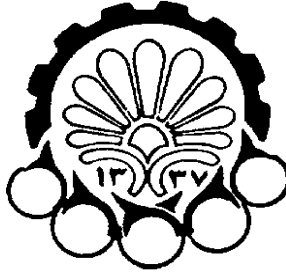


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

**ارتعاشات هیدروالاستیک مخزن استوانه ای محتوی سیال با دیواره، کف و پوشش
سطحی انعطاف پذیر**

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط

مهدی سعیدی فر

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا اوحدی

دانشکده مهندسی مکانیک

۱۳۸۷



فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی ارشد

شماره :
تاریخ :

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی : سعیدی فر

دانشجو روزانه

شماره دانشجویی : ۸۵۱۲۶۰۸۹ دانشکده : مهندسی مکانیک رشته تحصیلی : طراحی کاربردی

نام و نام خانوادگی استاد راهنما □ استادان راهنما: دکتر بدارضا اوحدی همدانی

نویان به فارسی : ارتعاشات هیدروالاستیک مخزن استوانه ای محتوی سیال با دیواره، کف و پوشش سطحی انعطاف پذیر

نویان به انگلیسی : Hydroelastic Vibration of a Partially Filled Cylindrical Tank with an Elastic Wall, Bottom and Surface Cover

نوع پروژه : کارشناسی ارشد

کاربردی □ بنیادی □ توسعه‌ای □ نظری

تعداد واحد □

تاریخ خاتمه : ۱۳۸۷ □ □

تاریخ شروع : ۱۳۸۶ □ □

سازمان تمین کننده ا تبار : معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

واژه های کلیدی به فارسی : مخزن استوانه ای، ارتعاشات آزاد، برهم کنش سیال با سازه، هیدروالاستیک، پوشش انعطاف پذیر

واژه های کلیدی به انگلیسی : Cylindrical Tank, Free Vibration, Fluid Structure Interaction, Elastic Cover

نویانها و پیشنهادها به منور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه :

استاد راهنما □ استادان راهنما : دکتر بدارضا اوحدی همدانی

سعیدی فر :

تشکر و قدردانی

بر خود واجب می دانم از استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر عبدالرضا اوحدی، به خاطر راهنمایی های ارزشمندشان کمال سپاسگزاری را داشته باشم. برای ایشان از درگاه خداوند متعال، توفیقات روزافزون خواستارم.

تقدیم به پدر گرامی و مادر عزیزم

به پاس بردباری و محبت بی دریغشان

اعلان منحصر به فرد بودن پایان نامه

بدینوسیله اعلان می گردد که مطالب مندرج در این پایان نامه تاکنون برای گرفتن هیچگونه مدرکی از سوی اینجانب یا فرد دیگری ارائه نشده است.

