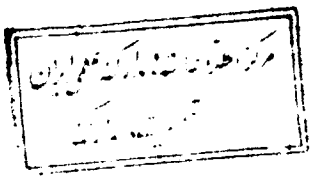
۲۶۳۹۰

۱۳۲۸ /۷/ ۱۲



دانشکده مهندسی مکانیک

حساسیت فضای مودال پوسته ها به تغییرات پارامترهای فیزیکی

اسماعیل جمالدار

پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مکانیک

استاد راهنما:

دکتر محمد حق پناهی

۱۰۳۷ ۸

پائیز ۱۳۷۷

۲۶۳۹۰

تقدیم به:

پدر ومادر بزرگوار

وهمسر گرامی ومهربانم

چکیده

یک الگوریتم برای پیدا کردن پارامترها ومعادلات بی بعد پوسته های جدار نازک وتیرها ارائه شده است.در ابتدا بر لزوم استفاده از مدل کوچک تأکید شده وبه تعریف آنالیز ابعادی پرداخته شده است.آنگاه با تحلیل ابعادی تیرها وپیدا کردن روابط تشابهی برای آنها،قدم در مبحث تحلیل تشابهی گذاشته شده است.

معادلات Reisner-love به عنوان معادلات حاکم بر ارتعاشات پوسته های جدار نازک در نظر گرفته شده سپس به بی بعد سازی معادلات حاکم پرداخته شده است و آنگاه با در نظر گرفتن رفتار غشائی وخمشی پوسته ها به صورت مجزا به روابط تشابهی پوسته های جدار نازک دست یافته ایم .سپس این روابط تشابهی با حل تحلیلی و اجزاء محدود چند نمونه استوانه یک سر در گیر مورد ارزیابی قرارداده شده است ودر آخر با انجام آزمایش مودال وپیدا کردن فرکانسهای آنها ،آخرین روش تائید صحت روابط مذکور را بکارگرفته ایم. بدین ترتیب روابط تشابهی برای پوسته ای جدار نازک حاصل گردیده است.در انتها به کمک روش اجزاء محدود، مقدمه ای بر تحلیل تشابهی پوسته های جدار ضخیم نوشته شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول-تحلیل ابعادی وتئوری تشابهی

۱-۱ تاریخچه ۲

۱-۲ تشابه ۳

۱-۳ تحلیل ابعادی وتشابه ۳

۱-۴ آنالیز ابعادی ۴

۱-۵ قضیه π باکینگهام ۵

فصل دوم-آنالیز تشابهی تیر ها

۲-۱ ارتعاشات تیر ها ۹

۲-۲ تئوری تشابهی تیر مقطع ثابت ۹

۲-۳ تئوری تشابهی تیر مقطع متغیر ۱۲

۲-۴ ارزیابی روابط به کمک اجزاء محدود ۱۵

فصل سوم-آنالیز تشابهی پوسته های جدار نازک

مقدمه ۱۷

۳-۱ تئوری غشائی پوسته های استوانه ای جدار نازک ۱۸

۳-۲ تئوری خمشی پوسته های استوانه ای جدار نازک ۲۲

۳-۲-۱ معادلات حاکم بر ارتعاشات پوسته استوانه‌ای با بار خارجی متقارن ۲۴

۳-۳ معادلات حاکم بر ارتعاشات پوسته استوانه ای با بار خارجی متقارن ۲۴

۳-۴ مودهای ارتعاشی پوسته استوانه‌ای جدار نازک ۲۷

۳-۵ تئوری عمومی پوسته های استوانه ای جدار نازک برای یک المان کلی

GENERAL THIN SHELL ۲۸

۳-۶ بی بعد سازی معادلات ارتعاشی GENERAL THIN SHELL ۳۰

۳-۷ تشابه دقیق برای حالت استوانه ای ۳۲

۳-۸ تئوری حاکم بر معادلات جابجائی پوسته استوانه ای جدار نازک ۳۴

۳-۹ تشابه تقریبی ۳۵

فصل چهارم-ارزیابی تئوری تشابهی پوسته های جدار نازک به کمک حل تحلیلی و روش اجزاء محدود

