

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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



دانشگاه رازی

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش
طراحی کاربردی

تحلیل صفحات ساندویچی هانی کمب - کامپوزیت تحت بار ضربه ای عمودی

استاد راهنما:

دکتر سعید فعلی

نگارش:

محمد هادی نامداری پور

تیر ماه ۱۳۹۰

تقدیر و ریاس

پدر و مادر عزیزم:

اینک که در سایه پروردگار و به لطف ایشان و مهربانی‌های بی‌شماری که خداوند بزرگوار را
ساخته و روحی ریاس بر دستانم نهاده و تامل و تأمل می‌کنم و تا این حد نمی‌فهمی تا چه اندازه ریاس زحمات بیکرانگی که در این راه به جان خریدید تقدیرم و جوهر مهربانی
من که کم یابید است که اینم کلماتی را فرزند شایسته و میهنم را خداوند بخشنده و بخشنده باد.

و تا آنجا که ریاس فراوان از زحماتم آرد چه ندانم جناب آقای که تکریم و احترامت با کمک ما و راهزنانی های بی‌دینشان مشوق و همراه من
در تهیه این پایان نامه بودند.

به پدین از اساتید محترم جناب آقای که تامل و تأمل می‌کنم و تا این حد نمی‌فهمی تا چه اندازه ریاس زحمات بیکرانگی که در این راه به جان خریدید تقدیرم و جوهر مهربانی
من که کم یابید است که اینم کلماتی را فرزند شایسته و میهنم را خداوند بخشنده و بخشنده باد.

تقدیرم به خازواده عزیزم

قاصدک ٹان چه خبر آوردی؟ از کجا و کز که خبر آوردی؟

خوش خبر باش، اما، اما، اگر دمام در مین، شرمی کردی.

انتظار خبری نیست مرا، نزاری نزاری و دیاری، آبروی آن جا که بود چشم و گوش با کج آن جا که تورا نذر نهند.

قاصدک در دل من بر. کوند و کسنت بردار از این دو وطن خویش غریب قصدت بر برای بر. تلخ بلم می گوید که دروغی تو در کس غریبی تو فریب.

قاصدک ٹان و این ای بمانی راستی آیار ذقی با دوام آمی کجا ذقی آمی؟

راستی آیا جایی خبری هست هر روز؟ مانده خاکریز کرم جایی؟ در اجاق طرح شعله نری بندم، نزدیک شرمی هست هر روز؟

قاصدک ابرمانی بر. عام شرب و روز درد ام می گیرند.

"مدی انخوان ثابت"

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تعاریف و مفاهیم اساسی	۳
۳-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده قبلی	۵
۴-۱- معرفی موضوع پایان نامه	۷
فصل دوم: معرفی هانی کامب و مواد کامپوزیتی و موارد کاربرد آن ها	۹
۱-۲- معرفی هانی کمب	۱۰
۱-۱-۲- مقدمه	۱۰
۲-۱-۲- تاریخچه	۱۱
۳-۱-۲- انواع هانی کامب	۱۲
۴-۱-۲- روش های ساخت	۱۳
۵-۱-۲- کاربردهای هانی کمب	۱۴
۲-۲- معرفی کامپوزیت ها	۱۷
۱-۲-۲- مقدمه	۱۷
۲-۲-۲- تاریخچه	۱۸
۳-۲-۲- الیاف	۱۸
۴-۲-۲- انواع الیاف	۱۹
۵-۲-۲- انواع کامپوزیت ها	۲۳
۶-۲-۲- روش های ساخت	۲۵
۷-۲-۲- کاربردهای کامپوزیت	۲۹
فصل سوم: روش های مدل سازی تحلیلی بارگذاری ضربه ای روی صفحات کامپوزیت و هانی کامب	۳۲
۱-۳- مقدمه	۳۳
۲-۳- مدل تحلیلی بوهانگ گو (تحلیل ضربه روی اهداف کامپوزیتی)	۳۴
۱-۲-۳- مکانیزم تغییرشکل پارچه کامپوزیتی تحت ضربه عمودی	۳۵
۲-۲-۳- انرژی جنبشی جذب شده توسط الیاف اصلی	۳۶
۳-۲-۳- انرژی جذب شده برای پارچه کامپوزیتی صفحه ای مسطح تک لایه	۳۹
۴-۲-۳- تعیین مدت زمان سوراخ شدن بالستیک	۴۰
۳-۳- مدل آبراموویچ- ویرزبکی (تحلیل فرو ریزش مقاطع جدار نازک مربعی)	۴۱
۱-۳-۳- مکانیزم های تا شدگی پایه	۴۱
۲-۳-۳- میدان های سرعت و نرخ کرنش	۴۳
۳-۳-۳- اتلاف انرژی در اثر تغییر شکل های پلاستیک	۴۵

