۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

گرایش طراحی کاربردی

عنوان:

ارتعاشات اجباری پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی محتوی سیال

نگارش:

یونس کاکه اله زاده

استاد راهنما:

دکتر علی اصغر جعفری

پاییز ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان:

ارتعاشات اجباری پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی محتوی سیال

توسط **یونس کاکه اله زاده** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخـذ درجـه **کارشناسی ارشد** رشته **مهندسی مکانیک – طراحی کاربردی** در تاریخ مورد تأیید قرار دادند.

۱- استاد راهنما امضاء

۲- استاد مشاور امضاء

۳- استاد ممتحن دکتر امضاء

٤- استاد ممتحن دکتر امضاء

٥- نماینده تحصیلات تکمیلی دکتر امضاء

تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب **یونس کاکه اله زاده** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **طراحی کاربردی** دانشکده **مهندسی مکانیک** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

ارتعاشات اجباری پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی محتوی سیال

با راهنمایی استاد محترم **جناب آقای دکتر علی اصغر جعفری** توسط شخص اینجانب انجام شده است. صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد. در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده و استاد/استادان راهنمای آن می‌باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان‌نامه تنها با موافقت نویسنده یا استاد/استادان راهنما یا کتاب‌خانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

از استاد محترم آقای دکتر علی اصغر جعفری به خاطر راهنمایی‌ها و حمایت‌هایشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از تمام دوستانی که در انجام این پروژه به من کمک کردند، سپاسگزارم.

چکیده

در این پایان نامه، ارتعاشات آزاد و اجباری پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی با مـایع داخلـی بـر اساس دو تئوری کلاسیک پوسته‌ها و تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول بررسی شده اسـت. روابـط کرنش-تغییر مکان و انحناء-تغییر مکان بر مبنای تقریب اول لاو نوشته شده است. شـرایط مـرزی دو سر ساده در نظر گرفته شده است. فرکانس‌های طبیعی پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی محتـوی سـیال، از روش انرژی و معادله‌ی ریلی-ریتز به دست آمده است که بر اساس اصل انرژی پتانسیل کمینه استوار است. سیال ایده‌آل فرض شده و از اثر موج‌های سطحی سیال صرف نظر شده است. پاسخ دینـامیکی گذرای پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی محتوی سیال تحت بار ضربه‌ای جـانبی کـه بصـورت گسـترده و یکنواخت بر روی یک سطح مستطیلی وارد می‌شود، با استفاده از انتگرال کانولوشن و بر اساس روش جمع مودها به دست آمده است. همچنین پاسخ زمانی پوسته تحت دو نوع بار پله‌ای و سینوسـی کـه هر دو به صورت پایا بر یک سطح مستطیلی وارد می‌شوند، به دست آمده است. دقت نتایج از مقایسه با نتایج به دست آمده توسط دیگر پژوهشگران و همچنین با نرم افزار المان محدود تأیید شده اسـت. اثر پارامترهای مختلف بر فرکانس‌های طبیعی و پاسخ زمانی پوسته بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: پوسته استوانه‌ای، کامپوزیت، ارتعاشات اجباری، پاسخ دینامیکی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول	ج
فهرست شکل‌ها	د
فهرست علایم و اختصارات	ز
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۱-۱ مقدمه‌ای بر پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی	۲
۱-۱-۲ مقدمه‌ای بر پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی در معرض سیال	۲
۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده	۲
۱-۳ نوآوری‌های پژوهش حاضر	۱۱
۱-۴ کارهای انجام شده در این پژوهش	۱۱
فصل دوم: ارتعاشات پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی محتوی سیال	۱۳
۲-۱ مقدمه	۱۴
۲-۲ روابط حاکم بر پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی لایه‌ای	۱۴
۲-۲-۱ انرژی کرنشی پوسته‌ها	۱۵
۲-۲-۲ انرژی جنبشی پوسته‌ها	۲۱
۲-۳ شرایط مرزی	۲۱
۲-۴ بررسی اثر سیال	۲۴

