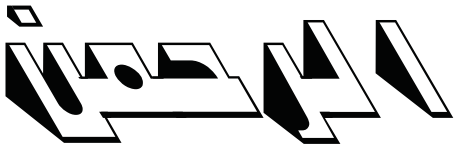
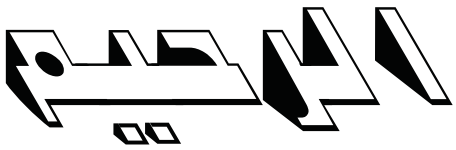




بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مهدی زندی طغانی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بررسی تحلیلی و عددی تاثیر شکل و پروفیل تقویت کننده ها در رفتار پوسته های استوانه ای مرکب تقویت شده (Isogrid) تحت بار محوری در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۱۹ 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 - طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف مقدس	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	
استاد ناظر	دکتر اکبرعلی بیگلو	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدرضا خلیلی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر اکبرعلی بیگلو	دانشیار	

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

امضای استاد راهنما:

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 مهدی زندی طغانی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی مقطع کارشناسی ارشد

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

نام و نام خانوادگی: مهدی زندی طغانی

تاریخ و امضا: ۹۰/۳/۹

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 ۱۳۸۴/۴/۲۵ 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.

نام و نام خانوادگی
مهدی زندی طغانی
امضاء
۹۰/۳/۹

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک – طراحی کاربردی

بررسی تحلیلی و عددی تاثیر شکل و پروفیل تقویت کننده ها بر مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای مشبک ایزوگرید کامپوزیتی تحت بار محوری

مهدی زندی طغانی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین رحیمی

اردیبهشت ۱۳۹۰

چکیده

در این پایان نامه رفتار کمانشی پوسته های استوانه ای کامپوزیتی که توسط تقویت کننده های محیطی و پیچشی در قالب سلولهای مثلثی شکل تقویت شده اند مورد تحلیل قرار می گیرد. در این بررسی مدلهای مختلفی از پوسته های استوانه ای مشبک کامپوزیتی که دارای خواص هندسی (ضخامت و طول پوسته و شکل شبکه ایجاد شده توسط تقویت کننده ها بر روی پوسته) و خواص مواد مشابه می باشند مورد تحلیل قرار گرفته اند. سطح مقطع تقویت کننده ها علیرغم داشتن مساحت یکسان ، دارای پروفیلهای متفاوت (۱۵ نوع پروفیل متفاوت از جمله مستطیل و مربع و ذوزنقه و ...) می باشند که همین تفاوت باعث ایجاد خواص مکانیکی متفاوت و ازجمله مقاومت کمانشی متفاوت در این سازه ها می شود. به این منظور از دو روش تحلیلی و عددی بهره گیری شده است. در روش تحلیلی سلولی از سازه که با تکرار آن سازه تولید می گردد انتخاب شده ، نیروها و ممانهای وارد بر پوسته از طرف تقویت کننده ها محاسبه و نیروی محوری در نظر گرفته شده و با استفاده از روش انرژی بار کمانش محاسبه می شود. همچنین در روش عددی برای مدلسازی و تحلیل مدلها روش آنالیز اجزای محدود (FEA) و نرم افزار $ANSYS$ مورد استفاده قرار گرفته اند . در هر دو روش نتایج بدست آمده به صورت بار کمانش الاستیک برای هر مدل می باشد که پس از ایجاد پارامتر های لازم (به طور مثال درصد افزایش مقاومت کمانشی با تقویت سازه و یا مقاومت کمانشی به وزن سازه) با نتایج به دست آمده برای سایر مدلها مقایسه می گردد . همچنین نتایج حاصله از دو روش با یکدیگر و نتایج بدست آمده در مورد پوسته غیر مسلح و پوسته تقویت شده با تقویت کننده هایی با سطح مقطع مربع با نتایج فعالیتهای تجربی که قبلا صورت گرفته است مقایسه می گردند . با سنجش ومقایسه پارامترهای لازم و تحلیل نتایج حاصله تاثیر تفاوت در پروفیل سطح مقطع تقویت کننده ها در مقاومت کمانشی این سازه ها مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: پوسته مشبک ایزوگرید،پوسته استوانه ای کامپوزیتی ، کمانش محوری ، شکل و پروفیل تقویت کننده ها