- ۴-۳-۳- محاسبه مقاومت در برابر لهیدگی (استحکام لهیدگی)..... ۴۹
- ۴-۳-۴- مدل ویبرزیکی (تحلیل فرو ریزش سلول Y شکل هانی کامب تحت بار محوری)..... ۵۰
- ۵-۳-۵- مدل هوفت- پارک (تحلیل فرو ریزش صفحه ساندویچی هانی کامب- فلز تحت بار ضربه ای)..... ۵۳
- ۶-۳-۶- مدل عددی بویترگو (شبیه سازی عددی ضربه روی اهداف ساندویچی هانی کامب- کامپوزیت)..... ۵۸

فصل چهارم: مدل تحلیلی برای شبیه سازی رفتار پنلهای ساندویچی هانی کامب- کامپوزیت تحت ضربه ۶۲

- ۱-۴-۱- مقدمه..... ۶۳
- ۲-۴-۲- مرحله اول: نفوذ پرتابه در ماده کامپوزیتی رویی..... ۶۵
- ۱-۲-۴-۱- مکانیزم تغییر شکل کامپوزیت رویی تحت ضربه عمودی..... ۶۵
- ۲-۲-۴-۲- مدل سازی یک لیف تحت ضربه بالستیک عمودی..... ۶۷
- ۳-۲-۴-۳- استخراج توزیع کرنش در الیاف اصلی..... ۶۸
- ۴-۲-۴-۴- کرنش در الیاف فرعی..... ۶۹
- ۵-۲-۴-۵- مکانیزم های جذب انرژی..... ۷۰
- ۶-۲-۴-۶- انرژی جذب شده توسط الیاف اصلی..... ۷۱
- ۷-۲-۴-۷- انرژی جذب شده توسط الیاف فرعی..... ۷۱
- ۸-۲-۴-۸- انرژی جذب شده توسط ماده کامپوزیتی در ناحیه تغییر شکل یافته..... ۷۲
- ۹-۲-۴-۹- معیار شکست کامپوزیت رویی..... ۷۳
- ۱۰-۲-۴-۱۰- محاسبه زمان تماس پرتابه با کامپوزیت رویی..... ۷۳
- ۱۱-۲-۴-۱۱- محاسبه سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از کامپوزیت رویی..... ۷۳
- ۳-۴-۳- مرحله دوم- نفوذ پرتابه در هسته هانی کامب..... ۷۵
- ۱-۳-۴-۱- چین خوردگی کامل هانی کامب واسط..... ۷۵
- ۲-۳-۴-۲- برش پلاگ در هانی کامب واسط..... ۷۷
- ۴-۴-۴- مرحله سوم- نفوذ پرتابه در ماده کامپوزیتی زیری..... ۷۹
- ۵-۴-۵- نحوه حل معادلات حاکم..... ۸۰

فصل پنجم: نتایج و بحث و بررسی..... ۸۲

- ۱-۵-۱- مقدمه..... ۸۳
- ۲-۵-۲- مقایسه نتایج مدل تحلیلی جدید با نتایج عددی و تجربی (آرزیابی مدل)..... ۸۴
- ۱-۲-۵-۱- مشخصات هندسی و مکانیکی پرتابه و هدف..... ۸۴
- ۲-۲-۵-۲- مقایسه نتایج تحلیلی جدید با داده های تجربی..... ۸۶
- ۲-۸-۵-۲- مقایسه نتایج مدل تحلیلی جدید با نتایج عددی..... ۸۸
- ۳-۵-۳- بررسی پارامتریک مدل تحلیلی جدید..... ۹۴
- ۱-۳-۵-۱- بررسی پارامترهای مؤثر پرتابه در فرایند نفوذ به ساندویچ پنل..... ۹۴
- ۲-۳-۵-۲- بررسی پارامترهای مؤثر ماده کامپوزیتی در فرایند نفوذ به ساندویچ پنل..... ۹۸

۱۰۷.....	۳-۳-۵- بررسی پارامترهای مؤثر هانی کامب در فرایند نفوذ به ساندویچ پنل
۱۱۲.....	فصل ششم: نتایج و بحث و بررسی
۱۱۳.....	۱-۶- نتیجه گیری
۱۱۵.....	۲-۶- پیشنهادها
۱۱۶.....	مراجع

