار نیروی هیدرودینامیک
۱۲۷	۶-۹-۴- معادله حرکت
۱۲۷	۷-۹-۴- حل معادله حرکت در حوزه زمانی

### فصل پنجم: مدلسازی کامپیوتری

۱۲۹	۱-۵- مقدمه
۱۳۰	۲-۵- معرفی <i>CAE (Complete ABAQUS Environment)</i>
۱۳۴	۳-۵- واحدها
۱۳۴	۴-۵- مقایسه شیوه های حل <i>Explicit</i> و <i>Implicit</i>
۱۳۵	۵-۵- المان ها
۱۳۶	۱-۵-۵- المان های <i>Beam</i>
۱۳۹	۲-۵-۵- انتخاب المان های <i>Beam</i>
۱۴۰	۶-۵- آنالیز خطی و غیرخطی
۱۴۱	۱-۶-۵- حل مسائل غیرخطی
۱۴۵	۲-۶-۵- وارد کردن هندسه غیر خطی ( <i>Nlgeom</i> ) در یک آنالیز <i>Abaqus</i>
۱۴۷	۷-۵- آنالیز چند گامی
۱۴۷	۸-۵- شیوه های آنالیز در <i>abaqus</i>
۱۴۷	۱-۸-۵- روش های آنالیز <i>General</i>
۱۴۸	۲-۸-۵- روش های آنالیز <i>Linear perturbation</i>
۱۴۹	۹-۵- تعریف قیود در <i>ABAQUS</i>
۱۵۰	۱-۹-۵- استفاده از <i>MPC</i> ها در آنالیز دینامیکی <i>Implicit</i>
۱۵۰	۲-۹-۵- استفاده از <i>MPC</i> های غیرخطی در آنالیز خطی هندسی <i>standard</i>
۱۵۰	۳-۹-۵- المان های <i>Connector</i> در برابر قیود چند نقطه ای
۱۵۱	۱۰-۵- مدول <i>Abaqus/Aqua</i>
۱۵۱	۱-۱۰-۵- روش های موجود برای آنالیز <i>Aqua</i>



- ۱۵۲ ..... ۵-۱۰-۲- تعریف یک مسأله *Aqua* .....
- ۱۶۴ ..... ۵-۱۱-۱- جزئیات مدل‌سازی مدل آزمایشگاهی در *ABAQUS* .....
- ۱۶۴ ..... ۵-۱۱-۱- مشخصات مدل اصلی .....
- ۱۷۰ ..... ۵-۱۱-۲- مراحل مدل‌سازی .....

### فصل ششم: تحلیل *TLP* تحت امواج تصادفی و بررسی و مقایسه نتایج

- ۱۸۸ ..... ۶-۱- مقدمه .....
- ۱۸۸ ..... ۶-۲- آنالیز استخراج فرکانس های طبیعی .....
- ۲۰۳ ..... ۶-۳- آنالیز دینامیکی .....

### فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهاد

- ۲۲۳ ..... ۷-۱- مقدمه .....
- ۲۲۳ ..... ۷-۲- نتیجه گیری کلی .....
- ۲۲۴ ..... ۷-۳- پیشنهادات برای کارهای بعدی .....

