

۱۲۱۸۵۸-۹-۳۴۴۸



دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران (سازه)

بررسی خصوصیات دینامیکی تانکهای استوانه ای قائم مهار
شده، با توجه به تغییرات تراز مایع در آنها

توسط:

محمد رضا زرین پور

استاد راهنما:

دکتر محمود رضا ماهری

۱۳۸۸/۸/۶

تعمیرات و مرمت
تعمیرات و مرمت

اسفند ماه ۱۳۸۷

۱۲۱۶۵۸

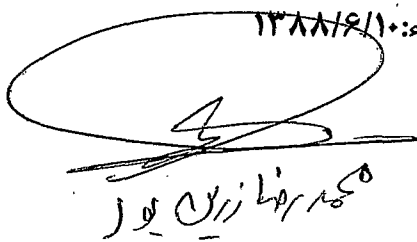
به نام خدا

اظہار نامہ

اینجانب محمدرضا زرین پور (۸۵۰۹۳۹) دانشجوی رشته عمران گرایش سازه. دانشکده مهندسی اظہار می کنم کہ این پایان نامہ حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی کہ از منابع دیگران استفادہ نمودہ ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشتہ ام. همچنین اظہار می کنم کہ تحقیق و موضوع پایان نامہ ام تکراری نیست و تعہد می نمایم کہ بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننمودہ و یا در اختیار غیر قرار ندم. کلیہ حقوق این اثر مطابق با آیین نامہ مالکیت فکری و معنوی متعلق بہ دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: محمدرضا زرین پور

تاریخ و امضاء: ۱۳۸۸/۶/۱۰



محمد رضا زرین پور

به نام خدا

بررسی خصوصیات دینامیکی تانکهای استوانه ای قائم مهار شده، با توجه به تغییرات
تراز مایع در آنها

توسط:

محمد رضا زرین پور

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی عمران-گرایش سازه

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمود رضا ماهری، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان (رئیس کمیته).....
دکتر عبدالرسول رنجبران، دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان.....
دکتر محمدرحیم همتیان، دانشیار بخش مهندسی مکانیک.....
اسفند ماه ۱۳۸۷

دستهای پر مهر پدر و مادر دلسوز و عزیزم را می بوسم و صمیمانه این اثر کوچک را، به آنها، و همسر صبورم که چون شمعی فروزان در حالیکه دور از من سختی ها را تحمل می نمود تا مشوق راهم باشد، تقدیم می نمایم.

سپاسگزاری

سپاس بی پایان بر خالق یکتا که به من توانایی بخشید تا خستگی ناپذیر در راستای تحریر پایان نامه تلاش نمایم. اکنون که به یاری خداوند منان این مرحله از تحصیلات خود را پشت سر گذاشتم بر خود واجب می دانم که از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر محمود رضا ماهری، جناب آقای دکتر محمد رحیم همتیان و جناب آقای دکتر عبدالرسول رنجبران که در همه حال همچون مشعلی پرفروغ، راهنمایم بوده اند، تشکر و قدردانی نمایم. موفقیت و بهروزی این بزرگواران را از در گاه خداوند آرزومندم.

چکیده

بررسی خصوصیات دینامیکی تانکهای استوانه ای قائم مهار شده، با توجه به تغییرات تراز مایع در آنها

به وسیله:

