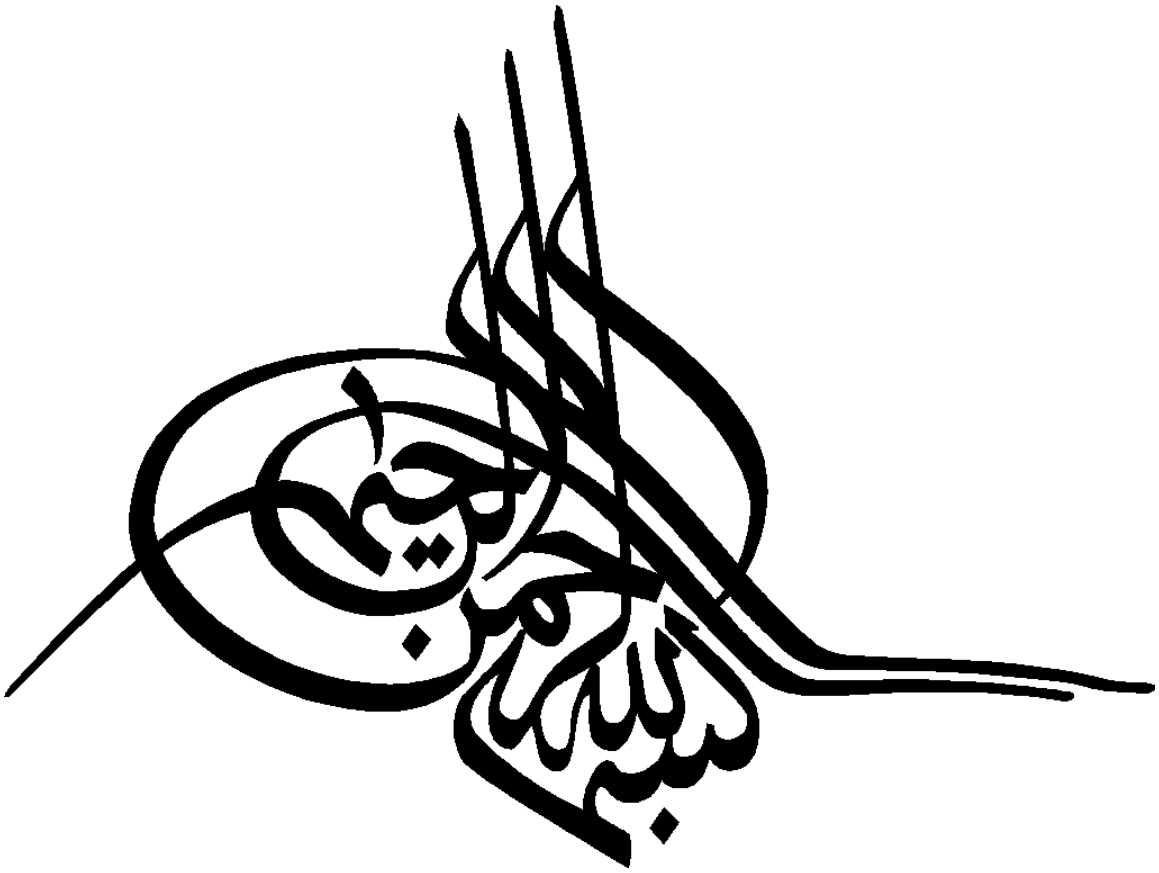
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل ارتعاشات پوسته‌های استوانه‌ای و مخروطی کامپوزیتی دوار با تقویت‌کننده‌های طولی و محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

طراحی کاربردی

مصطفی طالبی توتی

استاد راهنما

دکتر مصطفی غیور

1387

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی آقای مصطفی طالبی توتی

تحت عنوان

تحلیل ارتعاشات پوسته‌های استوانه‌ای و مخروطی کامپوزیتی دوار با تقویت‌کننده‌های طولی و محیطی

در تاریخ1387/7/15 توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

1- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر مصطفی غیور
2- استاد مشاور پایان نامه	دکتر سعید ضیائی‌راد
3- استاد داور پایان نامه	دکتر مهران مرادی
4- استاد داور پایان نامه	دکتر حسن نحوی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مهدی کشمیری

تقدیر و تشکر

اکنون که به فضل پروردگار این تحقیق را به اتمام رسانده‌ام از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مصطفی غیور به خاطر زحمات و راهنمائی‌های ارزنده ایشان کمال قدردانی را داشته و توفیق روزافزون و سلامتی ایشان را از در گاه خدا خواستارم. همچنین از جناب آقای دکتر سعید ضیائی‌راد به دلیل عهده دار بودن مشاوره این تحقیق کمال تشکر را دارم.

