



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

گرایش طراحی کاربردی

بررسی ارتعاشات آزاد پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان

نگارش:

رضا جداری برهانی

استاد راهنما:

دکتر علی اصغر جعفری

زمستان ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي  
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ

تقدیم به

## پدر و مادر عزیزم،

آنانکه مظهر عشق و محبت اند و با سوختن شمع

وجودشان پرتو افشان بزم اندیشه اند

آنانکه فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی

سیمایشان سرمایه های زندگی ام هستند

آنانکه مویشان سپیدی گرفت تا رویم سپید بماند

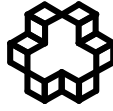
آنانکه راستی قامت در شکستگی قامتشان تجلی یافت

در برابر وجود گرامیشان، زانوی ادب بر زمین می‌نهم و با

دلی مملو از عشق و محبت، بر دستشان بوسه می‌زنم و

این اندک دستاورد علمی را به مفضل وجود والایشان

صمیمانه تقدیم می‌نمایم.



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## تاییدیه هیأت داوران

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

### بررسی ارتعاشات آزاد پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان

توسط رضا جداری برهانی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی در تاریخ                      مورد تأیید قرار دادند.

امضاء

۱- استاد راهنما دکتر

امضاء

۲- استاد مشاور دکتر

امضاء

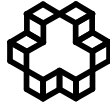
۳- استاد ممتحن دکتر

امضاء

۴- استاد ممتحن دکتر

امضاء

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دکتر



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## اظهارنامه دانشجو

اینجانب رضا جداری برهانی 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:

**بررسی ارتعاشات آزاد پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان**

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 پایان نامه متعلق به نویسنده و استاد/استادان راهنمای آن می باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان نامه تنها با موافقت نویسنده یا استاد/استادان راهنما یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

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

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

سپاس فدایی را که دای عقل بر قامت انسان برافراشت و منت بی پایان او را، که مرا فرصت علم آموزی عطا فرمود. سپاس فدای را که مرا آغوش پر مهر مادر و پشتوانه استوار پدر بخشید. بی شک اگر راهنمایی ها و روشنگری ها ایشان چراغ راه من نبود مرا یارای رسیدن به هیچ سر منزل موفقیتی نبود.

سپاس فدای را که بر من منت نهاد به داشتن اساتید و معلمان بزرگوار و فهیم. آنان که با چراغ دانششان مرا در سرزمین دانش پروراندند. نهایت تشکر و سپاسگزاری از استاد گرامی جناب آقای دکتر علی اصغر بعفری به فاطر راهنمایی های ارزنده، صبر و تحمل زیاد و افلاق نیکو در طول انجام پروژه را دارم. همچنین از تمامی اساتید دانشکده مهندسی مکانیک که در طول دوره کارشناسی ارشد از محضر ایشان کسب علم نمودم تشکر نموده و برای ایشان آرزوی موفقیت و سربلندی دارم.

سپاس فدای را به فاطر تمام دوستان باصفا و بامحبت که در مسیر زندگی مرا با ایشان آشنا ساخت. تشکری ویژه دارم از دوستان عزیزم مهندس مهدی بنیادی و جلال فجسته که کمک ها و راهنمایی هایشان در

پیشبرد کارهایم بسیار موثر بود. همچنین از مدیریت مقرر کتابخانه  
انصار و مسئولین فرهیفته این مجموعه فرهنگی برای فراهم کردن  
ممیطی مناسب و ویژه برای تدوین این پایان‌نامه نهایت تشکر و  
قدردانی را دارم.

در پایان از خداوند بزرگ می‌فواهم که فرصت علم‌آموزی را در این  
دنیا برایم تداوم بخشید، به من سعادت خدمت به مردمان را عطا فرماید،  
چنانکه از علم و دانشی که به من مرحمت نموده است، جز در راه  
رضای او بهره‌نگیرم.