محمد رضا زرین پور

پیشرفت تکنولوژی ساخت مخازن، همراه با افزایش حجم و کاهش ضخامت دیواره آنها، موجب افزایش تمایل سیستم به ارتعاش در اثر نیروهای دینامیکی با لایحه زلزله شده است. از آنجا که اینگونه مخازن، در هر شرایطی همواره بطور کامل پر از مایع نیستند، لذا بررسی خصوصیات دینامیکی آنها، با توجه به تغییرات تراز مایع امری ضروری به نظر می رسد. در این تحقیق به منظور بررسی این اثر، سه نمونه مخزن واقعی با نسبت های ارتفاع به قطر متفاوت در پنج تراز مختلف مایع (خالی از مایع، 25٪، 50٪، 75٪ و 100٪ ارتفاع دیواره) توسط نرم افزار عناصر محدود ANSYS مدل شده است. در این مدل سازی، مایع درون مخازن، آب در نظر گرفته شده و مدل سازی مایع با استفاده از دیدگاه لاگرانژین صورت گرفته و برای آن خصوصیات از جمله دانسیته جرمی، مدول بالک و ویسکسیته در نظر گرفته شده است. لازم به یادآوری است که مخازن مورد نظر توسط میل مهارهایی به تکیه گاهشان مهار شده اند لذا در مدل سازی، این مساله با مقید کردن پای دیواره مد نظر واقع شده است. به منظور تعیین خصوصیات دینامیکی مخازن، مدل ها تحت تحلیل ارتعاش آزاد و تحلیل هارمونیک قرار گرفته اند و در نهایت نتایج بدست آمده از تحلیل با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج شامل فرکانس های طبیعی و مود شکل های متناظر می باشد. از بررسی نتایج، مشخص شد که در مخازنی که بیش از نیمی از ارتفاعشان از مایع پر شده است، مود حاکم تنها مود اول تیر طره نمی باشد بلکه مود های بالاتر نیز سهم قابل توجهی خواهند داشت، علاوه بر آن، از مقایسه فرکانس متناظر با مود حاکم، با آنچه که از رابطه اصلاح شده ولتسوز اساس طراحی در آیین نامه اروپا بدست می آید، این نتیجه حاصل می شود که این رابطه در تراز های پایین مایع دارای تقریب بسیار بالایی است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه
۱	۱-۱- کلیات
۴	۲-۱- معرفی مخازن فولادی مورد استفاده در صنایع نفت و پتروشیمی
۶	۲- مروری بر تحقیقات انجام شده
۵۴	۳- مراحل و روش های انجام کار
۵۴	۱-۳- مقدمه
۵۷	۲-۳- مدلسازی
۵۷	۱-۲-۳- انتخاب المانهای مناسب
۵۸	۲-۲-۳- المانهای مخازن
۵۸	۱-۲-۲-۳- Beam44 (تیر نامتقارن الاستیک)
۶۰	۲-۲-۲-۳- Shell63 (پوسته الاستیک)
۶۱	۳-۲-۳- المان سیال
۶۴	۱-۳-۲-۳- المان Fluid30 (سیال آکوستیک سه بعدی)
۶۷	۱-۱-۳-۲-۳- معادلات حاکم بر یک سیال آکوستیک در تعامل با سازه
۶۹	۲-۱-۳-۲-۳- ساختن ماتریسهای سیال آکوستیک
۷۱	۳-۱-۳-۲-۳- جذب امواج فشار آکوستیک (میرایی در سطح مشترک سازه سیال)
۷۳	۴-۱-۳-۲-۳- تحلیل اندرکنش آب و سازه
۷۶	۲-۳-۲-۳- المان Fluid80 (سیال ذخیره شده سه بعدی)
۷۹	۴-۲-۳- تعریف ثابت های حقیقی (Real Constants)
۸۱	۵-۲-۳- تعریف مقطع عرضی برای المانهای خاص (Section)
۸۲	۶-۲-۳- تعریف خصوصیات مصالح در مدل
۸۴	۷-۲-۳- ساخت هندسه مدل
۸۶	۸-۲-۳- ساخت مدل عددی (مدل المان محدود)
۸۶	۱-۸-۲-۳- مشبندی مدل

۸۹	۳-۲-۸-۲- اعمال شرایط مرزی
۹۶	۳-۳- تحلیل (Analysis)
۱۰۳	۳-۴- دریافت نتایج
۱۰۵	۴- نتایج و بحث
۱۰۵	۴-۱- مقدمه
۱۰۵	۴-۲- کنترل صحت مدل‌سازی (Verification)
۱۰۶	۴-۲-۱- مقایسه با نتایج آزمایشگاهی
۱۰۸	۴-۲-۲- مقایسه با نتایج عددی
۱۱۳	۴-۳- مدل های ساخته شده
۱۱۴	۴-۴- تحلیل ارتعاش آزاد (آنالیز مودال)
۱۱۵	۴-۴-۱- محدوده فرکانس مورد بررسی
۱۱۷	۴-۴-۲- مودهای حاکم (Fundamental Mode)
۱۳۵	۴-۴-۳- بررسی تغییرات فرکانس های طبیعی سیستم برحسب شماره مود محیطی
۱۳۶	۴-۴-۳-۱- بررسی تغییرات فرکانس های طبیعی برحسب شماره مود محیطی، با توجه به تغییرات مود جانبی، برای مخازن مختلف با سطح مشخصی از مایع
۱۴۷	۴-۴-۳-۲- مقایسه تغییرات فرکانس برحسب مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع، در یک مود جانبی مشخص
۱۵۹	۴-۴-۴- بررسی و مقایسه مود شکلها
۲۰۰	۵- نتیجه گیری و جمع بندی مطالب
۲۰۸	مراجع

