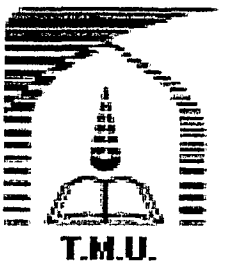
٢٤٨٩

نسخة 2 / 1

١٩٩٧٤

۸۷/۱/۱۰۸۹۷۱
۸۸/۴/۱



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا

گرایش طراحی سازه های هوایی

"بهینه سازی پنل های کامپوزیتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک"

فوزیه مروت

استاد راهنما :

دکتر غلامحسین رحیمی

استاد مشاور :

دکتر علی عابدیان

۱۳۸۸ /۱/ ۱۰۷

۱۰۹۹۷۴

مهر۱۳۸۷

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم فوزیه مروت پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بهینه سازی پنل های کامپوزیتی با استفاده از الگوریتم ژنتیك** در تاریخ ١٣٨٧/٧/٢٤ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - هوافضا پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف مقدس	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر علی عابدیان	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	
استاد ناظر	دکتر مجتبی صدیقی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸٤/٤/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب فوزیه مروت دانشجوی رشته مهندسی مکانیک- هوافضا مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: فوزیه مروت

تاریخ و امضا: ۸۷/۱۰/۱

تقدیم به

خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی:

نخست سپاس فراوان به درگاه ایزد یکتا دارم که هر چه هست از اوست.

در اینجا با اغتنام از وقت برخود وظیفه می دانم که از کلیه اساتید محترم دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس و اساتید ارجمند و گرامی گروه هوافضا و مکانیک، علی الخصوص جناب آقای دکتر غلامحسین رحیمی و استاد ارجمند جناب آقای دکتر علی عابدیان استاد محترم گروه هوافضا دانشگاه صنعتی شریف که همواره علم و تجربه ارزشمند خود را خالصانه در جهت راهنمایی این تحقیق به کار گرفتند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را بنمایم.

و با تشکر از کادر آموزشی و پژوهشی دانشکده فنی و مهندسی و نیز همه کسانی که به من علم و معرفت آموختند و سالها یکی بعد از دیگری چراغی روشنگر فرا راه زندگیم برافروختند و آنان که دشواری راهم را هموار کردند، زحمات یکایکشان را ارج می نهم.

چکیده

صفحات کامپوزیتی به علت دارا بودن نسبت بالای استحکام و سفتی به وزن به صورت وسیعی در سازه هواپیماها به کار گرفته می شوند. لذا در تحقیق حاضر الگوریتم ژنتیک که دارای پایه جستجوی تصادفی است بدلیل اینکه روشی قوی برای جستجوی نقاط بهینه در میدانهای بزرگ، ناپیوسته و غیر محدب می باشد، استفاده شده است. لازم به ذکر است این روش توسط بسیاری از محققین برای طراحی بهینه صفحات کامپوزیتی به کار گرفته شده است و تحقیقات فراوانی نیز در جهت بهبود عملکرد این روش و تطابق بیشتر آن با مواد مرکب در حال انجام بوده و می باشد.

اما در پروژه حاضر اثر بارهای در صفحه و کمانش سازه در اثر این بارها مورد بررسی قرار خواهد گرفت، در واقع در این پروژه طراحی بهینه صفحات کامپوزیتی ساده، صفحات کامپوزیتی با گشودگی دایروی و صفحات کامپوزیتی خمیده (پنل کامپوزیتی) با گشودگی دایروی و گشودگی مربع با شرایط مرزی تکیه گاه ساده، یک سردرگیر و نیز ترکیب این دو مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. در واقع لایه چینی بهینه برای مثالهای یاد شده یا بطور کلی زاویه (جهت)، تعداد لایه ها، ضخامت و جنس لایه ها تعیین خواهند شد. با استخراج طرحهای بهینه می توان اثر شرایط مرزی را در استحکام کمانشی و خیز (تغییر شکل) صفحات ساده و خمیده کامپوزیتی با و بدون گشودگی مشاهده کرد. همین طور می توان مقایسه ای کلی از صفحات ساده کامپوزیتی با و بدون گشودگی بهینه شده و پنل های کامپوزیتی بهینه با گشودگی های دایروی و مربع را مشاهده کرد. از طرفی نتایج بهینه سازی با توابع هدف یک منظوره و چند منظوره نیز در تحقیق حاضر بررسی شده است.