مهدی سعیدی فر

چکیده

برای طراحی مخازن حاوی سیال با ضریب اطمینان بالا و همین طور کنترل ارتعاشات این مخازن، بررسی خواص ارتعاشی این مخازن اهمیت بسیاری دارد. در این پروژه با استفاده از روش ریلی-ریتز ارتعاشات آزاد مخزن استوانه ای حاوی سیال کاملاً انعطاف پذیر همراه با ورق پوششی روی سیال تحلیل می شود. بدنه مخزن انعطاف پذیر در نظر گرفته شده و از تئوری پوسته فلوگه برای توصیف جابجایی آن استفاده خواهد شد. کف مخزن نیز ورق دایروی انعطاف پذیری در نظر گرفته شده است. برهم کنش و ارتباط کف و بدنه مخزن از طریق یک فنر پیچشی، که محیط بیرونی ورق کف را به لبه پایینی بدنه استوانه ای متصل کرده است، و همچنین از طریق سیال درون مخزن صورت می گیرد. یک ورق انعطاف پذیر با تکیه گاه آزاد بر روی سیال درون مخزن قرار می گیرد. انتهای بالایی بدنه نیز تکیه گاه ساده در نظر گرفته می شود که بدلیل آنست که معمولاً در مخازن از یک حلقه برای دایروی نگه داشتن سر مخزن استفاده می شود. در ادامه علاوه بر شناساندن معادلات و تعاریف موجود در مخازن حاوی سیال، با بکارگیری روش ریلی-ریتز، که مزایای نسبی در قیاس با روش های حل دقیق و همچنین المان محدود دارد، به بررسی فرکانس و مودهای ارتعاشی مخازن حاوی سیال پرداخته شود. روش ریلی-ریتز یک روش تقریبی انرژی محور است، که بر همین اساس در این پروژه انرژی های جنبشی و پتانسیل اجزاء مختلف مخزن حاوی سیال بدست آورده شده و در نهایت به یک مسئله مقدار ویژه تبدیل شده است. به طور کلی فرکانس های مخازن حاوی سیال به دو دسته عمده بالچینگ (فرکانس هایی که سازه مخزن در آن نقش عمده دارد) و اسلاشینگ (فرکانس هایی که سطح آزاد سیال در آن نقش عمده دارد) تقسیم بندی می شود که هر دو آنها در شرایط مختلف در پروژه صحنه گذاری و مطالعه شده است. سپس با قرار دادن یک ورق پوششی تغییر فرکانس سیستم مخزن بررسی شده است یا به بیان دیگر با تغییرات در خواص ورق پوششی فرکانس های مخزن قابل تغییر و تحت کنترل خواهد بود. در نهایت اثر پارامترهای مختلفی نظیر: صلبیت کف و دیواره، سفتی مخزن، ارتفاع سیال درون مخزن، چگالی سیال درون مخزن، نسبت شعاع به ارتفاع مخزن و ... بر روی فرکانس های مخزن حاوی سیال بررسی شده است و نتایج حاصله در فصل انتهایی دسته بندی شده است.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- ضرورت و اهداف انجام پروژه	۱
۲-۱- مقالات مورد بررسی	۳
۳-۱- آنچه در این پروژه انجام شده	۹
فصل دوم: معادلات حاکم بر سیستم	۱۰
۱-۲- مقدمه	۱۰
۲-۲- فشار دینامیکی سیال	۱۰
۳-۲- معادله ورق دایروی کف با ضخامت متغیر بر روی بستر الاستیک	۱۲
۴-۲- معادله ورق پوششی دایروی با ضخامت متغیر	۱۳
۵-۲- معادله پوسته استوانه ای	۱۴
۶-۲- معادله سیال درون پوسته	۱۵
۷-۲- شرایط مرزی	۱۶
۱-۷-۲- ورق کف	۱۶
۲-۷-۲- ورق پوششی	۱۶
۳-۷-۲- پوسته استوانه ای	۱۶
۴-۷-۲- شرط مرزی مشترک بین ورق کف و پوسته استوانه ای	۱۷
۵-۷-۲- شرط مرزی سیال و سازه	۱۷
۸-۲- فرکانس های اسلاشینگ و بالچینگ	۱۷
۹-۲- جمع بندی	۱۹
فصل سوم: روش حل	۲۰
۱-۳- مقدمه	۲۰

۲۱	۲-۳-۲- روش ریلی-ریتز
۲۲	۱-۲-۳-۱- ورق کف و ورق پوششی
۲۵	۲-۲-۳- پوسته استوانه ای با تکیه گاه های ساده
۲۸	۳-۲-۳- تکیه گاه وینکلر و فنر پیچشی اتصال بدنه و ورق کف
۲۸	۳-۳-۳- برهم کنش سیال با سازه
۳۰	۱-۳-۳-۱- ورق کف صلب، ورق پوششی صلب، پوسته استوانه ای انعطاف پذیر
۳۱	۲-۳-۳-۲- ورق کف انعطاف پذیر، ورق پوششی صلب، پوسته استوانه ای صلب
۳۳	۳-۳-۳-۳- ورق کف صلب، ورق پوششی انعطاف پذیر، پوسته استوانه ای صلب
۳۴	۴-۳-۳-۴- انرژی جنبشی مرجع سیال درون مخزن
۳۶	۱-۴-۳-۳- برهم کنش سیال با پوسته
۳۸	۲-۴-۳-۳- برهم کنش سیال با ورق کف
۴۲	۳-۴-۳-۳- برهم کنش پوسته با ورق کف توسط سیال
۴۴	۴-۴-۳-۳- برهم کنش سیال با ورق پوششی
۴۹	۵-۴-۳-۳- برهم کنش پوسته با ورق پوششی و سطح آزاد سیال توسط سیال
۵۰	۶-۴-۳-۳- برهم کنش ورق کف با ورق پوششی و سطح آزاد سیال توسط سیال
۵۱	۴-۳-۴- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه
۵۹	۶-۳-۶- جمع بندی
۶۱	فصل چهارم: صحنه گذاری و نتایج
۶۱	۱-۴-۱- مقدمه
۶۱	۲-۴-۲- صحنه گذاری
۶۱	۱-۲-۴- مخزن خالی
۶۲	۲-۲-۴- مخزن حاوی سیال با بدنه انعطاف پذیر و کف صلب
۶۳	۳-۲-۴- مخزن حاوی سیال با بدنه صلب و کف انعطاف پذیر
۶۵	۴-۲-۴- مخزن حاوی سیال با بدنه و کف انعطاف پذیر
۶۵	۵-۲-۴- تاثیر صلبیت کف و دیواره بر روی فرکانس های طبیعی
۶۸	۶-۲-۴- تاثیر سفتی بدنه بر روی فرکانس های مخزن
۶۹	۷-۲-۴- تاثیر ضریب سختی تکیه گاه وینکلر بر روی فرکانس های بالچینگ
۷۰	۸-۲-۴- مخزن حاوی سیال با بدنه و کف صلب و ورق پوششی انعطاف پذیر
۷۱	۳-۴-۳- مخزن حاوی سیال با بدنه و کف و ورق پوششی انعطاف پذیر

