۱۳۷۸ /۷/ ۱۲
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تعلیمیت مدارک

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مکانیک

تعیین بار کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت بار محوری به کمک مشخصه‌های مودال

شهریار حقیقی قشقائی

14261

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

استاد راهنما : دکتر محمد حق‌پناهی

پائیز ۱۳۷۷

بنام خداوند جان و خرد

تقدیم به پدر و مادر عزیز

و همسر مهربانم

چکیده

در طراحی و تحلیل سازه هایی که در آنها پوسته های استوانه ای تحت بار گذاری محوری فشاری قرار دارند، بررسی مساله کمانش به‌عنوان یکی از مدهای ممکن تخریب ضروری است. در یک پوسته استوانه ای تقویت شده، علاوه بر پوسته، به تعداد تقویت کننده های طولی، تیرهایی بر بستر الاستیک (که همان پوسته استوانه ای است) وجود دارند و در مقابل نیروی محوری منجر به کمانش، مقاومت می کنند.

ایده اصلی این پروژه استفاده از تغییرات فرکانس های طبیعی یک سازه، در تعیین بار کمانش آن است. در کار حاضر نشان داده می شود برای سازه هایی که شکل مدهای ارتعاشی و کمانشی آنها یکسان است، مربع فرکانس های طبیعی با بار رابطه خطی دارد. همچنین در این پروژه نشان داده می شود که فرکانس طبیعی مربوط به شکل مدی که سازه در آن مد کمانش می کند، در بار بحرانی به صفر می رسد و همانگونه که قبلاً اشاره شد نحوه کاهش مربع فرکانس طبیعی فوق نسبت به بار خطی است.

از ایده مطرح شده در بالا می توان به دو نحو در تعیین بار کمانش یک سازه استفاده کرد:

* اصلاح مدل به کمک داده‌های ارتعاشی .
* برون‌یابی منحنی مربع فرکانس طبیعی - بار .

استفاده از نتایج آزمایشات ارتعاشی در شناسایی سازه‌های واقعی و در پی آن اصلاح مدل‌های ریاضی ساخته شده برای تحلیل سازه (تعیین شرایط مرزی واقعی و نواقص هندسی اولیه، نحوه مدل کردن اتصالات و مانند آنها، تعیین خروج از مرکزی بار) از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. در روش دوم از این واقعیت استفاده می شود که مقدار فرکانس طبیعی متناظر با شکل مد کمانش، در بار بحرانی به صفر می رسد. چنانچه فرکانس مربوط به مد فوق، در بارهایی کوچکتر از بار بحرانی اندازه گیری شود، با برون یابی منحنی گذرنده از نقاط اندازه گیری شده، می توان باری که به ازاء آن فرکانس طبیعی فوق صفر می شود (بار کمانش) راتعیین نمود.

در این پروژه تیر به عنوان جزء ساده شده ای از پوسته استوانه‌ای تقویت شده (که در آن تیر بر بستر الاستیک قرار دارد) مورد تحلیل تئوری و آزمایشی و همچنین پوسته استوانه‌ای به تنهایی مورد بررسی تئوری قرار می گیرند.

قدردانی و تشکر

صمیمانه‌ترین و خالص‌ترین تشکرات قلبی‌ام را حضور جناب آقای دکتر محمد حق‌پناهی که در تمام مراحل پروژه، در نهایت صمیمیت و علاقمندی، و با گشاده‌روئی در اوقات مختلف مرا پذیرا بوده و از بذل هرگونه عنایت و راهنمائی دریغ نداشته‌اند، تقدیم می‌دارم.

