

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده عمران - پردیس دانشکده های فنی

بررسی آزمایشگاهی رفتار غیرخطی

سکوهای دریایی

نگارش:

محمدرضا هنرور

استاد راهنما: دکتر محمدرضا بهاری

استاد مشاور: دکتر بهروز عسگریان

رساله برای دریافت درجه دکتری

دورشته مهندسی عمران - سازه های دریایی

فروردین ۱۳۸۲

۴۲۷۵۷

مختص اطلاع رسانی است  
موسسه انتشارات سیدالشهدا

دانشگاه تهران

دانشکده عمران - پردیس دانشکده های فنی

بررسی آزمایشگاهی رفتار غیر خطی  
سکوهاى دریایی

نگارش: محمدرضا هنرور

استاد راهنما: دکتر محمدرضا بهاری

استاد مشاور: دکتر بهروز عسگریان

رساله برای دریافت درجه دکتری

در

رشته مهندسی عمران - سازه های دریایی

فروردین ۱۳۸۲

## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب محمد رضا هنرور تأیید می کند که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک علمی هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد رضا هنرور

امضا:  ۸۷، ۱، ۲۹

## چکیده

امروزه توسعه روزافزون مصرف انرژی، نه تنها بهره برداری از حوزه های نفت و گاز موجود در مناطق خشکی، بلکه لزوم استفاده از منابع انرژی موجود در حوزه های فراساحل را نیز ایجاب می نماید. در همین راستا، دسترسی به راهکارهای واقع گرایانه برای تحلیل و طراحی سکوهای دریائی به عنوان عوامل اصلی در بهره برداری از منابع نفت و گاز حوزه های فراساحل از نخستین اولویت ها خواهد بود. بررسی رفتار لرزه ای سکوهای دریائی در مقابل زلزله ازارکان اصلی در تحلیل و طرح سکوهای دریائی در مناطق لرزه خیز می باشد. در زلزله های نادر و شدید سطح شکل پذیری که هدف اصلی عبارت از حفظ انسجام و پایداری کلی سکو خواهد بود و بروز رفتارهای غیرخطی اعضا و اتصالات سازه ای، مجاز شمرده میشود، رفتار غیرخطی سکو، هم ناشی از رفتار غیرخطی خاک و شمع و هم ناشی از رفتار خودجکت می باشد. در این رساله، بطور خاص، مدل رفتار غیرخطی قاب فلزی جکت و آن قسمت از شمع که بالای کف دریا می باشد و نیز اندرکنش واقعی آنها در آزمایشگاه، تحت رفت و برگشت های فزاینده تراز عرشه، بررسی گردیده است. در سالیان گذشته اقداماتی در این زمینه صورت گرفته بود ولی هیچکدام از این کارها، با اصول سازه های دریایی بخصوص فراساحل تطبیق کامل نداشته اند و اثر شمع بالای خاک و اندرکنش آن با پایه را نادیده انگاشتند، اثر Grouting بررسی نشده و در اثر ساده سازیها، بدون در نظر گرفتن شمع، پایه خود جکت را مستقیماً به زمین مفصل نموده اند. طبیعی است که نتایج آزمایشات این طرح، با ایجاد تصحیح در کارهای گذشته و انطباق بیشتر آنها با شرایط خاص سازه های دریایی بویژه جکتهای، از اعتبار بیشتری برخوردار خواهند بود.

در فاز اول این رساله با استفاده از المان پس کمانشی الیافی در نرم افزار DRAIN (عسگریان-۱۳۸۲)، رفتار هیسترتیک غیرخطی جانبی و نحوه مدلسازی المان پرتال در دو حالت گروت شده و گروت نشده،

مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در سطوح پایین بارگذاری محوری، منحنی های هیسترتیک در دو حالت تطابق کامل دارند ولیکن هرمیزان که بارگذاری محوری افزایش یابد، حالت گروت نشده در مقایسه با گروت شده، بتدریج رفتار بدتری را نشان میدهد.

در فاز دوم، مدل فیزیکی ساده سازی شده از سکوهای دریایی در دو حالت گروت شده و گروت نشده، تحت بارگذاری جانبی از نوع جابجایی شبه استاتیکی عرشه، آزمایش گردیدند و علاوه بر تولید اطلاعات آزمایشگاهی، تأثیر گروت نیز در رفتار سازه بررسی گردید. در حالت گروت شده، سختی جانبی المانهای پرتال (فقط هنگامیکه در ترکیب با مهاربندی ها بصورت یک سیستم عمل میکنند)، و در نتیجه سختی جانبی کل قاب و نیروی اعمال شونده به سازه تحت جابجایی یکسان کل سیستم، بیشتر از حالت گروت نشده بود و مهاربندها در سیکلهای زودتر دچار پارگی و شکست شدند. در این آزمایشات، به منظور اینکه اعضای مهاربندی بر اساس امکانات آزمایشگاه، کنترل کننده طرح نباشند، مشاهده رفتار پرتال خالص و تمرکز بر آنها و یا توجه به محدودیتهای ساخت، Joint-Can ها ساخته نشده و امکان کمانش مهاربندها وجود نداشت.

