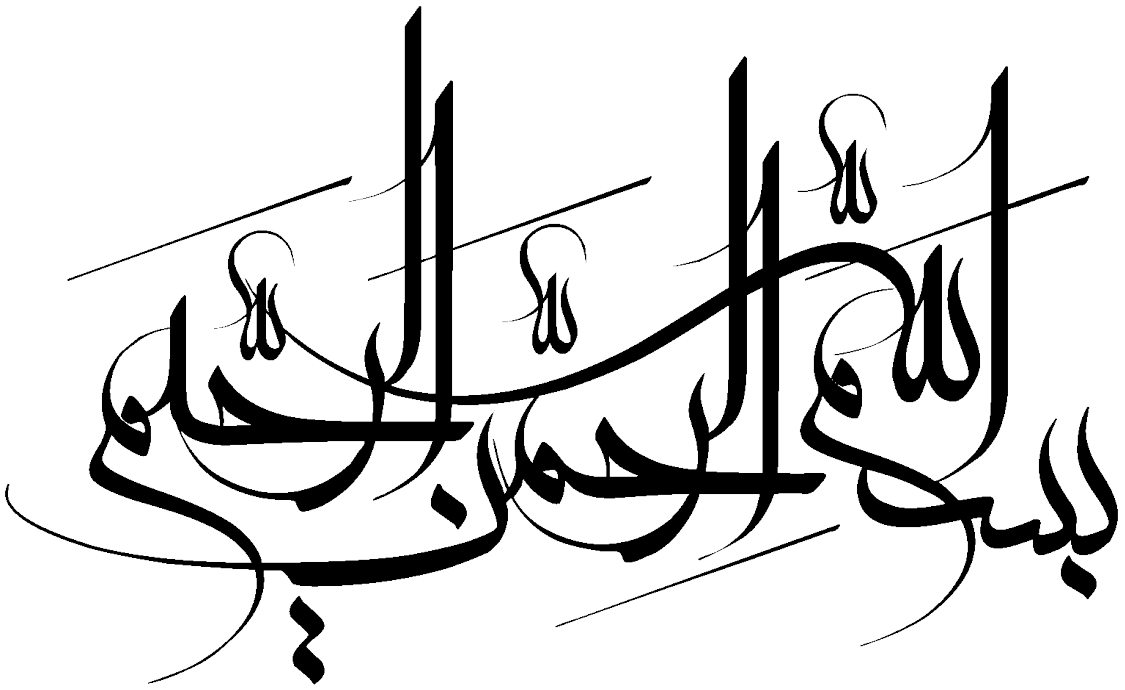

بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات ،ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشگاه رازی
دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

تحلیل ضربه سرعت‌پایین روی صفحات کامپوزیتی هیبریدی تقویت‌شده با آلیاژهای حافظه‌دار

استاد راهنما:
دکتر سعید فعلی

نگارش:
نوید باقرخانی

بهمن‌ماه ۱۳۹۳

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

نام دانشجو
نوید باقرخانی

تحت عنوان:

تحلیل ضربه سرعت‌پایین روی صفحات کامپوزیتی هیبریدی تقویت‌شده با آلیاژهای حافظه‌دار

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۰ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما:	دکتر سعید فعلی	با مرتبه علمی دانشیار	امضاء
۲- استاد داور داخل گروه:	دکتر محمدحسین یاس	با مرتبه علمی استاد	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه:	دکتر حشمت‌الله حقیقت	با مرتبه علمی دانشیار	امضاء

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درخشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فعلی به عنوان استاد راهنما که همواره این جانب را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال تشکر را دارم.