## فهرست جداول

- جدول ۴-۱- مجموعه پارامترهای طراحی اولیه سکوی پایه کششی ..... ۸۳
- جدول ۴-۲- وزن *TLP* و گروه های داده *TLP* برای طراحی اولیه ..... ۹۴
- جدول ۵-۱- برخی مشخصات *mini-TLP* آزمایش *Teigen & Niedzwecki (1998)* ..... ۱۶۸
- جدول ۵-۲- تخمین هایی از پیرودهای طبیعی *mini-TLP* از آزمایش *free Decay* ..... ۱۶۹
- جدول ۵-۳- مشخصات رایزرها و تندون ها مبتنی بر آزمایشات مدل ..... ۱۶۹
- جدول ۵-۴- ضرایب هیدرودینامیکی اجزاء *mini-TLP* ..... ۱۷۰
- جدول ۵-۵- مشخصات مصالح اجزاء *mini-TLP* ..... ۱۷۲
- جدول ۵-۶- مشخصات هندسی جداره مقاطع اجزاء *mini-TLP* ..... ۱۷۲
- جدول ۶-۱- مقایسه پیرودهای طبیعی آنالیز با پیرودهای طبیعی آزمایش ..... ۱۸۸
- جدول ۶-۲- پیرودها و فرکانس های طبیعی *mini-TLP* ..... ۱۸۹
- جدول ۶-۳- مقایسه مقادیر پیش کشیدگی اولیه دو مدل ..... ۲۰۱
- جدول ۶-۴- مقایسه پاسخ حرکتی و کشش های *mini-TLP* آزمایش با مدل *Abaqus* ..... ۲۱۰
- جدول ۶-۵- مقایسه مشخصات *TLP* مربعی و *TLP* مثلثی معادلش ..... ۲۱۱
- جدول ۶-۶- داده های هیدرودینامیک مربوط به ارزیابی نیروی موج ..... ۲۱۳
- جدول ۶-۷- پاسخ کوپله *surge* مدل های *TLP* (بر حسب متر) ..... ۲۱۴
- جدول ۶-۸- پاسخ کوپله *heave* مدل های *TLP* (بر حسب متر) ..... ۲۱۷
- جدول ۶-۹- پاسخ کوپله *pitch* مدل های *TLP* (بر حسب رادیان) ..... ۲۲۰
- جدول ۶-۱۰- میزان افزایش پاسخ حداکثر *surge* نسبت به افزایش ارتفاع موج تابشی ..... ۲۲۳
- جدول ۶-۱۱- میزان افزایش پاسخ حداکثر *heave* نسبت به افزایش ارتفاع موج تابشی ..... ۲۲۳
- جدول ۶-۱۲- میزان افزایش پاسخ حداکثر *pitch* نسبت به افزایش ارتفاع موج تابشی ..... ۲۲۳
- جدول ۶-۱۳- متوسط درصد کاهش پاسخ *TLP* مثلثی نسبت به پاسخ *TLP* مربعی معادلش ..... ۲۲۵

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- تقسیم بندی سکوه‌های فراساحلی ..... ۴
- شکل ۲-۲- درجات آزادی سکوی پایه کششی ..... ۵
- شکل ۳-۲- اولین ایده سکوی پایه کششی ..... ۶
- شکل ۴-۲- سکوه‌های پایه کششی ساخته شده تا سال ۲۰۰۴ ..... ۷
- شکل ۵-۲- اجزای سکوی پایه کششی ..... ۸
- شکل ۶-۲- سکوی پایه کششی *Prince* ..... ۱۴
- شکل ۷-۲- سکوی مربعی ..... ۱۴
- شکل ۸-۲- ایده سکوی پایه کششی *SeaStar* ..... ۱۵
- شکل ۹-۲- *Typhoon*، یک سکوی *SeaStar* ..... ۱۶
- شکل ۱۰-۲- نمای پرسپکتیو از یک سکوی فراساحل ..... ۱۷
- شکل ۱۱-۲- پلان فوقانی یک *TLP* بر فراز یک قالب چاه ..... ۱۸
- شکل ۱۲-۲- پلان فوقانی یک *TLP* بر فراز یک قالب چاه ..... ۱۹
- شکل ۱۳-۲- شمع کوبیده شده به کمک قالب شمع کوبی ..... ۱۹
- شکل ۱۴-۲- اتصال مستقیم تندون به سوکت ..... ۱۹
- شکل ۱۵-۲ و ۱۶- حالت های اتصال تندون ها به شمع ها ..... ۲۰
- شکل ۱۷-۲- یک قالب واحد بدون نیاز به تغییر موقعیت مجدد ..... ۲۰
- شکل ۱۸-۲- مرحله یدک کشی (پلان) ..... ۲۶
- شکل ۱۹-۲- مرحله یدک کشی (نمای جانبی) ..... ۲۷
- شکل ۲۰-۲- تجهیزات اتصال تندون ها به بدنه ..... ۲۷
- شکل ۲۱-۲- اتصال تندون ها به بستر به کمک شناورهای پشتیبان ..... ۲۸
- شکل ۲۲-۲- جزئیات پایین بردن تندون / جزئیات دستگاه های کشش ..... ۲۸
- شکل ۲۳-۲- اتصال تندون ها به طناب های پایین برنده ..... ۲۹
- شکل ۲۴-۲- عبور تندون ها از میان غلاف های بدنه ..... ۲۹
- شکل ۲۵-۲- *TLP* در حالت آبخور *Lock-off* ..... ۳۰
- شکل ۱-۳- فرکانس طبیعی *surge* سکوی ثابت و تطبیقی نسبت به طیف موج و باد ..... ۴۴
- شکل ۲-۳- پاسخ های اولیه سکوی پایه کششی ..... ۴۵