واژگان کلیدی : صفحه کامپوزیتی، پنل کامپوزیتی، گشودگی، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، آنالیز کمانش، شرایط مرزی.

عنوان	صفحه

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مروری اجمالی بر مساله مورد بررسی در تحقیق حاضر ۲

۱-۲- مروری بر مطالب مرتبط موجود از ابتدا تا سال ۲۰۰۷ ۴

۱-۳- مروری بر مندرجات ۱۴

فصل دوم : بهینه سازی و الگوریتم ژنتیک

۲- بهینه سازی و روشهای مختلف آن ۱۶

۲-۱- مقدمه ۱۶

۲-۲- معرفی الگوریتم ژنتیک ۱۷

۲-۲-۱- مقدمه ۱۷

۲-۳- الگوریتم ژنتیک در مقایسه با سایر روشهای بهینه سازی ۱۹

۲-۴- مراحل الگوریتم ژنتیک ۲۳

۲-۵- مبانی ریاضی الگوریتم ژنتیک ۲۷

۲-۶- روشهای اعمال قیدها در مسایل بهینه سازی ۲۹

۲-۷- تبدیل مسایل بهینه سازی با استفاده از توابع جریمه ۳۰

۲-۸- توابع جریمه مختلف در الگوریتم ژنتیک ۳۴

فصل سوم : برنامه رایانه ای و مشخصات آن

۳-۱- مقدمه ۳۹

۳-۲- شکل ظاهری برنامه ۳۹

۳-۳- ساختار اطلاعات ۴۲

۳-۴- عملگرها و جمعیت ها ۴۴

۵-۳- عملگر ترکیب ۴۴
۶-۳- عملگر جهش ۴۵
۷-۳- عملگر نخبه گرایی ۴۶
۸-۳- ارزیابی و انتخاب ۴۶
۹-۳- خروجیها ۴۹
فصل چهارم: طراحی بهینه صفحه کامپوزیتی ساده و صفحه کامپوزیتی با گشودگی دایروی
۱-۴- مقدمه ۵۱
۱-۱-۴- کاربرد صفحات کامپوزیتی در صنایع هوافضا ۵۱
۲-۱-۴- طراحی بهینه سازه های ساخته شده از مواد مرکب چند لایه ۵۱
۲-۴- تعریف مسأله ۵۳
۳-۴- مدلسازی المان محدود ۵۳
۴-۴- بارگذاری و شرایط مرزی ۵۴
۵-۴- متغیرهای طراحی ۵۸
۶-۴- آنالیز استاتیکی و کمانش ۵۹
۷-۴- رابطه سازی مسأله بهینه سازی ۵۹
۸-۴- صفحات بهینه بدست آمده ۶۱
۱-۸-۴- حل و نتایج ۶۱
۹-۴- شماتیک کمانه شده صفحات کامپوزیتی با گشودگی دایروی با شرایط مرزی مختلف ۶۳
۱۰-۴- کانتورهای تنش صفحات کامپوزیتی با گشودگی دایروی با شرایط مرزی مختلف ۶۵
۱۱-۴- کانتورهای تغییر شکل(خیز) صفحات کامپوزیتی با گشودگی دایروی با شرایط مرزی مختلف ۶۶
۱۲-۴- مقایسه و نتیجه گیری ۶۷