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۲	شکل (۱-۱) - سازه ساندویچی هانی کامب- کامپوزیت
۸	شکل (۲-۱) - شکل شماتیک مسئله مورد نظر
۱۰	شکل (۱-۲) - نوع شش ضلعی سلول های هانی کامب
۱۳	شکل (۲-۲) - روش تولید انبساطی هانی کمب
۱۴	شکل (۳-۲) - روش تولید کرکره ای هانی کمب
۱۶	شکل (۴-۲) - استفاده از هانی کامب در آشیانه تعمیر هواپیما
۲۰	شکل (۵-۲) - ساختار نوار موجی لایه های گرافیت برای یک لیف کربن بر اساس PAN
۲۶	شکل (۶-۲) - طرح شماتیک لایه گذاری دستی
۲۶	شکل (۷-۲) - طرح شماتیک لایه گذاری پاششی
۲۷	شکل (۸-۲) - طرح شماتیک قالب گیری حرارتی
۲۸	شکل (۹-۲) - طرح شماتیک رشته پیچی
۲۸	شکل (۱۰-۲) - طرح شماتیک کشش رانی
	شکل (۱-۳) - شکل سه بعدی چهار وجهی و ناحیه دو بعدی لوزی شکل به وجود آمده پارچه کامپوزیتی تحت ضربه پرتابه
۳۵	
۳۶	شکل (۲-۳) - لیف واحد تحت ضربه پرتابه
۳۸	شکل (۳-۳) - شکل لیف مقید شده تحت ضربه عمودی در زمان های مختلف
۴۲	شکل (۴-۳) - مکانیزم های تاخوردگی غیرمجاز (چپ) و مجاز (راست) سینماتیکی
۴۲	شکل (۵-۳) - چپ: سرهم کردن دو الگوی المان دوزنقه‌ای، راست: المان فروریزش پایه
۴۳	شکل (۶-۳) - هندسه عمومی مکانیزم تاخوردگی پایه
۴۴	شکل (۷-۳) - جریان پلاستیک روی سطح حلقوی
۵۰	شکل (۸-۳) - المان پایه ویرزیکی
۵۰	شکل (۹-۳) - تشکیل سلول هانی کامب از ترکیب المان های پایه ویرزیکی
۵۱	شکل (۱۰-۳) - ابعاد یک سلول هانی کامب
۵۳	شکل (۱۱-۳) - برخورد پرتابه به صفحه ساندویچی هانی کامب فلز
۵۴	شکل (۱۲-۳) - سوراخ شدن ورق بالایی
۵۶	شکل (۱۳-۳) - سوراخ شدن هسته هانی کامب
۵۷	شکل (۱۴-۳) - سوراخ شدن ورق پایینی
۵۹	شکل (۱۵-۳) - سرعت باقی مانده پرتابه بر حسب سرعت ضربه
۶۰	شکل (۱۶-۳) - زمان تماس پرتابه بر حسب سرعت ضربه
۶۰	شکل (۱۷-۳) - سرعت پرتابه نسبت به زمان در سرعت ضربه $287 (m/s)$
۶۱	شکل (۱۸-۳) - انرژی جذب شده در سرعت های ضربه مختلف
۶۳	شکل (۱-۴) - A: ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت ، B: ماده کامپوزیتی رویی وزیری، C: هسته هانی کامب

- شکل (۲-۴) - شکل سه بعدی چهار سطحی با سطح مقطع لوزی شکل به وجود آمده در صفحه کامپوزیتی رویی تحت ضربه پرتابه ۶۶
- شکل (۳-۴) - شکل یک لیف قبل و بعد از ضربه ۶۷
- شکل (۴-۴) - نمای شماتیک چیدمان الیاف در یک پارچه کامپوزیتی بافته شده ۶۷
- شکل (۵-۴) - تغییر شکل یک لیف پس از گذشت زمان Δt ۶۸
- شکل (۶-۴) - چیدمان الیاف فرعی در ناحیه تغییر شکل یافته لوزی شکل ۷۰
- شکل (۷-۴) - نمای شماتیک چیدمان الیاف تار و پود در یک سلول از پارچه کامپوزیتی به ضخامت d_{layer} ۷۲
- شکل (۸-۴) - فلوجارت برنامه کامپیوتری و روش حل ۸۱
- شکل (۱-۵) - مقایسه سرعت های باقیمانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب-کامپوزیت بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید و داده های تجربی ۸۷
- شکل (۲-۵) - مقایسه مدت زمان تماس پرتابه با ساندویچ پنل بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید ، مدل عددی بویترگو و همکارانش و داده های تجربی ۸۷
- شکل (۳-۵) - مقایسه سرعت های پرتابه در مدل تحلیلی جدید با مدل عددی بویترگو و همکارانش برای ۵ زمان مختلف در حین نفوذ پرتابه به کامپوزیت رویی در سرعت ضربه $287 (m/s)$ ۹۰
- شکل (۴-۵) - مقایسه سرعت های پرتابه در مدل تحلیلی جدید با مدل عددی بویترگو و همکارانش برای ۵ زمان مختلف در حین نفوذ پرتابه به هانی کامب در سرعت ضربه $287 (m/s)$ ۹۰
- شکل (۵-۵) - مقایسه سرعت های پرتابه در مدل تحلیلی جدید با مدل عددی بویترگو و همکارانش برای ۵ زمان مختلف در حین نفوذ پرتابه به کامپوزیت زیری در سرعت ضربه $287 (m/s)$ ۹۱
- شکل (۶-۵) - مقایسه سرعت های باقیمانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب-کامپوزیت بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید و مدل عددی بویترگو و همکارانش ۹۲
- شکل (۷-۵) - مقایسه مدت زمان تماس پرتابه با ساندویچ پنل بر حسب سرعت های ضربه مختلف در مدل تحلیلی جدید و مدل عددی بویترگو و همکارانش ۹۳
- شکل (۸-۵) - مقایسه انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید و مدل عددی بویترگو و همکارانش ۹۴
- شکل (۹-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب-کامپوزیت بر حسب قطر پرتابه برای مدل تحلیلی جدید ۹۵
- شکل (۱۰-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب-کامپوزیت بر حسب قطر پرتابه برای مدل تحلیلی جدید ۹۶
- شکل (۱۱-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب-کامپوزیت بر حسب جرم پرتابه برای مدل تحلیلی جدید ۹۷
- شکل (۱۲-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب-کامپوزیت بر حسب جرم پرتابه برای مدل تحلیلی جدید ۹۷
- شکل (۱۳-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب-کامپوزیت بر حسب تعداد لایه های کامپوزیت برای مدل تحلیلی جدید ۹۸