تقدیم اثر

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره‌آوردی گران‌سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار

خستگی‌تان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان

چکیده

بررسی لمینیت های کامپوزیتی تقویت‌شده با سیم‌های حافظه‌دار، به‌عنوان سازه‌ای جدید که مقاومت به ضربه بالاتری نسبت به لمینیت های کامپوزیتی لیفی معمولی دارد، موضوع جدیدی است که محققان به بررسی و تحلیل این لمینیت ها با دیدگاه‌های تحلیلی و تجربی پرداخته‌اند. در این پایان‌نامه رفتار لمینیت های کامپوزیتی متقارن و نامتقارن تقویت‌شده با سیم‌های حافظه‌دار تحت اثر ضربه سرعت‌پایین مدل‌سازی و تحلیل‌شده و نحوه تغییر شکل آن‌ها در شرایط تکیه‌گاهی ساده و گیردار بررسی گردیده است. برای آنالیز ضربه در ورق کامپوزیتی از مدل تماسی خطی شده هرتز استفاده‌شده و بارگذاری شبه استاتیکی توسط روش جرم- فنر با دو درجه آزادی مدل‌سازی می‌شود. در مدل‌سازی به کمک تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول، میدان تغییر مکان، کرنش و تنش در لایه‌های مختلف ورق کامپوزیتی تحت اثر برخورد ضربه زننده سرعت‌پایین محاسبه می‌شود. بدین منظور، با استفاده از تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول، معادلات حرکت ورق کامپوزیتی برای شرایط مفروض در مسئله استخراج و به کمک سری‌های فوریه مربوط به شرایط مرزی و روش رانگ- کوتای مرتبه ۴ حل گردیده است. نمودارهای تاریخچه نیروی تماسی، خیز بی‌بعد ورق، توزیع تنش در لایه‌های مختلف به ازای کسرهای حجمی مختلف سیم‌های حافظه‌دار رسم و بررسی‌شده‌اند. اثر سرعت ضربه زننده بر نیروی تماسی و خیز بی‌بعد ورق کامپوزیتی موردبررسی قرارگرفته است. تأثیر نسبت طول به ضخامت ورق بر میزان اثرگذاری سیم‌های حافظه‌دار برافزایش مقاومت ورق در برابر بار ضربه‌ای سرعت‌پایین بررسی شده است. همچنین به اثر آرایش لایه‌های کامپوزیتی بر پاسخ ورق نیز پرداخته شده است. در پایان پاسخ ورق‌های کامپوزیتی تحت اثر راستای قرارگیری سیم‌های حافظه‌دار و موقعیت سیم‌ها در جهت ضخامت ورق (لایه‌های قرارگیری سیم‌های حافظه‌دار)، در جدول‌هایی آورده شده و اثر موقعیت و راستای سیم‌ها بر رفتار ورق کامپوزیتی مطالعه شده است.

واژگان کلیدی: ضربه سرعت‌پایین- کامپوزیت- آلیاژ حافظه‌دار- نامتقارن- گیردار

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کامپوزیت‌ها ۲

۱-۳- برخورد سرعت‌پایین در سازه‌های کامپوزیتی ۵

۱-۴- کامپوزیت‌های تقویت‌شده با آلیاژهای حافظه‌دار ۶

۱-۵- ساخت کامپوزیت‌های تقویت‌شده با آلیاژ حافظه‌دار ۸

۱-۶- مدل‌سازی و تحلیل ضربه روی کامپوزیت‌های تقویت‌شده با آلیاژهای حافظه‌دار ۹

۱-۷- تاریخچه تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی موضوع پژوهش حاضر ۱۱

۱-۸- موضوع پژوهش حاضر ۱۲

فصل دوم: معرفی آلیاژهای حافظه‌دار

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- تاریخچه‌ی آلیاژهای حافظه‌دار ۱۴

۲-۳- معرفی آلیاژهای حافظه‌دار ۱۵

۲-۳-۱- رفتار حافظه‌ای یک‌طرفه و دوطرفه ۱۶

۲-۴- ساختار آلیاژهای حافظه‌دار ۱۷

۲-۵- رفتار ترمودینامیکی ۱۸

۲-۶- مقایسه‌ی گروه‌هایی از آلیاژهای حافظه‌دار ۲۰

۲-۶-۱- نیتینول ۲۰

۲-۶-۲- آلیاژهای حافظه‌دار پایه مس ۲۲

۲-۷- کاربردهای مختلف آلیاژهای حافظه‌دار ۲۲

فصل سوم: مدل‌سازی تحلیلی ضربه سرعت‌پایین روی ورق‌های کامپوزیتی تقویت‌شده با آلیاژهای حافظه‌دار