۲-۵ انرژی کل سیستم ۲۶
۲-۶ حل مسأله ارتعاشات آزاد پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی محتوی سیال ۲۷
۲-۶-۱ حل مسأله ارتعاشات آزاد بر اساس تئوری کلاسیک ۲۷
۲-۶-۲ حل مسأله ارتعاشات آزاد بر اساس تئوری برشی مرتبه اول ۲۸
۲-۷ نرمالایز کردن مودهای ارتعاشی پوسته‌های استوانه‌ای ۳۰
۲-۷-۱ پوسته استوانه‌ای با شرایط مرزی دو سر ساده ۳۱
۲-۸ شکل مودها ۳۲
۲-۹ ارتعاشات اجباری پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی محتوی سیال ۳۴
۲-۹-۱ بارگذاری گذرا ۳۴
۲-۹-۲ بارگذاری پایا ۳۸
۲-۱۰ مدل سازی پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی حاوی سیال در نرم افزار ABAQUS ۳۹
فصل سوم: بررسی نتایج ۴۱
۳-۱ مقدمه ۴۲
۳-۲ بررسی نتایج ارتعاشات آزاد ۴۳
۳-۲-۱ بررسی اثر برخی پارامترهای مؤثر بر فرکانس‌های طبیعی ۴۸
۳-۳ بررسی نتایج ارتعاشات اجباری پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی حاوی سیال ۵۶
۳-۳-۱ پدیده ضربان ۵۸
۳-۳-۲ پاسخ در حوزه فرکانسی پوسته با استفاده از تبدیل فوریه ۵۸
۳-۳-۳ بررسی اثر برخی پارامترهای مؤثر بر پاسخ گذرای پوسته حاوی سیال ۶۰
۳-۳-۴ بارگذاری پایا ۷۳

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۷

۴-۱ مقدمه ۷۸

۴-۲ بحث روی نتایج ارتعاشات آزاد ۷۸

۴-۳ بحث روی نتایج ارتعاشات اجباری ۷۹

۴-۴ پیشنهادات ۸۱

پیوست‌ها ۸۲

مراجع ۸۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: خواص مواد مورد استفاده..... ٤٣

جدول۳-۲: ابعاد هندسی پوسته استوانه‌ای مورد بررسی..... ٤٣

جدول ۳-۳: فرکانس‌های طبیعی (Hz) برای پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی خالی، (...)..... ٤٤

جدول ۳-٤: مقایسه فرکانس‌های طبیعی پوسته ایزوتروپیک حاوی سیال با دیگر مراجع..... ٤٥

جدول ۳-۵: مشخصات پوسته وسیال مورد بررسی در جدول (۳-٤)..... ٤٥

جدول ۳-٦: فرکانس‌های طبیعی بی‌بعد برای پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی حاوی سیال، (...)..... ٤٦

جدول ۳-۷: فرکانس‌های طبیعی (Hz) پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی، (...)..... ٤٧

جدول ۳-۸: فرکانس‌های پایه برای پوسته مورد بررسی در شکل (۳-۲۰)..... ٦٣

جدول ۳-۹: زمان رسیدن به حداکثر جابجایی برای پوسته مورد بررسی در شکل (۳-۲٤)..... ٦٦

جدول ۳-۱۰: زمان رسیدن به حداکثر جابجایی پوسته مورد بررسی در شکل (۳-۲۵)..... ٦٧

جدول ۳-۱۱: زمان رسیدن به حداکثر جابجایی برای پوسته مورد بررسی در شکل (۳-۳۰)..... ۷۰

جدول ۳-۱۲: فرکانس‌های طبیعی پوسته مورد بررسی در شکل (۳-۳٦)..... ۷٦

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نحوه قرارگیری لایه‌ها در لمینیت و زاویه الیاف..... ۱٤

