دانشگاه صنعتی امیرکبیر

انتخاب لایه بندی مناسب پوسته های استوانه ای چند لایه بر مبنای ارتعاش و تنش معادل

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط :

طلیعه حاج زرگرباشی

استاد راهنما:

دکتر محمود شاکری

استاد مشاور:

دکتر محمد حسین یاس

دانشکده مهندسی مکانیک

1384

بسمه تعالی

شماره :
تاریخ :
معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی 7

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی، ارشد و دکترا

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی : طلیعه حاج زرگرباشی ■**دانشجو آزاد** □ **بورسیه** □ **معادل**

شماره دانشجویی : 82126405 **دانشکده** : مکانیک **رشته تحصیلی** : مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

نام و نام خانوادگی استاد راهنما : دکتر محمود شاکری

عنوان به فارسی : انتخاب لایه بندی مناسب پوسته های استوانه ای چند لایه بر مبنای ارتعاش و تنش معادل

عنوان به انگلیسی : Optimum Stacking Sequence of Multi-layered Circular Cyl. Shells under Dyn. Loading , Based on Vibration and equa. Stress

نوع پروژه : ■ **کارشناسی ارشد** □ **دکترا** ■ **کاربردی** □ **بنیادی** □ **توسعه‌ای** □ **نظری**

تاریخ شروع : 83/4/1 **تاریخ خاتمه** : 84/06/**30** **تعداد واحد** : 6

سازمان تأمین کننده اعتبار : .معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبر

واژه‌های کلیدی به فارسی : پوسته های استوانه ای ، بار دینامیکی ، مواد چند لایه مرکب ، چیدمان مناسب لایه ها

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Cylindrical Shell, Dynamic Loading , Composite Laminate,Stacking Sequence

---

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه :

استاد راهنما :

دانشجو :

امضا استاد راهنما : **تاریخ** :

نسخه 1) معاونت پژوهشی

نسخه 2) کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تصفیه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

بدینوسیله از زحمات آقای دکتر شاکری برای ارائه راهنمایی های ارزنده در طول انجام این پایان نامه قدردانی می نمایم.

همچنین از آقای دکتر یاس که مرا در طول اجرای این پایان نامه راهنمایی نمودند نیز کمال تشکر را دارم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

بدینوسیله اعلان می گردد که مطالب مندرج در این پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرکی توسط اینجانب و فرد دیگری ارائه نشده است.

طلیعه حاج زرگرباشی

چکیده :

در این پروژه بهینه سازی دو منظوره پوسته های استوانه ای چند لایه مد نظر می باشد . برای این منظور استحکام تحت بار یکنواخت گسترده و کوچکترین فرکانس طبیعی پوسته را به عنوان معیار بهینه سازی تعریف می شود . روش استفاده شده روش الگوریتم ژنتیک می باشد که با استفاده از روش مجموع وزنی دو معیار ، به معیار واحد تبدیل شده و این معیار بهینه می شود.

بهینه سازی بر روی پوسته استوانه ای بسته با طول محدود انجام گرفته و معادلات تنش و ارتعاش آن با استفاده از الاستیسیته سه بعدی حل گردیده است و نتایج آن ها با مراجع چاپ شده مقایسه گردیده است .

نتایج بهینه سازی انجام شده به صورت جدول و نمودار ارائه شده است .

فهرست مطالب :

فصل اول مقدمه: 1

1-1- **مواد مرکب** : 2

1-2- **خلاصه ای از کارهای انجام شده**: 4

فصل دوم بهینه سازی و الگوریتم ژنتیک : 8

2-1- **هدف های بهینه سازی** : 9

2-2- **روشهای کلاسیک بهینه سازی چند منظوره**..... 10
2-2-1- **روش مجموع وزنی** : 10
2-2-2- **روش قید** ε 12
2-2-3- **روشهای متریک وزنی** 13
2-2-4- **روش متریک وزنی دوران یافته** :..... 15
2-2-5-**تغییر دینامیک حل ایده ال** : 16
2-2-6- **روش بنسون** : 17
2-2-7- **روش تابع ارزش** : 18