۳-۱- مقدمه ۲۵

۳-۲- خصوصیات مکانیکی ورق کامپوزیتی ترکیبی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار ۲۶

۳-۳- استخراج معادلات حرکت ورق بر اساس تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول ۳۰

۳-۴- معادلات بنیادی ۳۴

۳-۵- پاسخ دینامیکی ورق ۳۸

۳-۵-۱- نیروی تماسی ۳۸

۳-۵-۲- تحلیل خیز ورق کامپوزیتی ۴۲

۳-۵-۳- محاسبه‌ی کرنش و تنش ۴۷

۳-۶- روش حل مسئله ۴۹

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- راستی آزمایی مدل تحلیلی ۵۲

۴-۲- بحث و بررسی نتایج ۵۶

۴-۲-۱- تأثیر کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار ۵۷

۴-۲-۲- تأثیر سرعت و جرم ضربه زننده ۶۶

۴-۲-۳- تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف کامپوزیت پایه بر پاسخ دینامیکی ورق کامپوزیتی ۷۳

۴-۲-۴- تأثیر نسبت طول به ضخامت ورق کامپوزیتی ۷۵

۴-۲-۵- بررسی نمودارهای تنش ۷۸

۴-۲-۶- اثر راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار بر نیروی تماسی و خیز ورق ۸۳

۴-۲-۶-۱- توزیع نامتقارن لایه‌های تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار ۸۳

۴-۲-۶-۲- توزیع متقارن لایه‌های تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار ۸۶

۴-۲-۶-۳- بررسی اثر موقعیت سیم‌های حافظه‌دار به ازای کسرهای حجمی متفاوت سیم‌ها بر نیروی تماسی و خیز بی‌بعد ورق ۸۷

۴-۲-۷- مقایسه تأثیر سیم حافظه‌دار و سیم فولادی بر پاسخ دینامیکی ورق کامپوزیتی ۹۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۴

۵-۲- پیشنهادها ۹۷

پیوست الف

الف-۱- محاسبه تابع بار ورودی ورق با تکیه‌گاه ساده ۹۹

الف-۲- محاسبه تابع بار ورودی ورق با تکیه‌گاه گیردار ۱۰۰

پیوست ب

ب-۱- محاسبه‌ی ضرایب Lij و Jmn برای ورق کامپوزیتی با تکیه‌گاه ساده ۱۰۲

ب-۲- محاسبه‌ی ضرایب Lij و Jmn برای ورق کامپوزیتی با تکیه‌گاه گیردار ۱۰۶

مراجع ۱۱۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱- ۱- طبقه‌بندی کامپوزیت‌ها بر اساس هندسه تقویت‌کننده..... ۴

شکل ۱- ۲- تغییر شکل سرا سری در پاسخ به برخورد سرعت‌پایین و برخورد بالستیک [۸]..... ۵

شکل ۱- ۳- نمایش چینش لایه‌ها و سیم‌های حافظه‌دار در ورق کامپوزیتی (a) قبل از تثبیت (b) بعد از تثبیت [۱۵]..... ۸

شکل ۱- ۴- قاب مورداستفاده برای حفظ پیش کرنش سیم‌های حافظه‌دار در طول فرآیند پخت کامپوزیت [۱۶]..... ۸

شکل ۱- ۵- مراحل ساخت کامپوزیت تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار..... ۹

شکل ۲-۱- رفتار حافظه‌ای یک‌طرفه (سمت راست) و دوطرفه (سمت چپ) [۳۱،۲۸]..... ۱۷

شکل ۲-۲- مکانیسم بازیابی شکل اولیه در آلیاژهای حافظه‌دار [۳۱،۲۸]..... ۱۷

شکل ۲-۳- رفتار حافظه‌ای فنر حافظه‌دار..... ۱۸

شکل ۲-۴- دیاگرام استحاله‌ی مارتنزیتی [۳۳]..... ۱۹

شکل ۲-۵- منحنی تنش - کرنش برای آلیاژ نیتینول در دماهای مختلف [۳۳]..... ۱۹

شکل ۲-۶- استنت باز نشده (راست) و بازشده (چپ)..... ۲۱

شکل ۳-۱- نمایی از ورق کامپوزیتی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار[۲۶]..... ۲۵