فهرست جداول

صفحه	عنوان و شماره
۱۸	جدول (۱-۲)- خصوصیات دینامیکی مخزن کوتاه در دو حالت خالی و پر
۱۹	جدول (۲-۲)- خصوصیات دینامیکی مخزن لاغر در دو حالت پر و خالی
۳۶	جدول (۳-۲)- مقادیر λ_m برای تقریب گالرکین
۴۴	جدول (۴-۲)- پریود های طبیعی برای مدل A بدون در نظر گرفتن وضعیت پیشتنیدگی
۴۶	جدول (۵-۲)- پریود های طبیعی سیستم تانک مایع با بکار بردن مدل جرم عمودی با در نظر گرفتن اثر پیش تنیدگی
۴۹	جدول (۶-۲)- پارامتر های مورد نیاز برای تحلیل پوسته با تغییرات ضخامت
۶۶	جدول (۱-۳)- خروجی های المان Fluid30
۷۷	جدول (۲-۳)- خروجی های المان Fluid80
۸۹	جدول (۳-۳)- تعداد المانهای بکار رفته در مخازن
۱۰۷	جدول (۱-۴)- مقایسه فرکانس های بدست آمده در مطالعه اخیر با نتایج مرجع ۸
۱۱۱	جدول (۲-۴)- مقایسه دوره های تناوب بدست آمده از مطالعه اخیر و مرجع ۱۹
۱۱۲	جدول (۳-۴)- مقایسه دوره تناوب مود غالب بدست آمده از مرجع ۱۹ و مطالعه اخیر
۱۱۳	جدول (۴-۴)- مشخصات مدل‌های مورد بررسی
۱۱۵	جدول (۵-۴)- محدوده فرکانسی مورد مطالعه برای هر مدل
۱۲۲	جدول (۶-۴)- مقایسه مود و فرکانس های بنیادی نمونه ۴۰۰۲، با توجه به تراز های مختلف مایع، برای مود اول تیر طره
۱۲۷	جدول (۷-۴)- مقایسه مود و فرکانس های بنیادی نمونه ۴۰۰۱، با توجه به تراز های مختلف مایع، برای مود اول تیر طره
۱۳۲	جدول (۸-۴)- مقایسه مود و فرکانس های بنیادی نمونه ۴۵۰، با توجه به تراز های مختلف مایع، برای مود اول تیر طره
۱۳۳	جدول (۹-۴)- مقایسه فرکانسهای بنیادی بدست آمده در مطالعه اخیر (فقط مود اول تیر طره)، و فرکانس های بدست آمده از رابطه موجود در آیین نامه اروپا
۱۵۴	جدول (۱۰-۴)- بررسی تعداد فرکانس های طبیعی در یک محدوده فرکانسی ثابت، برای مخزن ۴۰۰۲
۱۵۵	جدول (۱۱-۴)- بررسی تعداد فرکانس های طبیعی در یک محدوده فرکانسی ثابت، برای مخزن ۴۰۰۱

- جدول (۴-۱۲) - بررسی تعداد فرکانس های طبیعی در یک محدوده فرکانسی ثابت، برای مخزن ۴۵: ۱۵۵
- جدول (۴-۱۳) - تعداد مودهای تحریک شده برای رسیدن به مود دلخواه، در تراز های مختلف مایع ۱۵۷

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۲	شکل (۱-۱) - حرکت صلب گونه و انعطاف پذیر تانک و فشار های دینامیکی ایجاد شده
۳	شکل (۲-۱) - مود شکل‌های محوری و محیطی
۸	شکل (۱-۲) - تغییر شکل های متقارن ناشی از فشار استاتیکی مایع
۹	شکل (۲-۲) - رابطه بین فرکانس طبیعی و شماره موج n برای استوانه $Z=2000$ در حالت کاملاً پر از آب
۱۰	شکل (۳-۲) - اثرات نسبت پر شدگی I_0 بر روی ارتباط بین فرکانس طبیعی و شماره موج محیطی n : استوانه $Z=500$
۱۱	شکل (۴-۲) - تغییرات مود های ارتعاش با عمق مایع، برای ارتعاش متناظر با کمترین فرکانس در هر مود
۱۲	شکل (۵-۲) - تاثیر نسبت پر شدگی بر روی فرکانس طبیعی و مود شکل های محوری استوانه با $Z=500$ و $n=8$
۱۳	شکل (۶-۲)(a) - تغییرات فرکانس طبیعی و مود شکل های محوری با شماره موج n برای استوانه ی با $Z=500$ و $I_0=0$
۱۳	شکل (۶-۲)(b) - تغییرات فرکانس طبیعی و مود شکل های محوری با شماره موج n برای استوانه ی با $Z=500$ و $I_0=0.25$
۱۴	شکل (۶-۲)(c) - تغییرات فرکانس طبیعی و مود شکل های محوری با شماره موج n برای استوانه ی با $Z=500$ و $I_0=0.5$
۱۴	شکل (۶-۲)(d) - تغییرات فرکانس طبیعی و مود شکل های محوری با شماره موج n برای استوانه ی با $Z=500$ و $I_0=0.75$
۱۵	شکل (۶-۲)(e) - تغییرات فرکانس طبیعی و مود شکل های محوری با شماره موج n برای استوانه ی با $Z=500$ و $I_0=1.0$
۱۵	شکل (۷-۲) - اثر فشار های هیدرواستاتیکی بر روی فرکانس های طبیعی برای پوسته ی کاملاً پر از آب: (a) $Z=500$; (b) $Z=2000$ نمودار خط چین مربوط به در نظر نگرفتن اثر فشار هیدرواستاتیکی
۱۶	شکل (۸-۲) - اثر شرایط سطح مایع بر روی فرکانس طبیعی استوانه با $Z=500$; (a) $I_0=1$; (b) $I_0=0.5$ نمودار خط چین مربوط به سیستم بدون در نظر گرفتن اثر شرایط سطحی مایع
۱۸	شکل (۹-۲) - مود شکل های مختلف مربوط به تانک کوتاه در دو حالت خالی و پر از آب (a) $n=1$; (b) $n=2$; (c) $n=3$