2-3- **بهینه سازی در مواد مرکب** :..... 20
2-3-1- **روش دو سطحی** : 20
2-3-2- **روش سیمپلکس** :..... 22
2-3-3- **روش پنالتی داخلی** :..... 22
2-3-4- **بهینه سازی بر مبنای معیار قابلیت اعتماد** : 23
2-3-5- **روش چند معیاری** : 24

2-4-**الگوریتم ژنتیک** : 26
2-4-1-**الگوریتم ژنتیک چیست ؟** 26
2-4-2- **تفاوت الگوریتم ژنتیک با سایر روش های بهینه سازی** :..... 27
2-4-3- **روند کلی اجرای الگوریتم ژنتیک:** 28

2-5- روش اعمال GA : 28

2-6- استفاده از الگوریتم ژنتیک در طراحی کامپوزیت ها: 32

2-7-انتخاب والدین : 34

2-8- انتخاب معیاری برای توقف GA : 35

2- 9-روشهای انتخاب در الگوریتم GA :..... 35

2- 10- برتری الگریتم ژنتیک نسبت به سایر روشهای بهینه سازی : 39

فصل سوم فرمول بندی : 41

3-1-روابط تنش – کرنش برای یک جسم الاستیک غیر ایزوتروپ..... 42

3-2-استخراج معادلات حرکت :..... 46

3-3-شرایط مرزی :..... 49

3-4-بدست آوردن تابع تنش :..... 50
3-4-1- شرایط سطحی و پیوستگی : 50
3-4-2- حل معادلات حرکت :..... 52

3-5- بدست آوردن تابع فرکانس طبیعی :..... 63
3-5-1- شرایط سطحی و پیوستگی : 63
3-5-2- حل معادلات حرکت :..... 63

فصل چهارم نتایج : 73

4-1-تابع لیاقت :..... 74

4-2-بهینه سازی : 75

4-3-بررسی اثر جمعیت اولیه :..... 76

4-4-بررسی تاثیر ضرایب وزنی :..... 84

4-5-**بررسی تاثیر اپراتورهای ژنتیک الگوریتم** : 94

فصل پنجم نتیجه گیری و جمع بندی:..... 101

5-1- **نتیجه گیری** :..... 102

5-2- **پیشنهاد ادامه پروژه** :..... 103

مراجع : 104

پیوست الف : 107

پیوست ب : 108

فهرست اشکال :

شکل 2- 1- روش قید E 12
شکل 2-2- روش متریک وزنی با P=1 14
شکل 2-3- روش متریک وزنی با P=2 14
شکل 2- 4روش متریک وزنی با P=∞ 15
شکل 2- 5- روش متریک ورنی P=2 16
شکل 2-6 - با حرکت z^* به سمت پیشانی بهینه پارتو نقاط بهینه بیشتری بدست می آید 17
شکل 2- 7- روش بنسون- نصف محیط مستطیل تابع معیار می باشد 18
شکل 2- 8-کانتورهای تابع ارزش 19
شکل 2-9 روش بهینه سازی دو سطحی 21
شکل 2-10- فلوچارت کلی روش بهینه سازی چند معیار ارزیابی 25
شکل 2-11- ساختمان یک جمعیت در الگوریتم ژنتیک 28
شکل2- 12 اپراتور تقاطع یک نقطه ای بر روی یک ارگانیزم دارای 2 کروموزوم 30
شکل 2-13 اعمال اپراتور جهش بر روی یک ارگانیزم دارای 2 کروموزوم 30
شکل 2-14 اعمال اپراتورهای جابجایی ژن ، اضافه کردن ژن ، کاهش ژن بر روی یک ارگانیزم دارای 2 کروموزوم 32
شکل 2-15-نمونه ای ازترتیب چیدمان به همراه کدبندی و دی کد کردن آن در الگوریتم ژنتیک ... 33
شکل 2-16- نمونه ای از کدبندی ژن ها ی زاویه و ماده در الگوریتم ژنتیک 34
شکل2-17 روشهای انتخاب در جستجو به روش A GA : روش B ELB : روش C MEI : روش ME2 D : روش ME3..... 38
شکل 3-1: المانی از جسم الاستیک 43
شکل 3-2:المانی از جسم با محورهای اصلی در جهت الیاف و عمود بر الیاف 44
شکل 3-3: پوسته استوانه ای مرکب از M لایه کاملا به هم چسبیده دارای محورهای اصلی عمود بر هم R,Θ,X..... 47
مجموعه شکلهای3-4 :مقایسه نمودارهای تنش های نرمال شده در طول استوانه 62
شکل 4-1 :جمعیت اولیه اول , W_1=0..... 83
شکل 4-2 :جمعیت اولیه دوم , W_1=0..... 84
شکل 4-3 :جمعیت اولیه سوم , W1=0..... 84
شکل 4-4 :جمعیت اولیه اول , W_1=1..... 85
شکل 4-5 :جمعیت اولیه دوم W_1=1 85
شکل 4-6 :جمعیت اولیه سوم W_1=1 86
شکل 4-7 :جمعیت اولیه اول ,W_1=0.4 86