در فاز سوم، نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیلهای عددی در OPENSEES مقایسه گردید و مدل عددی مورد استفاده برای شبیه سازی رفتار کلی و پاسخهای هر دو قاب، از دیدگاه ماکروسکوپی بخوبی اثبات و تأیید گردید. در فاز نهایی، با کمک اصول مدلسازی عددی تایید شده در فاز قبل، قابهای مورد آزمایش، با شرایط نزدیک تر به شرایط واقعی و با فرض وجود Joint-Can ها، مدل شده و نتایج مهمی حاصل گردید. چنانچه سازه به نحوی ساخته شود که جزئیات اتصال مهاربندی ها رعایت شود و رفتار پس کمانشی آنها محقق گردد، گروت میتواند نقش مثبت اندک خود در افزایش جذب انرژی توسط سازه را ایفا نماید.

## تقدیر

در ابتدا لازم میدانند کمال تشکر را نسبت به خانواده محترم خود، بابت همکاری ارزشمند ایشان ابراز دارد. از حمایتها و زحمات بی دریغ استاد راهنمای طرح، جناب آقای دکتر بهاری و استاد مشاور طرح، جناب آقای دکتر عسگریان، تقدیر می گردد. همچنین راهنمایی های ارزشمند جناب آقای دکتر کیمیایی و پروفیسور S.A.Mahin (استاد دانشگاه برکلی)، شایان تقدیر می باشد.

لازم میدانند از شرکت نفت و گاز پارس (POGC) در خصوص تامین مالی لازم برای پیشبرد این طرح تقدیر نماید. از پشتیبانی همه جانبه و کلان نگر جناب آقای مهندس ترکان، مدیریت عامل وقت، و از زحمات و توجهات ویژه سرکار خانم مهندس خرم، مدیریت محترم واحد پژوهش و توسعه آن شرکت، جناب آقای مهندس پرتقالی و جناب آقای دکتر دقیق، کارشناسان مسؤول این طرح پژوهشی نیز کمال تشکر را دارد.

فاز اصلی انجام آزمایشات در آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن انجام پذیرفت که بدینوسیله از آن مرکز محترم تقدیر می نماید. بخصوص نگرش متعهدانه سرکار خانم دکتر پرهیزگار، معاونت محترم تحقیقات آن مرکز و حمایت فنی و اجرایی جناب آقای دکتر مزروعی سرپرست محترم آزمایشگاه سازه آن مرکز سپاسگزاری میگردد.

در تحلیلهای عددی انجام شده در نرم افزار DRAIN، از کمک جناب آقای مهندس لسانی و در تحلیلهای عددی نرم افزار OPENSEES، از کمک جناب آقای مهندس النجری بهره مند گردیده ام که بدینوسیله از علاقه و بذل توجه این دو بزرگوار نیز تقدیر میگردد.

## فهرست مندرجات

### چکیده

### تقدیر

## فصل اول: آشنایی با سکوهای دریایی و تحلیلهای لرزه ای سکوها

- ۱-۱- مقدمه ۱
- ۲-۱- راهکارهای موجود در تحلیل و طرح لرزه ای سکوهای دریایی ۲
- ۳-۱- ملاحظات آئین نامه ای برای تحلیل و طرح سکوهای دریایی ۳
- ۴-۱- بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی سکوهای دریایی در مقابل زلزله ۵
- ۵-۱- تاریخچه بررسی رفتار غیرخطی پایه سکوهای دریایی در مقابل زلزله ۹
- ۱-۵-۱- رفتار اعضاء جاکت تحت اثر بارهای سطح غیرخطی ۹
- ۲-۵-۱- رفتار اعضاء قاب و مطالعات تجربی ۱۱
- ۳-۵-۱- رفتار اعضاء مهاربندی و مطالعات تجربی ۱۳
- ۴-۵-۱- رفتار پایه های سکوهای ثابت فلزی دریایی و مروری بر مطالعات آزمایشگاهی ۱۵
- ۵-۵-۱- بررسی رفتار پایه های سکو تحت اثر بارهای دینامیکی به صورت آزمایشگاهی ۱۸
- ۶-۱- رفتار سکوهای دریایی حین عملیات نصب ۲۰
- ۷-۱- ضرورت و روش اجرایی طرح ۲۱