۷۴	۴-۴- تاثیر ارتفاع سیال درون مخزن بر روی فرکانس های طبیعی مخزن کاملاً انعطاف پذیر با ورق پوششی
۸۰	۴-۵- تاثیر ضخامت ورق پوششی بر روی فرکانس های طبیعی مخزن
۸۱	۴-۶- تاثیر چگالی سیال بر روی فرکانس های طبیعی مخزن
۸۳	۴-۷- تاثیر نسبت ارتفاع به شعاع مخزن بر روی فرکانس های طبیعی مخزن
۸۵	۴-۸- جمع بندی
۸۶	فصل پنجم: جمع بندی و پیشنهادات
۸۶	۴-۱- مقدمه
۸۶	۴-۱- جمع بندی
۸۸	۴-۲- پیشنهادات

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): شکستن پل تاکومانروز (۱۹۴۰ میلادی) ۲
- شکل (۲-۱): حوادث منجر به آتش سوزی در مخازن نفتی: (الف) زلزله توکاچی-اکی در ژاپن (۲۰۰۳ میلادی)، (ب) زلزله کوک الی در ترکیه (۱۹۹۹ میلادی) ۳
- شکل (۱-۲): مخزن حاوی سیال با ورق پوششی، کف و دیواره انعطاف پذیر ۱۳
- شکل (۲-۲): نمودار آزاد اتصال پوسته و ورق کف توسط فنر ۱۷
- شکل (۳-۲): ارتعاش سطح آزاد سیال ۱۹
- شکل (۱-۳): مخزن حاوی سیال با ورق پوششی، کف و دیواره انعطاف پذیر ۲۱
- شکل (۱-۴): شکل مودهای بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر ارائه شده در بخش (۵-۲-۴) برای $H = 0.5^m$ و $n = 4$:
 (الف) 19.15^{Hz} ، (ب) 45.44^{Hz} ، (ج) 82.42^{Hz} ، (د) 84.12^{Hz} ، (ه) 132.30^{Hz} ، (و) 162.85^{Hz} ۲۶
- شکل (۲-۴): شکل مودهای بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر بررسی شده در بخش (۵-۲-۴) برای $H = 0.5^m$ و $n = 5$:
 (الف) 25.77^{Hz} ، (ب) 57.24^{Hz} ، (ج) 70.66^{Hz} ، (د) 101.06^{Hz} ، (ه) 155.82^{Hz} ، (و) 158.89^{Hz} ۲۷
- شکل (۳-۴): تاثیر ضریب سختی تکیه گاه وینکلر بر روی فرکانس های بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر بررسی شده در بخش (۴-۲-۴) (۵) برای $H = 0.5^m$ و $n = 4$ ، (الف) مطالعه حاضر، (ب) مرجع [۱۰] ۲۹
- شکل (۳-۴): شکل مودهای مخزن صلب با ورق پوششی ارائه شده در بخش (۸-۲-۴) برای $H = 0.5^m$ و $n = 0$: (الف) 2.38^{Hz} ، (ب) 7.39^{Hz} ، (ج) 15.65^{Hz} ۷۱
- شکل (۴-۴): شکل مودهای مخزن صلب با ورق پوششی گفته شده در بخش (۸-۲-۴) برای $H = 0.5^m$ و $n = 1$: (الف) 1.10^{Hz} ، (ب) 4.54^{Hz} ، (ج) 11.14^{Hz} ۷۱
- شکل (۵-۴): شکل مودهای مخزن انعطاف پذیر با ورق پوششی ارائه شده در بخش (۳-۴) برای $H = 0.5^m$ و $n = 2$: (الف) 0.1027^{Hz} ، (ب) 1.0742^{Hz} ، (ج) 3.1331^{Hz} ۷۲
- شکل (۶-۴): شکل مودهای مخزن انعطاف پذیر با ورق پوششی ارائه شده در بخش (۳-۴) برای $H = 0.5^m$ و $n = 4$: (الف) 0.5903^{Hz} ، (ب) 2.6184^{Hz} ، (ج) 4.5106^{Hz} ۷۳
- شکل (۷-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر؛ $n = 1$ ۷۵
- شکل (۸-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر؛ $n = 3$ ۷۵
- شکل (۹-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر؛ $n = 5$ ۷۶
- شکل (۱۰-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های اسلاشینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر؛ $n = 1$ ۷۶