۱-۱۲-۴- اعتبار سنجی (مقایسه با مقالات ژورنال) ۶۹

فصل پنجم: طراحی بهینه پنل های کامپوزیتی با گشودگی

۱-۵- مقدمه ۷۱

۲-۵- تعریف مساله ۷۱

۳-۵- متغیرهای طراحی ۷۲

۴-۵- مدل المان محدود ۷۳

۵-۵- آنالیز استاتیکی و کمانش ۷۵

۶-۵- بارگذاری و حل ۷۵

۷-۵- اجرای برنامه در فضای کاملاً تصادفی ۷۶

۸-۵- پنل های بهینه بدست آمده با گشودگی دایروی ۷۸

۱-۸-۵- حل و نتایج ۷۸

۹-۵- شماتیک کمانه شده پنل های کامپوزیتی با گشودگی دایروی با شرایط مرزی مختلف ۷۹

۱۰-۵- کانتور تنش پنل های کامپوزیتی با گشودگی دایروی با شرایط مرزی مختلف ۸۱

۱۱-۵- کانتور تغییر شکل(خیز) پنلهای کامپوزیتی با گشودگی دایروی با شرایط مرزی مختلف ۸۲

۱۲-۵- بهینه سازی پنل با گشودگی مربع ۸۳

۱-۱۲-۵- تعریف مساله ۸۳

۱۳-۵- پنل های بهینه بدست آمده با گشودگی مربع ۸۵

۱-۱۳-۵- حل و نتایج ۸۵

۱۴-۵- مقایسه و نتیجه گیری ۸۵

۱-۱۴-۵- بررسی عملکرد الگوریتم ژنتیک در دستیابی به جوابهای بهینه ۸۵

۲-۱۴-۵- مقایسه و نتیجه گیری از بهترین طرح های بهینه بدست آمده ۸۶

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱- جمع بندی و نتیجه گیری ۸۹

۶-۲- پیشنهادها ۹۱

فهرست مراجع ۹۲

واژه نامه ۱۰۰

واژه نامه فارسی – انگلیسی ۱۰۱

واژه نامه انگلیسی – فارسی ۱۰۵

پیوست ۱۰۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مروری اجمالی بر مساله مورد بررسی در تحقیق حاضر

مواد مرکب کاربرد فراوانی در صنایع هوافضایی داشته و امروزه در دیگر صنایع نیز بطور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله خواص اصلی این مواد نسبت استحکام به وزن آنها می باشد که آنها را در زمره مولد ایده آل در کاربردهای هوافضایی نموده است.

اما بر خلاف مواد مهندسی معمول، طراحی قطعات با استفاده از مواد مرکب برای عملکردی بهینه نسبتاً پیچیده و سخت می باشد. معمولاً این پیچیدگی هنگامی که طراحی قطعات هوافضایی مدنظر باشد به علت چند منظوره بودن تابع بهینگی بسیار بیشتر می شود. یکی از دلایل اصلی این امر غیر پیوسته بودن میدان بهینه سازی در مواد مرکب است که استفاده از روش الگوریتم ژنتیک که مناسب میدانهای پیچیده، نامحدب و غیرپیوسته است را غیرقابل اجتناب می نماید. روش الگوریتم ژنتیک امروزه بطور وسیعی در عملیات بهینه سازی در زمینه های مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. اما علی رغم مطالعات متعددی که در ارتباط با کاربرد این روش در مواد مرکب وجود دارد اما هنوز پارامترهای زیادی در خصوص این روش وجود دارد که مقدار بهینه آنها در زمینه یاد شده شناخته نشده است.

لذا نظر به اینکه توسعه ابزاری جهت طراحی بهینه و یا بهینه سازی قطعات کامپوزیتی هوافضایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مد نظر بوده، دو دسته پروژه طی چند سال گذشته تعریف و به اجرا درآمده است. در دسته اول سعی شده تا پارامترها و اپراتورهای مختلف الگوریتم ژنتیک در زمینه مواد مرکب تعیین و تبیین شوند و در دسته دوم کد تهیه شده به اجزاء ساده یک هواپیما اعمال شوند. در این راستا