## فصل دوم: مطالعه رفتار دینامیکی غیرخطی اجزای سکوها

- ۱-۲- مقدمه ۲۲
- ۲-۲- انواع رفتار غیرخطی در سازه ۲۲
- ۳-۲- رفتار غیرخطی مصالح ۲۳
- ۴-۲- رفتار غیرخطی هندسی ۲۳
- ۵-۲- مروری بر رفتار غیرخطی مصالح اعضاء سازه ای سکوها ۲۴



۲۶	۱-۵-۲ مروری بر رفتار غیرخطی المان های قاب
۲۷	۲-۵-۲ مروری بر رفتار غیرخطی المان های مهاربندی
۲۹	۳-۵-۲ مقایسه رفتار غیرخطی المان های قاب و مهاربندی
۳۰	۶-۲-۶ ارائه یک مدل کاربردی اجزای محدود (ANSYS) و مقایسه آن با نتایج تجربی
۳۱	۱-۶-۲ مدل رفتار المان و مدل رفتار مصالح
	۲-۶-۲ مدل اجزای محدود برای تحلیل غیرخطی روسازه یک سکوی ثابت فلزی و مقایسه نتایج با مدل آزمایشگاهی
۳۸	
۴۵	۷-۲-۷ ارائه یک مدل کاربردی اجزای محدود (DRAIN) و مقایسه آن با نتایج تجربی
۴۵	۱-۷-۲ معرفی المان تیر ستون پس کمانشی الیافی
۴۷	۲-۷-۲ تحلیل اعضاء منفرد با استفاده از المان تیر ستون پس کمانشی الیافی
۵۲	۳-۷-۲ تحلیل غیر خطی سکوهایی ثابت فلزی دریائی تحت اثر بارهای استاتیکی
	۴-۷-۲ تحلیل دینامیکی سکوهایی ثابت فلزی دریائی نمونه با استفاده از المان تیر ستون پس کمانشی الیافی
۵۵	
۶۰	۸-۲-۸ ارائه یک مدل کاربردی اجزای محدود (OPENSEES)
۶۱	۱-۸-۲ اعضاء مهاربندی
۶۳	۲-۸-۲ اعضاء قاب
۶۳	۳-۸-۲ اتصالات
۶۴	۹-۲ مروری بر مدل‌های رفتار غیرخطی شمعهها در مقابل زلزله
۶۴	۱-۹-۲ مقدمه
۶۴	۲-۹-۲ مبانی و اصول اندرکنش لرزه ای خاک-شمع-سازه
۶۵	۳-۹-۲ مروری بر روش های مورد استفاده در تحلیل اندرکنش های لرزه ای
۶۶	۴-۹-۲ مروری بر مطالعات آزمایشگاهی رفتار غیر خطی شمع ها در مقابل زلزله
۶۸	۱۰-۲ جمع بندی

## فصل سوم: تعریف طرح با لحاظ اندرکنش شمع و پایه جکت

۶۹	۱-۳- سیستم سازه ای سکوهاى شابلونى
۷۴	۲-۳- اهداف و ضرورتها
۷۶	۳-۳- دستاوردها
۷۷	۴-۳- روش اجرای طرح

## فصل چهارم: بررسی المان منفرد پرتال (فاز اول آزمایشات)

۷۹	۱-۴- چکیده
۷۹	۲-۴- کلیات تحلیل
۸۱	۳-۴- بررسی آزمایشگاهی رفتارگروت
۸۴	۴-۴- مدلسازی عددی
۹۲	۵-۴- جمع بندی

## فصل پنجم: بررسی آزمایشگاهی قاب سکوها (فاز دوم آزمایشات)

۹۳	۱-۵- مقدمه
۹۴	۲-۵- انجام آزمایشات
۹۴	۱-۲-۵- طراحی قابها
۱۰۲	۲-۲-۵- مشخصات مصالح
۱۰۳	۱-۲-۲-۵- رفتار مکانیکی فولاد مصرفی در لوله ها
۱۰۳	۲-۲-۲-۵- رفتار مکانیکی فولاد در محل اتصال مهاربندها
۱۰۳	۳-۲-۲-۵- رفتار مکانیکی گروت
۱۰۶	۳-۲-۵- ساخت
۱۰۷	۴-۲-۵- آماده سازی برای آزمایش
۱۱۸	۳-۵- رفتار کلی قابها