- شکل (۱۴-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب تعداد لایه های کامپوزیت برای مدل تحلیلی جدید ۹۹
- شکل (۱۵-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب ضخامت لایه های کامپوزیت برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۰
- شکل (۱۶-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب ضخامت لایه های کامپوزیت برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۰
- شکل (۱۷-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب قطر الیاف کامپوزیت برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۱
- شکل (۱۸-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب قطر الیاف کامپوزیت برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۲
- شکل (۱۹-۵) - مقایسه سرعت های باقیمانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید برای الیاف کربن AS4-6k و AS4-3k ۱۰۴
- شکل (۲۰-۵) - مقایسه سرعت های باقیمانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید زمانی که از الیاف Twaron به جای AS4-6k استفاده شود ۱۰۵
- شکل (۲۱-۵) - مقایسه انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید زمانی که از الیاف Twaron به جای AS4-6k استفاده شود ۱۰۵
- شکل (۲۲-۵) - مقایسه سرعت های باقیمانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب سرعت های ضربه مختلف برای مدل تحلیلی جدید زمانی که کامپوزیت رویی یا زیری از ساندویچ پنل برداشته شود ۱۰۶
- شکل (۲۳-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب اندازه سلول هانی کامب برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۷
- شکل (۲۴-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب اندازه سلول هانی کامب برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۸
- شکل (۲۵-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب ضخامت دیواره سلول هانی کامب برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۹
- شکل (۲۶-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب ضخامت دیواره سلول هانی کامب برای مدل تحلیلی جدید ۱۰۹
- شکل (۲۷-۵) - میزان انرژی جذب شده توسط ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب ضخامت پنل هانی کامب برای مدل تحلیلی جدید ۱۱۰
- شکل (۲۸-۵) - سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل هانی کامب- کامپوزیت بر حسب ضخامت پنل هانی کامب برای مدل تحلیلی جدید ۱۱۱

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) - خواص الیاف آرامید.....	۲۱
جدول (۲-۲) - خصوصیات پارچه بافته شده مسطح توارون و کولار ۴۹.....	۲۲
جدول (۱-۵) - مشخصات پرتابه.....	۸۴
جدول (۲-۵) - مشخصات هندسی هانی کامب AI3003.....	۸۴
جدول (۳-۵) - مشخصات مکانیکی هانی کامب AI3003.....	۸۴
جدول (۴-۵) - مشخصات هندسی و مکانیکی ماده کامپوزیتی از جنس الیاف کربن AS4-6k.....	۸۵
جدول (۵-۵) - مقایسه سرعتهای باقیمانده پرتابه بر حسب سرعت های ضربه مختلف به ساندویچ پنل.....	۸۶
جدول (۶-۵) - مقایسه زمان تماس پرتابه با ساندویچ پنل بر حسب سرعت های ضربه مختلف.....	۸۸
جدول (۷-۵) - مقایسه سرعت پرتابه در زمان های مختلف حین نفوذ به کامپوزیت رویی با استفاده از روش تحلیلی و عددی در سرعت ضربه $287 (m/s)$	۸۹
جدول (۸-۵) - مقایسه سرعت پرتابه در زمان های مختلف حین نفوذ به هانی کامب با استفاده از روش تحلیلی و عددی در سرعت ضربه $287 (m/s)$	۸۹
جدول (۹-۵) - مقایسه سرعت پرتابه در زمان های مختلف حین نفوذ به کامپوزیت زیری با استفاده از روش تحلیلی و عددی در سرعت ضربه $287 (m/s)$	۸۹
جدول (۱۰-۵) - مشخصات هندسی و مکانیکی ماده کامپوزیتی از جنس الیاف کربن AS4-3k.....	۱۰۳
جدول (۱۱-۵) - مشخصات هندسی و مکانیکی ماده کامپوزیتی از جنس الیاف توارون.....	۱۰۳