به عنوان مثال نوع پنالتی های مورد استفاده بررسی و نهایتاً یک پنالتی جدید به نام پنالتی[۱] دوقسمتی پیشنهاد شده است. همچنین معیار جدیدی برای قطع عملیات بهینه سازی به نام معیار لگاریتمی تعریف و اجزاء آن مشخص شده اند. اثر جمعیت اولیه[۲]، چگونگی انتخاب بهینه جمعیت اولیه[۳]، اثر عملگرهای ژنتیکی بر بهینه سازی [۴]، مقادیر بهینه cross-over و میزان نخبه گرایی[۵] از جمله دیگر مطالعاتی بوده که مورد مطالعه دقیق قرار گرفته اند. اما در خصوص اعمال کد و تست میزان موفقیت آن مثالهای متعددی مورد بررسی قرار گرفته که ابتدا یک صفحه کامپوزیتی ساده، سپس صفحه خمیده و به دنبال آن صفحه ساده با تقویت کننده، صفحه خمیده با تقویت کننده، صفحه ساده با گشودگی با و بدون تقویت کننده، شکل بهینه گشودگی، شکل بهینه تقویت کننده ها، صفحه خمیده با گشودگی، یک تیر توخالی با مقطع مربعی (beam box) مورد مطالعه قرار گرفته اند که در همه آنها تابع بهینگی شامل ترکیبی از دو هدف همزمان یعنی وزن و خیز (تغییر شکل) سازه بوده است.

اما در پروژه حاضر اثر بارهای در صفحه و کمانش سازه در اثر این بارها مورد بررسی قرار خواهد گرفت در واقع در این پروژه طراحی بهینه صفحات کامپوزیتی ساده، صفحات کامپوزیتی با گشودگی دایروی و صفحات کامپوزیتی خمیده (پنل کامپوزیتی) با گشودگی دایروی و گشودگی مربع با شرایط مرزی تکیه گاه ساده و نیز یک سردرگیر مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. در واقع لایه چینی بهینه برای مثالهای یاد شده یا بطور کلی زاویه (جهت)، تعداد لایه ها، ضخامت لایه ها و جنس لایه ها تعیین خواهند شد.

قابل ذکر است که استفاده از صفحات ساده و تقویت شده با گشودگی مورد استفاده فراوان در صنایع هوافضایی و دریایی دارد. البته شکل گشودگی بهینه نیز از دیگر موارد مهم موقع استفاده از مواد مرکب با گشودگی در صنایع یاد شده است.

۲-۱- مروری بر مطالب مرتبط موجود از ابتدا تا سال ۲۰۰۷

تحقیقات Martin [۶] در سال ۱۹۷۲ جزو اولین مطالعات بر رفتار کمانش postbuckling یک صفحه کامپوزیتی مستطیلی بوده که از روی دولبه روبرو تحت فشار قرار داشت و دارای یک گشودگی بود. در این تحقیق یک آنالیز تقریبی برای صفحه غیرهمگن با گشودگی دایروی در مرکز که روی تکیه گاه ساده قرار دارد و بصورت نیرویی بارگذاری شده استخراج شد. بعد از آن Henneke و همکارانش [۷] در سال ۱۹۷۸ یک تحقیق آزمایشگاهی را برروی خواص شکست یک صفحه از جنس graphite-epoxy که بصورت جابجایی در لبه ها بارگذاری شده بود انجام دادند. در سال ۱۹۸۲ Herman [۸] اولین تحقیق را روی رفتار کمانش و postbuckling صفحات برش با گشودگی دایروی انجام داد که در این تحقیق نتایج عددی آنالیز شش نمونه صفحه با روش المان محدود فراهم شد. Nemeth و همکارانش [۹] در سال ۱۹۸۳ یک آنالیز تقریبی از کمانش یک صفحه مستطیلی تحت فشار را که بصورت ارتوتروپ quasi-isotorop,quasi-orthotrop دارای یک گشودگی مرکزی بود را ارائه دادند. هدف خاص این آنالیز تقریبی پایه روش تغییراتی [۱۰] است که توسط kantororich نوشته شده است. بدنبال این تحقیق مطالعات پارامتری [۱۱و۱۲] نیز انجام شد که تاثیر سایز گشودگی، نسبت ابعاد صفحه، شرایط بارگذاری، شرایط مرزی و ارتوتروپ بودن صفحه بر رفتارکمانش گردآوری شده است.