شکل 4-8 :**جمعیت اولیه دوم ، W_1=0.4** 87
شکل 4-9 :**جمعیت اولیه سوم ، W_1=0.4** 87
شکل 4-10 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه وW_1= 0** 90
شکل 4-11 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه وW_1= 0.2** 91
شکل 4-12 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه و W_1= 0.4** 91
شکل 4-13 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه و W_1= 0.6** 92
شکل 4-14 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه و W_1= 0.8** 92
شکل 4-15 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه و W_1= 1** 93
شکل 4-16 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته شش لایه و W_1= 0** 93
شکل 4-17 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته شش لایه و W_1= 0.2** 94
شکل 4-18 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته شش لایه و W_1= 0.4** 94
شکل 4-19 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته شش لایه و W_1= 0.6** 95
شکل 4-20 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته شش لایه و W_1= 0.8** 95
شکل 4-21 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته شش لایه و W_1= 1** 96
شکل 4-22 :**نمودار بهینه پاریتو برای یک پوسته چهار لایه** 97
شکل 4-23 :**نمودار بهینه پاریتو برای یک پوسته شش لایه** 98
شکل 4-24 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه وW_1= 0 ، NP=8** 99
شکل 4-26 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه و W_1= 0 ، NP=12** 100
شکل 4-27 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه وW_1=1 ، NP=8** 101
شکل 4-28 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه وW_1=1 ، NP=10** 101
شکل 4-29 :**چیدمان بهینه برای یک پوسته چهار لایه وW_1=1 ، NP=12** 102
شکل 4-30 : **مقدار P_{Gen} بر حسب NP در یک پوسته چهار لایه** 103
شکل 4-30 : **مقدار P_{Gen} بر حسب NP در یک پوسته چهار لایه** 104

فهرست جداول :

جدول3- 1 **تعداد ضرایب الاستیک برای حالت سه بعدی** 44
جدول3-2: **مقایسه نتایج با مرجع [27]** 72
جدول 4-1 : **خواص مکانیکی ماده مرکب** **80**
جدول 4-2 : **مشخصات اپراتورهای الگوریتم ژنتیک** 81
جدول 4-3 : **مشخصات هندسی پوسته استوانه ای**.....81
جدول 4-**4**: **جمعیت اولیه های مختلف برای پوسته استوانه ای چهار لایه** 82
جدول 4-**5** : **نتایج بدست آمده برای جمعیت اولیه های مختلف**.....83
جدول 4-**6** : **خواص مکانیکی ماده مرکب** 89
جدول 4-7 : **مشخصات هندسی پوسته استوانه ای** 89
جدول 4-**8** : **نتایج بهینه سازی پوسته های چهار و شش لایه**.....90