- شکل (۱۱-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های اسلاشینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر؛ $n = 3$ ۷۶
- شکل (۱۲-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های اسلاشینگ مخزن کاملاً انعطاف پذیر؛ $n = 5$ ۷۷
- شکل (۱۳-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های مخزن صلب با ورق پوششی؛ $n = 1$ ۷۷
- شکل (۱۴-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های مخزن صلب با ورق پوششی؛ $n = 3$ ۷۷
- شکل (۱۵-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های مخزن صلب با ورق پوششی؛ $n = 5$ ۷۸
- شکل (۱۶-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های مخزن انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 1$ ۷۸
- شکل (۱۷-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های مخزن کاملاً انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 3$ ۷۸
- شکل (۱۸-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس های مخزن کاملاً انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 5$ ۷۹
- شکل (۱۹-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس اول مخزن صلب با ورق پوششی و کاملاً انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 5$ ۷۹
- شکل (۲۰-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس دوم مخزن صلب با ورق پوششی و کاملاً انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 5$ ۷۹
- شکل (۲۱-۴): تاثیر ارتفاع سیال بر روی فرکانس سوم مخزن صلب با ورق پوششی و کاملاً انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 5$... ۸۰
- شکل (۲۲-۴): تاثیر ضخامت ورق پوششی بر روی فرکانس های مخزن انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 2$ ۸۰
- شکل (۲۳-۴): تاثیر ضخامت ورق پوششی بر روی فرکانس های مخزن انعطاف پذیر با ورق پوششی؛ $n = 4$ ۸۱
- شکل (۲۴-۴): تاثیر چگالی سیال بر روی فرکانس های بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف، $n = 4$ ۸۲
- شکل (۲۵-۴): تاثیر چگالی سیال بر روی فرکانس های اسلاشینگ مخزن کاملاً انعطاف، $n = 4$ ۸۲
- شکل (۲۶-۴): تاثیر چگالی سیال بر روی فرکانس های مخزن صلب با ورق پوششی، $n = 4$ ۸۲
- شکل (۲۷-۴): تاثیر چگالی سیال بر روی فرکانس های مخزن انعطاف پذیر با ورق پوششی، $n = 4$ ۸۳
- شکل (۲۸-۴): تاثیر نسبت ارتفاع به شعاع بر روی فرکانس های بالچینگ مخزن کاملاً انعطاف، $n = 4$ ۸۴
- شکل (۲۹-۴): تاثیر نسبت ارتفاع به شعاع بر روی فرکانس های اسلاشینگ مخزن کاملاً انعطاف، $n = 4$ ۸۴
- شکل (۳۰-۴): تاثیر نسبت ارتفاع به شعاع بر روی فرکانس های مخزن صلب با ورق پوششی، $n = 4$ ۸۴
- شکل (۳۱-۴): تاثیر نسبت ارتفاع به شعاع بر روی فرکانس های مخزن انعطاف پذیر با ورق پوششی، $n = 4$ ۸۵