- ۱۹ شکل (۲-۱۰) - اشکال مختلف مربوط به مود های محیطی تانک کوتاه در دو حالت خالی و پر از آب (نتایج آزمایشگاهی)
- ۱۹ شکل (۲-۱۱) - شکل مود های مختلف مربوط به تانک لاغر در دو حالت خالی و پر از آب
(a) $n=1$; (b) $n=2$; (c) $n=3$
- ۲۰ شکل (۲-۱۲) - فرکانس های طبیعی مختلف مربوط به تانک لاغر با توجه به تراز آب
- ۲۳ شکل (۲-۱۳) - تابع پاسخ فرکانسی اندازه گیری شده برای تانک خالی (b) تابع همبستگی
- ۲۳ شکل (۲-۱۴) - مقادیر مختلف توابع فرکانس مربوط به نقطه ای در بالای پوسته، برای ۲۴ مرحله افزایش تدریجی تراز سطح آب
- ۲۴ شکل (۲-۱۵) - فرکانس طبیعی پوسته به عنوان تابعی از تراز سطح آب $\frac{H}{L}$
- ۲۶ شکل (۲-۱۶) - مود شکل های طبیعی محاسبه شده و ثبت هولو گرافی مود های تشدید ارتعاش پوسته برای تراز آبهای مختلف (H/L) برای $m=1$ و $n=4$ (a) $H/L=0$; (b) $H/L=0.478$; (c) $H/L=0.870$ و (d) $H/L=1.00$
- ۲۷ شکل (۲-۱۷) - مود شکل های طبیعی محاسبه شده و ثبت هولو گرافی مود های تشدید ارتعاش پوسته برای تراز آبهای مختلف (H/L) برای $m=2$ و $n=4$ (a) $H/L=0$; (b) $H/L=0.478$; (c) $H/L=1$
- ۲۸ شکل (۲-۱۸) - مود شکل های طبیعی محاسبه شده و ثبت هولو گرافی مود های تشدید ارتعاش پوسته برای تراز آبهای مختلف (H/L) برای $m=2$ و $n=5$ (a) $H/L=0$; (b) $H/L=0.478$; (c) $H/L=0.870$ و (d) $H/L=1.00$
- ۲۹ شکل (۲-۱۹) - مود شکل های طبیعی محاسبه شده و ثبت هولو گرافی مود های تشدید ارتعاش پوسته برای تراز آبهای مختلف (H/L) برای $m=1$ و $n=5$ (a) $H/L=0$; (b) $H/L=0.394$; (c) $H/L=0.478$ و (d) $H/L=0.870$
- ۲۹ شکل (۲-۲۰) - مود شکل های طبیعی محاسبه شده و ثبت هولو گرافی مود های تشدید ارتعاش پوسته برای تراز آبهای مختلف (H/L) برای $m=1$ و $n=6$ (a) $H/L=0$; (b) $H/L=0.394$; (c) $H/L=0.5$ و (d) $H/L=1$
- ۳۰ شکل (۲-۲۱) - مود شکل طبیعی متقارن محاسبه شده ($n=0, m=1$);
(a) $H/L=1, f=1549\text{Hz}$ (b) $H/L=0.697, f=2189\text{Hz}$ (در آزمایش تحریک نشده است)
- ۳۲ شکل (۲-۲۲) - توزیع فشار برای تانکهای صلب و انعطاف پذیر
- ۳۲ شکل (۲-۲۳) - معرفی پارامتر های بکار رفته شده
- ۳۷ شکل (۲-۲۴) - نمودار برای تحلیل فرکانسی
- ۳۹ شکل (۲-۲۵) - تانک مهار شده با تیر های شعاعی (a) برش داخل تانک; (b) سطح مقطع تیر های شعاعی; (c) نما از بالای سقف و تیر های شعاعی
- ۴۰ شکل (۲-۲۶) - مدل های تانک با سقف مخروطی (a) تانک با $\frac{H}{D}=0.95$ (مدل C); (b) $\frac{H}{D}=0.65$ (مدل B); (c) $\frac{H}{D}=0.4$ (مدل A)
- ۴۱ شکل (۲-۲۷) - توزیع فشار ضربه ای دور تا دور محیط تانک: (a) توزیع محیطی (b) مولفه ی فشار در جهت تحریک
- ۴۲ شکل (۲-۲۸) - مدل جرم عمودی در طول ارتفاع استوانه