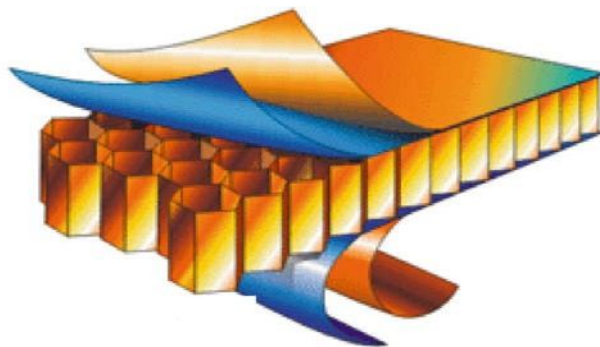
فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

سازه های ساندویچی^۱ هانی کامب^۲- کامپوزیت^۳ از یک هسته سبک هانی کامب و دو صفحه نازک کامپوزیتی در دو سمت هانی کامب تشکیل شده اند. این سازه ها مقاومت به ضربه بالایی دارند و با توجه به وزن کم می توانند جذب انرژی بالایی در برخورد پرتابه ها داشته باشند. از این سازه ها به عنوان جاذب انرژی در بدنه خودروها، هواپیماها، وسایل حمل و نقل و سفینه های فضایی و... استفاده می شود. علاوه بر قابلیت بالای جذب انرژی و ضربه ناشی از برخورد با توجه به وزن پایین می توانند به صورت عایق صوتی و گرمایی نیز به کار برده شوند.

در شکل (۱-۱) یک نمونه از سازه های ساندویچی هانی کامب- کامپوزیت نشان داده شده است. پس از برخورد پرتابه به ماده کامپوزیتی رویی با توجه به تغییر شکل و کشش الیاف درصدی از انرژی جنبشی پرتابه توسط ماده کامپوزیتی جذب می شود. هم زمان ماده هانی کامب واسط نیز با ایجاد لهیدگی و فروریزش درصد دیگری از انرژی جنبشی را جذب خواهد کرد، در نهایت با رسیدن پرتابه به ماده کامپوزیت پشتی این ماده ممکن است با تغییر شکل و شکست الیاف کل انرژی پرتابه را جذب نماید و پرتابه در داخل سازه متوقف گردد و یا این که بخشی از انرژی پرتابه را جذب کند و پرتابه با یک سرعت باقی مانده^۴ از ماده کامپوزیتی خارج شود.



شکل (۱-۱) - سازه ساندویچی هانی کامب - کامپوزیت [۱]

¹ Sandwich structures

² Honeycomb

³ Composite

⁴ Residual Velocity

اولین قدم برای درک بهتر مفاهیم و مسائل موجود در مسئله ضربه توسعه مدل های ریاضی برای پیش بینی تاریخچه نیروی اعمالی به وسیله ضربه زننده به سازه می باشد. روش های تحلیلی که در بررسی اثرات ضربه در کامپوزیتها به کار می روند هنوز تا آن حد پیشرفته نشده اند که بتوانند رفتار حقیقی مواد کامپوزیتی در طی ضربه بر این ساختارها را نشان دهند. از آنجا که کاربرد این مواد روند رو به افزایش دارد تحقیقات روی آزمایش های تجربی نیز در این زمینه در حال انجام می باشد تا بدین وسیله نیاز صنایع مختلف برطرف شود. نتایج این آزمایش ها دریچه ای جهت پایه ریزی تئوری های جدید می باشد.

۱-۲- تعاریف و مفاهیم اساسی

پرتابه^۱: جسمی است که برای انجام عملیات بالستیکی خاصی طراحی شده است مانند: بمب، خمپاره، گلوله، توپ و ...

نفوذ^۲: به ورود پرتابه به درون هر واحد از هدف گفته می شود.

عمق نفوذ^۳: طول حفره ناشی از نفوذ پرتابه در راستای حرکت آن در درون هدف را گویند.

سوراخ شدن^۳: به عبور کامل پرتابه از المان هدف اطلاق می شود.

سرعت حد بالستیک^۴: حداقل سرعت لازم جهت نفوذ کامل و خروج پرتابه از هدف را گویند.

ضخامت حد بالستیک^۴: حداقل ضخامت لازم برای هدف که در آن پرتابه در لحظه خروج از هدف دارای سرعت نزدیک به صفر باشد.

پلاگینگ^۵: جدا شدن بخشی از هدف که در جلوی پرتابه است و به علت ایجاد برش در صفحه هدف رخ می دهد. این نوع گسیختگی معمولاً در اهداف ضخیم اتفاق می افتد.

شکم دهی^۶: به حرکت ماده در سطح عقبی پرتابه در اثر برخورد مستقیم با پرتابه گفته می شود.

رشته^۷: کمترین واحد تشکیل دهنده مواد لیفی را گویند. این واحدها به روش کشیدن و چرخش شکل می گیرند. رشته ها معمولاً دارای طول بینهایت و قطر خیلی کوچک (معمولاً کمتر از $25 \mu m$) می باشند و معمولاً بصورت منفرد در ماده کامپوزیتی به کار نمی روند.