شکل۳-۲- حالت کلی جهت‌گیری الیاف در لایه‌های یک لمینیت نامتقارن (زاویه‌ی هر لایه روی آن نوشته شده است) [۳۵]..... ۲۶

شکل ۳-۳- المانی از یک لمینا در شرایط تنش صفحه‌ای [۳۵]..... ۲۷

شکل۳-۴- یک لمینای ارتوتروپیک با الیافی با زاویه قرارگیری θ نسبت به یک سیستم مختصات اختیاری xy [۳۵]..... ۲۸

شکل ۳-۵- نمایی از تغییرشکل ورق با فرضیات تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول [۳۵]..... ۳۰

شکل ۳-۶- نمایی از نیروها و ممان ها در المانی از یک لایه از ورق [۳۵]..... ۳۲

شکل ۳-۷- ورق کامپوزیتی تحت ضربه خارجی در نقطه مرکزی [۴۴]..... ۳۸

شکل ۳-۸- مدل سیستم جرم و فنر دو درجه آزادی معادل ضربه..... ۳۹

شکل ۴-۱- تغییرات بیشینه نیروی تماسی نسبت به سرعت ضربه زننده در حالت ۱..... ۵۳
شکل ۴-۲- تاریخچه نیروی تماسی در حالت ۲..... ۵۳
شکل ۴-۳- مقایسه خیز مرکز ورق با نتایج مراجع [۵۸،۵۷،۵۱]..... ۵۴
شکل ۴-۴- اثر تعداد جمله‌های سری فوریه بر همگرایی خیز ورق (با تکیه‌گاه ساده)..... ۵۵
شکل ۴-۵- اثر تعداد جمله‌های سری فوریه بر همگرایی خیز ورق (با تکیه‌گاه گیردار)..... ۵۵
شکل ۴-۶- اثر کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر نسبت w/h در ورق کامپوزیتی ترکیبی: (a) گرافیت/ اپوکسی ، (b) گلاس/ اپوکسی با تکیه‌گاه ساده..... ۵۸
شکل ۴-۷- اثر کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر نسبت w/h در ورق کامپوزیتی ترکیبی: (a) گرافیت/ اپوکسی ، (b) گلاس/ اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار..... ۵۹
شکل ۴-۸- اثر کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر تاریخچه نیروی تماسی در ورق کامپوزیتی ترکیبی: (a) گرافیت/ اپوکسی ، (b) گلاس/ اپوکسی با تکیه‌گاه ساده..... ۶۰
شکل ۴-۹- اثر کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر تاریخچه نیروی تماسی در ورق کامپوزیتی ترکیبی: (a) گرافیت/ اپوکسی ، (b) گلاس/ اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار..... ۶۱
شکل ۴-۱۰- اثر کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر بیشینه خیز بی‌بعد ورق w/h..... ۶۲
شکل ۴-۱۱- درصد کاهش خیز ورق به ازای کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار..... ۶۳
شکل ۴-۱۲- اثر کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر بیشینه نیروی تماسی..... ۶۳
شکل ۴-۱۳- درصد افزایش بیشینه نیروی تماسی به ازای کسر حجمی سیم حافظه‌دار..... ۶۴
شکل ۴-۱۴- اثر افزایش کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر زمان تماس..... ۶۴
شکل ۴-۱۵- اثر افزایش کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار بر دوره زمانی خیز ورق..... ۶۵
شکل ۴-۱۶- جرم ورق کامپوزیتی برحسب کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار..... ۶۵
شکل ۴-۱۷- در صد افزایش جرم ورق کامپوزیتی برحسب کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار..... ۶۶
شکل ۴-۱۸- تأثیر مقادیر مختلف جرم و سرعت ضربه زننده با سطح انرژی ثابت بر: (a) نسبت w/h ، (b) تاریخچه نیروی تماسی در ورق کامپوزیتی گرافیت/اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه ساده..... ۶۷
شکل ۴-۱۹- تأثیر مقادیر مختلف جرم و سرعت ضربه زننده با سطح انرژی ثابت بر: (a) نسبت w/h ، (b) تاریخچه نیروی تماسی در ورق کامپوزیتی گلاس/اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه ساده..... ۶۸
شکل ۴-۲۰- تأثیر مقادیر مختلف جرم و سرعت ضربه زننده با سطح انرژی ثابت بر: (a) نسبت w/h ، (b) تاریخچه نیروی تماسی در ورق کامپوزیتی گرافیت/اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه گیردار..... ۶۹