۱۳۲	۴-۵- رفتار اعضا
۱۳۵	۵-۵- جمع بندی آزمایش
۱۳۶	۶-۵- تحلیل عددی
۱۳۶	۱-۶-۵- خلاصه
۱۳۶	۲-۶-۵- قابهای نمونه
۱۳۶	۳-۶-۵- مدلسازی عددی
۱۴۱	۴-۶-۵- رفتار سیکلی
۱۴۱	۱-۴-۶-۵- شرح اتفاقات
۱۴۳	۲-۴-۶-۵- رفتار هیسترتیک کلی
۱۴۷	۳-۴-۶-۵- Working Load سیکلهای سطح
۱۴۹	۴-۴-۶-۵- نیروی محوری اعضای مهار بندی
۱۵۱	۵-۴-۶-۵- انرژی
۱۵۳	۷-۵- بررسی تأثیر Joint Can ها (به کمک تحلیل عددی)
۱۶۵	۸-۵- جمع بندی

## فصل ششم: جمع بندی رساله و ارائه پیشنهادات

۱۶۶

### منابع

۱۷۴

### پیوستها

۱۷۵

پیوست یک: نمونه نتایج تست کششی لوله ها

۱۷۶

پیوست دو: مراحل ساخت

۱۷۷

پیوست سه: نمونه گزارش تست غیرمخرب جوشها

۱۷۸

### خلاصه به زبان انگلیسی

## فهرست جدولها

### فصل اول

#### فصل دوم

- جدول ۱-۲ ویژگی های رفتار غیرخطی اعضای قاب و اعضای مهاربندی
- جدول ۲-۲ تأثیر اندازه المانها در میزان استهلاك انرژی در اولین چرخه بارگذاری - باربرداری یک عضو قاب
- جدول ۳-۲ مشخصات مقاطع مدل جاکت FRAME-II (Zayas et al-1980b)
- جدول ۴-۲ مقایسه مقادیر فرکانس بر حسب هرترز
- جدول ۵-۲ ضرایب تبدیل کمیت های مدل به کمیت های واقعی در آزمایشات سانترفوز CSP-4/SPI

#### فصل سوم

- جدول ۱-۳ مقاومت متداول مطلوب برای Grout

#### فصل چهارم

#### فصل پنجم

- جدول ۱-۵ فهرست خرید مصالح
- جدول ۲-۵ مشخصات منحنی تنش- کرنش لوله های استفاده شده، تست کشش نمونه های مختلف
- جدول ۳-۵ جابجایی های هدف برای اعمال به عرشه در هر دو قاب

## فهرست شکلها

### فصل اول

- شکل ۱-۱ انواع بارگذاری بر روی سکوه‌های ثابت فلزی دریایی [کیمیایی - ۱۳۸۳]
- شکل ۲-۱ مدل کلی یک سکوی ثابت فلزی دریایی جهت انجام تحلیل غیر خطی [Marshal-1980]
- شکل ۳-۱ منحنی آزمایشگاهی رفتاری یک عضو مهاربندی [Sherman - 1981]
- شکل ۴-۱ منحنی آزمایشگاهی رفتاری یک عضو قاب [Sherman - 1981]
- شکل ۵-۱ منحنی رفتاری یک سری اعضاء قاب [Sherman - 1979]
- شکل ۶-۱ منحنی های هیستریزس آزمایشگاهی برای اعضاء قاب [Sherman - 1976]
- شکل ۷-۱ منحنی آزمایشگاهی رفتاری یک عضو مهاربندی دو سر گیردار [Sherman - 1979]
- شکل ۸-۱ منحنی آزمایشگاهی رفتاری یک عضو مهاربندی دو سر مفصل [Zayas - 1980]
- شکل ۹-۱ منحنی آزمایشگاهی رفتاری یک عضو دو سر گیردار [Zayas - 1980]
- شکل ۱۰-۱ مشخصات قابهای تست شده توسط Zayas
- شکل ۱۱-۱ رفتار هیستریزس قابهای I و II تست شده توسط Zayas
- شکل ۱۲-۱ رفتار آزمایشگاهی قابهای با مهاربندی Chevron با لاغرب متوسط
- شکل ۱۳-۱ رفتار آزمایشگاهی قابهای با مهاربندی Chevron با لاغری کم
- شکل ۱۴-۱ فرم کلی سکوی تست شده
- شکل ۱۵-۱ تاریخچه زمانی تغییر مکان عرشه در آزمایش میز لرزان

### فصل دوم

- شکل ۱-۲ اعضای قاب و اعضاء مهاربندی در سکوه‌های دریایی [Sherman-1981]
- شکل ۲-۲ نحوه عملکرد عمومی المان قاب
- شکل ۳-۲ منحنی هیستریک نیروی جانبی - تغییر مکان جانبی المان قاب