لیف^۸: به کنار هم قرار گرفتن رشته ها (اغلب ۵ تا ۱۰۰ عدد رشته) گویند که برای بافتن پارچه نیز مناسب می باشد.

¹ Projectile

² Penetration

³ Perforation

⁴ Ballistic limit velocity

⁵ Plugging

⁶ Bulging

⁷ Filament

⁸ Yarn

پارچه¹: لایه‌ای از کامپوزیت که از کنار هم خواباندن الیاف به وجود می‌آید و به دو صورت پارچه بافته شده² و پارچه غیر بافته شده³ موجود می‌باشد.

لایه⁴: یک ورقه نازک از ماده کامپوزیتی را نامند. اصولاً ماده کامپوزیتی برای افزایش استحکام از ورقه‌های روی هم قرار گرفته شده تشکیل شده است.

زمینه⁵: رزین همگن یا ماده پلیمری که ضروری برای تشکیل ماده کامپوزیتی می‌باشد.

مواد کامپوزیتی⁶: به ترکیب دو یا بیشتر از دو ماده که بیشتر به صورت عناصر تقویت کننده، پرکننده و محصور شده در زمینه کامپوزیت است گفته می‌شود.

استحکام ضربه⁷: به قابلیت مواد به مقاومت در برابر بار ضربه‌ای گفته می‌شود. به طور علمی به کار انجام شده شده در شکست یک نمونه آزمایشی تحت بار ضربه‌ای در یک حالت تعیین شده استحکام ضربه گفته می‌شود.

لیف تار⁸: لیفی که سطح مقطع آن در راستای طولی در پارچه قرار گرفته است. طرز قرارگیری این الیاف به صورت ردیفی در طول زیاد و تقریباً موازی در پارچه می‌باشد.

لیف پود⁹: لیفی که سطح مقطع آن در راستای عرضی در پارچه بافته شده قرار گرفته است. این الیاف به صورت عمودی با الیاف تار قرار می‌گیرند و با نام لیف پرکننده¹⁰ هم شناخته می‌شوند.

چگالی هانی کامب: جرم یک فوت مکعب هسته بر حسب پوند یا جرم یک متر مکعب هسته بر حسب کیلوگرم است.

سلول: یک واحد منفرد از هانی کامب که می‌تواند به اشکال گوناگون باشد ولی معمولاً به شکل شش ضلعی است.

ورق: جزء ورقه‌ای هانی کامب که از آن به جان یا تیغه هانی کامب نیز تعبیر می‌شود.

گره: قسمت پیوند یافته بین ورقه‌های (تیغه‌های) مجاور یا به ناحیه‌ای با ورق‌های دو لایه گفته می‌شود.

¹ Fabric

² Woven fabric

³ Nonwoven fabric

⁴ Lamina

⁵ Matrix

⁶ Composite material

⁷ Impact strength

⁸ Warp yarn

⁹ Weft yarn

¹⁰ Filling yarn

دیواره آزاد: ورق های تک لایه دیواره سلول است.
باریکه^۱: مجموعه ورق های به هم چسبیده (هانی کامب قبل از انبساط) است.
اندازه سلول: قطر کوچک شش ضلعی (فاصله دو روبروی هم در شش ضلعی) است.

۱-۳- مروری بر تحقیقات انجام شده قبلی

در این قسمت مدل های تحلیلی، عددی یا تجربی ارائه شده توسط محققین جهت شبیه سازی ضربه روی صفحات ساندویچی هانی کامب- کامپوزیت ارائه شده است.

در سال ۱۹۸۳ ویرزیبکی^۲ و آبراموویچ^۳ [۲] به وسیله یک سری میدان های جابجایی و سرعت مجاز روی خطوط تای ایجاد شده در المان فروریزش پایه و بررسی جریان پلاستیک اطراف این لولاها مدل ساده ای ارائه کردند که می توانست انرژی جذب شده در عناصر تشکیل دهنده یک المان فروریزش پایه را محاسبه کند.

در سال ۱۹۸۳ ویرزیبکی [۳] رفتار استاتیک و شبه استاتیک هانی کامب در برابر نیروهای داخل و خارج از صفحه را بررسی نموده است و با استفاده از المان گوشه و فرض مود چین خوردگی پایه و احتساب میدان سرعت و نرخ کرنش اتلاف انرژی در اثر تغییر شکل های پلاستیک، اتلاف انرژی در سطح تروئیدی و اتلاف انرژی در لولاهای پلاستیک افقی و مایل را محاسبه و با قراردادن مجموع کارهای پلاستیک و کار نیروی متوسط، نیروی لهیدگی را تعیین نموده است.

در سال ۱۹۹۲ گلداسمیت^۴ و ساکن^۵ [۴] خواص جذب انرژی هانی کامب ها و ساندویچ های با هسته هانی کامب را در اثر برخورد پرتابه های نوک پهن به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند. آزمایش ها به صورت های استاتیکی و دینامیکی و بارگذاری در امتداد محور سلول هانی کامب بوده و در حالت استاتیکی سطح بارگذاری بزرگتر از سطح سلول بوده است. شرایط مرزی برای هدف ها به صورت تکیه بر یک پایه صلب بوده ولی برای ساندویچ ها حالت تکیه گاه ساده نیز در نظر گرفته شده است.