بعلت علاقمندی محققان به سنجش اعتبار روشهای عددی درسال ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵، Marshall و همکارانش[۱۲و۱۳] یک تحقیق آزمایشگاهی و عددی را برروی رفتار کمانش صفحه مستطیلی ارتوتروپ تحت فشار انجام دادند. نتایج عددی تقریبی فراهم شده برای یک صفحه با بارگذاری جابجایی روی لبه های تکیه گاه ساده با روش رایلی- ریتز با نتایج آزمایشگاهی صفحه ازجنس glass-epoxy با هفت سایز مختلف گشودگی مقایسه شد و نتایج تقریباً یکسانی از هردوروش مخصوصاً برای $\frac{d}{w} \leq 0.05$ استخراج

شد. یک مطالعه جالب دیگر درسال ۱۹۸۷ توسط همین گروه برروی اجزای توزیع تنش غشایی در یک صفحه glass-epoxy انجام شد و به نتایج عددی و آزمایشگاهی مشابهی از اثرات سایز گشودگی دایروی، ارتوتروپ بودن و بارگذاری بر رفتار کمانش صفحه رسیدند [۱۴].

در سال ۱۹۸۸ Turry و Sadeghipour [۱۵] بر روی کمانش برشی دو نوع صفحه کامپوزیتی تحقیق کردند. در این تحقیق نتایج حاصل از دو نوع بارگذاری نیرویی و جابجایی با یکدیگر مقایسه شده اند. Hyre و Charette [۱۶] در سال ۱۹۸۹ بر روی استفاده از فایبرهای منحنی شکل در صفحه کامپوزیتی و مقایسه آن با فایبرهای مستقیم و اثر آن با بار کمانش مطالعه کردند. در سال ۱۹۹۰، Klany و Owen [۱۷و۱۸]یک آنالیز خاص را با استفاده از روش ریلی- ریتز برای کمانش برشی صفحه متقارن مستطیلی ارائه دادند و نتایج عددی را با نتایج المان محدود مقایسه نمودند. Rouse [۱۹] در سال ۱۹۹۰، نتایج آزمایشگاهی رفتار کمانش یک صفحه کامپوزیتی با گشودگی دایروی را انتشار داد که تحت بار برشی در لبه ها قرار داشت.Krishna و Sriratsu [۲۰] یک مطالعه پارامتریک بر رفتار کمانش فشاری صفحه کامپوزیتی که دارای گشودگی مرکزی است انجام دادند و تاثیر پارامترهایی چون تقارن لایه چینی و سایز گشودگی و شرایط مرزی گیردار و ساده را بر بار کمانش بررسی کردند.

Ahmed K. Noor و همکارانش[۲۱] در سال ۱۹۹۵، نتایج مطالعات پاسخ Thermo mechanical post-buckling را برای ورق کامپوزیتی با سوراخ دایره ای مرکزی، ارائه داده اند. نتایج عددی در این مقاله، تاثیر تغییرات قطر سوراخ، تعداد لایه ها، جهت گیری فایبرها و Aspect Ratio را در ورق نشان می دهد.Sivakumar و همکارانش[۲۲] در سال ۱۹۹۸، به طراحی بهینه یک صفحه کامپوزیتی لایه ای با گشودگی بیضی شکل پرداخته اند. شرایط متغیری که برای مساله در نظر گرفته شده است عبارتند از: زاویه محور اصلی بیضی با مبدا محور صفحه، نسبت قطرهای بیضی، جهت لایه ها، ضخامت لایه ها، جنس لایه ها و نیز قیدهای تعریف کننده فضای طراحی می باشند. در این مقاله از روش الگوریتم

ژنتیک و تئوری تغییر شکل برشی برای بدست آوردن نقاط محلی بهینه استفاده شده است نتایج عددی تحلیل یک صفحه مربعی با شرایط مرزی تکیه گاه ساده و گیردار ارائه شده است. در سال ۱۹۹۹ Kim و Voyiadjis[۲۳] به آنالیز المان محدود غیر خطی پنلهای کامپوزیتی پرداختند.