## چکیده

در این پایان نامه، ارتعاشات آزاد پوسته‌های کامپوزیتی چرخان بر اساس تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول بررسی شده است. روابط کرنش-تغییر مکان و انحناء-تغییر مکان بر مبنای تقریب اول لاو نوشته شده است. سه شرط مرزی در نظر گرفته شده است که شامل تکیه‌گاه دوسر ساده، دوسر گیردار و نیز یک‌سر گیردار-یک‌سر ساده می‌باشد. برای استخراج معادلات حرکت، ابتدا تابع انرژی محاسبه و سپس اصل همیلتون به این تابع اعمال می‌گردد. فرکانس‌های طبیعی، از روش انرژی و معادله‌ی ریلی-ریتز به دست آمده است که بر اساس اصل انرژی پتانسیل کمینه استوار است. دقت نتایج از مقایسه با نتایج به دست آمده توسط دیگر پژوهشگران و همچنین با نرم افزار المان محدود تأیید شده است. تأثیر پارامترهای مختلف نظیر هندسه، جنس، چیدمان الیاف و نیز سرعت دوران بر روی فرکانس طبیعی پوسته بررسی می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** ارتعاشات آزاد، پوسته مخروطی، کامپوزیت، تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول

---

ح	فهرست جداول.....
خ	فهرست شکل‌ها.....
ذ	فهرست علائم و اختصارات.....

**فصل اول : مقدمه**

۱	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ مروری بر ادبیات موجود.....
۳	۱-۲-۱ مروری بر کارهای گذشته در زمینه ارتعاشات پوسته مخروطی.....
۴	۲-۲-۱ مروری بر کارهای گذشته در زمینه ارتعاشات پوسته مخروطی کامپوزیتی.....
۵	۳-۲-۱ مروری بر کارهای گذشته در زمینه ارتعاشات پوسته مخروطی چرخان.....
۷	۴-۲-۱ مروری بر کارهای گذشته در زمینه ارتعاشات پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان.....
۷	۳-۱ کارهای انجام شده در این پژوهش.....
۹	۴-۱ نوآوریهای پژوهش حاضر.....

**فصل دوم : مروری بر کامپوزیت‌ها**

۱۰	۱-۲ تاریخچه.....
۱۱	۲-۲ تعریف کامپوزیت.....
۱۲	۳-۲ نقاط قوت کامپوزیت‌ها.....
۱۲	۴-۲ ویژگی‌های اصلی کامپوزیت‌ها.....
۱۲	۵-۲ مزایای کاربردی کامپوزیت‌ها.....
۱۳	۶-۲ مزایا و صرفه جویی‌های استفاده از کامپوزیت.....
۱۳	۱-۶-۲ سبکی.....
۱۴	۲-۶-۲ خواص مکانیکی بالا.....
۱۴	۳-۶-۲ مقاومت در برابر خوردگی.....

- ۲-۶-۴ سرمایه‌گذاری کم..... ۱۴
- ۲-۶-۵ سهولت تولید..... ۱۴
- ۲-۷ وضعیت صنعت کامپوزیت در سطح بین‌المللی و ملی..... ۱۵
- ۲-۸ تقسیم بندی کامپوزیت‌ها..... ۱۶
- ۲-۸-۱ مزایای کامپوزیت های پایه پلیمری..... ۱۶
- ۲-۹ رزین..... ۱۸
- ۲-۱۰ انواع الیاف..... ۱۹
- ۲-۱۱ مقایسه و انتخاب ماتریس..... ۲۰
- ۲-۱۲ رزینهای اپوکسی..... ۲۰
- ۲-۱۳ معادلات ساختاری یک چند لایه..... ۲۱
- ۲-۱۳-۱ تعمیم قانون هوک..... ۲۱
- ۲-۱۴ خصوصیات یک چند لایه تک‌جهته..... ۲۱
- ۲-۱۵ تبدیلات تنش و کرنش..... ۲۵