- شکل ۲-۴ نحوه عملکرد عمومی یک المان مهاربندی.
- شکل ۲-۵ منحنی هیسترتیک نیروی محوری - تغییر مکان محوری المان مهاربندی.
- شکل ۲-۶ مدل دو خطی سخت شونده گی سینماتیک
- شکل ۲-۷ نحوه مدل سازی مهاربندها
- شکل ۲-۸ نتایج مشاهدات آزمایشگاهی برای [Zayas et al. 1980 a] Brace-II
- شکل ۲-۹ نتایج محاسباتی مدل اجزای محدود برای [Kayvani-1993] Bruce-II
- شکل ۲-۱۰ میزان انرژی مستهلک شده در چرخه های بارگذاری - باربرداری [Kayvani-1993]
- شکل ۲-۱۱ رفتار سیکلی غیرخطی عضو پرتال
- شکل ۲-۱۲ مشخصات هندسی مدل [Zayas et al. 1980b] FRAME -II
- شکل ۲-۱۳ نحوه مدلسازی و المان بندی [Keyvani-1993] FRAME-II
- شکل ۲-۱۴ بارگذاری اعمالی بصورت نمودار تغییر مکان - زمان بر روی عرشه
- شکل ۲-۱۵ حلقه های هیسترتیک ثبت شده [Frame-II] (چرخه اول تا پنجم)
- [Zayas et al. 1980b]
- شکل ۲-۱۶ حلقه های هیسترتیک محاسبه شده [Frame-II] (چرخه اول تا پنجم)
- [Keyvani 1993]
- شکل ۲-۱۷ حلقه های هیسترتیک ثبت شده [Frame-II] (چرخه ششم تا دهم)
- [Zayas et al]
- شکل ۲-۱۸ حلقه های هیسترتیک محاسبه شده [Frame-II] (چرخه ششم تا دهم)
- [Keyvani 1993]
- شکل ۲-۱۹ مقایسه انرژی مستهلک شده محاسباتی و تجربی در [Frame-II] در چرخه های بارگذاری - باربرداری
- شکل ۲-۲۰ مقایسه حداکثر نیروی فشاری وارد شده محاسباتی و تجربی در [Frame-II] در هر چرخه بارگذاری - باربرداری
- شکل ۲-۲۱ مقایسه حداکثر نیروی کششی وارد شده محاسباتی و تجربی در [Frame-II] در هر چرخه بارگذاری - باربرداری

- شکل ۲-۲۲ منحنی تنش - کرنش تارهای بتنی در المان تیپ E15
- شکل ۲-۲۳ منحنی تنش - کرنش تارهای فولادی در المان تیپ 15
- شکل ۲-۲۴ مشخصات المان تیر ستون پس کمانشی الیافی
- شکل ۲-۲۵ مشخصات المان پس کمانشی تیر ستون الیافی
- شکل ۲-۲۶ رفتار عضو قاب برای نیروهای محوری مختلف
- شکل ۲-۲۷ منحنی تجربی و تئوریک (قطعات محدود) برای عضو قاب با نیروهای محوری مختلف
- شکل ۲-۲۸ مقایسه منحنی رفتار عضو قاب تحت اثر نیروی جانبی رفت و برگشتی  $P=0.16P_y$
- شکل ۲-۲۹ مقایسه منحنی رفتار عضو قاب تحت اثر نیروی جانبی رفت و برگشتی  $P=0.48P_y$
- شکل ۲-۳۰ رفتار پس کمانشی یک عضو دو سر گیردار
- شکل ۲-۳۱ مشخصات هندسی قابهای تست شده
- شکل ۲-۳۲ منحنی نیرو تغییر مکان تجربی نمونه
- شکل ۲-۳۳ نتایج تحلیل با استفاده از المان الیافی
- شکل ۲-۳۴ منحنی نیرو تغییر مکان تجربی نمونه
- شکل ۲-۳۵ نتایج تحلیل با استفاده از المان الیافی
- شکل ۲-۳۶ مشخصات سکو
- شکل ۲-۳۷ تاریخچه اندازه گیری شده تغییر مکان عرشه در زلزله سطح مقاومت
- شکل ۲-۳۸ تاریخچه تحلیلی تغییر مکان عرشه در زلزله سطح مقاومت
- شکل ۲-۳۹ تاریخچه اندازه گیری شده تغییر مکان عرشه در زلزله سطح شکل پذیری
- شکل ۲-۴۰ تاریخچه تحلیلی تغییر مکان عرشه در زلزله سطح شکل پذیری
- شکل ۲-۴۱ تاریخچه اندازه گیری شده تغییر مکان عرشه در زلزله M.C.E
- شکل ۲-۴۲ تاریخچه تحلیلی تغییر مکان عرشه در زلزله M.C.E
- شکل ۲-۴۳ المان تیر ستون غیرخطی دویعدی: سیستم مختصات محلی و گلوبال
- شکل ۲-۴۴ مدل گره بندی ها و تقسیم بندی مقطع عرضی