- شکل (۲-۲۹) - مدل جرم عمودی در طول محیط استوانه
- شکل (۲-۳۰) - اولین مود طبیعی برای سیستم تانک مایع (a: مدل A ($n=19, m=1$);
 (b) مدل B ($n=14, m=1$); (c) مدل C ($n=11, m=1$)
- شکل (۲-۳۱) - تغییرات دوره تناوب طبیعی بر حسب n برای $m=1$ و مدل A
- شکل (۲-۳۲) - تغییرات دوره تناوب طبیعی بر حسب n برای $m=1$ و مدل B
- شکل (۲-۳۳) - تغییرات دوره تناوب طبیعی بر حسب n برای $m=1$ و مدل C
- شکل (۲-۳۴) - اولین مود طبیعی برای سیستم تانک مایع با در نظر گرفتن اثر پیش تنیدگی
 (a: مدل A ($n=10, m=1$); (b) مدل B ($n=8, m=1$); (c) مدل C ($n=6, m=1$)
- شکل (۲-۳۵) - تغییرات دوره تناوب طبیعی سیستم تانک مایع بر حسب n برای مدل A با در
 نظر گرفتن اثر پیشتنیدگی و بدون در نظر گرفتن آن. (a) $m=1$; (b) $m=2$
- شکل (۲-۳۶) - تغییرات دوره تناوب طبیعی سیستم تانک مایع بر حسب n برای مدل B با در نظر
 گرفتن اثر پیشتنیدگی و بدون در نظر گرفتن آن. (a) $m=1$; (b) $m=2$
- شکل (۲-۳۷) - تغییرات دوره تناوب طبیعی سیستم تانک مایع بر حسب n برای مدل C با در
 نظر گرفتن اثر پیشتنیدگی و بدون در نظر گرفتن آن. (a) $m=1$; (b) $m=2$
- شکل (۲-۳۸) - پریود های طبیعی برای مدل A بر حسب تابعی از شماره موج محیطی n با و بدون
 در نظر گرفتن شرایط پیشتنیدگی: (a) $R/t_{avg} = 1660 \& 553$ (b) $R/t_{avg} = 332 \& 237$
- شکل (۲-۳۹) - پریود های طبیعی برای مدل C بر حسب تابعی از شماره موج محیطی n با و
 بدون در نظر گرفتن شرایط پیشتنیدگی: (a) $R/t_{avg} = 879 \& 293$ (b) $R/t_{avg} = 176 \& 126$
- شکل (۲-۴۰) - مود بنیادی برای مدل A، با توجه به دیدگاه جرم اضافه شده (a: نمای سه
 بعدی (b) تغییر شکل ایجاد شده در نصف النهار استوانه مربوط به جایجایی ماکزیمم
- شکل (۲-۴۱) - مود بنیادی برای مدل B، با توجه به دیدگاه جرم اضافه شده (a: نمای سه
 بعدی (b) تغییر شکل ایجاد شده در نصف النهار استوانه مربوط به جایجایی ماکزیمم
- شکل (۲-۴۲) - مود بنیادی برای مدل C، با توجه به دیدگاه جرم اضافه شده (a: نمای سه
 بعدی (b) تغییر شکل ایجاد شده در نصف النهار استوانه مربوط به جایجایی ماکزیمم
- شکل (۲-۴۳) - توزیع فشار به همراه بیشترین جایجایی برای مود بنیادی (a: مدل A، (b) مدل C
- شکل (۳-۱) - نمای شماتیک و ابعاد هندسی مخزن 4002. (a) نمای شماتیک مخزن (b) نمایی از
 $\frac{1}{4}$ سقف متکی بر تیر
- شکل (۳-۲) - نمای شماتیک و ابعاد هندسی مخزن 4001. (a) نمای شماتیک مخزن (b) نمایی از
 $\frac{1}{4}$ سقف متکی بر تیر
- شکل (۳-۳) - نمای شماتیک و ابعاد هندسی مخزن 450. (a) نمای شماتیک مخزن (b) نمایی از
 $\frac{1}{4}$ سقف متکی بر تیر
- شکل (۳-۴) - شکل هندسی و مختصات المانی Beam44
- شکل (۳-۵) - هندسه، موقعیت گره ها و سیستم مختصاتی المان Shell63
- شکل (۳-۶) - هندسه، موقعیت گره ها و مختصات المانی مربوط به المان Fluid30