شکل ۲-۲: پوسته استوانه‌ای و مختصات مرجع..... ۱۵

شکل ۲-۳: چیدمان لایه‌های یک لمینیت..... ۲۰

شکل ۲-٤: مودهای محیطی ارتعاش..... ۳۲

شکل ۲-۵: مودهای طولی ارتعاش..... ۳۲

شکل ۲-٦: شکل مود m=1 , n=1..... ۳۳

شکل ۲-۷: شکل مود m=1 , n=2..... ۳۳

شکل ۲-۸: بار وارد شده بر یک سطح مستطیلی..... ۳٤

شکل ۲-۹: نوع بارگذاری به کار رفته برای بارگذاری گذرا، (...)..... ۳۷

شکل ۲-۱۰: نوع بارگذاری به کار رفته برای حالت پایا..... ۳۹

شکل ۲-۱۱: مدلسازی چیدمان لایه‌ها در ABAQUS..... ٤۰

شکل ۲-۱۲: نمونه‌ی مدل پوسته با سیال داخلی مورد استفاده در نرم افزار..... ٤۰

شکل ۳-۱: مقایسه نتایج حاصل از دو تئوری کلاسیک و برشی مرتبه اول..... ٤۸

شکل ۳-۲: اثر سیال داخلی بر فرکانس‌های طبیعی پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی..... ٤۹

شکل ۳-۳: اثر چگالی سیال بر فرکانس‌های طبیعی پوسته، m=1..... ۵۰

شکل ۳-٤: اثر ارتفاع سیال درون پوسته بر فرکانس‌های طبیعی، m=1..... ۵۱

شکل ۳-۵: اثر زاویه‌ی الیاف روی فرکانس‌های طبیعی پوسته کامپوزیتی خالی..... ۵۲

شکل ۳-٦: اثر زاویه‌ی الیاف روی فرکانس‌های طبیعی پوسته کامپوزیتی حاوی سیال..... ۵۲

شکل ۳–۷: اثر نسبت طول به شعاع بر فرکانس‌های طبیعی پوسته استوانه‌ای خالی..... ۵۳
شکل ۳–۸: اثر نسبت طول به شعاع بر فرکانس‌های طبیعی پوسته پر..... ۵٤
شکل ۳–۹: اثر نسبت ضخامت به شعاع بر فرکانس‌های طبیعی پوسته خالی..... ۵۹
شکل ۳–۱۰: اثر نسبت ضخامت به شعاع بر فرکانس‌های طبیعی پوسته حاوی سیال..... ۵۹
شکل ۳–۱۱: مقایسه پاسخ زمانی (جابجایی شعاعی) پوسته خالی، (...)..... ۵۷
شکل ۳–۱۲: مقایسه پاسخ زمانی (جابجایی شعاعی) پوسته شکل ۳–۱۱، (...)..... ۵۷
شکل ۳–۱۳: نمایش پدیده‌ی ضربان در پاسخ زمانی پوسته مورد بررسی در شکل (۳–۱۱)..... ۵۸
شکل ۳–۱٤: پاسخ در حوزه فرکانس (FFT) پوسته شکل (۳–۱۳)..... ۵۹
شکل ۳–۱۵: فرکانس‌های طبیعی پوسته مورد بررسی در شکل (۳–۱۳)..... ۵۹
شکل ۳–۱٦: پاسخ در حوزه زمانی پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی، (...)..... ٦۰
شکل ۳–۱۷: اثر چگالی سیال بر پاسخ زمانی پوسته..... ٦۱
شکل ۳–۱۸: اثر ارتفاع سیال بر پاسخ زمانی پوسته..... ٦۲
شکل ۳–۱۹: اثر زاویه الیاف بر پاسخ زمانی پوسته خالی..... ٦۲
شکل ۳–۲۰: اثر زاویه الیاف بر پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال..... ٦۳
شکل ۳–۲۱: اثر تعداد لایه‌ها بر پاسخ زمانی پوسته خالی، (...)..... ٦٤
شکل ۳–۲۲: اثر تعداد لایه‌ها بر پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال، (...)..... ٦٤
شکل ۳–۲۳: اثر تعداد لایه‌ها بر پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال، (...)..... ٦۵
شکل ۳–۲٤: اثر نسبت ضخامت به شعاع بر پاسخ زمانی پوسته خالی..... ٦٦
شکل ۳–۲۵: اثر نسبت ضخامت به شعاع بر پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال..... ٦٦
شکل ۳–۲٦: اثر مقدار بار بر پاسخ زمانی پوسته خالی..... ٦۷
شکل ۳–۲۷: اثر مقدار بار بر پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال..... ٦۸