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه
فهرست مطالب ..... أ
فهرست شکل‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... و
نمادها ..... ح
فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- سازه‌های مشبک کامپوزیتی ۳
فصل ۲- پیشینه تحقیق ۷
۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- بررسی و تحلیل سازه‌های مشبک کامپوزیتی ۱۰
۲-۲-۱- بررسی تجربی سازه‌های مشبک کامپوزیتی ۱۰
۲-۲-۲- بررسی تحلیلی سازه‌های مشبک کامپوزیتی ۱۴
۲-۲-۳- بررسی سازه‌های مشبک کامپوزیتی با استفاده از روش تحلیل اجزاء محدود ۱۷
۲-۳- اهداف و ساختار پایان نامه ۱۹
فصل ۳- بررسی تاثیر شکل و پروفیل تقویت کننده ها در مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه-ای مشبک کامپوزیتی تحت بار محوری به روش المان محدود ۲۲
۳-۱- مقدمه ۲۳
۳-۲- ایجاد مدل المان محدود ۲۳
۳-۲-۱- مشخصات هندسی و مادی نمونه ها ۲۳
۳-۲-۲- طراحی شبکه المان محدود ۲۵
۳-۲-۳- بارگذاری و شرایط مرزی ۲۶
۳-۳- بررسی همگرایی مدلهای ایجاد شده ۲۹
۳-۳-۱- بررسی همگرایی مدل پوسته تقویت نشده ۲۹
۳-۳-۲- بررسی همگرایی مدل پوسته تقویت شده ۳۱
۳-۴- بررسی تاثیر نوع تکیه گاه در نتایج حاصله ۳۲
۳-۵- تحلیل نتیجه به دست آمده برای پوسته تقویت نشده ۳۳
۳-۶- نتایج حاصل از بررسی تحلیلی در مورد سازه های تقویت شده ۳۷

۳-۶-۱- شکل کمانش سازه های تقویت شده ۴۲
۳-۶-۲- بررسی رابطه P^* و پروفیل سطح مقطع تقویت کننده ها ۴۶
۳-۶-۳- بررسی رابطه Pw و پروفیل سطح مقطع تقویت کننده ها ۴۸
۳-۶-۴- بررسی رابطه Psw و پروفیل سطح مقطع تقویت کننده ها ۵۴
۳-۶-۵- بررسی رابطه مقاومت کمانشی با پروفیل تقویت کننده های در مورد سازه های تقویت شده با تقویت کننده های گروه ۱ ..... ۵۶
۳-۷- نتیجه گیری ۵۹
فصل ۴- بررسی تحلیلی تاثیر شکل و پروفیل تقویت کننده ها در مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای مشبک کامپوزیتی تحت بار محوری ۶۳
۴-۱- مقدمه ۶۴
۴-۲- استخراج ماتریسهای سختی مربوط به پوسته استوانه ای ۶۴
۴-۳- محاسبه نیروها وگشتاورهای وارد بر پوسته از طرف تقویت کننده ها ۶۹
۴-۴- محاسبه بار کمانش (Pcr) ۷۹
۴-۵- بررسی تعداد جملات مناسب در سریهای دوگانه u وvوw ۸۳
۴-۶- بررسی تاثیر نوع تکیه گاه در نتایج حاصله ۸۵
۴-۷- تحلیل نتیجه به دست آمده برای پوسته تقویت نشده ۸۷
۴-۸- بررسی شرایط شکست پوسته تقویت نشده در برابر بارهای وارد بر سازه ۹۱
۴-۸-۱- معیارگسیختگی تنش حداکثر ۹۲
۴-۸-۲- معیارتسای- هیل ۹۴
۴-۹- نتایج حاصل از بررسی تحلیلی در مورد سازه های تقویت شده ۹۴
۴-۹-۱- بررسی و اعتبار سنجی نتایج بدست آمده در مورد پوسته تقویت شده ۱۰۰
۴-۹-۲- بررسی رابطه P^* و پروفیل سطح مقطع تقویت کننده ها ۱۰۰
۴-۹-۳- بررسی رابطه Pw و پروفیل سطح مقطع تقویت کننده ها ۱۰۲
۴-۹-۴- بررسی رابطه Psw و پروفیل سطح مقطع تقویت کننده ها ۱۰۴
۴-۹-۵- بررسی روابط عددی بین مقاومت کمانشی با پروفیل تقویت کننده های در مورد سازه های تقویت شده با تقویت کننده های گروه ۱ ..... ۱۰۷
۴-۹-۵-۱- مقایسه نوع سطح مقطع تقویت کننده‌ها و مقاومت کمانشی آنها در سطح مقطعهای با ارتفاع برابر ۱۰۷
۴-۹-۵-۲- بررسی بیشینه مقاومت کمانشی و Psw نسبت به سازه مرجع ۱۰۸
۴-۹-۵-۳- بررسی تغییرات P^* نسبت به ارتفاع در هر پروفیل ۱۱۰