فهرست جداول

- جدول (۱-۴): فرکانس طبیعی مخزن خالی با بدنه و کف انعطاف پذیر (rad/s) ؛ $n = 4$ ۶۲
- جدول (۲-۴): فرکانس های طبیعی نوع بالچینگ برای مخزن با بدنه انعطاف پذیر و کف صلب (rad/s) ؛ $n = 0, H = 21.6^m$.. ۶۲
- جدول (۳-۴): فرکانس های طبیعی نوع اسلاشینگ برای مخزن با بدنه انعطاف پذیر و کف صلب (rad/s) ؛ $n = 0, H = 21.6^m$ ۶۳
- جدول (۴-۴): فرکانس های طبیعی اسلاشینگ و بالچینگ برای مخزن با بدنه انعطاف پذیر و کف صلب (rad/s) ؛
..... $n = 4, H = 21.6^m$ ۶۳
- جدول (۵-۴): فرکانس های طبیعی اسلاشینگ و بالچینگ برای مخزن با کف انعطاف پذیر با تکیه گاه گیردار و بدنه صلب (rad/s) ؛
..... $n = 0, H = 0.0635^m, E = 68.65^{GPa}$ ۶۴
- جدول (۶-۴): فرکانس های طبیعی اسلاشینگ و بالچینگ برای مخزن با کف انعطاف پذیر با تکیه گاه گیردار و بدنه صلب (rad/s) ؛
..... $n = 0, H = 0.0635^m, E = 206^{GPa}$ ۶۴
- جدول (۷-۴): فرکانس طبیعی اسلاشینگ و بالچینگ برای مخزن با کف و بدنه انعطاف پذیر (Hz) ؛
..... $n = 4, H = 0.5^m, N = \tilde{N} + 1 = N_F$ ۶۵
- جدول (۸-۴): فرکانس طبیعی بالچینگ برای سه نوع مخزن ارائه شده در بخش (۵-۲-۴) (Hz) ؛ $n = 4, H = 0.5^m$ ۶۶
- جدول (۹-۴): فرکانس طبیعی اسلاشینگ برای سه نوع مخزن گفته شده در بخش (۵-۲-۴) (Hz) ؛ $n = 4, H = 0.5^m$ ۶۷
- جدول (۱۰-۴): فرکانس طبیعی بالچینگ برای دو نوع مخزن ارائه شده در بخش (۶-۲-۴) (Hz) ؛ $n = 4, H = 0.5^m$ ۶۸
- جدول (۱۱-۴): فرکانس طبیعی اسلاشینگ برای دو نوع مخزن گفته شده در بخش (۸-۴) (Hz) ؛ $n = 4, H = 0.5^m$ ۶۸
- جدول (۱۱-۴): فرکانس های طبیعی مخزن صلب با ورق پوششی ارائه شده در بخش (۸-۲-۴)؛ $n = 0$ ۷۰
- جدول (۱۲-۴): فرکانس های طبیعی مخزن صلب با ورق پوششی ارائه شده در بخش (۸-۲-۴)؛ $n = 1$ ۷۰
- جدول (۱۳-۴): مقایسه فرکانس طبیعی مخزن ارائه شده در بخش (۳-۴) در شرایط مختلف (Hz) ؛ $n = 2, H = 0.5^m$ ۷۳
- جدول (۱۴-۴): مقایسه فرکانس طبیعی مخزن ارائه شده در بخش (۳-۴) در شرایط مختلف (Hz) ؛ $n = 4, H = 0.5^m$ ۷۳

فهرست علائم

تابع پتانسیل سیال	φ
پتانسیل سرعت سیال در حالت ورق کف صلب، ورق پوششی صلب و بدنه استوانه ای انعطاف پذیر	$\varphi^{(1)}$
پتانسیل سرعت سیال در حالت ورق کف انعطاف پذیر، ورق پوششی صلب و بدنه استوانه ای صلب	$\varphi^{(2)}$
پتانسیل سرعت سیال در حالت ورق کف صلب، ورق پوششی انعطاف پذیر و بدنه استوانه ای صلب	$\varphi^{(3)}$
مختصه بی بعد شده شعاعی (r/R)	ρ
چگالی سیال	ρ_L
چگالی ورق کف	ρ_p
چگالی ورق پوششی	ρ_c
چگالی بدنه استوانه ای	ρ_s
ضریب پوسون ورق کف	ν_p
ضریب پوسون ورق پوششی	ν_c
ضریب پوسون ورق بدنه استوانه ای	ν
مختصه زاویه در دستگاه استوانه ای	θ
جابجایی سطح آزاد سیال نسبت به افق	η
فرکانس طبیعی مخزن حاوی سیال	ω
فرکانس طبیعی بدنه استوانه ای	ω_s
فرکانس طبیعی ورق کف	$\tilde{\omega}_{in}$
فرکانس طبیعی ورق پوششی	$\tilde{\omega}'_{in}$
پارامتر مرتبط با فرکانس ورق کف ($\lambda_{in}^4 = \rho_p h_p R^4 \tilde{\omega}_{in}^2 / D_p$)	λ_{in}
پارامتر مرتبط با فرکانس ورق پوششی ($\lambda_{in}'^4 = \rho_c h_c a^4 \tilde{\omega}'_{in}^2 / D_c$)	λ'_{in}
ثابت مرتبط با معادلات استوانه ($m\pi R/L$)	Γ
ثابت مربوط به تئوری فلوگه	ΔK_0
ثابت مربوط به تئوری فلوگه	ΔK_1
ثابت مربوط به تئوری فلوگه	ΔK_2
پارامتر شکل مود مرتبط با ورق کف	A_{in}
شعاع ورق پوششی	a
ثابت متعامد سازی ($\sqrt{2} R/L$)	B
پارامتر شکل مود مرتبط با ورق کف	C_{in}
پارامتر شکل مود مرتبط با ورق پوششی	D_{in}
پارامتر شکل مود مرتبط با ورق پوششی	E_{in}
مدول الاستیسیته ورق کف	E_p
مدول الاستیسیته ورق پوششی	E_c
مدول الاستیسیته بدنه استوانه ای	E_s
گرانش زمین	g
ارتفاع سیال درون مخزن	H