در سال ۱۹۹۵ گلداسمیت و لویی^۶ [۵] ویژگی های تغییر شکل و جذب انرژی هانی کامب های آلومینیومی را در حالت بارگذاری استاتیکی و در اثر برخورد پرتابه های استوانه ای و کروی به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند. آنها برای ۱۰ ترکیب مختلف پرتابه- هدف سرعت حد بالستیک را به دست آوردند. این آزمایشها نشان داد که با وجود شرایط اولیه یکسان، به خاطر تغییر محل تماس اولیه پرتابه با هدف مقادیر سرعت حد بالستیک متفاوتی به دست می آید.

¹ Hobe

² Wierzbicki

³ Abramowicz

⁴ Goldsmith

⁵ Sackman

⁶ Louie

در سال ۲۰۰۰ هوفت^۱ و پارک^۲ [۶] یک حل تحلیلی برای حد بالستیک هانی کامب ساندویچ شده بین دو صفحه فلزی که در معرض برخورد پرتابه های تخت و کروی قرار گرفته است را انجام دادند. مدل ارائه شده توسط آنها براساس نتایج تجربی و مخصوصا آزمایش های گلداسمیت استوار است. آن ها اصل بقای انرژی را برای به دست آوردن سرعت حد بالستیک مورد استفاده قرار دادند.

در سال ۲۰۰۳ بوهانگ^۳ گو^۴ [۷] مدلی تحلیلی برای نفوذ بالستیک پرتابه صلب فولادی استوانه ای مخروطی شکل به اهداف پارچه کامپوزیتی بافته شده بصورت صفحه ای مسطح ارائه داد. مدل وی بر اساس انرژی جذب شده توسط الیاف اصلی و غیر اصلی با در نظر گرفتن اثر نرخ کرنش در رابطه تنش-کرنش الیاف می باشد. مدل تحلیلی مذکور، کاهش انرژی جنبشی و سرعت باقیمانده پرتابه را در برخورد به اهداف پارچه ای بافته شده صفحه ای مسطح محاسبه می کند.

در سال ۲۰۰۵ نایک^۵ و همکارانش [۸] ضربه بالستیک روی کامپوزیت با الیاف بافته شده را به روش تحلیلی مورد بررسی قرار دادند. مدل تحلیلی ارائه شده توسط آن ها بر مبنای تئوری امواج و بقای انرژی است. آن ها مکانیزم های جذب انرژی مختلفی را بررسی نمودند. این مکانیزم ها عبارتند از: تشکیل مخروط در صفحه پشتی هدف، کشش در الیاف اصلی، تغییر شکل الیاف های فرعی، جدایش لایه ها، ترک خوردن ماتریس. ماتریس. مدل تحلیلی ارائه شده، سرعت حد بالستیک، زمان تماس پرتابه در سرعت حد بالستیک، شعاع مخروط تشکیل یافته و شعاع منطقه آسیب دیده را پیش بینی می کند.

در سال ۲۰۰۵ دیر^۶ و همکارانش [۹] برخورد پرتابه های سبک وزن مختلف با هسته هانی کامب ساندویچ شده بین دو صفحه فلزی را به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند. آن ها همچنین برخورد پرتابه های سبک وزن روی صفحات کامپوزیتی را نیز به طور جداگانه مورد آزمایش قرار دادند.

در سال ۲۰۰۷ لی^۷ و همکارانش [۱۰] فرو ریزش و چین خوردگی هانی کامب با سلول های شش ضلعی نامنظم و ضخامت دیواره سلولی متفاوت را با استفاده از روش المان محدود بررسی نمودند. آن ها دریافتند که سرعت انتشار موج تنش در هانی کامب های با سلول شش ضلعی نامنظم بیشتر و در هانی کامب های با ضخامت دیواره سلولی متفاوت کمتر از هانی کامب های معمولی است.

در سال ۲۰۰۹ هوفت و سیریولو^۸ [۱۱] مدلی تحلیلی برای بررسی ضربه سرعت بالا روی پنل های ساندویچی کامپوزیتی با هسته فوم ارائه دادند. آن ها معادلات حرکت پرتابه و جرم مؤثر صفحات رویی و

¹ Hoo Fatt

² Park

³ Bohong Gu

⁴ Naik

⁵ Delamination

⁶ Dear

⁷ Li

⁸ Sirivolu

هسته هنگامی که موج ضربه از ساندویچ پنل عبور می کند را مشخص کرده و در نهایت سرعت باقی مانده پرتابه پس از خروج از ساندویچ پنل را محاسبه کردند.