## فصل سوم

شکل ۱-۳ شمای کلی یک نمونه سکوی چهارپایه و یک سکوی هشت پایه

شکل ۲-۳ شمای کلی قرارگیری یک نمونه جکت چهارپایه بر روی بستر دریا

شکل ۳-۳ شمای کلی جکتهای از نوع دارای Skirt Sleeves

شکل ۴-۳ شمای کلی نصب شمعهای سکوه‌های شابلونی از نوع Pile Through Leg

شکل ۵-۳ شمای کلی اتصال شمع به Leg در تراز Connection Joint و اتصال

Transition Piece به شمع

شکل ۶-۳ شمای کلی اتصال شمع به Leg در تراز Connection Joint با کمک Crown Pieces

شکل ۷-۳ شمای کلی Shim Plate های مستقر در جدار داخل پایه جکت در تراز اعضای افقی جکت

## فصل چهارم

شکل ۱-۴ میکسر استفاده شده در آزمایشگاه ساخت نمونه ها

شکل ۲-۴ نمونه های ساخته شده

شکل ۳-۴ باز شدن سه نمونه جهت عمل آوری در شرایط عادی

شکل ۴-۴ نمونه های عمل آوری شده تحت شرایط محبوس

شکل ۵-۴ منحنی رفتاری تیپ گروت در DRAIN

شکل ۶-۴ منحنی رفتاری تیپ فولاد در DRAIN

شکل ۷-۴ منحنی نمونه اول عمل آمده تحت شرایط محبوس

شکل ۸-۴ منحنی نمونه دوم عمل آمده تحت شرایط محبوس

شکل ۹-۴ منحنی نمونه اول عمل آمده تحت شرایط عادی

شکل ۱۰-۴ منحنی نمونه دوم عمل آمده تحت شرایط عادی

شکل ۱۱-۴ میانگین گیری از نتایج چهار نمونه

شکل ۱۲-۴ برآزش منحنی حاصله با منحنی استاندارد DRAIN و بدست آوردن پارامترهای مورد نیاز آن



- شکل ۴-۱۳ منحنی رفتاری مفروض برای فولاد مصرفی در لوله های شمع و پایه
- شکل ۴-۱۴ منحنی هیسترتیک المان پرتال در حالت گروت نشده به ازای بارهای محوری مختلف
- شکل ۴-۱۵ منحنی هیسترتیک المان پرتال در حالت گروت شده (۱)، به ازای بارهای محوری مختلف
- شکل ۴-۱۶ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۱) و گروت نشده  
(حالت بدون بار محوری)
- شکل ۴-۱۷ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۱) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۱۰٪ حد جاری شدن)
- شکل ۴-۱۸ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۱) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۳۰٪ حد جاری شدن)
- شکل ۴-۱۹ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۱) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۵۰٪ حد جاری شدن)
- شکل ۴-۲۰ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۱) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۸۰٪ حد جاری شدن)
- شکل ۴-۲۱ منحنی هیسترتیک المان پرتال در حالت گروت شده (۲)، به ازای بارهای محوری مختلف
- شکل ۴-۲۲ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۲) و گروت نشده  
(حالت بدون بار محوری)
- شکل ۴-۲۳ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۲) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۱۰٪ حد جاری شدن)
- شکل ۴-۲۴ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۲) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۳۰٪ حد جاری شدن)
- شکل ۴-۲۵ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۲) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۵۰٪ حد جاری شدن)
- شکل ۴-۲۶ مقایسه منحنی هیسترتیک المان پرتال حالت‌های گروت شده (۲) و گروت نشده  
(حالت بار محوری ۸۰٪ حد جاری شدن)