همچنین از راهنماییهای خالصانه بردار عزیزم، جناب آقای دکتر روحا... طالبی سپاسگزارم. در نهایت از همیاری و همدلی سرکار خانم مهندس کارگر در طول انجام این تحقیق قدردانی می‌نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بـر نتـایج مطالعـات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

از آن او که

زمین به خاطر خاک پایش مباهات می‌کند بر آسمان

و تقدیم به

پدر مهربان و مادر فداکارم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
نمادها	ده
فهرست اشکال	سیزده
فهرست جداول	شانزده
چکیده	1
فصل اول: مقدمه	
1-1- مقدمه	2
1-2- تاریخچه کارهای انجام شده	4
1-3- نوآوری تحقیق	8
1-4- محتوای فصول	9
فصل دوم: تئوری ارتعاشات پوسته‌های استوانه‌ای و مخروطی کامپوزیتی دوار با تقویت‌کننده‌های متعامد	
2-1- پیشگفتار	11
2-1-1- شکل مود	13
2-1-2- شکل جابه‌جایی	14
2-2- معادلات حرکت پوسته استوانه‌ای	15
2-2-1- اثر تقویت‌کننده‌ها به صورت المانهای جداگانه	20
2-2-2- اثر تقویت کننده ها با روش متوسط گیری	22
2-2-3- شرایط مرزی و حل مساله	24
2-2-4- روش Generalize Differential Quadrature	26
2-3- معادله حرکت پوسته مخروطی	29
2-3-1- اثر تقویت کننده ها به صورت المانهای جداگانه	31

فصل سوم: نتایج تحلیلی - پوسته های استوانه ای تقویت شده

3-1- پیشگفتار 34

3-2- بررسی صحت نتایج 36

3-3- اثر تقویت کننده‌ها بر روی فرکانس طبیعی 38

3-4- اثر هندسه پوسته، نوع ماده، لایه‌چینی و سرعت دورانی بر روی فرکانس طبیعی 43

3-5- اثر بار محوری و فشار داخلی بر روی فرکانس طبیعی 50

3-6- مقایسه روش GDQM با روش المان مجزا و بررسی اثر شرایط مرزی 55

فصل چهارم: نتایج تحلیلی - پوسته های مخروطی تقویت شده

4-1- پیشگفتار 62

4-2- بررسی صحت نتایج 63

4-3- اثر تقویت کننده ها بر روی فرکانس طبیعی 66

4-4- اثر هندسه پوسته، نوع ماده و سرعت دورانی بر روی فرکانس طبیعی 72

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

5-1- جمع‌بندی کلی نتایج 81

5-1-1- پوسته استوانه‌ای با تقویت‌کننده‌های متعامد 82

5-1-2- پوسته مخروطی با تقویت‌کننده‌های متعامد 84

5-2- پیشنهادات 86

پیوستها

پیوست الف 87

پیوست ب 104

پیوست ج 106

پیوست د 108

مراجع 114

نمادها

ثابت شکل مود پوسته در جهت محوری	A
سفتی کششی پوسته	A_{ij}
مساحت سطح مقطع تقویت کننده‌های محیطی و طولی	A_r , A_s
شعاع کوچک پوسته مخروطی	a
ضرایب ماتریس معادله ارتعاشی پوسته استوانه‌ای در روش المان مجزا و روش متوسط‌گیری	a_{ij} , a'_{ij}
ثابت شکل مود پوسته در جهت محیطی	B
سفتی پیچشی پوسته	B_{ij}
شعاع بزرگ پوسته مخروطی	b
پهنای رینگ و استرینگر	b_r , b_s
ثابت شکل مود پوسته در جهت شعاعی	C
سفتی خمشی پوسته	D_{ij}
فاصله بین استرینگرها	d
ارتفاع رینگها و استرینگرها	d_r , d_s
ضریب وزنی در روش GDQ	E_{ij}
مدول الاستیسیته در راستای فایبر	E_{11}
مدول الاستیسیته در راستای عمود بر فایبر	E_{22}
مدول الاستیسیته رینگها و استرینگرها	E_r , E_s
کرنش نرمال سطح مرجع	e_1 , e_2
پارامتر فرکانسی	f
مدول برشی	G_{12}
مدول برشی رینگها و استرینگرها	G_r , G_s
ماتریسهای مرتب شده بر حسب مرتبه فرکانس طبیعی	H_i
ضخامت پوسته	h
ممان اینرسی رینگها و استرینگرها نسبت به سطح مرجع پوسته	I_{or} , I_{os}
ممان اینرسی قطبی رینگها و استرینگرها	J_r , J_s
طول پوسته	L
ضرایب ماتریس معادله ارتعاشی پوسته مخروطی	L_{ij}
ماتریس اپراتور دیفرانسیلی در روش GDQ	L^*
فاصله بین رینگها	l
برآیند ممان خمشی در راستای x	M_x
تعداد نیم‌موجهای محیطی پوسته	m