ضخامت بدنه استوانه ای	h_s
ضخامت ورق کف	h_c
ضخامت ورق پوششی	h_p
تابع بسل تعدیل یافته نوع اول	I_n
مشتق تابع بسل تعدیل یافته نوع اول	I'_n
تابع بسل نوع اول	J_n
مشتق تابع بسل نوع اول	J'_n
ماتریس سختی	$[K]$
ثابت مربوط به تئوری دانل	K_0
ثابت مربوط به تئوری دانل	K_1
ثابت مربوط به تئوری دانل	K_2
ثابت مرتبط با معادلات استوانه ($h_s^2/12R^2$)	k
ضریب تکیه گاه وینکلر	k_w
ضریب فنر پیچشی مابین ورق کف و بدنه استوانه ای	k_t
ارتفاع مخزن	L
اپراتور دیفرانسیلی طبق تئوری دانل	$[L_D]$
اپراتور دیفرانسیلی طبق تئوری فلوگه	$[L_{MOD}]$
ماتریس جرم	$[M]$
تعداد موج های محیطی	n
فشار سیال در هر نقطه	p
ضرایب ریلی-ریتز مرتبط با بدنه استوانه ای	q_s
ضرایب ریلی-ریتز مرتبط با ورق کف	\tilde{q}_i
ضرایب ریلی-ریتز مرتبط با ورق پوششی	$\tilde{\tilde{q}}_i$
شعاع مخزن	R
مختصه شعاعی در دستگاه استوانه ای	r
انرژی جنبشی مرجع ورق کف	T_p^*
انرژی جنبشی مرجع ورق پوششی	T_c^*
انرژی جنبشی مرجع بدنه استوانه ای	T_s^*
انرژی جنبشی مرجع سیال	T_L^*
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش سیال با پوسته	$T_L^{*(1)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش پوسته با ورق کف از طریق سیال	$T_L^{*(1-2)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش پوسته با ورق پوششی از طریق سیال	$T_L^{*(1-3)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش پوسته با ورق کف از طریق سیال	$T_L^{*(2-1)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش سیال با ورق کف	$T_L^{*(2)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش ورق کف با ورق پوششی	$T_L^{*(2-3)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش پوسته با ورق پوششی از طریق سیال	$T_L^{*(3-1)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش ورق کف با ورق پوششی	$T_L^{*(3-2)}$
انرژی جنبشی مرجع سیال مرتبط با برهم کنش سیال با ورق پوششی	$T_L^{*(3)}$
مختصه زمان	t

جابجایی محوری بدنه استوانه ای	u_s
نیروی برشی	V
بیشترین انرژی پتانسیل ورق کف	V_p
بیشترین انرژی پتانسیل ورق پوششی	V_c
بیشترین انرژی پتانسیل بدنه استوانه ای	V_s
بیشترین انرژی پتانسیل فنر پیچشی	V_{st}
بیشترین انرژی پتانسیل تکیه گاه وینکلر	V_B
بیشترین انرژی پتانسیل سیال	V_L
جابجایی محیطی بدنه استوانه ای	v_s
جابجایی شعاعی بدنه استوانه ای	w_s
جابجایی عرضی ورق کف	w_p
جابجایی عرضی ورق پوششی	w_c
مختصه محور عمودی در دستگاه استوانه ای	x

فهرست عملگرهای ریاضی

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{\partial}{\partial x} \hat{x} \right) \quad \text{عملگر «گرادیان» در مختصات استوانه ای}$$

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \quad \text{عملگر «لاپلاسین» در مختصات استوانه ای}$$

$$\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right)$$

$$\diamond^4 (X, Y) = \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 X}{\partial r^2} \frac{\partial^2 Y}{\partial \theta^2} - 2 \frac{\partial^2 X}{\partial r \partial \theta} \frac{\partial^2 Y}{\partial r \partial \theta} + \frac{\partial^2 X}{\partial \theta^2} \frac{\partial^2 Y}{\partial r^2} \right) \quad \text{عملگر «دای» در مختصات استوانه ای}$$