همچنین شایسته است از مسئولین محترم آزمایشگاه‌های مودال و مواد مرکب و کارگاه دانشکده مکانیک، که در انجام این پروژه نهایت همکاری را داشته اند، صمیمانه تشکر نمایم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	۱
فصل ۱ : کمانش پوسته های استوانه ای تحت بار محوری	۴
۱-۱- مقدمه.....	۵
۱-۲- ملاحظاتی در مورد کمانش پوسته های استوانه‌ای.....	۶
۱-۳- عوامل موثر بر استحکام کمانشی پوسته های استوانه‌ای.....	۹
۱-۴- روش‌های تعیین بار کمانش پوسته های استوانه‌ای.....	۱۲
فصل ۲ : تغییر فرکانس های طبیعی نسبت به بار محوری	۱۳
فصل ۳ : فرکانس‌های طبیعی تیر تحت بار محوری	۱۷
۳-۱- مقادیر تحلیلی بار کمانش و فرکانس‌های طبیعی تیر بدون بار محوری.....	۱۸
۳-۲- استخراج ماتریس های مورد نیاز در تحلیل کمانشی و ارتعاشی تیر به روش اجزاء محدود.....	۲۰
۳-۳- تغییرات فرکانس های طبیعی تیر نسبت به بار محوری.....	۲۲
فصل ۴ : روش تحلیلی و اجزاء محدود برای مسائل ارتعاشی وکمانشی پوسته‌های استوانه‌ای	۲۶
۴-۱- حل تحلیلی مسأله کمانش پوسته استوانه‌ای تحت بارمحوری.....	۲۷
۴-۲- مقادیر تحلیلی فرکانس‌های طبیعی پوسته استوانه‌ای بدون بار محوری.....	۳۳
۴-۳- المان‌های پوسته با تقارن محوری.....	۳۶
۴-۴- ماتریس سختی هندسی برای المان پوسته دوار.....	۳۸
۴-۵- استخراج ماتریس های مورد استفاده در تحلیل کمانشی و ارتعاشی پوسته استوانه‌ای به روش اجزاء محدود.....	۴۱
فصل ۵ : فرکانس‌های طبیعی پوسته استوانه‌ای تحت بار محوری	۴۴
۵-۱- ارزیابی نتا یج کمانشی و ارتعاشی بدست آمده از روش اجزاء محدود.....	۴۵
۵-۲- تغییرات فرکانس های طبیعی پوسته استوانه ای نسبت به بار محوری.....	۵۳
۵-۳- برخی ملاحظات عملی در استخراج فرکانس های طبیعی پوسته‌های استوانه‌ای..	۶۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۶ : استخراج فرکانس‌های طبیعی تیر دوسرگیردارتحت بارمحوری به کمک آزمایش	۶۴
۱-۶- ملاحظات ابعادی	۶۵
۲-۶- نمونه آزاد	۶۸
۳-۶- نمونه کششی	۷۰
۴-۶- نمونه فشاری	۷۲
۵-۶- تحلیل نتایج آزمایش	۷۶
فصل ۷ : نتیجه گیری و پیشنهاد برای ادامه کار	۷۸
۱-۷- نتیجه گیری	۷۹
۲-۷- پیشنهادات برای ادامه کار	۸۳

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
فصل اول:		
۱-۱	منحنی بارجابجایی برای یک سازه تحت بار کمانش	۶
۱-۲	تغییر مدهای محیطی در محدوده بعد از کمانش	۷
۱-۳	پدیده پرش، بعد از رسیدن به بار کمانش	۸
فصل سوم:		
۳-۱	تغییرات مربع اولین فرکانس طبیعی یک تیر با شرایط مرزی مختلف تحت بار محوری فشاری	۲۳
۳-۲	اثر شرایط مرزی بر نحوه تغییرات مربع فرکانس طبیعی اول تیر نسبت به بار محوری فشاری	۲۴
۳-۳	اثر شرایط مرزی بر نحوه تغییرات مربع فرکانس طبیعی دوم تیر نسبت به بار محوری فشاری	۲۴
۳-۴	تغییرات مربع فرکانس‌های طبیعی یک تیر با شرایط مرزی دوسرگیردار، تحت بار محوری فشاری	۲۵
فصل چهارم:		
۴-۱	مختصات به کار گرفته شده در تحلیل پوسته استوانه‌ای	۲۷
۴-۲	المان دیفرانسیلی از یک پوسته به همراه نیروها و گشتاورهای وارد بر آن	۲۸
۴-۳	المان پوسته با تقارن محوری	۳۷
فصل پنجم:		
۵-۱	مقایسه همگرایی المان خطی و درجه سه نسبت به تئوری - Donnel Mushtari در مد n=4,m=1 برای پوسته استوانه‌ای با شرایط مرزی SS3	۴۸
۵-۲	همگرایی مقدار بار کمانش (بدون بعد) با استفاده از المان خطی با مش‌بندی اصلاح شده و مش بندی با فواصل مساوی	۵۱
۵-۳	همگرایی مقدار بار کمانش (بدون بعد) با استفاده ازالمان درجه سه با مش‌بندی اصلاح شده و مش بندی با فواصل مساوی	۵۱
۵-۴	تغییرات فرکانس‌های بی‌بعد شده، مربوط به سه مد اول برای شرط مرزی SS4	۵۴