تعداد نقاط شبکه در روش GDQ	N
بار استاتیکی محوری	N_a
برآیند نیرو در جهت x	N_x
نیروی کشش حلقوی اولیه	N_θ
تعداد رینگها و استرینگرها	N_r , N_s
تعداد نیم‌موجهای محیطی پوسته	n
بار استاتیکی شعاعی	P_r
مرتبه مشتق ضریب وزنی در روش GDQ	p
شعاع پوسته استوانه‌ای	R
بردار جابه‌جایی هر نقطه دلخواه بر روی پوسته	$\vec{r}$
شعاع پوسته مخروطی در هر x دلخواه	r_x
انرژی جنبشی پوسته	T
انرژی جنبشی رینگها و استرینگرها	T_r , T_s
انرژی کرنشی و خمشی پوسته	U_ε
انرژی کرنشی پوسته در اثر کشش حلقوی اولیه ناشی از دوران	U_h
انرژی کرنشی رینگها در اثر کشش حلقوی اولیه ناشی از دوران	U_{rh}
انرژی کرنشی رینگها و استرینگرها	U_r , U_s
انرژی ناشی از فشار داخلی	U_{Pr}
انرژی ناشی از بار محوری	U_{Na}
بردار شکل مود در روش GDQ	U^*
بردار ستونی با مرتبه 15 در روش GDQ	U^{**}
مولفه تغییر مکان پوسته در جهت محوری	u
مولفه تغیر مکان سطح مرجع در جهت محوری	u_0
مولفه تغییر مکان رینگها و استرینگرها در جهت محوری	u_r , u_s
بردار سرعت هر نقطه از پوسته	$\vec{V}$
مولفه تغییر مکان پوسته در جهت محیطی	v
مولفه تغیر مکان سطح مرجع در جهت محیطی	v_0
مولفه تغییر مکان رینگها و استرینگرها در جهت محیطی	v_r , v_s
مولفه تغییر مکان پوسته در جهت شعاعی	w
مولفه تغیر مکان سطح مرجع در جهت شعاعی	w_0
مولفه تغییر مکان رینگها و استرینگرها در جهت شعاعی	w_r , w_s
مختصه مکانی در جهت محوری پوسته استوانه‌ای و در جهت مولد پوسته مخروطی	x
مختصه مکانی در جهت شعاعی	z
فاصله مرکز رینگ و استرینگر از سطح مرجع	Z_r , Z_s

چگالی پوسته	ρ
چگالی رینگها و استرینگرها	ρ_r , ρ_s
سرعت دورانی پوسته در جهت محورتقارن طولی پوسته	Ω
مختصه مکانی در جهت محیطی	θ
ضریب پواسون رینگها و استرینگرها	υ_r , υ_s
ضریب پواسون لایه‌های اورتوتروپیک	$\upsilon_{12} , \upsilon_{21}$
زاویه الیاف در هر لایه	β
بردار کرنش پوسته	$\vec{\varepsilon}$
کرنش برشی صفحه میانی	γ
انحنای صفحه میانی	$\kappa_1 , \kappa_2 , \tau$
فرکانس طبیعی پوسته	ω
تابع انرژی لاگرانژین	Π
کرنش رینگها در جهت محیطی	$\varepsilon_{r\theta}$
کرنش استرینگرها در جهت طولی	ε_{sx}
نماد حساب تغییرات	δ
ماتریس تبدیل دوران	$[P]$
ماتریس سفتی کاهش‌یافته	$[Q]$
ماتریس سفتی تبدیل‌یافته کاهش‌یافته	$[\bar{Q}]$
ماتریس سفتی	$[S]$
بیانگر روش متوسط گیری	/
مشتق نسبت به زمان	•

چکیده:

پوسته های استوانه ای دوار در بسیاری از کاربردهای صنعتی از قبیل: روتور توربین گاز، سیستمهای جداساز گریز از مرکز، کوره های پخت سیمان و سیستمهای دوار استفاده می شود. برای بالا بردن سختی پوسته از تقویت‌کننده استفاده می‌شود. پوسته‌های استوانه‌ای و مخروطی که با المانهایی از نوع تیر تقویت شده‌اند به صورت گسترده‌ای در سازه‌های مکانیکی از قبیل :موشک، زیردریایی، خشک‌کننده های دوار و مخازن سوخت هواپیما استفاده می‌شوند. در اکثر این موارد پوسته تحت بارهای دینامیکی قرار دارد و ممکن است دچار ارتعاش و کمانش و خستگی شود. بنابراین شناخت خصوصیات این سازه‌ها از جمله فرکانس طبیعی و بار کمانش ضرورتا مورد نیاز است. از طرفی با توجه به نیاز روزافزون طراحی سازه‌های سبک وزن با استحکام بالا، لازم است که نسبت استحکام به وزن این سازه‌ها تا حد امکان بالا باشد تا سازه طراحی شده از نظر مصرف مواد، انرژی و هزینه بهینه باشد. از جمله راههای رسیدن به این هدف، تقویت بهینه پوسته با المانهای تقویت‌کننده محیطی و طولی و همچنین استفاده از مواد مرکب می باشد.