### فصل سوم: بدست آوردن معادلات حاکم پوسته مخروطی کامپوزیتی غیر چرخان ۳۰

- ۳-۱ تعریف کلی و پایه ای پوسته ها..... ۳۱
- ۳-۲ آشنایی با تئوری‌های مختلف پوسته..... ۳۱
- ۳-۲-۱ تئوری پوسته جدار نازک یا تئوری کلاسیک..... ۳۱
- ۳-۲-۲ تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول..... ۳۳
- ۳-۲-۳ تئوری تغییر شکل برشی مرتبه سوم..... ۳۴
- ۳-۳ روابط کلی در پوسته‌ها..... ۳۵
- ۳-۴ متجه‌های تنش..... ۳۹
- ۳-۵ فانکشنال انرژی..... ۴۳
- ۳-۶ معادلات حاکم..... ۴۶
- ۳-۷ روابط حاکم بر پوسته مخروطی..... ۴۷
- ۳-۸ شرایط مرزی..... ۴۹

- ۳-۹ تشکیل تابع پتانسیل انرژی ..... ۵۱
- ۳-۱۰ حل مسئله ..... ۵۲

## فصل چهارم: بدست آوردن معادلات حاکم پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان ۵۴

- ۴-۱ مقدمه ..... ۵۵
- ۴-۲ فانکشنال انرژی ..... ۵۵
- ۴-۳ انرژی جنبشی پوسته چرخان ..... ۵۵
- ۴-۴ انرژی کرنشی پوسته ناشی از کشش حلقوی اولیه ..... ۵۷
- ۴-۵ انرژی کرنشی خمشی و کششی پوسته ..... ۵۸
- ۴-۶ انرژی کار حاصل از نیروهای حجمی ..... ۵۹
- ۴-۷ اصل همپلتون ..... ۵۹
- ۴-۸ معادلات حاکم ..... ۵۹
- ۴-۹ بدست آوردن معادله فرکانسی ..... ۶۰

## فصل پنجم: نتایج و تفسیر آنها ۶۱

- ۵-۱ پیشگفتار ..... ۶۲
- ۵-۲ ارتعاشات آزاد پوسته مخروطی غیر چرخان ..... ۶۳
- ۵-۳ ارتعاشات آزاد پوسته مخروطی چرخان ..... ۶۵
- ۵-۴ بررسی پارامترهای مختلف بر روی فرکانس طبیعی ..... ۶۷

## فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۲

- ۶-۱ مقدمه ..... ۸۳
- ۶-۲ نتایج اصلی ..... ۸۳
- ۶-۳ پیشنهادات ..... ۸۵

مراجع ..... ۸۷

پیوست ..... ۹۲

## جداول

صفحه	عنوان
۱۴	جدول ۱-۲- تاثیرات کاهش وزن در قیمت ادوات و وسایل نقلیه هوایی
۲۴	جدول ۲-۲- مقادیر ثوابت مهندسی مواد مختلف
۲۵	جدول ۳-۲- مقادیر اضافی ثوابت مهندسی برای مواد ذکر شده در جدول ۲-۲
۶۲	جدول ۱-۵- خصوصیات مکانیکی پوسته
۶۳	جدول ۲-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f = \check{S}b\sqrt{(1-\hat{\nu}^2)}\dots/E$ برای یک پوسته مخروطی ایزوتروپیک غیر چرخان با شرط مرزی $Ss-Sl$ ( $m=1, \hat{\nu}=0.3, h/b=0.01, L\sin r/b=0.25, r=30^\circ$ )
۶۳	جدول ۳-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f = \check{S}b\sqrt{(1-\hat{\nu}^2)}\dots/E$ برای یک پوسته مخروطی ایزوتروپیک غیر چرخان با شرط مرزی $Cs-Cl$ ( $m=1, \hat{\nu}=0.3, h/b=0.01, L\sin r/b=0.5, r=45^\circ$ )
۶۴	جدول ۴-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f = \check{S}b\sqrt{(1-\hat{\nu}^2)}\dots/E$ برای یک پوسته مخروطی ایزوتروپیک غیر چرخان با شرط مرزی $Ss-Sl$ ( $m=1, \hat{\nu}=0.3, h/b=0.01, L\sin r/b=0.25, r=45^\circ$ )
۶۴	جدول ۵-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f = \check{S}b\sqrt{(1-\hat{\nu}^2)}\dots/E$ برای یک پوسته مخروطی ایزوتروپیک غیر چرخان با شرط مرزی $Ss-Sl$ ( $m=1, \hat{\nu}=0.3, h/b=0.01, L\sin r/b=0.25, r=60^\circ$ )
۶۵	جدول ۶-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f = \check{S}b\sqrt{(1-\hat{\nu}^2)}\dots/E$ برای یک پوسته مخروطی ایزوتروپیک غیر چرخان با شرط مرزی $Cs-Cl$ ( $m=1, \hat{\nu}=0.3, h/b=0.01, L\sin r/b=0.5, r=60^\circ$ )
۶۵	جدول ۷-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f_{BW} = \check{S}b\sqrt{\dots}/E_{22}$ برای یک پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان با شرط مرزی $Ss-Sl$ و لایه چینی $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ ( $m=1, a=b=R, h/b=0.002, L/R=1, r=0^\circ, \Omega=0.1(rps)$ )
۶۶	جدول ۸-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f_{BW} = \check{S}b\sqrt{\dots}/E_{22}$ برای یک پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان با شرط مرزی $Ss-Sl$ و لایه چینی $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ ( $m=1, a=b=R, h/b=0.002, L/R=1, r=0^\circ, \Omega=1.0(rps)$ )
۶۶	جدول ۹-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f_{BW} = \check{S}b\sqrt{\dots}/E_{22}$ برای یک پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان با شرط مرزی $Ss-Sl$ و لایه چینی $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ ( $m=1, a=b=R, h/b=0.002, L/R=5, r=0^\circ, \Omega=0.1(rps)$ )
۶۶	جدول ۱۰-۵- مقایسه پارامتر فرکانسی $f_{BW} = \check{S}b\sqrt{\dots}/E_{22}$ برای یک پوسته مخروطی کامپوزیتی چرخان با شرط مرزی $Ss-Sl$ و لایه چینی $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ ( $m=1, a=b=R, h/b=0.002, L/R=5, r=0^\circ, \Omega=1.0(rps)$ )