در سال ۲۰۱۰ لیاقت و همکارانش [۱۲] فرو ریزش پنل های هانی کامب تحت ضربه پرتابه های استوانه ای را به روش تحلیلی مورد بررسی قرار دادند و سرعت حد بالستیک را با روش انرژی محاسبه کردند. نتایج آن ها نشان می دهد سرعت حد بالستیک با افزایش ضخامت پنل، مقاومت تسلیم برشی و فشاری و ضخامت دیواره سلول هانی کامب افزایش می یابد و با افزایش اندازه سلول و جرم پرتابه کاهش می یابد.

در سال ۲۰۱۰ فعلی و همکارانش [۱۳] مقاومت به برخورد و نفوذ صفحات دو لایه سرامیک- کامپوزیت را به روش تحلیلی شبیه سازی نمودند. آن ها انرژی جنبشی و کرنشی الیاف را با در نظر گرفتن اثر نرخ کرنش بررسی کردند. آنها سرعت باقی مانده پرتابه، انرژی جذب شده توسط الیاف، جرم باقی مانده مخروط سرامیکی و عمق نفوذ را محاسبه کردند.

در سال ۲۰۱۰ بویترگو^۱ و همکارانش [۱۴] به بررسی ضربه روی ساختار های ساندویچی هانی کامب- کامپوزیت در سرعت های بالا پرداختند. آن ها یک مدل المان محدود سه بعدی در نرم افزار آباکوس برای ضربه روی ساندویچ پنل با صفحات رویی از جنس کربن و هسته هانی کامب آلومینیومی ایجاد کردند. و مدل خود را با نتایج آزمایشگاهی ارزیابی کردند. آن ها نتایج سرعت باقیمانده، حد بالستیک و زمان تماس پرتابه با ساندویچ پنل را با نتایج تجربی مقایسه کردند. در این مدل اثر هر یک از اجزا روی رفتار ساندویچ پنل تحت بار ضربه ای ارزیابی شده است. همچنین سهم هر از مکانیزم های جذب انرژی از انرژی جنبشی اولیه پرتابه مشخص شده است.

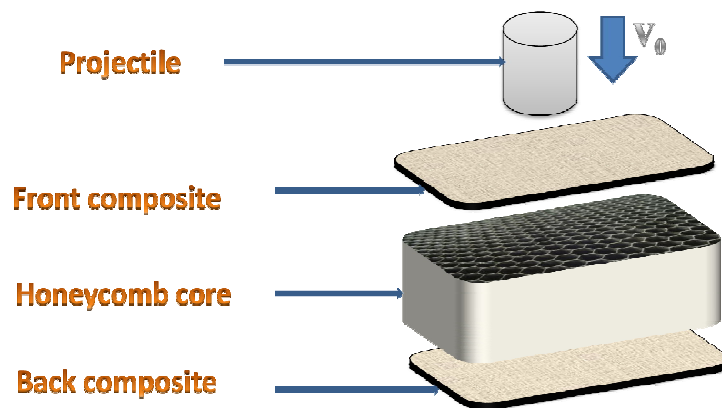
۱-۴- معرفی موضوع پایان نامه

در این پایان نامه یک مدل تحلیلی جدید برای مدلسازی برخورد و نفوذ پرتابه استوانه ای به صفحه ساندویچی هانی کامب- کامپوزیت ارائه شده است. هانی کامب واقع شده بین دو صفحه کامپوزیتی، تحت بارگذاری ضربه ای خارج از صفحه قرار می گیرد. هدف محاسبه میزان انرژی جذب شده در فرایند فروریزش و خرابی کامپوزیت و هانی کامب و محاسبه سرعت باقیمانده پرتابه پس از خروج از صفحه ساندویچی می باشد.

پنل های هانی کامب مورد استفاده در مدل سازی از جنس آلومینیوم بوده و بین دو صفحه کامپوزیتی محصور شده اند. سلول های هانی کامب به کار رفته به صورت شش ضلعی می باشند. همچنین از استحکام رزین تشکیل دهنده کامپوزیت صرف نظر شده و ماده کامپوزیتی به صورت پارچه بافته شده در نظر گرفته می شود. در شکل (۱-۲) شماتیک مسئله مورد نظر آمده است.

¹ Buitrago

برای مدل سازی تحلیلی فرایند از مدل تحلیلی ویرزیکی برای محاسبه انرژی جذب شده توسط هانی کامب و مدل تحلیلی بوهانگ گو برای شبیه سازی ضربه روی کامپوزیت استفاده شده است. با ادغام این دو مدل تحلیلی روش جدیدی برای محاسبه میزان جذب انرژی صفحه ساندویچی و نیز سرعت باقی مانده پرتابه، در برخورد ضربه زننده استوانه ای ارائه شده است. در نهایت نتایج مدل تحلیلی با نتایج شبیه سازی عددی و نتایج تست های تجربی موجود مقایسه و تاثیر پارامترهای مختلف در مدل تحلیلی بررسی می شود.



شکل (۲-۱) - شکل شماتیک مسئله مورد نظر