شکل ۳-۳- ضریب اینرسی پیدا شده توسط معادل قرار دادن حل *MacCamy-Fuchs* با ترم اینرسی *WFE*

- ۵۷.....
- شکل ۳-۴- راهنمای انتخاب روش محاسبه نیروی موج ..... ۵۸.....
- شکل ۴-۱- روند طراحی کلی سکوی پایه کششی ..... ۶۰.....
- شکل ۴-۲- معرفی *Set down*، *Offset* و *Air gap*..... ۶۱.....
- شکل ۴-۳- آنالیز کوپله سکوی پایه کششی ..... ۶۳.....
- شکل ۴-۴- روش مجزا، آنالیز غیر کوپله سکوی پایه کششی ..... ۶۴.....
- شکل ۴-۵- مدل المان محدود *TLP* ..... ۶۵.....
- شکل ۴-۶- مدل کوپله برای آنالیز پاسخ های *TLP* و تندون ..... ۶۶.....
- شکل ۴-۷- مقایسه بین مدل های خطی و غیرخطی ..... ۶۶.....
- شکل ۴-۸- مدل برای بررسی اندرکنش سکو / تندون ..... ۶۷.....
- شکل ۴-۹- مدل های جایگزین آنالیز دینامیکی تندون ..... ۶۸.....
- شکل ۴-۱۰- نمایش انعطاف پذیری الاستیک و هندسی ..... ۶۹.....
- شکل ۴-۱۱- روش ها برای آنالیز دینامیکی تنش تندون برای حالت های مختلف دریا ..... ۷۱.....
- شکل ۴-۱۲- مکانیک تندون *TLP* ..... ۷۲.....
- شکل ۴-۱۳- سیستم های بار موج وارد بر *TLP* ..... ۷۸.....
- شکل ۴-۱۴- مدل طراحی اولیه *TLP* ..... ۸۰.....
- شکل ۴-۱۵- بدنه های با پنتون های حلقوی ..... ۹۸.....
- شکل ۴-۱۶- نمونه فشار خارجی ستون *TLP* ..... ۹۹.....
- شکل ۴-۱۷- بارگذاری متداول هیدرواستاتیک برای یک *TLP* ..... ۱۰۱.....
- شکل ۴-۱۸- بارگذاری *Global*- بار گرانش / شناوری ..... ۱۰۲.....
- شکل ۴-۱۹- بارگذاری *Global* - برش و خمش بار گرانش / شناوری ..... ۱۰۳.....
- شکل ۴-۲۰- بارگذاری *Global* - الگوی تغییر شکل بار گرانش / شناوری ..... ۱۰۳.....
- شکل ۴-۲۱- بارگذاری *Global* - حالت *Node Centered Wave* ..... ۱۰۴.....
- شکل ۴-۲۲- برش و خمش حالت *Node Centered Wave* ..... ۱۰۴.....
- شکل ۴-۲۳- الگوی تغییر شکل حالت *Node Centered Wave* ..... ۱۰۴.....
- شکل ۴-۲۴- بارگذاری *Global* - موج مایل با تاج مرکزی ..... ۱۰۵.....