۴-۱۰- مقایسه نتایج بدست آمده از روش تحلیلی و نتایج حاصله از روش *FEA*..... ۱۱۱
۴-۱۰-۱- مقایسه نتایج بدست آمده از روش تحلیلی و نتایج حاصله از روش *FEA* در مورد پوسته تقویت نشده..... ۱۱۱
۴-۱۰-۲- مقایسه نتایج بدست آمده از روش تحلیلی و نتایج حاصله از روش *FEA* در مورد پوسته تقویت شده..... ۱۱۱
۴-۱۱- مقایسه نتایج حاصله از روش تحلیلی و *FEA* با نتایج به دست آمده از آزمایشهای محققان..... ۱۱۳
۴-۱۲- نتیجه گیری..... ۱۱۸
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۱۲۲
۵-۱- مقدمه..... ۱۲۳
۵-۲- نتایج حاصله از بررسی به روش *FEA*..... ۱۲۳
۵-۳- نتایج حاصله از بررسی به روش تحلیلی..... ۱۲۶
۵-۴- پیشنهادهایی به منظور ادامه تحقیقات..... ۱۳۰
مراجع..... ۱۲۷
پیوست..... ۱۳۱
پیوست الف..... ی
پیوست ب..... دد

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
شکل ۱-۱ - کاربرد سازه مشبک فلزی در بدنه بمب افکن ویکرز ولنگتون ۳
شکل ۱-۲ - سازه های مشبک با ترکیب هندسی مختلف ۴
شکل ۱-۳- کاربرد سازه های مشبک در سازه های هوا-فضایی ۶
شکل ۲-۱- برج رادیو مسکو که از سازه های مشبک فلزی ساخته شده است ۹
شکل ۲-۲- نمودار جابه‌جایی نیروی مربوط به بررسی تجربی ۱۱
شکل ۲-۳- نمودار جابه‌جایی – نیروی مربوط به پوسته استوانه‌ای مشبک با سلول مثلثی ۱۳
شکل ۲-۴- نمونه‌ای از سازه مشبک مورد استفاده توسط واسیلیف ۱۶
شکل ۲-۵- تصویری عمومی از مدل مورد بررسی در این پایان نامه ۲۰
شکل ۳-۱- مدل هندسی ایجاد شده برای نمونه شماره ۳ ..... ۲۵
شکل ۳-۲- شبکه بندی مدل در نمونه شماره ۳ ..... ۲۶
شکل ۳-۳ - بارگذاری و اتصال المانهای *shell*۹۹ و *solid*۱۹۱ در یکی از مدلها ۲۷
شکل ۳-۴ - تصویر جانبی از پوسته استوانه ای و محل تکیه گاه و محل اعمال نیرو ۲۷
شکل ۳-۵ - تصویر سطح مقطع پوسته استوانه ای و تقویت کننده ها ۲۸
شکل ۳-۶ – مد اول کمانش برای پوسته استوانه ای تقویت نشده ۳۰
شکل ۳-۷ – مد اول کمانش مربوط به مدلهای (۱-گ) و (۳-گ) ۳۳
شکل ۳-۸- نمودار نیرو – کرنش محوری مربوط به پوسته استوانه ای تقویت نشده ۳۵
شکل ۳- ۹- تصویر پروفیلهای گروه ۱ ..... ۳۸
شکل ۳- ۱۰- تصویر پروفیلهای گروه ۲ ..... ۳۹
شکل ۳- ۱۱- تصویر پروفیلهای گروه ۳ ..... ۳۹
شکل ۳- ۱۲- مد اول کمانش در مورد سازه تقویت شده با تقویت کننده با پروفیل *b*-۱ ..... ۴۲
شکل ۳- ۱۳- مد اول کمانش در مورد سازه تقویت شده با تقویت کننده با پروفیل *b*-۲ ..... ۴۳
شکل ۳- ۱۴- مد اول کمانش در مورد سازه تقویت شده با تقویت کننده با پروفیل *a*-۳ ..... ۴۴
شکل ۳-۱۵- تغییر شکل تقویت کننده ها در مد اول کمانش برای پوسته استوانه ای تقویت شده ۴۵
شکل ۳-۱۶- نمودار پارامتر P^* مربوط به مدلهای گروه ۱ ..... ۴۶
شکل ۳-۱۷- نمودار پارامتر P^* مربوط به مدلهای گروه ۲و۳ ..... ۴۷
شکل ۳-۱۸- نمودار پارامتر P_w مربوط به مدلهای گروه ۱ ..... ۴۸
شکل ۳-۱۹- نمودار پارامتر P_w مربوط به مدلهای گروه ۲و۳ ..... ۴۹