مقدمه ۴۱

۴-۱ بررسی به کمک حل تحلیلی ۴۲

۴-۱-۱ حساسیت به ضخامت h ۴۳

۴-۱-۲ حساسیت به RL ۴۳

۴-۲ بررسی به کمک روش اجزاء محدود ۴۴

۴-۲-۱ نتایج تحلیل اجزاء محدود وبررسی روابط ۴۵

۴-۲-۲ بررسی خطای ایجاد شده بین معادلات تشابهی واجزاء محدود ۴۸

فصل پنجم-ارزیابی روابط تشابهی به کمک آزمایش مودال

۵-۱ آزمایش مودال وتجهیزات آن ۵۲

۵-۲ تهیه و استقرار نمونه ها ۵۶

۵-۳ انجام آزمایش وبدست آوردن نتایج ۵۹

۵-۴ مقایسه نتایج آزمایش ونتایج حاصل از تئوری تشابهی ۶۵

بحث ونتیجه گیری وپیشنهاد ادامه کار ۶۷

فصل ششم-آنالیز تشابهی استوانه های جدار ضخیم

۶-۱ تعریف نمونه ها واجزاء محدود آنها ۷۳

۶-۲ تحلیل وارائه نتایج ۷۴

۶-۳ بحث ونتیجه گیری ۷۶

فهرست اشکال وجداول

فهرست اشکال

شکل (۱-۲) تیر یک سر درگیر ۱۱

شکل (۲-۲) تیر مقطع I شکل ۱۱

شکل (۳-۲) تیر مقطع متغیر ۱۲

شکل (۱-۳) استوانه جدار نازک ۱۸

شکل (۲-۳) المان استوانه ای جدار نازک ۱۹

شکل (۳-۳) المان استوانه ای جدار نازک ۲۰

شکل (۴-۳) المان استوانه ای جدار نازک ۲۱

شکل (۵-۳) المان استوانه ای جدار نازک ۲۲

شکل (۶-۳) پوسته استوانه ای تحت شرایط بار متقارن حول محور x ۲۳

شکل (۷-۳) المان استوانه ای جدار نازک ۲۴

شکل (۸-۳) المان استوانه ای جدار نازک ۲۶

شکل (۹-۳) مودهای پوسته استوانه ای جدار نازک ۲۷

شکل (۱۰-۳) مودهای متقارن پوسته استوانه ای جدار نازک ۲۸

شکل (۱۱-۳) مودهای نا متقارن پوسته استوانه ای جدار نازک ۲۸

شکل (۱۲-۳) المان پوسته جدار نازک در حالت کلی ۲۹

شکل (۱۳-۳) انرژی غشائی و خمشی پوسته استوانه ای جدار نازک ..... ۳۸.