شکل ۴-۲۱- تأثیر مقادیر مختلف جرم و سرعت ضربه زننده با سطح انرژی ثابت بر: (a) نسبت w/h ، (b) تاریخچه نیروی تماسی در ورق کامپوزیتی گلاس/اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه گیردار..... ۷۰

شکل ۴-۲۲- تأثیر مقادیر مختلف جرم و سرعت ضربه زننده با سطح انرژی ثابت بر انرژی جذب‌شده ورق گرافیت/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه (a) ساده ، (b) گیردار..... ۷۱

شکل ۴-۲۳- تأثیر مقادیر مختلف جرم و سرعت ضربه زننده با سطح انرژی ثابت بر انرژی جذب‌شده ورق گلاس/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه (a) ساده ، (b) گیردار..... ۷۲

شکل ۴-۲۴- تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف کامپوزیت پایه (با آرایش$s[0,\theta,0,-\theta,0]$) بر نسبت w/h در ورق گرافیت/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه ساده..... ۷۳

شکل ۴-۲۵- تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف کامپوزیت پایه (با آرایش$s[0,\theta,0,-\theta,0]$) بر نسبت w/h در ورق گلاس/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه ساده..... ۷۳

شکل ۴-۲۶- تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف کامپوزیت پایه (با آرایش$s[0,\theta,0,-\theta,0]$) بر نسبت w/h در ورق گرافیت/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه گیردار..... ۷۴

شکل ۴-۲۷- تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف کامپوزیت پایه (با آرایش$s[0,\theta,0,-\theta,0]$) بر نسبت w/h در ورق گلاس/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه گیردار..... ۷۴

شکل ۴-۲۸- تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف کامپوزیت پایه (با آرایش$s[0,\theta,0,-\theta,0]$) بر بیشینه خیز بی‌بعد ورق کامپوزیتی تقویت‌شده با سیم‌های حافظه‌دار..... ۷۵

شکل ۴-۲۹- تأثیر نسبت a/h (نسبت طول به ضخامت) بر خیز بی‌بعد (نسبت w/h) در ورق گرافیت/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه ساده..... ۷۶

شکل ۴-۳۰- تأثیر نسبت a/h (نسبت طول به ضخامت) بر خیز بی‌بعد (نسبت w/h) در ورق گلاس/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه ساده..... ۷۶

شکل ۴-۳۱- تأثیر نسبت a/h (نسبت طول به ضخامت) بر خیز بی‌بعد (نسبت w/h) در ورق گرافیت/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه گیردار..... ۷۷

شکل ۴-۳۲- تأثیر نسبت a/h (نسبت طول به ضخامت) بر خیز بی‌بعد (نسبت w/h) در ورق گلاس/ اپوکسی تقویت‌شده با سیم حافظه‌دار با تکیه‌گاه گیردار..... ۷۷

شکل ۴-۳۳- تنش بیشینه (a) در جهت x ، (b) درجهت y ، برحسب کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار در ورق گرافیت/ اپوکسی با تکیه‌گاه ساده..... ۷۹

شکل ۴-۳۴- تنش بیشینه (a) در جهت x ، (b) درجهت y ، برحسب کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار در ورق گلاس/ اپوکسی با تکیه‌گاه ساده..... ۸۰

شکل ۴-۳۵- تنش بیشینه (a) در جهت x ، (b) درجهت y، برحسب کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار در ورق گرافیت/ اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار..... ۸۱

شکل ۴-۳۶- تنش بیشینه (a) در جهت x ، (b) درجهت y، برحسب کسر حجمی سیم‌های حافظه‌دار در ورق گلاس/ اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار..... ۸۲