در این پایان نامه تحلیل ارتعاشات آزاد، سرعت بحرانی و کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تقویت‌شده و ارتعاشات آزاد پوسته‌های مخروطی کامپوزیتی تقویت شده به روش تحلیلی انجام پذیرفته است. در روابط تحلیلی، تئوری لاو و روش ریتز به کار برده شده و از روشهای المان جداگانه و متوسط‌گیری خواص تقویت‌کننده ها روی پوسته استوانه‌ای برای در نظر گرفتن اثر تقویت‌کننده‌ها استفاده شده است و مقایسه‌ای بین نتایج بدست آمده از این دو روش انجام شده است، همچنین در تحلیل پوسته مخروطی تنها از روش المان جداگانه برای مدل کردن اثر تقویت‌کننده‌ها استفاده شده است. اثرات نیروهای کریولیس و گریز از مرکز که در اثر دوران پوسته به وجود می‌آید، در معادلات حاکم آورده شده است. برای بدست آوردن معادلات حرکت ابتدا تابع انرژی را بدست آورده و سپس با اعمال اصل همیلتون معادلات حرکت حاصل می‌شوند. همچنین توابع تغییر مکان برای شرایط مرزی دو سر تکیه‌گاه ساده به صورت مثلثاتی در نظر گرفته شده‌اند. به علت اینکه حل دقیق برای پوسته کامپوزیتی دوار با شرایط مرزی متفاوت (مانند:گیردار-گیردار یا گیردار-تکیه‌گاه ساده) وجود ندارد، از روش GDQ برای بررسی این نوع از شرایط مرزی بر روی پوسته استوانه‌ای استفاده شده است. روش مذکور، تکنیک عددی کارآمدی است که با استفاده از تعداد کم نقاط شبکه برای رسیدن به پاسخ قابل قبول می‌باشد. با استفاده از این روش، معادلات حرکت با مشتقات جزئی به طور تقریبی تبدیل به یک سری معادلات جبری خطی می‌شوند. لازم به ذکر است در این پایان نامه برای اولین بار به بررسی ارتعاشات پوسته های مخروطی تقویت‌شده دوار پرداخته شده است، همچنین تاکنون معادلات حرکت پوسته‌های مخروطی کامپوزیتی دوار از روش انرژی بدست نیامده است. معرفی پدیده سرعت بحرانی و بررسی اثرات بار محوری و فشار داخلی بر روی پوسته استوانه‌ای تقویت شده نیز از تازه‌های این پایان نامه می‌باشد.

تاثیر پارامترهای مختلف نظیر هندسه پوسته و تعداد تقویت کننده ها، زاویه الیاف، جنس پوسته و چیدمان الیاف روی فرکانسهای طبیعی، سرعت بحرانی و بار کمانش پوسته استوانه‌ای تقویت شده مورد مطالعه قرار گرفته است. به علاوه اثر بارگذاری استاتیکی محوری، شعاعی بر روی پوسته استوانه‌ای و سرعت دورانی پوسته استوانه‌ای و مخروطی تقویت‌شده بر روی تغییرات فرکانس طبیعی مطالعه شده‌اند. در بررسی صحت نتایج تحلیل برای پوسته استوانه‌ای با نتایج موجود در مقالات مقایسه‌ای انجام شده است، همچنین در بررسی صحت نتایج حاصل از تحلیل پوسته مخروطی، مقایسه نتایج با پوسته استوانه‌ای در شرایطی که زاویه راس مخروط صفر باشد انجام شده است.

فصل اول

مقدمه

1-1- مقدمه:

پوسته‌های استوانه‌ای و مخروطی یکی از پرکاربردترین اشکال هندسی به کار رفته در قطعات صنعتی می‌باشند. این پوسته‌ها ممکن است در روتور توربین‌های گاز، کوره‌های دوار و بدنه هواپیما، موشکها و تانکرها مورد استفاده قرار گیرند. در اکثر موارد گفته شده پوسته تحت بارهای دینامیکی قرار دارد و ممکن است دچار ارتعاش، کمانش و خستگی شود. همچنین لازم است که نسبت استحکام به وزن پوسته تا حد امکان بالا باشد تا سازه طراحی شده به لحاظ صرفه‌جویی در مصرف مواد، انرژی و هزینه بهینه باشد.

به منظور بالا بردن نسبت استحکام به وزن پوسته راههای متعددی وجود دارد که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد.

1- انتخاب جنس پوسته از موادی که این شرایط را دارا می باشند، مانند آلیاژهای با نسبت استحکام به وزن بالا.

2- استفاده از مواد کامپوزیت.

3- تقویت کردن پوسته توسط المانهای تیر مانند.

4- استفاده از سه روش فوق.

تقویت پوسته توسط المانهای تیر مانند ممکن است به صورتهای زیر باشد.