- شکل ۴-۲۵- نیروهای ستون در حالت موج مایل با تاج مرکزی ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲۶- الگوی تغییرشکل پنتون در حالت موج مایل با تاج مرکزی ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲۷- خمش صفحه قائم ناشی از وج مایل با تاج مرکزی - مؤلفه مربوط به پنتون ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۸- خمش صفحه قائم ناشی از وج مایل با تاج مرکزی - مؤلفه مربوط به خمش ستون ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۲۹- المان های بدنه به عنوان مؤلفه های یک *TLP Hull* ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۰- سکوی پایه کششی مربعی (چهارپایه) ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۳۱- پیکربندی مثلثی سکوی پایه کششی ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۳۲- درجات آزادی سکو ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۳- پلان سکو در تراز *hull* ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۴- نمای شماتیک پیکربندی مثلثی سکوی پایه کششی ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۵- جابجایی در درجه آزادی *surge* ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۳۶- جابجایی در درجه آزادی *sway* ..... ۱۱۵
- شکل ۴-۳۷- جابجایی در درجه آزادی *roll* ..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۸- جابجایی در درجه آزادی *pitch* ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۳۹- جابجایی در درجه آزادی *yaw* ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۴۰- پلان و نمای *TLP* مربعی ..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴۱- جابجایی در درجه آزادی *surge* ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱- مراحل یک آنالیز کامل *ABAQUS* ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۲- ترتیب مدول ها در *ABAQUS* ..... ۱۳۱
- شکل ۵-۳- مدل درختی *ABAQUS* ..... ۱۳۳
- شکل ۵-۴- مقایسه هزینه حل حل *Explicit* و *Implicit* ..... ۱۳۵
- شکل ۵-۵- نقاط انتگرال گیری در المان *B32* ..... ۱۳۸
- شکل ۵-۶- جهت یابی مقطع عرضی المان های *Beam* ..... ۱۳۸
- شکل ۵-۷- منحنی غیر خطی بار- تغییرمکان ..... ۱۴۰
- شکل ۵-۸- نیروهای خارجی و داخلی در یک شبیه سازی ..... ۱۴۱
- شکل ۵-۹- روش تکرار نیوتن - رافسون در *ABAQUS/Standard* ..... ۱۴۲
- شکل ۵-۱۰- انجام تکرارهای بیشتر برای همگرایی حل ..... ۱۴۴