Liu و Hollaway [۲۴] در سال ۲۰۰۰ در مقاله خود طراحی بهینه سازه های کامپوزیتی که توسط یک سری صفحات عرضی (rib) تقویت شده اند، را مورد توجه قرار داده اند. این روش از آنالیز المان محدود سازه ای و بهینه سازی چند فاکتوره برای طراحی بهینه صفحه استفاده می نماید. لایه چینی های صفحه، شکل ریب ها و نوع قرار گرفتن آنها روی صفحه برای دست یابی به کمترین وزن تحت چند نوع بارگذاری بهینه شده است. پس از آن Muc و Gurba[۲۵] در سال ۲۰۰۱ با هدف رسیدن به کمترین وزن سازه تحت قید کمترین بار کمانش، به کمک یک کد نوشته شده بوسیله C^{++}، یک صفحه کامپوزیتی تحت فشار در صفحه روی دو ضلع روبرویش را آنالیز و بهینه کردند. نتایج حاصل از بررسی لایه چینی و جهتهای الیاف بهینه استخراج شده از کد با نتایج تحلیلی موجود مقایسه شده اند. همچنین در این مقاله استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی شکل صفحه نیز تحقیق شده است. همینطور در سال ۲۰۰۱ Pan و دوستانش [۲۶] از یک روش سه بعدی المان مرزی با نام اختصاری BEM (Boundary Element Method)، برای آنالیز ورق های کامپوزیتی با گشودگی استفاده کردند. در این مقاله به جای استفاده از توابع گرین از قانون تغییر شکل فوریه در حل های عددی استفاده شده است . همین طور مثالهای عددی هم در مورد یک ورق تخت با گشودگی مرکزی ارائه گردیده است.

Navin Jaunky [۲۷] در مقاله خود نتایج آنالیز خرابی صفحات کامپوزیتی با و بدون گشودگی تحت بار برشی در صفحه و بار فشاری، را تحلیل و ارائه کرده است. نتایج حاصل از روشهای المان محدود با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده اند. سازش بین نتایج آزمایشگاهی و عددی برای شکل سازه هایی که عیب هندسی اولیه آنها بخوبی مدل شده، نشان داده شده است. مودهای خرابی صفحات ارتوتروپ کاملاً

وابسته به جهتهای لایه ها، نوع و جهت بارگذاری و هندسه صفحه هستند. در این مقاله انواع خرابی صفحه از جمله ترک، خرابی فیبری و لایه لایه شدن مطرح و با روشهای تحلیلی ارزیابی شده اند. Ahmed K. Noor و همکارانش [۲۸] در سال ۲۰۰۱ در مقاله خود به بررسی تغییر پذیری در واکنش غیر خطی سه پنل کامپوزیتی سفت شده وابسته به تغییرات در پارامترهای ماده و هندسه آنها پرداخته اند. سه پنل، یک پوسته استوانه ای همرا با ۴ یا ۵ استیفنر T شکل دارد. دوتا از پنلها یک شکاف دارند و پنل سوم یک گشودگی دایروی دارد. میزان حساسیت آنالیز به منظور شناختن پارامترهای عمده در سطوح میکرومکانیکی، لایه ای، ورقه ای و زیرمؤلفه ای استفاده می شود.