۷۶	شکل (۷-۳) - هندسه، موقعیت گره ها و سیستم مختصاتی المان Fluid80
۷۸	شکل (۸-۳) - نمایی از پنجره Element Types
۷۹	شکل (۹-۳) - نمایی از پنجره Library of Element Type
۸۰	شکل (۱۰-۳) - جزئیات وارد کردن ثابت های حقیقی المان Shell63
۸۲	شکل (۱۱-۳) - پنجره Beam Tool برای تعریف مقطع عرضی تیر
۸۳	شکل (۱۲-۳) - نمایی از پنجره Define Material Model Behavior ، به منظور وارد کردن خصوصیات میکانیکی مصالح
۸۴	شکل (۱۳-۳) - روش وارد کردن مشخصات سازه ای آب
۸۵	شکل (۱۴-۳) - مجموعه ای دستورات گرافیکی موجود در Modeling و زیر دستورات گزینه Create
۸۸	شکل (۱۵-۳) - روند مش زدن تیر های سقف بصورت گام به گام
۹۰	شکل (۱۶-۳) - نمایی از پنجره Couple Coincident Nodes به منظور مدل سازی جابجایی برابر سازه و سیال در سطح مشترک، در جهت درجه آزادی مورد نظر
۹۲	شکل (۱۷-۳) - شرایط مرزی در نظر گرفته شده برای مدل عناصر محدودی تانک - مایع
۹۳	شکل (۱۸-۳) - پنجره Apply (Gravitational) Acceleration ، به منظور وارد کردن شتاب جاذبه
۹۴	شکل (۱۹-۳) - نمایی از مدل المان محدود و مش بندی تانک ۴۰۰۲ به همراه سازه سقف و پوسته آن
۹۵	شکل (۲۰-۳) - نمایی از مدل المان محدود و مش بندی تانک ۴۰۰۱ به همراه سازه سقف و پوسته آن
۹۵	شکل (۲۱-۳) - نمایی از مدل المان محدود و مش بندی تانک ۴۵۰ به همراه سازه سقف و پوسته آن
۹۶	شکل (۲۲-۳) - انواع مختلف تحلیل تعبیه شده، در نرم افزار Ansys
۹۸	شکل (۲۳-۳) - نمایی از پنجره تنظیمات تحلیل استاتیکی و فعال کردن اثرات پیش تنیدگی
۹۹	شکل (۲۴-۳) - نمایی از پنجره تنظیمات تحلیل مودال و فعال کردن اثرات پیش تنیدگی
۱۰۰	شکل (۲۵-۳) - پنجره Harmonic Analysis ، به منظور انجام تنظیمات تحلیل هارمونیک
۱۰۱	شکل (۲۶-۳) - نمایی از پنجره Full Harmonic Analysis
۱۰۱	شکل (۲۷-۳) - پنجره اعمال دامنه فرکانس در تحلیل هارمونیک
۱۰۲	شکل (۲۸-۳) - پنجره ای به منظور وارد کردن پارامتر های میرایی
۱۰۳	شکل (۲۹-۳) - اعمال شرایط مرزی در تحلیل هارمونیک
۱۰۶	شکل (۱-۴) - نمای شماتیک از مدل استوانه ای مورد مقایسه
۱۰۷	شکل (۲-۴) - مدل المان محدود استوانه بکار رفته شده در مرجع ۸
۱۰۸	شکل (۳-۴) - نمایی شماتیک، از تانک مورد مقایسه
۱۰۹	شکل (۴-۴) - مدل المان محدود سقف در نرم افزار Ansys
۱۱۰	شکل (۵-۴) - مدل المان محدود سازه سقف به همراه ستونها و جرم های متمرکز در نرم افزار Ansys
۱۱۰	شکل (۶-۴) - مشخصات هندسی تانک مورد مقایسه

- ۱۱۱ شکل (۷-۴) - مقایسه گرافیکی دوره های تناوب بدست آمده از مطالعه اخیر و مرجع ۱۹
- ۱۱۲ شکل (۸-۴) - ضریب تحریک مود به منظور محاسبه مود غالب
- ۱۱۷ شکل (۹-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۲
برای حالت پر از آب (40021.0)
- ۱۱۸ شکل (۱۰-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۲
ارتفاع مایع، ۷۵٪ ارتفاع دیواره مخزن (40020.75)
- ۱۱۸ شکل (۱۱-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۲
ارتفاع مایع، ۵۰٪ ارتفاع دیواره مخزن (40020.50)
- ۱۱۹ شکل (۱۲-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۲
ارتفاع مایع، ۲۵٪ ارتفاع دیواره مخزن (40020.25)
- ۱۲۰ شکل (۱۳-۴) - تغییرات جابجایی های شعاعی نرمالایز شده تحت اثر فرکانس های تحریک، برای
مدل 40020.25
- ۱۲۱ شکل (۱۴-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۲
برای حالت خالی از مایع (40020.0)
- ۱۲۱ شکل (۱۵-۴) - تغییرات جابجایی های شعاعی نرمالایز شده تحت اثر فرکانس های تحریک، برای
مدل 40020.0
- ۱۲۴ شکل (۱۶-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۱
برای حالت پر از آب (40011.0)
- ۱۲۴ شکل (۱۷-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۱
ارتفاع مایع برابر ۷۵٪ ارتفاع دیواره مخزن (40010.75)
- ۱۲۵ شکل (۱۸-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۱
ارتفاع مایع برابر ۵۰٪ ارتفاع دیواره مخزن (40010.50)
- ۱۲۵ شکل (۱۹-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۱
ارتفاع مایع برابر ۲۵٪ ارتفاع دیواره مخزن (40010.25)
- ۱۲۶ شکل (۲۰-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۱
برای حالت خالی از مایع (40010.0)
- ۱۲۶ شکل (۲۱-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۰۰۱
برای حالت خالی از مایع (40010.0)
- ۱۲۹ شکل (۲۲-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۵۰
برای حالت پر از آب (4501.0)
- ۱۲۹ شکل (۲۳-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۵۰
ارتفاع مایع برابر ۷۵٪ ارتفاع دیواره مخزن (4500.75)
- ۱۳۰ شکل (۲۴-۴) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود بر حسب فرکانس مربوط به تانک ۴۵۰
ارتفاع مایع برابر ۵۰٪ ارتفاع دیواره مخزن (4500.50)