$f(x)$ ¨Ü

$g_i(x)$ ی ¨Ü

GA الگوریتم ژنتیک

$MOOP$ بهینه سازی چند معیاره

SO بهینه سازی تک معیاره

s_{ij} تانسور تنش

e_{kl} تانسور کرنش

W تابع پتانسیل

h_k ضخامت لا یه kام پوسته

C_{ij} مولفه های سفتی الاستیک

i,j,k اندیس

l_p متریک

r راستای شعاعی

x راستای طولی

q راستای محیطی

u_r, u_x, u_q مولفه های حرکت در مختصات استوانه ای

e_r, e_x, e_q مولفه های کرنش نرمال

g_{xq}, g_{xr}, g_{rq} مولفه های کرنش برشی

s_x, s_r, s_q مولفه های تنش نرمال

t_{xq}, t_{xr}, t_{rq} مولفه های تنش برشی

w فرکانس طبیعی ارتعاشات

r چگالی

R_k	شعاع متوسط لایه kام پوسته
z	متغیر
h	متغیر
L	طول استوانه
f_i	سهم رشته iام در چرخ گردان
q	فشار وارده به استوانه
M	تعداد لایه های پوسته استوانه ای
A_r, A_x, A_q	دامنه های حرکتی مولفه های تغییر مکان
t	زمان
m	نیم طول موج در جهت طولی استوانه
$[G]$	ماتریس ضرائب
$\{F^{(k)}\}$	ماتریس مجهولات
M_{ij}	بردار ویژه ماتریس G
g_j	مقدار ویژه ماتریس G
C_j^k	ضرایب ثابت مجهول
w^*	فرکانس طبیعی بی بعد شده
X,Y,Z	تنشهای تسلیم قائم در سه راستای اصلی کامپوزیت
R,S,T	تنشهای تسلیم برشی
q_m	زاویه قرارگیری الیاف
Q	عکس معیار تسلیم تسای هیل
w_i	ضریب وزنی

فصل اول:

مقدمه ای بر کارهای انجام شده

1-1- مواد مرکب :

کلمه مرکب در مواد به معنی ترکیب دو یا چند ماده در مقیاس ماکروسکوپی می باشد. مزایایی که در مواد مرکب مورد توجه است عبارتند از مقاومت زیاد در مقابل خستگی و خوردگی ، قابلیت جذب بالای انرژی ، پایین بودن ضریب انبساط حرارتی و گسترده بودن محدوده درجه حرارت کاری.

مواد مرکب از سه قسمت اصلی الیاف ، چسب ، و ماده ای کم وزن به نام پرکننده تشکیل می شوند. در این مواد الیاف برای تحمل بار بیشتر و چسب برای چسباندن الیاف و عملکرد یکنواخت آن ها به کار برده می شوند. ماده پر کننده ماتریس نامیده می شود. این ماده معمولا دارای سختی و مقاومت کمتری نسبت به الیاف می باشد و لیکن اختلاط الیاف و یا تارها با این ماده منجر به تشکیل یک محصول جدیدی می گردد که علاوه بر چگالی کم ، ا ز مقاومت بالایی برخوردار است. مواد مرکب در حالت کلی غیر ایزوتروپ هستند.

با توجه به خواص برجسته مواد مرکب مدت دو دهه است که سازه های مرکب لایه ای بویژه پوسته های دورانی کاربرد فراوانی در صنایع هوایی ، اتومبیل ، شیمیایی و مخازن تحت فشار پیدا کرده اند.

بطور کلی پوسته های مرکب لایه ای نسبت به پوسته تک لایه دارای مزایای زیر می باشند :

1. قابلیت تحمل بار زیاد با وزن کم
2. قابلت عایق حرارتی خوب
3. مقاومت در مقابل اثرات جوی
4. مقاومت بهتر در مقابل بارهای متناوب

مزایای فوق نشان می دهد که پوسته های دورانی لایه ای بخاطر کیفیت منحصر به فرد آن ها در مواردیکه قرار است پوسته در معرض شرایط حاد حرارتی و مکانیکی کار کند می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مزایای استفاده از مواد کامپوزیتی بعضی مواقع با توجه به آنالیز پیچیده آن نادیده گرفته می شود سازه های کامپوزیتی معمولا در صنعت شامل مسائلی با برنامه های غیر خطی ، پیچیده و گسترده است . الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم بهینه سازی ایده آل برای این گونه مسائل است و نسبت به تکنیک های بهینه سازی دیگرساده است و در طیف گسترده ای از مسائل قابل اجرا

است . گرچه اگر هزینه آنالیز کردن سازه خیلی زیاد شود ، طراح مجبور می شود که از روش های دیگر بهینه سازی که محاسبات کمتری نیاز دارد استفاده کند .