## فهرست شکل

### عنوان

۱۹	شکل ۱-۲- دسته‌بندی کامپوزیت‌ها.....
۲۳	شکل ۲-۲- یک لایه مرکب تقویت شده با الیاف یک سویه با سیستم مختصات مادی $(X_1, X_2, X_3)$ .....
۲۳	شکل ۳-۲- تست مورد نیاز برای خصوصیات مکانیکی یک چند لایه.....
۲۷	شکل ۴-۲- نمادگذاری در مختصات دکارتی.....
۲۸	شکل ۵-۲- دستگاه مختصات مواد کامپوزیتی (مستحکم شده با الیاف).....
۳۱	شکل ۱-۳- شماتیک کلی پوسته.....
۳۳	شکل ۲-۳- تفاوت زاویه خط عمود بر سطح میانی در تئوری برشی مرتبه ۱ و تئوری کلاسیک.....
۳۵	شکل ۳-۳- تغییر شکل عرضی در تئوری‌های مختلف.....
۳۵	شکل ۴-۳- مختصات صفحه میانی پوسته.....
۳۷	شکل ۵-۳- المان پوسته در دستگاه مختصات منحنی الخط.....
۳۹	شکل ۶-۳- متجه‌های نیرو در مختصات پوسته.....
۴۰	شکل ۷-۳- متجه‌های ممان در مختصات پوسته.....
۴۴	شکل ۸-۳- نمادگذاری در مختصات پوسته.....
۴۸	شکل ۹-۳- هندسه و دستگاه مختصات پوسته مخروطی.....
	شکل ۱-۵- تغییرات فرکانسی دو موج پیشرونده (FW) و پسرونده (BW) در سرعت‌های دورانی مختلف برای حالت
۶۷	$L=1m, a=0.6m, \alpha=75^\circ, h=3mm, m=1, n=1-2-3, Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$ .....
	شکل ۲-۵- تغییرات فرکانسی دو موج پیشرونده (FW) و پسرونده (BW) در سرعت‌های دورانی مختلف برای حالت
۶۸	$L=1m, a=0.6m, \alpha=75^\circ, h=3mm, m=1, n=4-5-6, Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$ .....
	شکل ۳-۵- تغییرات فرکانس پایه موج پیشرونده (FW) بر حسب سرعت دورانی با زوایای رأس مختلف برای حالت
۶۸	$L=3m, a=1m, h=5mm, m=1, Cs-Sl, Glass/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$ .....
	شکل ۴-۵- تغییرات فرکانس پایه موج پسرونده (BW) بر حسب ضخامت پوسته مخروطی چرخان بر اثر اندازه‌های مختلف شعاع
۶۹	کوچکتر برای حالت $L=3m, \alpha=45^\circ, h=5mm, m=1, \Omega=10(rps), Cs-Cl, Boron/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$ .....
	شکل ۵-۵- تغییرات فرکانس پایه موج پسرونده (BW) بر حسب ضخامت پوسته مخروطی چرخان با زوایای رأس مختلف برای
۶۹	حالت $L=3m, a=1m, h=5mm, m=1, \Omega=10(rps), Cs-Cl, Boron/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$ .....
	شکل ۶-۵- تغییرات فرکانس پایه موج پسرونده (BW) بر حسب ضخامت پوسته مخروطی چرخان با مقادیر مختلف طول مولد برای
۷۰	حالت $a=1m, h=5mm, r=30^\circ, m=1, \Omega=10(rps), Cs-Cl, Boron/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$ .....