فصل اول: مقدمه

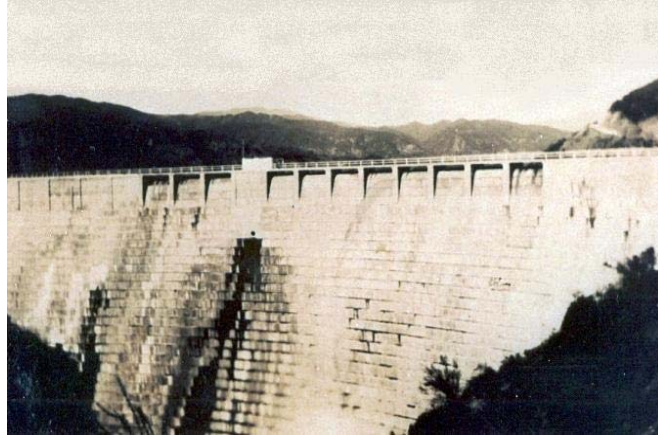
۱-۱- ضرورت و اهداف انجام پروژه

دینامیک مابین سیال و سازه یکی از مباحث مهم در بین مسائل مهندسی است. سیستم های گوناگونی از قبیل: مخازن ذخیره سیال (نفت، گاز و ...)، سیستم های بیومکانیکی (رگ، قلب و ...)، سفینه های فضایی و موشک ها، سدها و ... درگیر برهم کنش سیال با سازه (اف-اس-آی^۱) هستند.

آنچه که پدیده اف-اس-آی را قابل تامل می کند، آنست که وقایع ناگواری در طول تاریخ به خاطر بی توجهی بدان در مسائل مهندسی اتفاق افتاده است، که ضررهای جانی و مالی زیادی را در بر داشته است. از جمله این وقایع می توان به شکست سد فرانسیس^۲ (۱۹۶۸) که به خراب شدن ۱۰۰۰ خانه و کشته شدن ۴۰۰ نفر انجامید. این واقعه به علت جفت شدن فرکانس های طبیعی خمشی سد با فرکانس حرکت آب پشت سد اتفاق افتاده است.

¹ Fluid Structure Interaction(FSI)

² Francis



شکل (۱-۱): شکستن پل تاکومانروز (۱۹۴۰ میلادی)

در مسائل اف-اس-آی، رفتار سیال می تواند کاملاً متغیر فرض شود. یک شاخه از اف-اس-آی به مدل کردن سیال بدون در نظر گرفتن اثر جریان می پردازد، در حقیقت انتقال موج فشار سیال به سازه اهمیت بیشتری دارد. در شاخه دیگری از پدیده اف-اس-آی فقط به تاثیر لزجت سیال در پدیده ارتعاشات پرداخته می شود.

اصولاً مخازن در مهندسی به منظور ذخیره کردن سیال و یا جابجا کردن سیال مورد استفاده قرار می گیرند. بیشتر این مخازن استوانه های عمودی با مقطع دایروی هستند و معمولاً به صورت نیمه پر استفاده می شوند. یکی دیگر از مسائلی که در مبحث اف.اس.آی گنجانده می شود، مخازن حاوی سیال است که بخشی از بدنه مخزن در این بررسی ها انعطاف پذیر در نظر گرفته شده و تاثیر سیال بر روی ارتعاشات آنها مورد توجه قرار می گیرد.

با توجه به اهمیت مخازن در ذخیره سازی های مربوط به مواد نفتی و همچنین بنزین، این پروژه نیز به بررسی ارتعاشات مخزن استوانه ای نیمه پر با کف و بدنه انعطاف پذیر تعریف شده است. البته از آنجاییکه برخی مواد (مانند بنزین) حالت فرار دارند، از یک ورق انعطاف پذیر پوششی نیز، که بر روی بنزین درون مخزن قرار داده می شود، استفاده می شود. البته دلیل دیگر استفاده از ورق پوششی انعطاف پذیر آنست که ورق پوششی به مانند یک جاذب ارتعاشات عمل کرده و باعث تغییر در فرکانس های طبیعی سیستم می شود. همچنین این ورق های پوششی می توانند از وقوع آتش فوری در هنگام زلزله نیز جلوگیری نمایند که از این جمله حوادث می توان به زلزله های «توکاچی-اکی»^۱ در ژاپن و «کوک الی»^۱ در ترکیه (شکل (۱-۲))

¹ Tokachi-Oki

اشاره کرد که به علت نداشتن سقف شناور (ورق پوششی) گازهای انباشته شده در بالای مخزن شعله ور شده است.