شکل (۱-۴) نمودار فرکانس بر حسب تغییرات ضخامت ۴۳

شکل (۲-۴) نمودار فرکانس بر حسب تغییرات شعاع ۴۴

شکل (۳-۴) نمودار همگرائی ۴۵

شکل (۴-۴) نمودار فرکانس بر حسب تغییرات ضخامت ۴۶

شکل (۵-۴) نمودار فرکانس بر حسب تغییرات شعاع ۴۷

شکل (۶-۴) نتایج خطای تغییرات ضخامت ۴۹
شکل (۷-۴) نتایج خطای تغییرات شعاع ۵۰
شکل (۱-۵) نمای کلی مجموعه آزمایش..... ۵۴
شکل (۲-۵) تصویر نمونه های آزمایش..... ۵۷
شکل (۳-۵) تصویر از شرط مرزی نمونه های آزمایش ۵۸
شکل (۴-۵) اتصال نمونه های آزمایش به میز آزمایش..... ۵۸
شکل (۵-۵) تصویر از مجموعه سوار شده تجهیزات..... ۵۹
شکل (۶-۵) تصویر تحریک طولی نمونه شماره ۲ آزمایش..... ۶۰
شکل (۷-۵) تصویر تحریک خمشی نمونه شماره ۱ آزمایش..... ۶۰
شکل (۸-۵) نتایج آزمایش به صورت FRF..... ۶۱
شکل (۹-۵) نتایج آزمایش به صورت FRF..... ۶۱
شکل (۱۰-۵) نتایج آزمایش به صورت FRF..... ۶۲
شکل (۱۱-۵) نتایج آزمایش به صورت FRF..... ۶۲
شکل (۱۲-۵) نتایج آزمایش به صورت FRF..... ۶۳
شکل (۱۳-۵) نتایج آزمایش به صورت FRF..... ۶۳
شکل (۱-۶) نتایج حساسیت به ضخامت..... ۷۵
شکل (۲-۶) نتایج حساسیت به طول وشعاع ۷۵
شکل (ض-۱) المان صفحه‌ای..... ض-۱