الگوریتم ژنتیک (GA) در سالهای اخیر مرکز توجهات زیادی بوده است GA به خاطر قدرت و اطمینانی که به آن وجود دارد در جستجوهای پیچیده بر روی فضاهای غیر یکنواخت و مسائلی که شامل بهینه سازی و طراحی است بسیاراستفاده می شود . الگوریتم ژنتیک یک روش گران قیمت بهینه سازی است و بعضی مواقع به هزاران آنالیز پیچیده جهت همگرایی نیاز دارد گرچه تحقیقات زیادی در مورد GA انجام شده است ولی این روش همچنان در حال پیشرفت و رشد است و ایده های زیادی برای کاهش هزینه های محاسباتی آن ابداع شده است .

این روش دامنه استفاده گسترده ای دارد . از مواردی مثل بیولوژی و علوم اجتماعی گرفته تا علوم کامپیوتری و استفاده های مهندسی. مثال هایی از این موارد [1] الیوت ات آل [1] است که GA را برای کنترل ترافیک هوایی استفاده کرد و دیویس [2] [2] و گیفلر [3] [3] هستند که از این روش برای مسائلی که شامل خرید و برنامه ریزی پیوسته است استفاده کردند

اینها علاوه بر تحقیقات شمارش ناپذیر دیگر ، GA رابه عنوان یک ابزار ارزشمند در حل مسائل و فضاهای بهینه سازی معرفی می کنند.

از جهت دیگر مواد کامپوزیتی یکی از مواد گران قیمت است و خصوصیات خستگی خوبی ندارد و روش های بازیافت و تعمیر آن ها نیز مشخص نیست . علاوه بر آن یک سازه کامپوزیتی اگر در یک جهت پیش بینی نشده که ضعیف است تحت بارگذاری قرار گیرد دچار مشکل خواهد شد . این مسائل را با قرار دادن مواد ایزوتروپیک مثل آلومینیوم و آهن حل می کنیم که خصوصیات یکنواختی در جهت های مختلفی دارند . در صنعت هوا فضا طراح ها بسیار مشتاقند که از مواد کامپوزیتی استفاده کنند چون سازه ها وزن کمی خواهند داشت ولی قدرت و استحکام بالایی خواهند داشت . البته طراحی این کامپوزیت ها و جهت بندی آن ها بسیار مهم است . ولی طراحی این کامپوزیت برای بارگذاری در جهات مختلف بسیار سخت و پیچیده است یک مثال از این نوع جدیدترین و پیشرفته ترین هواپیماهای مسافرتی تجاری ، بوئینگ 777 است . در ساخت این سازه هوائی که اولین بار در سال 1994 به پرواز در آمد ، فقط 9 درصد وزن از مواد کامپوزیتی است [4].

---

[1] Alliot et al
[2] Davis
[3] Giff

پروسه طراحی بهینه مواد کامپوزیت اندکی مشکل تر از روشهای طراحی عادی است . مواد کامپوزیت متغیر های طراحی متنوعی دارند که هم روی استحکام و هم روی سختی سازه تاثیر می گذارد. قابلیت بهینه کردن این سازه ها به طراح اجازه می دهد که با صرف کمترین هزینه بهترین طرح را برای رسیدن به هدف مورد نظر ارائه کند.

عموما تعداد و ضخامت لایه ها ، زاویه الیاف و حتی ماده مورد استفاده برای لایه های کامپوزیت می توانند متغیر های طراحی باشند .در حالی که بار کمانش ، خیز مجاز ، فرکانس طبیعی و استحکام می توانند بعنوان اهداف طراحی بهینه شوند .در مواردی نیز هدف بهینه کردن قیمت یا وزن یا هر دو تحت قیود مختلف می باشد.