شکل ۳–۲۸: نمودار ماکزیمم جابجایی شعاعی پوسته، (...)..... ٦٨
شکل ۳–۲۹: اثر محل اعمال بار ضربه‌ای بر پاسخ زمانی پوسته خالی..... ٦٩
شکل ۳–۳۰: اثر محل اعمال بار ضربه‌ای بر پاسخ زمانی، (...)..... ۷۰
شکل ۳–۳۱: نمودار ماکزیمم جابجایی شعاعی پوسته مورد بررسی شکل (۳–۳۰)..... ۷۱
شکل ۳–۳۲: مقایسه پاسخ زمانی پوسته‌ی حاوی سیال برای پالس‌های مختلف..... ۷۲
شکل ۳–۳۳: اثر مدت زمان اعمال بار ضربه‌ای بر پاسخ زمانی پوسته خالی..... ۷۳
شکل ۳–۳٤: اثر مدت زمان اعمال بار ضربه‌ای بر پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال..... ۷۳
شکل ۳–۳۵: پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال، نوع پالس پله‌ای..... ۷٤
شکل ۳–۳٦: پاسخ زمانی پوسته حاوی سیال، لایه چینی، (...)..... ۷۵
شکل ۳–۳۷: پاسخ در حوزه فرکانس برای پوسته مورد بررسی شکل (۳–۳٦)..... ۷۵
شکل ۳–۳۸: تغییر دامنه نوسانات پوسته مورد بررسی شکل (۳–۳٦)، (...)..... ۷٦

فهرست علایم و اختصارات

عنوان	علامت اختصاری
طول پوسته استوانه‌ای	L
شعاع پوسته استوانه‌ای	R
ضخامت پوسته استوانه‌ای	h
مختصه مکانی در جهت محوری	x
مختصه مکانی در جهت محیطی	θ
مختصه مکانی در جهت شعاعی	z
بردار کرنش	$\{\varepsilon\}$
بردار تنش	$\{\sigma\}$
ماتریس سفتی کاهش یافته	$[Q]$
ماتریس سفتی تبدیل یافته کاهش یافته	$[\bar{Q}]$
ماتریس تبدیل	$[T]$
زاویه الیاف نسبت به محور استوانه	ϕ
مدول یانگ در جهت‌های اصلی تک لایه کامپوزیت	E_1 , E_2
ضرایب پواسون	υ_{12} , υ_{21}
مدول برشی	G_{12} , G_{23} , G_{31}
کرنش عمودی در جهت محوری	ε_x
کرنش عمودی در جهت محیطی	ε_θ
کرنش برشی	$\varepsilon_{x\theta}$, ε_{xz} , $\varepsilon_{\theta z}$

کرنش عمودی سطح میانی پوسته در جهت محوری	ε_x^0
کرنش عمودی سطح میانی پوسته در جهت محیطی	ε_θ^0
کرنش برشی سطح میانی پوسته	$\gamma_{x\theta}^0 , \gamma_{xz}^0 , \gamma_{\theta z}^0$
انحنای سطح میانی پوسته در جهت محوری	k_x^0
انحنای سطح میانی پوسته در جهت محیطی	k_θ^0
پیچش سطح میانی پوسته	$k_{x\theta}^0$
مؤلفه تغییر مکان پوسته در جهات محوری، محیطی و شعاعی	$u \ , v , w$
مؤلفه تغییر مکان لایه میانی پوسته در جهات محوری، محیطی و شعاعی	u_0 , v_0 , w_0
شیب در صفحه (x-z)	ψ_x
شیب در صفحه $(\theta - z)$	ψ_θ
ماتریس سفتی	$[S]$
ماتریس سفتی کششی	A_{ij}
ماتریس سفتی پیچشی	B_{ij}
ماتریس سفتی خمشی	D_{ij}
ماتریس سفتس برشی	H_{ij}
ماتریس سفتی کاهش یافته نظیر لایه k ام	$\left[\bar{Q}_{ij}\right]_k$
تابع وزنی فاکتور تصحیح برشی	$f(z)$
انرژی کرنشی پوسته استوانه‌ای	U_{shell}
انرژی جنبشی پوسته استوانه‌ای نظیر لایه k ام	T_k
انرژی جنبشی پوسته استوانه‌ای	T_{shell}