شکل ۴-۲۷ منحنی اندرکنش نیروی محوری - جداکننده نیروی جانبی محاسبه شده

## فصل پنجم

- شکل ۵-۱ مکانیزم انتخابی برای شکست قاب طی مراحل مختلف
- شکل ۵-۲ سیستم مختصات و شماره گذاری گره ها، قاب گروت شده
- شکل ۵-۳ سیستم مختصات و شماره گذاری گره ها، قاب گروت نشده
- شکل ۵-۴ شرایط تکیه گاهی نقاط مختلف قابها حین انجام آزمایش
- شکل ۵-۵ تخمین مقدماتی از تغییرات حداکثر نیروی جانبی درازای جابجایی های مختلف عرشه
- نتایج بدست آمده در SACS Static Collapse، پوش رفتار قابهای گروت شده و گروت نشده
- شکل ۵-۶ نقشه ساخت جکت
- شکل ۵-۷ نقشه ساخت شمعها، Shim Plate ها، Base Plate و عرشه
- شکل ۵-۸ نقشه ساخت سکو، نحوه سوارشدن قطعات مختلف بر روی یکدیگر
- شکل ۵-۹ منحنی تنش-کرنش لوله های استفاده شده براساس نتایج تست کشش
- شکل ۵-۱۰ منحنی تنش-کرنش گروت استفاده شده براساس نتایج تست فشاری
- شکل ۵-۱۱ آرایش و شماره گذاری Load Cell ها و LVDT ها
- شکل ۵-۱۲ آرایش و شماره گذاری کرنش سنج ها
- شکل ۵-۱۳ جابجایی های هدف برای اعمال به عرشه در هر دو قاب
- شکل ۵-۱۴ جزئیات مهار های جانبی (خارج از صفحه) پایه های جکت در تراز مهاربند های افقی
- شکل ۵-۱۵ تعبیه سوراخهای لازم بر روی ورق کف جهت پیچ شدن به تکیه گاه مصلی
- شکل ۵-۱۶ نصب اولیه قاب بر روی تکیه گاهها، کنترل ابعاد مختلف و نهایی نمودن محل خرابها
- شکل ۵-۱۷ نصب کرنش سنجها در محل های مشخص و با شماره های تعیین شده (۷۰ عدد برای هر قاب)
- شکل ۵-۱۸ قرار گیری نهایی قابها، نصب خرابها در محل مشخص
- شکل ۵-۱۹ پوشش قابها با آب آهک، نصب مهار های جانبی و نصب تکیه گاه جک و جک
- شکل ۵-۲۰ پیچ شدن ورق کف به تکیه گاه مفصلی، نمای کنار از جابجایی سنجهای شماره ۱۰ و ۱۲

- شکل ۵-۲۱ نمای کلی از Setup آزمایش، جکهای هیدرولیک و مهارهای جانبی
- شکل ۵-۲۲ نمای نزدیک از جابجایی سنج های ۱۷ تا ۱۹ و کرنش سنجهای ۵۲ تا ۵۹ و ۶۸ تا ۷۱
- شکل ۵-۲۳ نمای کلی از Setup آزمایش، دید از رو برو
- شکل ۵-۲۴ نمای نزدیک از جابجایی سنج شماره ۸
- شکل ۵-۲۵ نمای نزدیک از جابجایی سنج های شماره ۱۱ و ۱۳
- شکل ۵-۲۶ نمای نزدیک از جک مربوط به اعمال بار منفی، نیرو سنج ۱ و جابجایی سنج ۳
- شکل ۵-۲۷ نمای نزدیک از یک کرنش سنج و کابل آن
- شکل ۵-۲۸ نحوه قرارگیری جک اعمال بار منفی، جابجایی سنجهای ۳ و ۶ و ۷، نیرو سنج ۱
- شکل ۵-۲۹ میز کنترل، پردازنده اطلاعات، ترمینال کابلهای کرنش سنجها، LVTD's و نیرو سنجها
- شکل ۵-۳۰ گزارش مرحله به مرحله آزمایشات هردوقاب، درسیکلهای مختلف و برای المانهای مختلف
- شکل ۵-۳۱ شروع پاره شدن اتصال مهاربندی های پایینی، (سیکل ۱۳ درقاب گروت نشده و ۱۱ درگروت شده)
- شکل ۵-۳۲ توسعه بریدگی اتصال مهاربندی های پایینی درسیکلهای بعدی
- شکل ۵-۳۳ توسعه بریدگی اتصال مهاربندی های پایینی درسیکلهای بعدی
- شکل ۵-۳۴ بریدگی کامل اتصال مهاربندی های پایینی (سیکل ۱۷ درقاب گروت نشده و ۱۳ درگروت شده)
- شکل ۵-۳۵ شروع پاره شدن اتصال مهاربندی های بالایی، (سیکل ۲۲ درقاب گروت نشده و ۲۰ درگروت شده)
- شکل ۵-۳۶ توسعه بریدگی اتصال مهاربندی های بالایی درسیکلهای بعدی
- شکل ۵-۳۷ توسعه بریدگی اتصال مهاربندی های بالایی درسیکلهای بعدی
- شکل ۵-۳۸ بریدگی کامل اتصال مهاربندی های بالایی (سیکل ۲۵ درقاب گروت نشده و ۲۴ درگروت شده)
- نمای عمومی تغییر شکل قاب درسیکلهای پرتال (سیکلهای انتهایی) پس از قطع مهاربندها  
(Cy. 30,  $\Delta = -20\text{Cm}$ )
- شکل ۵-۳۹ تغییر زاویه مفصل در آخرین سیکل (Cy. 30,  $\Delta = -20\text{Cm}$ )
- شکل ۵-۴۰ منحنی هیستریک تغییرات نیروی جانبی در برابر جابجایی عرشه (سیکلهای ۱ تا ۳۰)
- شکل ۵-۴۱ منحنی هیستریک تغییرات نیروی جانبی در برابر جابجایی عرشه (سیکلهای ۱ تا ۱۰)
- شکل ۵-۴۲ منحنی هیستریک تغییرات نیروی جانبی در برابر جابجایی عرشه (سیکلهای ۱۱ تا ۲۰)