شکل الف-۱- توزیع بار یکنواخت وارد بر مرکز ورق..... ۹۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مقایسه خواص آلیاژهای نیکل-تیتانیم و فولاد ضدزنگ [۳۴]..... ۲۱

جدول ۲-۲- مقایسه‌ی خصوصیات سه خانواده اصلی آلیاژهای حافظه‌دار [۲۸]..... ۲۲

جدول ۴-۱- خصوصیات هندسی و مکانیکی هدف و ضربه زننده برای حالت‌های ۱ و ۲..... ۵۲

جدول ۴-۲- خصوصیات هندسی و مکانیکی هدف و ضربه زننده برای اعتبار سنجی مدل تحلیلی خیز [۵۱،۵۷،۵۸]..... ۵۴

جدول ۴-۳- خصوصیات هندسی و مکانیکی ورق کامپوزیتی ترکیبی..... ۵۶

جدول ۴-۴- خصوصیات هندسی و مکانیکی سیم‌های حافظه‌دار و ضربه زننده [۲۱]..... ۵۷

جدول ۴-۵- اثر راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار با توزیع نامتقارن بر نیروی تماسی و خیز بی‌بعد در ورق گرافیت/اپوکسی..... ۸۴

جدول ۴-۶- اثر راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار با توزیع نامتقارن بر نیروی تماسی و خیز بی‌بعد در ورق گلاس/اپوکسی..... ۸۵

جدول ۴-۷- اثر راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار بر نیروی تماسی و خیز بی‌بعد در ورق گرافیت/اپوکسی.... ۸۶

جدول ۴-۸- اثر راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار بر نیروی تماسی و خیز بی‌بعد در ورق گلاس/اپوکسی ۸۷

جدول ۴-۹- اثر کسر حجمی، راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار در ورق گرافیت/اپوکسی با تکیه‌گاه ساده..... ۸۸

جدول ۴-۱۰- اثر کسر حجمی، راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار در ورق گلاس/اپوکسی با تکیه‌گاه ساده ۸۸

جدول ۴-۱۱- اثر کسر حجمی، راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار در ورق گرافیت/اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار ۸۹

جدول ۴-۱۲- اثر کسر حجمی، راستا و موقعیت سیم‌های حافظه‌دار در ورق گلاس/اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار.. ۸۹

جدول ۴-۱۳- مقایسه تأثیر قرار دادن سیم حافظه‌دار و سیم فولادی در ورق گرافیت/اپوکسی با تکیه‌گاه ساده. ۹۰

جدول ۴-۱۴- مقایسه تأثیر قرار دادن سیم حافظه‌دار و سیم فولادی در ورق گلاس/اپوکسی با تکیه‌گاه ساده... ۹۱

جدول ۴-۱۵- مقایسه تأثیر قرار دادن سیم حافظه‌دار و سیم فولادی در ورق گرافیت/اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار ۹۱

جدول ۴-۱۶- مقایسه تأثیر قرار دادن سیم حافظه‌دار و سیم فولادی در ورق گلاس/اپوکسی با تکیه‌گاه گیردار ۹۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

نیاز روزافزون بشر به موادی با ویژگی‌های جدید سبب پیدایش مواد کامپوزیتی شده است؛ بااین‌حال کامپوزیت‌ها نیز محدودیت‌هایی دارند و پاسخگوی همه‌ی نیازها نیستند. بنابراین بهبود خصوصیات مواد کامپوزیتی از موضوعات موردتوجه در عصر حاضر است. یکی از روش‌های بهبود خصوصیات کامپوزیت‌ها تعبیه‌ی مواد هوشمند در آن‌هاست. آلیاژهای حافظه‌دار به‌عنوان یک نوع از مواد هوشمند، برای بهبود خصوصیات مواد کامپوزیتی موردمطالعه هستند. آلیاژهای حافظه‌دار موادی دارای حافظه‌ی شکلی هستند و در صورت تغییر شکل پلاستیک، با گرم شدن شکل اولیه‌ی خود را بازمی‌یابند. قرار دادن سیم‌های حافظه‌دار در لایه‌های مواد کامپوزیتی، تنش اولیه‌ای در سازه ایجاد می‌کند که سبب بهبود رفتار دینامیکی کامپوزیت (کاهش خیز و کرنش) در برابر بارهای ضربه‌ای می‌شود و درنتیجه مقاومت سازه در برابر بارهای ضربه‌ای افزایش می‌یابد. با تقویت کامپوزیت‌ها توسط آلیاژهای حافظه‌دار می‌توان آسیب‌دیدگی سازه براثر بارهای ضربه‌ای را کاهش داد.