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
۵-۵	تغییرات فرکانس‌های بی‌بعد شده، مربوط به مد m=1، n=4	۵۵
۵-۶	کاهش خطی مربع فرکانس‌های طبیعی بی‌بعد شده در مد n=1,m=17 برای شرط مرزی SS4	۵۷
۵-۷	تغییرات مربع فرکانس های طبیعی بی‌بعد شده مربوط به مد های طولی نزدیک به مد کمانش برای شرایط مرزی SS4	۵۸
۵-۸	تغییرات مربع فرکانس‌های طبیعی بی‌بعد شده مربوط به مدهای طولی نزدیک به مد کمانش برای شرایط مرزی SS4 در نزدیکی بار کمانش	۵۹
۵-۹	کاهش خطی مربع فرکانس‌های طبیعی بی‌بعد شده در مد n=1,m=17 برای شرایط مرزی SS4 و C4	۶۰
۵-۱۰	کاهش خطی مربع فرکانس‌های طبیعی بی‌بعد شده در مد n=1,m=17 برای شرط مرزی C4	۶۰
۵-۱۱	شکل مد ارتعاشی برای شرط مرزی C4	۶۱
۵-۱۲	شکل مد کمانشی برای شرط مرزی C4	۶۲
فصل ششم:		
۶-۱	منحنی نیرو برحسب جابجائی فک دستگاه کشش، برای نمونه‌ای مشابه نمونه T300	۶۶
۶-۲	منحنی نیرو برحسب جابجائی فک دستگاه کشش، برای نمونه C300-2	۶۷
۶-۳	نمونه آزاد(F300)	۶۹
۶-۴	تغییرات مربع اولین فرکانس طبیعی نمونه کششی(T300)	۷۱
۶-۵	تغییرات مربع فرکانس های طبیعی نمونه کششی(T300)	۷۱
۶-۶	نحوه گرفتن نمونه کششی	۷۲
۶-۷	نمونه فشاری به همراه پایه ها برای تامین شرایط دوسرگیردار	۷۳
۶-۸	تغییرات مربع اولین فرکانس طبیعی نمونه C306	۷۴
۶-۹	تغییرات مربع اولین فرکانس طبیعی نمونه C300-2	۷۴
۶-۱۰	تغییرات مربع فرکانس‌های طبیعی نمونه C300-2	۷۵
۶-۱۱	تغییرات مربع فرکانس‌های طبیعی نمونه C306	۷۶