- توسط تیرهای طولی که استرینگر نامیده می شوند
- توسط حلقه های دایره ای که رینگ نامیده می شوند
- توسط استرینگر و رینگ

در صورتیکه تقویت‌کننده‌ها با فواصل کم و به طور منظم چیده شده باشند می توان اثر آنها را با در نظر گرفتن جنس پوسته از ماده ارتوتروپیک معادل مدل کرد. در صورتیکه فاصله تقویت کننده ها زیاد باشد یا طول موج ارتعاش نسبت به فاصله آنها کوتاه باشد، سازه را بایدبه صورت ترکیبی از المانهای پوسته و تقویت کننده که هر کدام دارای معادلات حرکت مخصوص به خود می باشند مدل کرد. به عبارت دیگر تقویت کننده ها را باید به صورت المانهای مجزا در نظر گرفت. از مزایای این روش می توان عدم محدودیت فاصله یا تعداد تقویت کننده ها، امکان وجود فواصل نامنظم و غیر یکسان بین تقویت کننده ها، خارج از مرکزی غیر یکنواخت و امکان یکسان نبودن سطح مقطع و جنس تقویت‌کننده‌ها نام برد.

در عصر حاضر مواد کامپوزیت رضایت خاطر نسبی در ارتباط با ملزومات فوق را تامین نموده است. حجم تولید مواد کامپوزیت در کشورهای صنعتی هر ساله افزایش یافته و بسیاری از دانشمندان معتقدند که قرن 21 قرن مواد کامپوزیت می‌باشد. افزایش روز افزون استفاده از مواد کامپوزیتی در سازه های گوناگون شامل سازه های فضایی، زیردریاییها، قطعات اتومبیل، وسایل الکترونیکی و پزشکی و تجهیزات ورزشی و ... منجر به افزایش تحقیقات در زمینه تعیین خواص مکانیکی، مدلسازی سازه ای، تعیین شکست و نوع تخریب این گونه مواد شده است. با وجود اینکه مواد کامپوزیتی خصوصیات سازه ای مطلوب بسیاری دارند، مشکلات بحث برانگیزی را در زمینه درک رفتار سازه ای، ساخت، مدهای شکست و تخریب ایجاد می‌کنند.

کامپوزیتهای لایه ای در مقیاس وسیع و در زمینه های گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گونه کامپوزیتها شامل لایه‌هایی می شوند که حداقل از دو ماده متفاوت چسبیده به هم تشکیل می‌گردند. خواصی که توسط لایه چینی قابل

تقویت هستند عبارتند از استحکام، سفتی، وزن کم، مقاومت خوردگی و سایش و زیبایی و عایق حرارتی. به هر حال استفاده از کامپوزیتها بسیار زیاد است ولی همواره یک نگرانی در طراحی آنها وجود داشته است که به دلیل پیچیدگی بسیار زیاد مکانیزم شکست در آنها می‌باشد. واماندگی در کامپوزیتها معمولا بر اساس مواردی از جمله شکست الیاف، کمانش الیاف، ترکهای ماتریس، له شدن ماتریس، ورقه ورقه شدن یا ترکیب این موارد می‌باشد. از انواع سازه‌های کامپوزیتی پوسته‌های استوانه‌ای و مخروطی هستند که کاربردهای زیادی در صنعت دارند. دانستن خصوصیات ارتعاشات پوسته‌های کامپوزیتی هم برای درک عمومی از رفتار یک پوسته و هم به منظور فهم کاربردهای صنعتی پوسته ها بسیار مهم است. در ارتباط با مفهوم کاربرد صنعتی بایستی فرکانسهای طبیعی پوسته به منظور جلوگیری از اثر تشدید شناخته شوند.

1-2- تاریخچه کارهای انجام شده:

اولین کار ثبت شده در این موضوع بر روی دینامیک حلقه دوار به عنوان یک نوع خاص از پوسته بوسیله برایان [1] در سال 1890 انجام شد. او با استفاده از فرضیات انبساط ناپذیری، تغییر شکل غیربرشی و ناچیز بودن اینرسی چرخشی، ارتعاشات آزاد یک حلقه دوار را مدل کرد و همین جا بود که پدیده انتقال مود کشف شد.

در سال 1964 دی‌تارانت و لیسن [2] کسانی بودند که برای اولین بار به بررسی اثرات نیروی کریولیس بر روی پوسته استوانه ای ایزوتروپیک پرداختند.

میکلاس و مک المن در سال 1965 [3] تاثیر خروج از مرکزیت تقویت کننده ها را بر روی ارتعاشات آزاد پوسته های استوانه‌ای با روش متوسط گیری بر روی سطح پوسته را بررسی کردند.

اگل و سیوال در سال 1968 [4] تحلیل مشابهی برروی نمونه ایزوتروپیک با در نظر گرفتن تقویت کننده ها به صورت المانهای جداگانه انجام دادند.