۱-۲- کامپوزیت‌ها

امروزه در بسیاری از کاربردهای مهندسی، به تلفیق خواص مواد نیاز است و امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص موردنظر را برآورده سازد، وجود ندارد. به‌عنوان‌مثال در صنایع هوافضا به موادی نیاز است که ضمن داشتن استحکام بالا، سبک باشند، مقاومت سایشی و مقاومت در برابر نور ماوراءبنفش خوبی داشته باشند و در دماهای بالا استحکام خود را از دست ندهند. ازآنجاکه نمی‌توان ماده‌ای یافت که همه خواص فوق را دارا باشد، باید به دنبال راه‌حلی برای ترکیب خواص مواد بود. این راه‌حل همان مواد کامپوزیت است. کامپوزیت ماده‌ای چند جزئی است که خواص آن از هرکدام از اجزا بیشتر است، ضمن آنکه اجزای مختلف کارایی یکدیگر را بهبود می‌بخشند.

کامپوزیت‌ها، به‌طورکلی، از یک فاز زمینه (ماتریس)[1] و یک فاز تقویت‌کننده[2] تشکیل‌شده‌اند که ماتریس، فاز پیوسته[3] و فاز تقویت‌کننده، فاز ناپیوسته[4] نیز نامیده می‌شود.

[1] Matrix
[2] Reinforcing Phase
[3] Continuous
[4] Discontinuous

از یک دیدگاه ، می‌توان مواد کامپوزیتی را بر اساس هندسه تقویت‌کننده تقسیم‌بندی نمود(شکل ۱-۱):

۱) کامپوزیت‌های ذره‌ای

۲) کامپوزیت‌های لیفی

در برخی موارد، کامپوزیت‌ها را ازنظر نوع زمینه آن‌ها نیز طبقه‌بندی می‌نمایند. از این دیدگاه، کامپوزیت‌ها به سه دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند [۱]:

۱-کامپوزیت‌های زمینه پلیمری[1] : کامپوزیت‌های زمینه پلیمری تحت عنوان پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف [2] یا کامپوزیت‌های پایه رزینی[3] نیز شناخته می‌شوند. این کامپوزیت‌ها از ترکیب رزین‌های پایه پلیمری به‌عنوان زمینه و الیاف به‌عنوان تقویت‌کننده ساخته می‌شوند. کامپوزیت‌های زمینه پلیمری به‌طور رایج در سازه‌های با کارایی بالا به کار می‌روند. این کامپوزیت‌ها خصوصیات مکانیکی بسیار خوبی دارند؛ استحکام ویژه بالا، سختی ویژه بالا، چقرمگی شکست بالا، عمر خستگی طولانی و مقاومت بالا در برابر خوردگی و سوراخ شدن. بعضی از کاربردهای متداول این کامپوزیت‌ها عبارت‌اند از سازه‌های هوافضایی، قطعات خودرو، وسایل نقلیه کنترل از راه دور، جلیقه ضدگلوله و قطعات زرهی [۲]. در میان انواع کامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌های زمینه پلیمری بیشترین حجم استفاده را دارند.

۲- کامپوزیت‌های زمینه فلزی[4] : کامپوزیت‌های زمینه فلزی مواد پیشرفته‌ای هستند زیرا دارای تلفیقی از خصوصیات مختلف از قبیل مقاومت در برابر خوردگی، سختی بالا، نسبت بالای استحکام به چگالی و بعضی خصوصیات ویژه الکتریکی و حرارتی هستند. این مواد استفاده‌ی روزافزونی در صنایع خودروسازی دارند. برای ساخت آن‌ها از ماتریس فلزی و تقویت‌کننده ساخته‌شده از الیاف سرامیکی پیشرفته استفاده می‌شود.