فهرست جداول

جدول	عنوان	صفحه
فصل اول:		
۱-۱	روش های تعیین بار کمانش پوسته های استوانه ای تحت بار محوری...	۱۲
فصل سوم:		
۳-۱	مقادیر ویژه (بار مجوری) معادله دیفرانسیل حاکم بر تیر تحت بار محوری.....	۱۹
۳-۲	مقادیر ویژه (ارتعاشی) معادله دیفرانسیل حاکم بر تیر.....	۱۹
فصل چهارم:		
۴-۱	فرکانس های طبیعی بدون بعد با استفاده از تئوری خمشی و تئوری غشایی.....	۳۵
فصل پنجم:		
۵-۱	فرکانس‌های طبیعی بدون بعد (Ω^2) ، با استفاده از روش اجزا محدود و تئوری خمشی.....	۴۷
۵-۲	مقدار فرکانس طبیعی(بدون بعد)در مدخمشی n=4,m=1 برای پوسته استوانه‌ای با شرایط مرزی SS3، بدست آمده از المان خطی و درجه سه...	۴۸
۵-۳	تنش بحرانی بدون بعد برای شرایط مرزی مختلف با استفاده ازالمان درجه سه و الگوی مش بندی اصلاح شده.....	۵۰
۵-۴	مقدار بار کمانشی بدون بعد مقدار بار کمانش (بدون بعد) برای المان خطی و درجه سه با مش بندی اصلاح شده و مش بندی با فواصل مساوی.....	۵۲
۵-۵	تنش بحرانی بدون بعد برای شرایط مرزی SS2 برای استوانه به ابعاد $\frac{L}{R}=1.75, \frac{R}{h}=800$	۵۲
۵-۶	حساسیت فرکانس های طبیعی بی‌بعد شده، مربوط به مدهای مختلف، نسبت به شرایط مرزی.....	۵۵
۵-۷	مقادیر مربع فرکانس‌های طبیعی بی‌بعد شده مربوط به مد کمانش برای شرایط مرزی SS3 ، SS4 ، C3 و C4.....	۵۷

فهرست جداول

جدول	عنوان	صفحه
فصل ششم:		
۶-۱	فرکانس‌های طبیعی تیر آزاد(F300)	۶۹
۶-۲	فرکانس های طبیعی تیر تحت بار کششی(T300)	۷۰
۶-۳	مشخصات نمونه های فشاری	۷۳

پیشگفتار

ایده اصلی این پروژه استفاده از تغییرات فرکانس‌های طبیعی یک سازه، در تعیین بار کمانش آن است.

در طراحی و تحلیل سازه‌هایی که در آنها پوسته‌های استوانه‌ای تحت بار گذاری محوری فشاری قرار دارند، بررسی مساله کمانش به عنوان یکی از مدهای ممکن تخریب ضروری است. استفاده از تقویت کننده‌های طولی، استحکام کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای را افزایش می‌دهد. در یک پوسته استوانه‌ای تقویت شده، علاوه بر پوسته، به تعداد تقویت کننده‌های طولی، تیرهایی بر بستر الاستیک (که همان پوسته استوانه‌ای است) وجود دارند و در مقابل نیروی محوری منجر به کمانش، مقاومت می‌کنند. در پوسته‌های استوانه‌ای به کارگیری تقویت کننده‌های طولی تغییرات قابل ملاحظه‌ای در رفتار سازه ایجاد خواهد کرد. به عنوان مثال استحکام پوسته بدون تقویت به شدت تحت تاثیر نواقص هندسی اولیه است، در حالیکه استفاده از تقویت کننده‌های طولی، این حساسیت را کاهش می‌دهد و در مقابل، تاثیرپذیری از شرایط مرزی را قوت می‌بخشد.

در کار حاضر نشان داده می‌شود برای سازه‌هایی که شکل مدهای ارتعاشی و کمانشی آنها یکسان است، مربع فرکانس‌های طبیعی با بار رابطه خطی دارد. در اینجا منظور از بار، نیرو و یا فشاری است که منجر به کمانش می‌شود، مانند نیروی محوری در تیر و یا فشار هیدروستاتیک در پوسته‌استوانه‌ای. همچنین در این پروژه نشان داده می‌شود[1] که فرکانس طبیعی مربوط به شکل مدی که سازه در آن مد کمانش می کند[2]، در بار بحرانی به صفر می‌رسد و همانگونه که قبلاً اشاره شد نحوه کاهش مربع فرکانس طبیعی فوق نسبت به بار خطی است.

[1] در این مورد نیز فرض یکسان بودن شکل مدهای ارتعاشی و کمانشی لازم است.

[2] مثلاً در یک تیر با تکیه‌گاه مفصلی، منظور اولین مد ارتعاشی است.