اثر اینرسی دوار بر روی فرکانس طبیعی پوسته تقویت شده بوسیله پارتن و جونز در سال 1970 [5] بررسی شد.

روزن و سینگر در سال1974 [6] با استفاده از تئوریهای دانل و فلوگه ارتعاشات پوسته های استوانه‌ای تقویت شده را با نتایج آزمایشگاهی خود مقایسه کردند.

اثرات نیروهای گریز از مرکز و کریولیس در پوسته ای دوار بوسیله هوانگ و سودل در سال 1988 [7] بررسی شد.

مصطفی و علی درسال 1989 [8] از روش انرژی برای تحلیل ارتعاشات آزاد پوسته های استوانه ای تقویت شده با در نظر گرفتن خمیدگی، کشیدگی و پیچیدگی تقویت کننده، استفاده کردند.

در سال 1995 لام و لوی [9] اثر شرایط مرزی و جهات الیاف را بر روی فرکانسهای طبیعی پوسته های استوانه ای چند لایه ارتوتروپیک جدار نازک بررسی کردند. آنها از تئوری تقریب مرتبه اول لاو و روش ریلی ریتز استفاده کردند.

در سال 1996 راند و استارسکی [10] پاسخ و فرکانس های ویژه پوسته های استوانه ای لایه ای تحت سرعت زاویه ای را برای شرایط مرزی مختلف بررسی کردند. در این تحقیق از تئوری تقریب لاو و روش گالرکین استفاده شده است. آنها نشان دادند که سختی محیطی یکی از مهمترین عوامل در محاسبه فرکانس های طبیعی است.

در سال 1996 اونگ، چیونگ و استوس [11] تنش و جابه جایی پوسته های استوانه ای را تحت بارهای اعمال شده محلی روی یک سطح با شکل دلخواه را بررسی کردند. آنها از تئوری پوسته های ساندرز برای پوسته های استوانه ای جدار نازک استفاده نمودند.

در سال 1997 الحسنی، درویزه و هفت چناری [12] تئوری مسائل کمانشی لوله های کامپوزیتی با شرایط مرزی مختلف را ارائه دادند. بارهای اعمالی در نظر گرفته شده عبارتند از فشاری، پیچشی، فشار داخلی، فشار خارجی و یا ترکیبی از آنها و از تئوری پوسته فلوگه و تبدیلات استوکس برای حل معادلات پوسته استفاده کردند.

در سال 1997 لم و هوآ [13] با استفاده از تئوری لاو و روش گالرکین به تحلیل ارتعاشی پوسته های مخروطی ایزوتروپیک دوار با شرایط مرزی تکیه گاه ساده پرداختند. در این تحقیق معادلات استخراج شده در بردارنده نیروی کشش حلقوی اولیه، نیروی گریز از مرکز و شتاب کریولیس بودند. اثرات مودهای مختلف، هندسه پوسته و زاویه راس مخروط بر روی فرکانس طبیعی پوسته مورد بحث قرار گرفت.

در سال 1998 نگ، لم و ردی [14] مقاله ای تحت عنوان پایداری دینامیکی پوسته های استوانه ای کامپوزیتی cross-ply را ارائه دادند. در این مقاله مناطق ناپایداری دینامیکی پوسته های مذکور تحت اثر بارهای محوری استاتیکی و پریودیک با استفاده از تئوری کلاسیک لاو برای پوسته های جدار نازک ارائه شده است.

در سال 1999 لم و هوآ [15] اثر شرایط مرزی بر روی خصوصیات فرکانسی پوسته مخروطی ایزوتروپیک دوار را بررسی کردند. در این تحقیق برای حل معادلات دیفرانسیل پوسته مخروطی که دارای ضرایب متغیر بود از روش عددی گالرکین استفاده شد. نتایج بدست آمده شامل روابط بین فرکانس طبیعی با شماره مود محیطی و سرعت دورانی پوسته در زاویه های راس مخروط بودند.

در سال 1999 نگ ولم [16] به بررسی ارتعاشات و سرعت بحرانی پوسته های استوانه ای ایزوتروپیک با شرایط مرزی تکیه گاه ساده تحت بار محوری ثابت پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تئوری کلاسیک به بررسی اثر بار محوری به صورت نسبتی از بار بحرانی کمانش بر روی فرکانس طبیعی و همچنین اثر نحوه چیدمان لایه ها بر روی نمودارهای دو انشعابی فرکانس طبیعی پرداخته شده است.

در سال 1999 ایکسای، یام و لی‌اونگ [17] اثرات ترم برشی غیر خطی را بر روی ارتعاشات آزاد پوسته کامپوزیتی مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق از روش شبه تحلیلی و تئوری پوسته رایزنر- میندلین استفاده شده است. آنها با به کار گیری المان پوسته با قابلیت تغییر شکل برشی به بررسی کوپل بین مودهای ارتعاشی متقارن و غیر متقارن پرداختند.