- ۱۳۰ شکل (۴-۲۵) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود برحسب فرکانس مربوط به تانک ۴۵۰
ارتفاع مایع برابر ۲۵٪ ارتفاع دیواره مخزن (4500.25)
- ۱۳۱ شکل (۴-۲۶) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود برحسب فرکانس مربوط به تانک ۴۵۰
برای حالت خالی از مایع (4500.0)
- ۱۳۱ شکل (۴-۲۷) - نمودار تغییرات ضریب مشارکت مود برحسب فرکانس مربوط به تانک ۴۵۰
برای حالت خالی از مایع (4500.0)
- ۱۳۴ شکل (۴-۲۸) - مقایسه فرکانس بنیادی بدست آمده از مطالعه اخیر و رابطه EURO CODE 8
برحسب تراز های مختلف مایع، برای مدل ۴۰۰۲
- ۱۳۴ شکل (۴-۲۹) - مقایسه فرکانس بنیادی بدست آمده از مطالعه اخیر و رابطه EURO CODE 8
برحسب تراز های مختلف مایع، برای مدل ۴۰۰۱
- ۱۳۵ شکل (۴-۳۰) - مقایسه فرکانس بنیادی بدست آمده از مطالعه اخیر و رابطه EURO CODE 8
برحسب تراز های مختلف مایع، برای مدل ۴۵۰
- ۱۳۶ شکل (۴-۳۱) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
مخزن پر از مایع (مدل 40020.0)
- ۱۳۷ شکل (۴-۳۲) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
ارتفاع مایع ۷۵٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 40020.75)
- ۱۳۷ شکل (۴-۳۳) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
ارتفاع مایع ۵۰٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 40020.50)
- ۱۳۸ شکل (۴-۳۴) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
ارتفاع مایع ۲۵٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 40020.25)
- ۱۳۸ شکل (۴-۳۵) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
مخزن خالی از مایع (مدل 40020.0)
- ۱۳۹ شکل (۴-۳۶) - تغییرات فرکانسی متناظر با مود اول محیطی نسبت به تغییرات مود جانبی برای
سطوح مختلف مایع در مخزن ۴۰۰۲
- ۱۴۰ شکل (۴-۳۷) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
مخزن پر از مایع (مدل 40011.0)
- ۱۴۱ شکل (۴-۳۸) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به شماره مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
ارتفاع مایع ۷۵٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 40010.75)
- ۱۴۱ شکل (۴-۳۹) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
ارتفاع مایع ۵۰٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 40010.50)
- ۱۴۲ شکل (۴-۴۰) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
ارتفاع مایع ۲۵٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 40010.25)
- ۱۴۲ شکل (۴-۴۱) - تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی.
مخزن خالی از مایع (مدل 40010.0)
- ۱۴۳ شکل (۴-۴۲) - تغییرات فرکانسی متناظر با مود اول محیطی نسبت به تغییرات مود جانبی برای
سطوح مختلف مایع در مخزن ۴۰۰۱