فهرست جداول

جدول(۱-۲) فرکانسهای تیر مقطع ثابت ۱۵

جدول(۲-۲) فرکانسهای تیر مقطع متغیر ۱۵

جدول(۳-۲) فرکانسهای تیر مقطع متغیر..... ۱۶

جدول(۱-۳) تئوریهای پوسته های استوانه ای جدار نازک..... ۳۵

جدول(۲-۳) روابط تشابهی صفحه ها..... ۳۶

جدول(۳-۳) روابط تشابهی پوسته های جدار نازک..... ۴۰

جدول(۱-۴) نتایج آزمایش همگرائی..... ۴۴

جدول(۲-۴) دسته نمونه ها برای تغیرات ضخامت..... ۴۶

جدول(۳-۴) نتایج تغییرات ضخامت..... ۴۶

جدول(۴-۴) دسته نمونه ها برای تغیرات شعاع..... ۴۷

جدول(۵-۴) نتایج تغییرات شعاع..... ۴۷

جدول(۶-۴) نتایج تغییرات ضخامت..... ۴۸

جدول(۷-۴) خطای نتایج تغییرات ضخامت..... ۴۸

جدول(۸-۴) نتایج تغییرات شعاع..... ۴۹

جدول(۹-۴) خطای نتایج تغییرات شعاع..... ۴۹

جدول(۱-۵) اندازه وابعاد نمونه های آزمایش..... ۵۶

جدول(۲-۵) فرکانس طبیعی نمونه های آزمایش..... ۶۴

جدول(۳-۵) جدول خطا برای اثر تکرار پذیری..... ۶۵

جدول(۴-۵) نتایج مقایسه ای آزمایش وتشابه..... ۶۶

جدول(۱-۶) دسته نمونه ها برای حساسیت به ضخامت..... ۷۴

جدول(۲-۶) دسته نمونه ها برای حساسیت به طول وشعاع..... ۷۴

جدول(۳-۶) نتایج حساسیت به ضخامت..... ۷۵

جدول(۴-۶) نتایج حساسیت به طول وشعاع..... ۷۵

فهرست علائم

ضرایب شکلی ..... A_1, A_2

ضریب شکل عمومی سطح ..... a

سفتی خمشی(bending stiffness) ..... $D = \frac{Eh^3}{12(1-\upsilon^2)}$

مدول یانگ ..... E

مدول برشی ..... $G = \frac{E}{2(1+\upsilon)}$

ضخامت ..... h

ممان سطح I

سفتی غشائی(membrane stiffness) ..... $K = \frac{Eh}{1-\upsilon^2}$

پارامتر ضخامت به شعاع انحناء ..... $k = \frac{1}{12}\left(\frac{h}{R}\right)^2$

ضریب Scale برای سطح ..... k_a

طول استوانه L

شماره مود طولی ..... m

ممان ..... $M_i, (i = 1,2,12 \text{ or } i = x, \phi, x\phi)$

جرم واحد طول تیر ..... m_p

شماره مود محیطی ..... n

نیروی غشائی ..... N_i $(i = 1,2,12 \text{ or } i = x, \phi, x\phi)$

فشار ..... p

بار خارجی پوسته ..... q

بار عرضی ..... $Q_i (i = x, \phi)$

برش منتجه..... $Q_i\,(i=1,2)$

شعاع انحناء..... R

زمان..... t

جابجائی پوسته در راستای سطح وعمود بر آن..... $u_i\,(i=1,2,n)$

جابجائی پوسته استوانه ای در راستای طولی،محیطی وشعاعی..... u,v,w

مختصات کارتزین..... x,y,z

بار خارجی..... X,Y,Z

مشتق اول نسبت به x..... $\frac{d}{dx}$

مشتق اول نسبت به زمان..... $\frac{d}{dt}$

مختصات خمیده..... $\alpha_{.}$ (i=1,2)

جملات کرنش..... $\varepsilon,\gamma,\kappa,\tau$

فرکانس ارتعا شات (Hz)..... ω

ضریب پواسون..... υ

گروه بی بعد..... π

پارامتر موج..... λ

پارمتر شعاع انحناء..... χ_1،χ_2،χ_3

مختصات استوانه ای..... r,ϕ,z

ضمیمه

عنوان **صفحه**

ضمیمه_۱ :

المان صفحه وتوابع شکلی وماتریسهای جرم وسختی آن..... ض-۱

ضمیمه_۲ :

المان بندی استوانه جدار نازک یک سر در گیر..... ض-۸

ضمیمه_۳ :

مود اول ارتعاش استوانه جدار نازک یک سر در گیر..... ض-۹

ضمیمه_۴ :

مود دوم ارتعاش استوانه جدار نازک یک سر در گیر..... ض-۱۰

ضمیمه_۵ :

مود سوم ارتعاش استوانه جدار نازک یک سر در گیر..... ض-۱۱

ضمیمه_۶ :

المان بندی استوانه جدار ضخیم یک سر در گیر..... ض-۱۲

فصل اول

تحلیل ابعادی وتئوری تشابهی

مقدمه

پوسته های جدار نازک با فرم های مختلف استفاده وسیعی در صنعت برای ساخت سازه هـائی بـا اشـکال پیچیده دارند ونیز در سالهای اخیر افزایش نیاز برای ساخت سازه های سـبک، مهندسـین سـازه را بـه سـمت بهینه سازی ابعاد وجنس مواد راهنمائی کرده است .برای استفاده صحیح و درست لازم اسـت بتوانیـم سـازه را درهر شرایطی ودر ازای هر تغییر در ساختار وبار خارجی تحلیل کنیم [19]

اما به دلیل پیچیدگیهای موجود در ساختار سازه های پوسته ای وماهییت فرآیند طراحی ،ارائه هر طرح جدید وتحلیل آن، نیاز به صرف زمان زیادی دارد.از طرفی سازه طراحی شده بایستی توسط یک سری آزمایش از نظر ضریب اطمینان وکیفیت ایفای وظیفه وقابلیت اطمینان وغیره ،مورد ارزیابی قرار گیرد.

بنا بر این توجه به هزینه قابل توجه ساخت نمونه اصلی(بخصوص برای سـازه هـای بـزرگ) ونـیز هزینـه بـالای تجهیزات آزمایش مورد نیاز برای نمونه اصلی وصرف زمان زیاد برای این امر، استفاده از مـدل کوچـک شـده را (Small Scale model) به جای نمونه اصلی (Full scale model) توصیه مـی کنـد. از طرفـی اسـتفاده از نتـایج آزمایش یک سازه برای پیش بینی رفتار یک گروه سازه متشابه، (با ابعاد و جنس متفاوت) اهمیت بسیار فراوان استفاده از مدل کوچک شده را گوشزد می کند.