در سال 2000 هوآ [18] با استفاده از تئوری مرتبه اول لاو و روش گالرکین به بررسی ارتعاشات آزاد پوسته های مخروطی اورتوتروپیک ناقص پرداخت. در این تحقیق اثر پارامترهایی همچون خصوصیات ماده ارتوتروپیک، سرعت دورانی و زاویه راس مخروط بر روی فرکانس طبیعی پوسته مطالعه شد. همچنین اثر شرایط مرزی نیز بر روی فرکانس طبیعی مورد بررسی قرار گرفت.

در سال 2001 روتولو [19] برای محاسبه فرکانس طبیعی پوسته های استوانه ای تقویت شده با رینگ و استرینگر، تئوریهای مختلف پوسته های جدار نازک شامل تئوری دانل، لاو، ساندرز و فلوگه را با هم مقایسه نمود و نتیجه گرفت که با افزایش سختی خمشی پوسته در اثر وجود رینگ تقویت، تئوری دانل نسبت به سایر توریها نتایج ضعیف و غیردقیقی می دهد. اثر تقویت کننده ها از روش متوسط گیری وارد معادلات شدند.

در سال 2002 هافنباخ و همکارانش [20] به بررسی ارتعاشات و رفتار میرا شدن پوسته های استوانه ای کامپوزیتی پرداختند. آنها دربدست آوردن معادلات، از تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول پوسته استفاده کردند. همچنین بهینه کردن زاویه الیاف به کار رفته در لایه های ارتوتروپیک برای رسیدن به بالاترین سختی را نیز در دستور کار خود قرار دادند.

در سال 2002 لیو و همکارانش [21] ارتعاشات آزاد پوسته های استوانه ای دوار با شرایط مرزی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از روش ریتز با توابعی به صورت چندجمله ای استفاده شده است. دو شاخه ای شدن فرکانس طبیعی در اثر سرعت دورانی و ایجاد موجهای پیشرو و پسرو از عمده نتایج این تحقیق می باشد.

در سال 2002 زاهو و همکارانش [22] آنالیز ارتعاشی پوسته استوانه ای چند لایه دوار با تکیه‌گاه ساده و تقویت‌کننده‌های طولی و محیطی را با استفاده از روش انرژی انجام دادند. اثر تقویت‌کننده‌ها به دو صورت متوسط گیری و المان جداگانه وارد معادلات شد. نحوه لایه چینی و سرعت دورانی بر تغییرات فرکانس طبیعی بررسی شد.

در سال 2003 نگ، هوا و لم [23] به بررسی ارتعاشات پوسته های مخروطی کامپوزیتی دوار پرداختند. در این مقاله پوسته مذکور متقارن و لایه های کامپوزیتی به صورت cross-ply بودند. در این تحقیق از روش GDQ برا ی حل معادلات حرکت استفاده شد. ضمن اینکه معادلات حرکت از روش تعادل حاصل شدند.

در سال 2003 کوریا و همکارانش [24] با استفاده از روش اجزاء محدود ارتعاشات پوسته های مخروطی چند لایه ارتوتروپیک را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق برای بدست آوردن معادلات حرکت از تئوری مرتبه بالا (HSDT) استفاده شد. همچنین به علت استفاده از روش عددی، اعمال شرایط مرزی به راحتی امکانپذیر بود.

در سال 2004 سوفیف و آکسوگان [25] کمانش پوسته های مخروطی جدار نازک را مورد بررسی قرار دادند. آنها در ابتدا معادلات دینامیکی کمانش را بر اساس تئوری دانل استخراج کرده و سپس با به کارگیری روش گالرکین، معادلات را به صورت تک متغیره بر حسب زمان تبدیل کردند و در انتها با استفاده از روش ریتز بارهای بحرانی استاتیکی و دینامیکی را معین کردند.

در سال 2006 جعفری و باقری [26] با روشهای عددی، تحلیلی و آزمایشگاهی به بررسی ارتعاشات آزاد پوسته های استوانه ای ایزوتروپیک با تقویت کننده های محیطی پرداختند و نتایج حاصل از سه روش فوق را با هم مقایسه کردند. در حل تحلیلی از روش ریتز برای حل مساله استفاده شد در حالی که اثر تقویت کننده محیطی به صورت المان جداگانه وارد معادلات شد. همچنین دراین تحقیق در روش عددی از نرم افزار ANSYS برای حل مساله استفاده شد.

در سال 2006 سیوالک [27] روشی کارآمد برای تحلیل ارتعاشی پوسته های مخروطی ایزوتروپیک دوار ارائه کرد. او در این تحقیق برای حل معادلات دیفرانسیل حرکت از روش DSC بهره برد. پارامتر فرکانسی مودهای ارتعاشی پیشرونده برای انواع شرایط مرزی و در سرعتهای دورانی مختلف بیان گردید.