- شکل (۴-۴۳)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی. مخزن پر از مایع (مدل 4501.0)
- شکل (۴-۴۴)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی. ارتفاع مایع ۷۵٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 4500.75)
- شکل (۴-۴۵)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی. ارتفاع مایع ۵۰٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 4500.50)
- شکل (۴-۴۶)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای سه مود اول جانبی. ارتفاع مایع ۲۵٪ ارتفاع جداره مخزن (مدل 4500.25)
- شکل (۴-۴۷)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، برای دو مود اول جانبی. مخزن خالی از مایع (مدل 4500.0)
- شکل (۴-۴۸)- تغییرات فرکانسی متناظر با مود اول محیطی نسبت به تغییرات مود جانبی برای سطوح مختلف مایع در مخزن ۴۵۰
- شکل (۴-۴۹)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای اولین مود جانبی (نمونه ۴۰۰۲)
- شکل (۴-۵۰)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای دومین مود جانبی (نمونه ۴۰۰۲)
- شکل (۴-۵۱)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای سومین مود جانبی (نمونه ۴۰۰۲)
- شکل (۴-۵۲)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای اولین مود جانبی (نمونه ۴۰۰۱)
- شکل (۴-۵۳)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای دومین مود جانبی (نمونه ۴۰۰۱)
- شکل (۴-۵۴)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای سومین مود جانبی (نمونه ۴۰۰۱)
- شکل (۴-۵۵)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای اولین مود جانبی (نمونه ۴۵۰)
- شکل (۴-۵۶)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای دومین مود جانبی (نمونه ۴۵۰)
- شکل (۴-۵۷)- تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به مود محیطی، با توجه به تغییرات تراز مایع. برای سومین مود جانبی (نمونه ۴۵۰)
- شکل (۴-۵۸)- تعداد مود های تحریک شده در محدوده فرکانسی ثابت ($4 < Frq < 19$) برحسب تغییرات سطح مایع برای نمونه ۴۰۰۲
- شکل (۴-۵۹)- نمایش گرافیکی تعداد مود های تحریک شده، برای رسیدن به مود دلخواه، در تراز های مختلف مایع
- شکل (۴-۶۰)- تغییرات فرکانسی مود های حاکم برحسب تغییرات تراز مایع در تانک ۴۰۰۲
- شکل (۴-۶۱)- تغییرات فرکانسی مود های حاکم برحسب تغییرات تراز مایع در تانک ۴۰۰۱

- شکل (۴-۶۲) - تغییرات فرکانسی مود های حاکم بر حسب تغییرات تراز مایع در تانک ۴۵۰ تا ۱۵۹
- شکل (۴-۶۳) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی یک در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪. تا ۱۶۱
- شکل (۴-۶۴) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی یک در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۳۰، برای تراز مایع ۱۰۰٪. تا ۱۶۲
- شکل (۴-۶۵) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی دو در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۱۰۰٪ و ۷۵٪. تا ۱۶۴
- شکل (۴-۶۶) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی دو در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۳۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۷۵٪. تا ۱۶۶
- شکل (۴-۶۷) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی سه در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪. تا ۱۶۹
- شکل (۴-۶۸) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی سه در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۳۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪. تا ۱۷۱
- شکل (۴-۶۹) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی اول در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۰۰۱. تا ۱۷۴
- شکل (۴-۷۰) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی اول در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۳۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۰۰۱. تا ۱۷۶
- شکل (۴-۷۱) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی دوم در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۰۰۱. تا ۱۷۸
- شکل (۴-۷۲) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی دوم در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۴۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۰۰۱. تا ۱۸۰
- شکل (۴-۷۳) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی سوم در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۷۵٪ و ۱۰۰٪، تانک ۴۰۰۱. تا ۱۸۲
- شکل (۴-۷۴) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی سوم در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۳۵، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۰۰۱. تا ۱۸۴
- شکل (۴-۷۵) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی اول در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۷۵٪ و ۱۰۰٪، تانک ۴۵۰. تا ۱۸۶
- شکل (۴-۷۶) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی اول در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۵۵، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۵۰. تا ۱۸۸
- شکل (۴-۷۷) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی دوم در دامنه مود های محیطی ۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۵۰. تا ۱۹۰
- شکل (۴-۷۸) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی دوم در دامنه مود های محیطی ۱۵ تا ۵۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۵۰. تا ۱۹۲
- شکل (۴-۷۹) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی سوم در دامنه مود های محیطی ۱۰ تا ۱۰، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۵۰. تا ۱۹۴

- شکل (۴-۸۰) - نمایی از مود شکل‌های مربوط به مود جانبی سوم در دامنه مود های محیطی
 ۱۹۵ ۳۵ تا ۱۵، برای تراز مایع ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، تانک ۴۵۰
- شکل (۴-۸۱) - مقایسه مود شکل (۱-۱) در مخزن ۴۰۰۲، با نسبت ارتفاع به ضخامت ۱/۴۲۷
 ۱۹۷ در حالت پر و خالی از مایع
- شکل (۴-۸۲) - مقایسه مود شکل (۱-۱) در مخزن ۴۰۰۱، با نسبت ارتفاع به ضخامت ۰/۹۱۸
 ۱۹۸ در حالت پر و خالی از مایع
- شکل (۴-۸۳) - مقایسه مود شکل (۱-۱) در مخزن ۴۵۰، با نسبت ارتفاع به ضخامت ۰/۳۸۲
 ۱۹۸ در حالت پر و خالی از مایع