۳- کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی[5] : کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی هنگامی به‌کاربرده می‌شوند که به ماده‌ای باقابلیت تحمل شرایط کاری با دمای بالا و مقاومت در برابر خوردگی در محیط‌های خشن نیاز باشد. برای ساخت این کامپوزیت‌ها از ماتریس سرامیکی و الیاف کوتاه به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شود.

[1] PMC (Polymer Matrix Composite)
[2] FRP
[3] RBC
[4] MMC (Metal Matrix Composites)
[5] CMC (Ceramic Matrix Composite)

شکل ۱- ۱- طبقه‌بندی کامپوزیت‌ها بر اساس هندسه تقویت‌کننده

۱-۳- برخورد سرعت‌پایین در سازه‌های کامپوزیتی

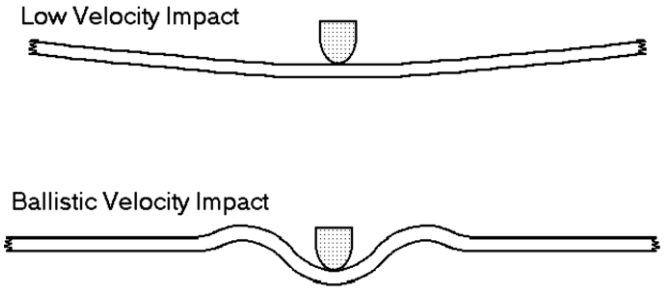
کامپوزیت‌های تقویت‌شده توسط الیاف به دلیل داشتن استحکام ویژه و سختی ویژه بالا مزایای بی‌شماری دارند. استحکام و سختی این کامپوزیت‌ها را می‌توان با تغییر آرایش و تعداد لایه‌های آن بهینه نمود. به دلیل این مزایا، کامپوزیت لیفی استفاده‌ی بسیاری در زمینه‌های هوانوردی و هوافضا خصوصاً برای کاهش وزن به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرند. بااین‌وجود این مواد به دلیل چقرمگی پایین در برابر آسیب‌های ناشی از برخورد ضعیف هستند. رفتار مواد کامپوزیتی در برابر بارگذاری ضربه‌ای سرعت‌پایین به این دلیل اهمیت یافته است که وضعیت جهان واقعی را شبیه‌سازی می‌کند. برای مثال برخوردهایی مانند افتادن ابزار، برخورد پرندگان، بارش تگرگ و تماس با مواد دیگر که می‌توانند آسیب‌های داخلی پنهان و یا آسیب‌های ظاهری بزرگی را سبب شوند. بنابراین مقاومت در برابر ضربه و آسیب‌های ناشی از ضربه مسائل مهمی برای ایمنی سازه‌های کامپوزیتی هستند [۳]. اخیراً مطالعات مختلفی بر روی برخورد سرعت‌پایین و سرعت‌بالا در سازه‌های کامپوزیتی صورت گرفته است [۴،۵،۶]. پدیده‌ی برخورد بر اساس سرعت ضربه زننده به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شود [۷]:

۱) برخورد سرعت‌پایین

۲) برخورد سرعت متوسط

۳) برخورد بالستیک

۴) برخورد سرعت‌بالا



شکل ۱- ۲- تغییر شکل سرا سری در پاسخ به برخورد سرعت‌پایین و برخورد بالستیک [۸]

کنتول[1] و مورتون[2] [۹] در پژوهشی بر روی مقاومت کامپوزیت در برابر برخورد، برخوردهای با سرعت کمتر از ۰/۰۱km/s را به‌عنوان برخورد سرعت‌پایین در نظر گرفته‌اند درحالی‌که ابریت[3] [۱۰] برخوردهای با سرعت کمتر از ۰/۱ km/s را برخورد سرعت‌پایین تعریف کرده است. بر اساس نظر اولسون[4] [۱۱] تعریف برخورد سرعت‌پایین، حالتی است که در آن زمان برخورد بازمان موردنیاز برای رسیدن موج‌برشی به مرزهای جسم

[1] Cantwell
[2] Morton
[3] Abrate
[4] Olsson