- شکل ۵-۱۱- تصویر *mini-TLP* طی انجام آزمایشات مدل در حوضچه *OTRC* ..... ۱۶۵
- شکل ۵-۱۲- آرایش تندون ها و رایزرهای مدل *mini-TLP* ..... ۱۶۶
- شکل ۵-۱۳- ترسیم شماتیک از آرایش نسبی تندون ها و رایزرها ..... ۱۶۶
- شکل ۵-۱۴- ترسیم شماتیک از هندسه *Hull* ..... ۱۶۷
- شکل ۵-۱۵- دستگاه مختصات فرضی و جهت تابش امواج ..... ۱۶۷
- شکل ۵-۱۶- چند نما از مدل تکمیل شده *mini-TLP* در *ABAQUS* ..... ۱۷۶
- شکل ۵-۱۷- سری های زمانی تراز موج تابشی (بازه ۰ تا ۳۰۰۰ ثانیه) ..... ۱۸۱
- شکل ۵-۱۸- سری های زمانی تراز موج تابشی (بازه ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ ثانیه) ..... ۱۸۲
- شکل ۵-۱۹- سری های زمانی تراز موج تابشی (بازه ۶۰۰۰ تا ۹۰۰۰ ثانیه) ..... ۱۸۳
- شکل ۵-۲۰- سری های زمانی تراز موج تابشی (بازه ۹۰۰۰ تا ۱۰۸۰۰ ثانیه) ..... ۱۸۴
- شکل ۵-۲۱- طیف *JONSWAP* استفاده شده برای تولید امواج نامنظم ..... ۱۸۴
- شکل ۶-۱ تا ۶-۱۷- اشکال مد متداول *TLP* آزمایش از آنالیز استخراج فرکانس ..... ۱۹۱
- شکل ۶-۱۸- پیش کشیدگی اولیه تندون ها طی گام استاتیک : (الف) در بستر دریا (ب) در سکو .... ۲۰۲
- شکل ۶-۱۹- پیش کشیدگی اولیه رایزرها طی گام استاتیک : (الف) در بستر دریا (ب) در سکو ..... ۲۰۲
- شکل ۶-۲۰- پاسخ *Heave* سه ساعته *mini-TLP* ..... ۲۰۳
- شکل ۶-۲۱- پاسخ *Surge* سه ساعته *mini-TLP* ..... ۲۰۴
- شکل ۶-۲۲- پاسخ *Pitch* سه ساعته *mini-TLP* ..... ۲۰۵
- شکل ۶-۲۳- پاسخ سه ساعته کشش در تندون شماره ۱ ..... ۲۰۶
- شکل ۶-۲۴- پاسخ سه ساعته کشش در رایزر شماره ۱ ..... ۲۰۷
- شکل ۶-۲۵- پاسخ حالت پایدار سه ساعته *Heave* سکو ..... ۲۰۸
- شکل ۶-۲۶- پاسخ حالت پایدار سه ساعته *Surge* سکو ..... ۲۰۸
- شکل ۶-۲۷- پاسخ حالت پایدار سه ساعته *Pitch* سکو ..... ۲۰۹
- شکل ۶-۲۸- پاسخ حالت پایدار سه ساعته کشش در تندون شماره ۱ ..... ۲۰۹
- شکل ۶-۲۹- پاسخ حالت پایدار سه ساعته کشش در رایزر شماره ۱ ..... ۲۱۰
- شکل ۶-۳۰- مدل *ABAQUS* دو *TLP* معادل، با هندسه بدنه متفاوت ..... ۲۱۲
- شکل ۶-۳۱- مقایسه پاسخ کوپله *surge* : ارتفاع موج ۸، ۱۰ و ۱۲ متر، پریود موج ۱۵ ثانیه ..... ۲۱۵
- شکل ۶-۳۲- مقایسه پاسخ کوپله *surge* : ارتفاع موج ۸، ۱۰ و ۱۲ متر، پریود موج ۲۰ ثانیه ..... ۲۱۶

- شکل ۳۳-۶- مقایسهٔ پاسخ کوپلهٔ *heave*: ارتفاع موج ۸، ۱۰ و ۱۲ متر، پریود موج ۱۵ ثانیه ..... ۲۱۸
- شکل ۳۴-۶- مقایسهٔ پاسخ کوپلهٔ *heave*: ارتفاع موج ۸، ۱۰ و ۱۲ متر، پریود موج ۲۰ ثانیه ..... ۲۱۹
- شکل ۳۵-۶- مقایسهٔ پاسخ کوپلهٔ *pitch*: ارتفاع موج ۸، ۱۰ و ۱۲ متر، پریود موج ۱۵ ثانیه ..... ۲۲۱
- شکل ۳۶-۶- مقایسهٔ پاسخ کوپلهٔ *pitch*: ارتفاع موج ۸، ۱۰ و ۱۲ متر، پریود موج ۲۰ ثانیه ..... ۲۲۲
- شکل ۳۷-۶- میزان افزایش پاسخ حداکثر *surge* نسبت به افزایش ارتفاع موج تابشی ..... ۲۲۴
- شکل ۳۸-۶- میزان افزایش پاسخ حداکثر *heave* نسبت به افزایش ارتفاع موج تابشی ..... ۲۲۴
- شکل ۳۹-۶- میزان افزایش پاسخ حداکثر *pitch* نسبت به افزایش ارتفاع موج تابشی ..... ۲۲۴