(ب)



(الف)

شکل (۲-۱): حوادث منجر به آتش سوزی در مخازن نفتی: (الف) زلزله توکاجی-اکی در ژاپن (۲۰۰۳ میلادی)، (ب) زلزله کوکالی در ترکیه (۱۹۹۹ میلادی).

۲-۱- مقالات مورد بررسی

در این زمینه مقالات زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. سعی می شود مقالات با توجه به تاریخچه زمانی آنها شرح داده شوند، اما در این بین با توجه به روش حل مسائل و یا محتوای بررسی شده در مقاله یک دسته بندی دیگر نیز در ترتیب ارائه مقالات مشاهده خواهد شد.

چیباً^۲ در مراجع [۲۱] ارتعاشات غیر خطی متقارن محوری مخزن حاوی سیال با کف انعطاف پذیر و بدنه صلب به دو روش تئوری و تجربی مورد بررسی قرار داده است. در این مقاله خیز ورق کف به دو بخش استاتیک و دینامیک تقسیم شده است و هر بخشی با استفاده از روش حل تقریبی (با گرفتن یک سری برای خیز ورق) به طور مستقل با در نظر گرفتن شرایط مرزی حل شده است. در نهایت برای نه نوع مختلف از ورق کف (متفاوت در جنس یا ضخامت) فرکانس جفت شده بین سیال و مخزن بدست آورده شده است. نتایج حاکی از اینست که فرکانس طبیعی بالچینگ^۳ (موج های سطح آزاد سیال صرف نظر می شود) در مود اول به شدت با افزایش نسبت «ارتفاع سیال به شعاع مخزن»، افزایش می یابد. اما در مودهای دوم و سوم بعد از یک افزایش ناگهانی، آنها شروع به افزایش می کنند، که این به علت نیروی داخلی ورق ناشی از خیز

¹ Kocaeli

² Chiba

³ Bulging

استاتیکی است. این دو نتیجه با نتایج تجربی بدست آمده در این مقاله همخوانی دارد. فرکانس های طبیعی اسلاشینگ^۱ (موج های سطح آزاد سیال صرفنظر نمی شود.) با افزایش نسبت «ارتفاع سیال به شعاع» در موده های دوم و سوم تغییری نمی کنند، ولی در مود اول افزایش آن را شاهد هستیم.

باور^۲ و ایدل^۳ در مرجع [۳] ارتعاشات حاوی سیال با کف انعطاف پذیر و بدنه صلب در گرانش صفر به روش تئوری (با استفاده از سری های هارمونیک) مورد بررسی قرار داده اند. در این مقاله سطح آزاد سیال به شکل یک سطح کروی که مرتبط با زاویه بین سطح و دیواره و تنش کششی سطح است، مدل شده است. برای این هندسه سطحی، بر هم کنش سیال با ورق کف بررسی شده است. کف هم به صورت غشائی^۴ و هم به صورت ورق مدلسازی شده است. آنچه از این بررسی بدست آمده بیانگر آنست، هنگامیکه «ارتفاع سیال به شعاع مخزن» از نیم بیشتر باشد، فرکانس طبیعی سیستم افزایش پیدا می کند و همچنین در این حالت موج های سطح آزاد مخزن تاثیر بسیار کمی در فرکانس طبیعی سیستم دارد. ولی برای نسبت های پایین «ارتفاع سیال به شعاع» اسلاشینگ بودن سطح آزاد تاثیر قابل توجه تری دارد. با افزایش زاویه تماس سطح آزاد، شاهد افزایش یافتن فرکانس طبیعی سیستم هستیم.

چیبا و ابه^۵ مراجع [۵و۴] نیز فرضیاتی نظیر مرجع [۲و۱] کرده اند با این تفاوت که یک تکیه گاه الاستیک از نوع وینکلر^۶ نیز در زیر مخزن قرار داده اند. در این مراجع به ترتیب از دو روش ریتز^۷ و هارمونیک بالانس^۸ برای تحلیل ارتعاشات مخزن استفاده شده است. در نتایج تاثیر نسبت چگالی، ضخامت و ضریب تکیه گاه الاستیک بر روی فرکانس طبیعی بالچینگ سیستم تجزیه و تحلیل شده است. همچنین تاثیر حرکت ورق کف بر روی دامنه سطح آزاد در حالت بالچینگ مشخص شده است که با نتایج تجربی تطبیق دارد.

¹ Sloshing

² Bauer

³ Eidel

⁴ Membrane

⁵ Abe

⁶ Winkler

⁷ Ritz

⁸ Harmonic Balance