شکل ۷-۵- تغییرات فرکانس طبیعی بر حسب ضخامت پوسته مخروطی غیر چرخان برای حالت

۷۱ .....  $L=2m, a=1m, r=45^\circ, m=1, Cs-Cl, Boron/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۸-۵- تغییرات فرکانسی دو موج پیشرونده (FW) و پسرونده (BW) بر حسب ضخامت پوسته در مودهای مختلف محیطی

برای حالت ۷۲ ...  $L=2m, a=1m, \alpha=45^\circ, \Omega=10(rps), m=1, n=1-2-3, Cs-Cl, Boron/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۹-۵- تغییرات فرکانسی دو موج پیشرونده (FW) و پسرونده (BW) بر حسب ضخامت پوسته در مودهای مختلف محیطی

برای حالت ۷۳ ...  $L=2m, a=1m, \alpha=45^\circ, \Omega=10(rps), m=1, n=4-5-6, Cs-Cl, Boron/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۰-۵- تغییرات فرکانس طبیعی موج پسرونده (BW) بر حسب شماره مود محیطی پوسته مخروطی چرخان در شرایط مرزی

مختلف ۷۴ .....  $L=3m, a=0.5m, \alpha=45^\circ, h=3mm, m=1, \Omega=20(rps), Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۱-۵- تغییرات فرکانس طبیعی بر حسب شماره مود محیطی پوسته مخروطی چرخان با زوایای رأس مختلف برای حالت

۷۵ .....  $L=5m, a=0.5m, h=3mm, m=1, \Omega=20(rps), Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۲-۵- تغییرات فرکانس طبیعی بر حسب شماره مود محیطی پوسته مخروطی چرخان در نسبت‌های مختلف  $h/a$  برای حالت

۷۶ .....  $L=3m, \alpha=30^\circ, m=1, \Omega=5(rps), Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۳-۵- تغییرات فرکانس طبیعی بر حسب شماره مود محیطی پوسته مخروطی چرخان در نسبت‌های مختلف  $L/a$  برای

حالت ۷۷ .....  $a=1m, \alpha=30^\circ, m=1, \Omega=5(rps), Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۴-۵- تغییرات فرکانس طبیعی بر حسب شماره مود محیطی پوسته مخروطی چرخان در چیدمان‌های مختلف لایه

کامپوزیتی برای حالت ۷۸ .....  $L=3m, a/L=0.4, \alpha=60^\circ, h/a=0.02, m=1, \Omega=20(rps), Ss-Sl, Graphite/Epoxy$

شکل ۱۵-۵- تغییرات فرکانس طبیعی بر حسب شماره مود محیطی پوسته مخروطی چرخان در اثر وجود مواد مختلف برای حالت

۷۹ .....  $L=2m, a/L=0.4, \alpha=60^\circ, h=3mm, m=1, \Omega=20(rps), Ss-Sl, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۶-۵- تغییرات فرکانس طبیعی بر حسب شماره مود محیطی پوسته مخروطی چرخان در سرعت‌های دورانی مختلف برای