در هر مساله بهینه سازی کارآیی روش محاسباتی بکار رفته مهمترین مشخصه ای است که باید مورد توجه قرار گیرد.روشی برای بهینه سازی موثر است که علاوه بر تامین نظر طراح در کمترین زمان و با حد اقل محاسبات و کمترین هزینه قابل انجام باشد ، اگر چه سرعت همگرایی و رسیدن به بهترین جواب نیز از اهمیت زیادی بر خوردار است.

از این رو در اکثر مقالات مختلف بنا بر اینکه طراح چه فرضیات و قیودی را اعمال کند.روشهای بهینه سازی مختلفی بکار رفته است.

1-2- خلاصه ای از کارهای انجام شده:

اولین کارهایی که در زمینه بهینه سازی مواد کامپوزیت چند لایه انجام شده توسط هایاشی 1974 بود [5] ، اگر چه در سالهای 1961 تا 1974 کارهایی روی بهینه سازی ورق ها انجام شده بود اما در سال 1974 هایاشی یک ورق کامپوزیت را به منظور افزایش مقاومت کمانش بهینه سازی کرد.

برت و چن نیز در سال 1976 کارهایی در زمینه بهینه سازی ورق ها انجام دادند [5] وی در مقاله ای یک طرح بهینه برای ورق نازک چند لایه با فرض مساوی بودن ضخامت همه لایه ها ارائه داد که تابع هدف بهینه سازی ، ماکزیمم کردن فرکانس طبیعی بود . بهینه سازی در یک ورق با چهار طرف تکیه گاه ساده انجام شد و تابع هدف به صورت تابعی از نسبت اضلاع بیان شد.

کار انجام شده توسط برت اولین کار بر روی بهینه سازی فرکانس پایه برای ورق کامپوزیت چند لایه که ضخامتهای مختلف را می توان برای هر لایه در نظر گرفت و چیدمان لایه ها نیز قابل تغییر است می باشد .

مثالهای متعددی از بهینه سازی با مختلف در نظر گرفتن ضخامت لایه ها توسط وندرپلات و ویس شعار در سال 1989 ارائه شد [6].

در سالهای 1991 تا 1994 فوکوناگا روشی موسوم به پارامتر لایه ای را برای بهینه سازی سختی و فرکانس طبیعی در دو مقاله استفاده کرد . وی در سال 1994 در مقاله ای در ورق های کامپوزیتی متقارن [4] اولین فرکانس طبیعی را ماگزیمم کرد.وی از روش پارامتر لایه ای استفاده کرد تا اثر کوپل خمش پیچش را بر روی فرکانس طبیعی در دو حالت کاملا گیر دار و تکیه گاه ساده بررسی کند [8].

در سال 1998 ناریتا و اهتا برای ورقهای مستطیلی طراحی بهینه ساده شده ای با استفاده از مقادیر متغیر گسسته انجام دادند [7] ناریتا زاویه فیبر ها را به عنوان متغیر طراحی قرار داد و چیدمان لایه ها را به منظور ماگزیمم کردن کوچکترین فرکانس طبیعی انجام داد . کار انجام شده بر روی دو چند لایه متقارن بود که از چهار طرف توسط دیافراگم برشی گرفته شده بود.

در سال 1990 مارشا ل و دموتسن 11 مقاله که از روش مقادیر متغیر گسسته استفاده می کردند را تحت عنوان کتابی جمع آوری کردند که در آن مقالات تاکید اصلی بر روی بهینه سازی مواد کامپوزیتی بود [9].

در سال 1995 یک روش طراحی دو مرحله ای برای سازه های پوسته ای ، ورقی توسط موتاسوارز انجام شد در این کار از روش تعمیم یافته هدایت محتمل برای بهینه سازی استفاده شد و برای قسمت تحلیل مساله از روش المان محدود استفاده شد تحقبقات اولیه روی لایه هایی که شامل یک زاویه چرخش فایبر هستند انجام شده است که بیشتر بر اساس تکنیکهای تحلیلی حل صورت گرفته است . در تحقیقات اخیر پیچیدگی مسائل بیشتر شده است و زوایای فایبر های جداگانه و مواد مختلف به عنوان پارامتر های طراحی مطرح شده اند [10] .