فصل اول

---

کلیات



## ۱-۱- مقدمه

با پیشروی صنعت نفت به نواحی عمیق تر، به دلیل افزایش هزینه سازه های فراساحل ثابت با عمق آب، جهت توسعه اقتصادی میدانهای آب عمیق، مفاهیم جدید ساخت سکو و تکنولوژی های استخراج، حفاری و تولید ضروری هستند. لذا توجه قابل ملاحظه ای به استفاده از سازه های تطبیقی، مخصوصاً سکوهایی پایه کششی (*Tension Leg Platforms*)، برای تولید نفت در دریای عمیق، جهت تأمین نیاز فزاینده به نفت و گاز، صورت گرفته است. مزیت های دیگر *TLP* ها همچون قابلیت استفاده مجدد، قابلیت انتقال آسان بواسطه اتمام نفت میدان نفتی و امکان نصب، توسعه و گسترش سریع آن، این سکو را جذاب تر ساخته است.

ارزیابی پاسخهای دینامیکی غیرخطی سازه تحت بار امواج تصادفی، با دقت بالا، یکی از فاکتورهای مهم برای طراحی منطقی، قابل اعتماد و بهینه *TLP* ها می باشد. از طرفی، نیاز به ابزارهای محاسباتی کامپیوتری، برای آنالیز *Global* سیستمهای شناور آب عمیق، به دو دلیل بیشتر حس می شود:

۱. آب عمیق به خودی خود چالشهای تکنیکی جدیدی را که باید کشف، و در طراحی ها لحاظ شوند، معرفی می کند.

۲. برای اعماق آب ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر، تأیید و تصدیق آزمایش مدل با مدلسازی اعماق واقعی، سخت یا غیرممکن می شود و لذا استفاده ترکیبی از ابزار آنالیزی قابل اطمینان، ضروری می شود.

عملکرد *TLP* در برابر بارگذاری ها، تحت اثر عواملی چون پیش کشیدگی تندونها و رایزرها، ارتفاع تندونها و رایزرها، وزن، هندسه و شناوری بدنه و وزن عرشه می باشد. بارگذاری موج به نحوی است که اکثر بار حاصل از آن بر بدنه وارد می شود و بنابراین چگونگی محاسبه بار ناشی از موج روی سازه و اندرکنش آب و سازه از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین اندرکنش دینامیکی کوپله بین بدنه یک سکوی شناور و رایزرها و تندونهایش، نقش مهمی را در حرکات *Global* سکو و بارهای کششی در تندونها و رایزرها بازی می کند. پس از روش انتخابی محاسبه بار موج، نحوه مدل کردن و انتخاب نوع تحلیل حائز اهمیت است.

رویکرد " آنالیز کاملاً کوپله " که در آن پاسخ های شناور در حوزه زمان با رفتار دینامیکی المانهای لاغر مثل رایزرها، مهارها و تندونها کوپل شده اند، ابزار مفیدی برای *handling* مسائل آب عمیق *TLP*هاست. این رویکرد، یک مدلسازی مناسبتر از تمام اثرات اندرکنش مربوطه در مقایسه با آنالیز

"متداول و سنتی" بدست می دهد، آنالیزی که در آن شناور با حجمی بزرگ، به صورت غیرکوپله از المانهای لاغر در نظر گرفته می شود.

از آنجا که اثرات غیر خطی نمی توانند به آسانی در آنالیز حوزه فرکانسی در نظر گرفته شود، اما در عوض در آنالیز حوزه زمانی با تکنیک های انتگرال گیری عددی بهتر *handle* می شوند، و از طرفی بدلیل استفاده از تاریخچه زمانی موج، از تحلیل میدان زمانی بهره گرفته شد.