چگالی لایه k ام پوسته استوانه‌ای کامپوزیتی	ρ^k
زمان	t
تعداد نیم موج‌های طولی پوسته	m
تعداد نیم موج‌های محیطی پوسته	n
توابع زمانی در مختصات تعمیم یافته	$T_{mn}(t)$
توابع مودال تیری در جهت محوری	$\eta_i(x)$
توابع مثلثاتی در جهت محیطی	$\Phi_i(\theta)$
ثابت شکل مود پوسته در جهت محوری	A_{mn}
ثابت شکل مود پوسته در جهت محیطی	B_{mn}
ثابت شکل مود پوسته در جهت شعاعی	C_{mn}
ثابت شکل مود پوسته در جهت شیب محوری	D_{mn}
ثابت شکل مود پوسته در جهت محیطی	E_{mn}
توابع شکل مود در جهت محوری	$\bar{A}_{mn}$
توابع شکل مود در جهت محیطی	$\bar{B}_{mn}$
توابع شکل مود در جهت شعاعی	$\bar{C}_{mn}$
توابع شکل مود در جهت شیب محوری	$\bar{D}_{mn}$
توابع شکل مود در جهت شیب محیطی	$\bar{E}_{mn}$
ریشه معادلات غیر خطی	λ
ضرایب ثابت وابسته به شرایط مرزی	α_i
پارامتر وابسته به λ	σ

فرکانس طبیعی	ω_{mn}
تابع پتانسیل سرعت سیال	Φ
مؤلفه‌های سرعت سیال در جهات محوری، محیطی و شعاعی	V_x , V_r , V_θ
انرژی جنبشی سیال	T_{fl}
چگالی سیال	ρ_{fl}
ارتفاع سیال درون پوسته	H
بردار ثوابت شکل مود (براساس تئوری کلاسیک)	$\{\Delta\}_{mn}$
بردار توابع شکل مود (براساس تئوری کلاسیک)	$\{\bar{\Delta}\}_{mn}$
ماتریس سفتی پوسته (براساس تئوری کلاسیک)	$[K]_{mn}$
ماتریس جرم پوسته (براساس تئوری کلاسیک)	$[M]_{mn}$
بردار ثوابت شکل مود (براساس تئوری کلاسیک)	$\{\Delta'\}_{mn}$
بردار توابع شکل مود (براساس تئوری کلاسیک)	$\{\bar{\Delta}'\}_{mn}$
ماتریس سفتی پوسته (براساس تئوری کلاسیک)	$[K']_{mn}$
ماتریس جرم پوسته (براساس تئوری کلاسیک)	$[M']_{mn}$
تابع زمانی بار اعمال شده	$F(t)$
مقدار ماکزیمم بار اعمال شده	F_0
طول سطح اعمال بار روی پوسته	L_2
عرض سطح اعمال بار روی پوسته	L_1
فاصله ابتدای سطح اعمال بار نسبت به مبدأ	x_1
فاصله انتهای سطح اعمال بار نسبت به مبدأ	x_2
زاویه ابتدای سطح اعمال بار نسبت به مبدأ	θ_1

زاویه انتهای سطح اعمال بار نسبت به مبدأ	θ_2
زمان انتهای اعمال بار	t_1

فصل اول

مقدمه