از ایده مطرح شده در بالا می‌توان به دو نحو در تعیین بار کمانش یک سازه استفاده کرد. به عبارت دیگر ایده فوق حاوی دو مفهوم زیر است که در تعیین بار کمانش می توان از هریک از آنها استفاده کرد:

* کاهش خطی مربع فرکانس‌های طبیعی سازه.
* کاهش خطی مربع فرکانس طبیعی مربوط به شکل مد کمانش و رسیدن این فرکانس به صفر در بار بحرانی.

استفاده از نتایج آزمایشات ارتعاشی در شناسایی سازه‌های واقعی و در پی آن اصلاح مدل‌های ریاضی ساخته شده برای تحلیل سازه[۳]، در تعیین بار کمانش پوسته‌های استوانه‌ای بسیار رایج است. در کمانش پوسته‌های استوانه‌ای علاوه بر تعیین شرایط مرزی واقعی و نواقص هندسی اولیه، نحوه مدل کردن اتصالات و مانند آنها، تعیین خروج از مرکزی بار ازاهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. شناسایی و تعیین میزان خروج از مرکزی بار به کمک آزمایشات ارتعاشی سازه تحت بار محوری امکان پذیر می باشد.

در روش دوم از این واقعیت استفاده می‌شود که مقدار فرکانس طبیعی متناظر با شکل مد کمانش، در بار بحرانی به صفر می‌رسد. چنانچه فرکانس مربوط به مد فوق، در بارهایی کوچکتر از بار بحرانی اندازه گیری شود، با برون یابی منحنی گذرنده از نقاط اندازه گیری شده، می توان باری که به ازاء آن فرکانس طبیعی فوق صفر می‌شود (بار کمانش) راتعیین نمود.

در این پروژه تیر به عنوان جزء ساده شده‌ای از پوسته استوانه‌ای تقویت شده (که در آن تیر بر بستر الاستیک قرار دارد) و همچنین پوسته استوانه‌ای به تنهایی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در فصل اول گزارش این پروژه، پدیده کمانش در پوسته‌های استوانه‌ای تقویت شده و بدون تقویت مورد بررسی اجمالی قرار می‌گیرد. در فصل دوم پدیده تغییرات خطی مربع فرکانس‌های طبیعی نسبت به بار مطرح در فصل بعدی به کمک روش اجزاءمحدود این پدیده برای تیر تحت بار محوری نشان داده می‌شود.

در تحلیل پوسته‌های استوانه‌ای، برای بررسی صحت مقادیر بدست آمده از روش اجزاءمحدود لازم است این مقادیر با نتایج بدست آمده از روش‌های دیگر مقایسه شوند. از این رو در فصل سوم این گزارش، مقدار تنش بحرانی[۴] در پوسته‌های استوانه‌ای به کمک روش تحلیلی و همچنین روش تحلیلی تعیین فرکانس‌های طبیعی برای یک پوسته استوانه‌ای با شرایط مرزی خاص به اختصار

---

[۳] modal updating

[۴] تنش موجود در پوسته استوانه‌ای در اثر اعمال بار کمانش.

بیان می‌گردد. در ادامه این فصل، دو نوع المان برای پوسته‌های استوانه‌ای معرفی می‌شود و نیز برخی جزئیات به کار گرفته شده در روش اجزاءمحدود مطرح می‌گردد.

در فصل پنجم بعد از ارزیابی نتایج بدست آمده از روش اجزاءمحدود و مقایسه آنها با مقادیر تحلیلی، تغییرات مربع فرکانس‌های طبیعی پوسته استوانه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل ششم، نتایج بدست آمده از آزمایش ارتعاشی تیر تحت بار محوری ارائه می‌شود و نتایج بدست آمده تحلیل می‌گردد.

در انتهای این گزارش ضمن جمع‌بندی نتایج بدست آمده در طی این پروژه، پیشنهاداتی نیز جهت ادامه کار ارائه می‌شود.

فصل ۱

کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت بار محوری

شامل:

۱. مقدمه

۲. ملاحظاتی در مورد کمانش پوسته‌های استوانه‌ای

۳. عوامل موثر بر استحکام کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای

۴. روش‌های تعیین بار کمانش پوسته‌های استوانه‌ای