در هر فرآیند طراحی ، طرحی که نهایتا ساخته می شودغالبا" تفاوتهای قابل توجهی با اولین طـرح ارائـه شـده دارد. هر طرح پس از ساخته شدن و انجام ازمایش روی آن، متوجه یک سری مشکلات می شود وبـه ناچـار بـا ایجاد تغییر در طرح ارائه شده ،مشکل مربوطه برطرف می کنند. اما نکته قابل توجه ، زمان وهزینه صرف شـده برای ساخت نمونه اصلی و انجام آزمایش روی آن می باشد. این مسئله در سازه های بـزرگ مـانند موشـکهای عظیم الجثه وسازه های هواپیما بسیار قابل توجه است.

گرانی ساخت نمونه اصلی و گرانی ومشکلات ادوات آزمایش و همچنین فضای آزمایشی بسیار بزرگ ، همگی باعث میشوند که به نوعی سازه اصلی را کوچک کرده وآزمایشها را روی نمونه کوچک شدهانجام دهیم و سپس از نتایج آزمایش نمونه کوچک شده ، نتایج را برای نمونه اصلی بدسـت آوریـم. ایـن فرآینـد Scalling (تئـوری

تشابهی) سازه نامیده می شود. اما هر سازه متشکل از یک سری زیر ساختارهای تیری ،صفحه‌ای،پوسته ای و میله‌ای میباشد، بنابراین در قدم اول لازم است پدیده تشابه (Scalling)را برای آنها بررسی کنیم .

استفاده از تئوری تشابهی برای ارزیابی تشابه بین سیستمهای سازه ای ،برای صرفه جوئی در زمان وهزینه مورد توجه قرار گرفته وسپس به دفعات، ارزیابی شده است. ما در اینجا با بدست آوردن رابطه تشابهی،ارتباط فضای مودال نمونه کوچک شده (Small Scale model) و نمونه اصلی(Full Scale model) را برقرار ساخته ایم.

۱-۱ تاریخچه

اولر [1] اول بار در سال ۱۷۶۵ به صورت مبسوط از کاربرد واحدها واستدلالها ی ابعادی در روابط فیزیکی سخن به میان آورد.در این زمینه نظریات اولر از دانشمندان هم عصر وی جلوتر بود.جوزف فوریه [2] در سال ۱۸۲۲ در زمینه تئوری تحلیل گرما [3] که بعدها آنرا اصل همگنی ابعادی [4] نامیدند کتابی نوشت وقواعد توسعه یافته تشابه جریان حرارت را پایه گذاری کرد سپس ریلی [5] در سال ۱۸۷۷ با انتشار کتابی به نام تئوری صوت،با پیشنهاد روش بُعدها ،مثالهای متعددی از تحلیل ابعادی ارائه کرد.در سال ۱۹۱۴ با روش پیشنهادی بوکینگهام [6] آخرین پیشرفت غیر منتظره در زمینه تحلیل ابعادی بدست آمد که در آن به توضیح پارامترهای بی بعد پرداخت وسپس در سال ۱۹۲۲،بریجمان [7] به پیروی از مقاله بوکینگهام ،یک کتاب کلاسیک در خصوص تئوری عمومی تحلیل ابعادی منتشر کردوپس از آن نیز چندین کتاب در این زمینه نوشته شد. [4].

عِزرا [8] در سال ۱۹۶۳ به کمک قوانین تحلیل ابعادی معادلات حاکم بر ارتعاشات تیر را بی بعد کرده و روابط تشابهی را برای آن بدست اورد.ساندروف [9] در ۱۹۶۰ به کمک تحلیل دینامیکی به مطالعه رفتار دینامیکی مخازن سوخت در قبال تغیرات ابعاد پرداخت وتوانست با تعریف پارمتر "unlike stiffness ratio" اثرات scale را در این مخازن بررسی کند. [15].

1-Euler 2-Joseph Fourier 3-Analytical theory of heat

4-dimensional homogenity 5-Raylieh

6-E.Buckingham

7-P.W.Bridgman

8-A.A. Ezra

9-P.E. sandroff