در سال 2006 جعفری و باقری [28] به تحلیل ارتعاشات آزاد پوسته‌های استوانه‌ای با تقویت کننده‌های محیطی پرداختند. در این تحقیق تقویت‌کننده‌های به کار رفته دارای هندسه متفاوت نسبت به یکدیگر و همچنین در فاصله های غیر یکنواخت در طول استوانه توزیع شده بودند. در فرموله کردن انرژی کرنشی با استفاده از تئوری ساندرز خصوصیات خمشی و کششی پوسته را در نظر گرفتند. همچنین اثرات خمشی، کششی و پیچشی تقویت کننده ها مد نظر قرار گرفت. در نهایت توزیع بهینه تقویت کننده ها بدست آورده شد.

در سال 2007 هفت چناری و همکارانش [29] به بررسی اثر شرایط مرزی بر روی پوسته استوانه ای کامپوزیتی دوار پرداختند. آنها از تئوری مرتبه اول برشی برای بدست آوردن معادلات حرکت و همچنین از روش GDQ برای اعمال شرایط مرزی مختلف استفاده کردند.

1-3- نوآوری تحقیق:

ارتعاشات آزاد پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی دوار تقویت شده توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است. در این پایان نامه علاوه بر بدست آوردن نتایج برای پوسته مذکور، به بررسی اثر بار محوری و فشار داخلی بر روی این پوسته پرداخته شده است که در حین این کار نیاز به بدست آوردن بار محوری کمانش پوسته بوده است. همچنین پدیده سرعت بحرانی پوسته استوانه‌ای تقویت شده معرفی گردیده است. بررسی شرایط مرزی با استفاده از روش عددی GDQ یکی دیگر از تفاوتهای این تحقیق نسبت به دیگر تحقیقات موجود می باشد. همچنین تا کنون فقط به بررسی ارتعاشات آزاد پوسته مخروطی کامپوزیتی با استفاده از معادلات نیوتن- اویلر پرداخته شده است، اما در اینجا برای اولین بار با استفاده از روش انرژی علاوه بر رسیدن به نتایج موجود در مقالات، اثر تقویت‌کننده‌های طولی و محیطی بر روی پوسته مخروطی بدست آمده است.

لازم به ذکر است که تمام روابطی که در فصل دوم برای تشکیل تابع انرژی پوسته استوانه‌ای استفاده شده است از مراجع [9]، [22]، [33] و [34] اقتباس شده است. روابط مربوط به تابع انرژی پوسته مخروطی و روابط ارائه شده در پیوستها توسط نویسنده استخراج گردیده است.

1-4- محتوای فصول:

در فصل اول ابتدا مقدمه‌ای از پوسته‌های کامپوزیتی تقویت‌شده و موارد کاربرد و مزایای این پوسته‌ها بیان می‌گردد. در ادامه تاریخچه‌ای ازکارهای انجام شده در این زمینه آورده شده است و در انتها نوآوری پایان‌نامه در تقابل با تحقیقات موجود ارائه شده است.

در فصل دوم درابتدا مقدمه ای در مورد روش ارائه شده و مزایای آن بیان می شود. سپس سعی بر بدست آوردن معادلات حرکت برای پوسته استوانه ای تقویت شده می شود. در این بخش چگونگی تاثیر مواد کامپوزتی در معادلات حرکت نیز بیان می شود. برای حل معادلات حرکت بدست آمده و استخراج فرکانس طبیعی برای پوسته با شرایط مرزی تکیه گاه ساده، جابه جاییها طوری انتخاب می‌شوند که شرایط مرزی را ارضا کنند و سپس مسئله مقدار ویژه تشکیل می‌شود. برای حل ارتعاشات پوسته استوانه ای با شرایط مرزی متفاوت از تکنیک عددی GDQM استفاده می‌شود. در انتهای این فصل معادلات حرکت پوسته مخروطی کامپوزیتی دوار تقویت شده را بدست آورده و این معادلات برای شرایط مرزی تکیه گاه ساده برای بدست آوردن فرکانس طبیعی پوسته حل می‌گردند.

در فصل سوم به بررسی نتایج بدست آمده از تئوری ارائه شده در فصل دوم پرداخته می‌شود. در ابتدا بررسی صحت نتایج با مقایسه نتایج موجود در مقلات صورت می‌گیرد. سپس اثر تقویت کننده ها بر روی فرکانس طبیعی و همچنین اثر هندسه پوسته ، نوع ماده و لایه چینی مواد کامپوزیتی مطالعه می شود. در ادامه پدیده سرعت بحرانی و بار بحرانی کمانش معرفی می گردد و اثر بار محوری و فشار داخلی بر روی فرکانس طبیعی پوسته بدست خواهد آمد. در انتها نتایج حاصل از روش عددی GDQM با نتایج حل دقیق برای پوسته با تکیه گاه ساده مقایسه می شود و اثر شرایط مرزی مختلف با این روش روی فرکانس طبیعی بدست می آید.