### ۱-۲- هدف تحقیق

با توجه به عمق زیاد دریای خزر و توجه کم صورت گرفته در دانشگاه های کشور، مدلسازی و بررسی رفتار و طراحی *TLP* ها، هرچه بیشتر ضروری بنظر می رسد. تعریف موج تصادفی به نرم افزار *ABAQUS* با کدنویسی *Fortran*، در نظر گرفتن اثرات کوپل شدگی دینامیک رایزرها و تندونها با دینامیک بدنه سکو، صحت سنجی دقیق مدلسازی نرم افزاری با نتایج آزمایشگاهی و بررسی اثر شکل بدنه (*Hull*) روی پاسخ دینامیک این سکوها، از جمله تلاشهایی است که در شناخت هرچه بهتر و بیشتر رفتار سازه ای و دینامیکی *TLP* ها در این تحقیق دنبال خواهد شد. چنانچه کیفیت صحت سنجی ها مطلوب باشد، مدل کامپیوتری حاصل از این مطالعه، ابزار قدرتمندی خواهد بود که مسیر مطالعات مرتبط با رفتار دینامیکی *TLP* ها را هموار می سازد.

### ۱-۳- روش انجام تحقیق

مدل آزمایشگاهی معتبری از یک *mini-TLP* در نرم افزار *ABAQUS* مدلسازی شد. تاریخچه زمانی سه ساعته موج تصادفی با استفاده از سوپریوزیشن مولفه های خطی موج منظم، با بهره گیری از طیف *Jonswap* (مطابق با اطلاعات آزمایش) به کمک کدنویسی *Fortran* تحت یک *Subroutine* به *ABAQUS* معرفی و شناسانده شد. صحت سنجی مدلسازی از طریق مقایسه نتایج آنالیز نرم افزاری با مقادیر آزمایشگاهی، در سه مرحله، به شرح زیر صورت گرفت:


۱. پیش کشیدگی تندونها و رایزرها در حالت استاتیک.
۲. پریودهای طبیعی بدست آمده از آنالیز استخراج فرکانس، بخصوص برای درجات آزادی *Surge*، *Yaw* و *Sway*.

۳. جابجائی های ۶ درجه آزادی و کشش های دینامیک حداکثر و حداقل تندونها و رایزرها از آنالیز دینامیکی.

کیفیت مناسب مقایسه ها، دقت خوب مدلسازی را مشخص ساخت. از میان عوامل مختلف، اثر شکل بدنه روی پاسخ مدنظر قرار گرفت و رفتار دینامیک دو *TLP* معادل، یکی با بدنه مربعی و دیگری با بدنه مثلثی مقایسه شد.

#### ۱-۴- فصل بندی پایان نامه

در این تحقیق در فصل دوم به مرور منابع پیشین، تاریخچه *TLP* و معرفی کلی آن شامل فلسفه طراحی و ساخت *TLP* ها، اجزای *TLP* و وظایف آنها، روشها و مراحل نصب پرداخته شد. در فصل سوم ضوابط طراحی محیطی و توصیه های *API* برای سکوهای پایه کششی مورد بررسی قرار گرفت. فصل چهارم به تحلیل هیدرودینامیکی و مکانیک *TLP*، معادلات حرکت *TLP* های با بدنه مربعی و مثلثی، اصول مدلسازی و انواع تحلیل اختصاص یافته است. در فصل پنجم، مشخصات *TLP* آزمایش شده، علت انتخاب نرم افزار *ABAQUS* و بیان جزئیات کاملی از پروسه مدلسازی *TLP* و همچنین سری های زمانی موج نامنظم تولید شده توسط کد *Fortran* که در آنالیز دینامیکی *ABAQUS* بکار رفته اند، ارائه شده اند. در فصل ششم مقایسه نتایج آنالیز *TLP* تحت امواج تصادفی با اندازه گیری های آزمایشگاهی جهت صحت سنجی مدلسازی صورت گرفت و پس از تأیید مدلسازی کامپیوتری، از آن برای مقایسه رفتار دینامیک *TLP* های مربعی و مثلثی، تحت امواج منظم استفاده شد. در نهایت در فصل هفتم نتایج تحقیق که به شناخت هرچه بهتر رفتار *TLP* ها و طراحی دقیق تر آنها کمک می کند، ارائه شد.



فصل دوم

---

# معرفی کلی TLP