در سال ۲۰۰۲ BisagniوLanzi [۲۹] به معرفی روش بهینه سازی postbuckling ، برای طراحی پنلهای تقویت شده کامپوزیتی در معرض بارهای فشاری پرداخته اند. روش بهینه سازی بطور قابل ملاحظه ای با ارائه جدایی کامل بین مدلسازی سیستم و مساله بهینه سازی هزینه های محاسباتی را کاهش می دهد و نشان می دهد که کمانش پوسته محلی بین تقویت کننده ها کاهش وزنی معادل ۱۸ درصد را به دنبال دارد. در سال۲۰۰۲ Sai Ram , Seehar Babu [۳۰] کمانش پوسته های کامپوزیتی ورقه ای تحت بار متقاطع را بررسی کرده اند. آنالیز هندسی غیر خطی را با استفاده از روش المان محدود بر مبنای تئوری تغییر شکل برشی مرتبه بالاتر انجام داده اند. برای آنالیز فوق از المان پوسته ایزوپارامتریک ۸ گرهی با ۹ درجه آزادی در هر گره استفاده کرده اند. در سال ۲۰۰۲ Sahu و Datta[۳۱] رفتار پارامتریک ناپایداری پنلهای خمیده با گشودگی در معرض بارگذاری استاتیکی درصفحه و بارگذاری فشاری جانبی متناوب را با استفاده از آنالیز المان محدود مورد بررسی قرار داده اند. با در نظرگرفتن اثرات تغییر شکل برشی و اینرسی دوار، برای مدل کردن پنلهای خمیده، تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول را مورد استفاده قرار می دهد. اثرات فاکتورهای بار دینامیکی و استاتیکی، هندسه، شرایط مرزی و پارامترهای گشودگی روی نواحی ناپایداری اصلی پنلهای خمیده با گشودگی، با استفاده

از متد Bolotin بررسی شده است. نتایج کمی برای نشان دادن اثرات هندسه پوسته و پارامترهای بار بر روی پایداری شرایط مرزی ارائه شده و نتایج برای صفحات نیز بعنوان موارد ویژه ارائه شده و با موارد موجود در مقاله مقایسه می شوند.

Walkerو Smith [۳۲] در سال ۲۰۰۳ از روشهای الگوریتم و المان محدود برای بهینه سازی صفحه کامپوزیتی که تحت نیروی فشاری جانبی (خارج از صفحه) قرار گرفته، استفاده کرده اند. صفحات مورد بررسی دارای هشت لایه متقارن می باشد و اثرات پیچش و خمش خارج از صفحه در آنها بررسی شده است. هدف این تحقیق رسیدن به کمترین وزن سازه و بررسی اثرات شرایط مرزی، نسبت ابعاد صفحه و نوع بارگذاری روی نمونه های بهینه بدست آمده می باشد. در همان سال Jeffery و دوستانش [۳۳] در مقاله خود یک MPGA(multi population genetic algorithm) دو مرحله ای را برای حل مسائل چند هدفه(multi objective) پیشنهاد کردند. در مرحله اول یک تابع هدف کلی از طریق ضرب کردن نسبت ارزش هریک از هدفها در مساله و سپس جمع نمودن آنها تشکیل می شود. نتایج حاصل از مرحله اول به چندین زیر مجموعه با تابع هدف تکی تقسیم شده ارزیابی می گردند و بعنوان جمعیت اولیه به مرحله دوم وارد می شوند. طرحهای مرحله دوم نیز به منظور رسیدن به اهداف جمعی مساله، مورد ارزیابی نهایی قرار می گیرند.

Ghiyasi [۳۴] در تز خود اثر توابع جریمه مختلف بر عملکرد الگوریتم ژنتیک در طراحی بهینه دو نمونه صفحه کامپوزیتی ساده و تقویت شده را بررسی کرده است. نتایج ارائه شده در این تحقیق نشان می دهد که توابع جریمه دینامیک خطی دو قسمتی در مقایسه با توابع جریمه مرگ، ثابت و دینامیک خطی یک قسمتی از قدرت و کارایی بیشتری در یافتن نقاط بهینه در فضای طراحی برخوردار است.

در سال ۲۰۰۴ Ya-Jung و Ching-Chieh [۳۵] در تحقیق خود از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک در یافتن لایه چینی مناسب صفحات ارتوتروپ استفاده کردند. این مقاله، از روش بهینه سازی محلی برای