حالت ۸۰ .....  $L=3m, a=1m, \alpha=60^\circ, h=5mm, m=1, Cs-Cl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۷-۵- تغییرات فرکانس طبیعی پوسته مخروطی چرخان بر حسب سرعت دورانی برای حالت

۸۱ .....  $L=3m, a=1m, \alpha=30^\circ, h=5mm, m, n=1, Cs-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۸-۵- تغییرات فرکانس پایه پوسته مخروطی چرخان بر حسب سرعت دورانی با مقادیر مختلف شعاع کوچک برای حالت

۸۲ .....  $L=3m, \alpha=60^\circ, h=5mm, m=1, Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۱۹-۵- تغییرات فرکانس پایه پوسته مخروطی چرخان بر حسب سرعت دورانی با زوایای رأس مختلف برای حالت

۸۳ .....  $L=3m, a=1m, h=5mm, m=1, Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۲۰-۵- تغییرات فرکانس پایه دو موج پیشرونده (FW) و پسرونده (BW) بر حسب سرعت دورانی با ضخامت‌های مختلف

برای حالت ۸۴ .....  $L=3m, a=1m, r=45^\circ, m=1, Cs-Sl, Glass/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$

شکل ۲۱-۵- تغییرات فرکانس طبیعی پوسته مخروطی چرخان بر حسب سرعت دورانی در مودهای مختلف محیطی برای حالت

۸۵ .....  $L=3m, a=1m, h=5mm, m=1, Ss-Sl, Graphite/Epoxy, [0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$



## فهرست علائم و اختصارات

اختصاری	عنوان
$A_{ij}$	درایه های ماتریس سفتی کششی
$B_{ij}$	درایه های ماتریس کوپلینگ
$D_{ij}$	درایه های ماتریس سفتی خمشی
$a$	شعاع سر کوچک پوسته مخروطی
$b$	شعاع سر بزرگ پوسته مخروطی
$L$	طول مولد پوسته
$r$	زاویه رأس مخروط
$H, h$	ضخامت پوسته
$h_i$	ضخامت لایه $i$ ام پوسته
$E$	مدول الاستیسیته
$G$	مدول الاستیسیته برشی
$e$	کرنش سطح مرجع
$ $	انحناء سطح مرجع
$[K]$	ماتریس سفتی پوسته
$[M]$	ماتریس جرمی پوسته
$M_{x (, or x_*)}$	منتجه ممان در راستای مربوطه
$N_{x (, or x_*)}$	منتجه نیرو در راستای مربوطه

$Q_{x(or \cdot)}$	منتجه نیروی برشی
$m$	شماره مود طولی
$n$	شماره مود محیطی
$Q_{ij}$	ماتریس سفتی کاهش یافته هر لایه کامپوزیتی
$\bar{Q}_{ij}$	ماتریس سفتی کاهش یافته انتقالی هر لایه کامپوزیتی
$R(x)$	شعاع متغیر پوسته مخروطی
$\bar{r}$	بردار جابجایی
$\bar{v}$	بردار سرعت
$[S]$	ماتریس سفتی چند لایه
$T$	انرژی جنبشی
$[T]$	ماتریس انتقال
$t$	مختصه زمان
$U$	انرژی کرنشی یا پتانسیل
$u, v, w$	جا به جایی در راستای طولی، محیطی و عرضی
$u_o, v_o, w_o$	جابجایی سطح مرجع در راستای طولی، محیطی و عرضی
$x$	مختصه در راستای طولی پوسته مخروطی
$"$	مختصه در راستای محیطی پوسته مخروطی
$z$	مختصه در راستای ضخامت پوسته مخروطی
$\mathbb{E}_{x(or \cdot)}$	چرخش در راستای مربوطه

$v$	بردار کرنش
$t$	بردار تنش
$\Omega$	سرعت دورانی
$\dots$	دانسیته جرمی
$\Pi$	تابع انرژی
$\sim$	ضریب پواسون
$\chi$	کرنش برشی
$S$	فرکانس طبیعی
$u$	دلتای کرونگر

# فصل اول

مقدمه