شکل ۴۳-۵ منحنی هیسترتیک تغییرات نیروی جانبی در برابر جابجایی عرشه (سیکلهای ۲۱ تا ۳۰)

شکل ۴۴-۵ مدل ساده سازی شده پیشنهادی برای رفتار جانبی قابها

شکل ۴۵-۵ تغییرات حداکثر نیروی جانبی، در جهات (+) و (-)، در سیکلهای مختلف جابجایی

شکل ۴۶-۵ تغییرات حداکثر نیروی جانبی میانگین، در سیکلهای مختلف جابجایی

شکل ۴۷-۵ پوش تغییرات هیسترتیک نیروی جانبی در برابر جابجایی عرشه

شکل ۴۸-۵ تغییرات انرژی مستهلک شده توسط قابها در سیکلهای مختلف

شکل ۴۹-۵ تغییرات انرژی تجمعی مستهلک شده توسط قابها

شکل ۵۰-۵ تغییرات سختی قابها طی سیکلهای تعمدی سطح Working Load، در قاب گروت نشده

شکل ۵۱-۵ تغییرات سختی قابها طی سیکلهای تعمدی سطح Working Load، در قاب گروت شده

شکل ۵۲-۵ تغییرات تنش محوری متوسط مهاربندی 101-202، (حداکثر در سیکل)، (گرنش سنجهای ۴۸ تا ۶۳)

شکل ۵۳-۵ تغییرات تنش محوری متوسط مهاربندی 102-201، (حداکثر در سیکل)، (گرنش سنجهای ۶۴-۷۳)

شکل ۵۴-۵ تغییرات تنش محوری متوسط مهاربندی 201-302، (حداکثر در سیکل)، (گرنش سنجهای ۷۸ تا ۸۱)

شکل ۵۵-۵ تغییرات تنش محوری متوسط مهاربندی 202-301، (حداکثر در سیکل)، (گرنش سنجهای ۸۲ تا ۸۷)

شکل ۵۶-۵ آرایش کلی مدل عددی در دو حالت گروت شده و گروت نشده

شکل ۵۷-۵ خلاصه اتفاقات در حین اعمال بار گذاری در دو حالت مدلسازی عددی و فیزیکی

شکل ۵۸-۵ منحنی تغییرات بار اعمالی در مقابل جابجایی عرشه (نتایج آزمایشگاهی)

شکل ۵۹-۵ منحنی تغییرات بار اعمالی در مقابل جابجایی عرشه (نتایج مدلسازی عددی)

شکل ۶۰-۵ منحنی تغییرات بار اعمالی در مقابل جابجایی عرشه (مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی)

شکل ۶۱-۵ تغییرات حداکثر بار اعمالی به عرشه در حالت گروت نشده (مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی)

شکل ۶۲-۵ تغییرات حداکثر بار اعمالی به عرشه در حالت گروت شده (مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی)

شکل ۶۳-۵ افت مقاومت و سختی قاب طی سیکلهای بار گذاری (نتایج مدلسازی عددی)

شکل ۶۴-۵ افت مقاومت و سختی قاب طی سیکلهای بار گذاری (مقایسه نتایج مدلسازی عددی و آزمایشگاهی)

شکل ۶۵-۵ تغییرات حداکثر نیروی محوری متوسط مهاربندی ۱۰۱-۲۰۲ (نتایج آزمایشگاهی)

شکل ۶۶-۵ تغییرات حداکثر نیروی محوری متوسط مهاربندی ۱۰۱-۲۰۲ (نتایج مدلسازی عددی)