چاو – سان و کو معادلات تئوری ورق و تکنیکهای جستجوی طلایی را برای ماگزیمم کردن مقاومت پوسته استوانه ای تحت بار متغیر انجام داده اند پوسته استوانه ای از لایه های متغیر بالانس شامل زاویه چرخش فایبر یکسان $\pm \Theta$ تشکیل شده بود [8] .

کار بعدی که توسط زیتروانسی انجام شد یک روش تحلیلی برای بهینه سازی کمانش در یک پوسته استوانه ای ارتوتروپ بود که با همکاری ناسا انجام شد با این هدف که قابلیت کمانش به وزن را در یک پوسته استوانه ای در حالی که پوسته

[4] Symmetric

تحت بار محوری خمشی و فشاری است ماگزیمم کند . سازه از نوع کامپوزیت چند لایه و متقارن و بالانس انتخاب شده بود . زوایای فایبر ها را 0 ، 45 ± ،90 ± در نظر گرفت درصد حجم نسبی لایه ها نسبت به همدیگر و چیدمان لایه ها به عنوان متغیر های طراحی انتخاب گردیدند.

زیمرمان مقاله ای ارائه داد که در آن وزن تحت بار محوری برای پوسته استوانه ای کامپوزیتی مینیمم شده بود . وی از تئوری پوسته های کم عمق برای محاسبات بار کمانش کلاسیک در پوسته استوانه ای استفاده کرد . زیمرمان محدودیت متقارن بودن را حذف کرد و فقط لایه ها را بالانس در نظر گرفت . زاویه فایبر به عنوان متغیر طراحی انتخاب گردید و مقایسه ای بین تغییرات پیوسته و گسسته برای متغیر زاویه انجام شد برای بهینه سازی پوسته استوانه ای در حالت متغیر پیوسته از بسته نرم افزاری CADOP و در حالت متغیر گسسته از روش جستجوی شبکه ای استفاده کرد [8] .

از اولین مقالاتی که در زمینه بهینه سازی چند منظوره وجود دارد مقاله ای از چاو ، کو و سو[5][12] است که در سال 1974به چاپ رسید که در آن مقاله یک کامپوزیت ارتوتروپ چند لایه را با توابع هدف کمانش و تنش تسلیم بهینه سازی کردند . روش بهینه سازی استفاده شده توسط آن ها تکنیک جستجوی مستقیم بود .

پس از آن در سال 1981 پاپاس و ناشاریان [6]مقاله ای منتشر کردندکه در این مقاله زوایای لایه ها و ضخامت به عنوان متغیر های طراحی مطرح شده اند [13] و با استفاده از روش تقریب خطی پیوسته و غیر پیوسته و با استفاده از الگوریتم MP کوچکترین فرکانس طبیعی و بار بحرانی کمانش در یک پوسته استوانه ای نازک تحت شرایط مرزی تکیه گاه ساده بهینه سازی شده است .

در سال 1999،سانچیز ، مولین ، برلانگا[7] یک مساله چند منظوره را با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک حل کردند [14] که در آن تعداد لایه ها و مقاومت هر لایه به عنوان متغیرات طراحی انتخاب شدند قیود تقارن و تعادل نیز به عنوان قیدهای مساله مطرح شده اند.

در سال 2002 ، ناریتا یک ورق را تحت 6، 7 و تعداد بیشتری تابع هدف بهینه سازی کرد [15] وی ابتدا متغیرهای طراحی را بر اساس دقت مورد نظرش قسمت بندی کرد . در مرحله بعدی وی مقادیر بدست آمده برای هر پارامتر در محدوده خاص

---

[5] Chao , Koh, Suh
[6] Pappas , Nasharian
[7] Sanchis , Moline , Berlanga