شکل ۳-۲۰- مد اول کمانش برای پوسته تقویت شده ارتوگرید با تقویت کننده با پروفیل سطح مقطع
c-۱ ..... ۵۳
شکل ۳-۲۱- نمودار پارامتر P_{sw} مربوط به مدلهای گروه ۱ ..... ۵۵
شکل ۳-۲۲- نمودار پارامتر P_{sw} مربوط به مدلهای گروه ۲و۳ ..... ۵۶
شکل ۳-۲۳- نمودار مقاومت کمانشی نسبت به ارتفاع سطح مقطع تقویت کننده ها با پروفیل
مربع-مستطیل ۵۷
شکل ۴-۱- سطح مقطع پوسته و نحوه بدست آوردن Z_k ۶۷
شکل ۴-۲ – محور های مختصات x و r و θ ۶۸
شکل ۴-۳- شبکه مثلثی شکل تقویت کننده ها ۷۰
شکل ۴-۴- نحوه اعمال نیرو بر پوسته وایجاد نیروی برشی بین پوسته و ریبها ۷۱
شکل ۴-۵- سطح مقطع تقویت کننده ها و پوسته و محاسبه گشتاور خمشی M_{cs} و مقادیر d و h۱ و
محور I_o ۷۳
شکل ۴-۶- تصویر سلول واحد انتخاب شده برای تحلیل نیرو و سلول معادل ۷۵
شکل ۴-۷- تبدیل پوسته تقویت شده تحت بار محوری به پوسته تقویت نشده تحت بارها و ممانهای
مختلف ۸۰
شکل ۴-۸- نمایی از تفاوت محورهای هندسی و مادی لایه ها ۹۱
شکل ۴-۹- تصاویر مربوط به پروفیلهای سطح مقطع تقویت کننده در گروههای ۱ ..... ۹۵
شکل ۴-۱۰- تصاویر مربوط به پروفیلهای سطح مقطع تقویت کننده در گروههای ۲و ۳ ..... ۹۶
شکل۴-۱۱- نمودار پارامتر P^* مربوط به مدلهای گروه ۱ ..... ۱۰۰
شکل۴-۱۲- نمودار پارامتر P^* مربوط به مدلهای گروه ۲و۳ ..... ۱۰۱
شکل ۴-۱۳- نمودار پارامتر P_w مربوط به مدلهای گروه ۱ ..... ۱۰۲
شکل ۴-۱۴- نمودار پارامتر P_w مربوط به مدلهای گروه ۲و۳ ..... ۱۰۳
شکل ۴-۱۵- نمودار پارامتر P_{sw} مربوط به مدلهای گروه ۱ ..... ۱۰۵
شکل ۴-۱۶- نمودار پارامتر P_{sw} مربوط به مدلهای گروه ۲و۳ ..... ۱۰۶
شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات P^* نسبت به ارتفاع در پروفیلهای مختلف گروه ۱ ..... ۱۱۰
شکل ۴-۱۸- مقادیر پارامتر $P_{sw\text{-}fa}$ مربوط به مدلهای گروه ۱ ..... ۱۱۲
شکل ۴-۱۹- مقادیر پارامتر $P_{sw\text{-}fa}$ مربوط به مدلهای گروه ۲و۳ ..... ۱۱۳
شکل ۴-۲۰- منحنی نیرو-تغییر مکان مربوط به پوسته استوانه ای تقویت نشده در روش تجربی ۱۱۶

فهرست جدول‌ها

عنوان ..... صفحه
جدول ۳-۱- مشخصات هندسی پوسته ۲۴
جدول ۳-۲- خواص ماده مرکب در نظر گرفته شده در مدلسازی *(E-glass/Epoxy)* ۲۴
جدول ۳-۳- تعداد المانهای پوسته های تقویت نشده ۳۰
جدول ۳-۴- تعداد المانهای پوسته های تقویت شده ۳۱
جدول ۳-۵ - نتایج مدلسازی برای مدلهای ۱- گ و ۳- گ ۳۲
جدول ۳-۶- مشخصات نمونه مدل شده برای پوسته استوانه ای تقویت نشده ۳۳
جدول ۳-۷- مشخصات نمونه های مدل شده و نتایج حاصله برای گروه ۱ ..... ۴۰
جدول ۳-۸- مشخصات نمونه های مدل شده و نتایج حاصله برای گروه ۲ ..... ۴۰
جدول ۳-۹- مشخصات نمونه های مدل شده و نتایج حاصله برای گروه ۳ ..... ۴۱
جدول ۳-۱۰- بیشینه و کمینه و متوسط مقاومت کمانشی هر گروه ۴۱
جدول ۳-۱۱ - نتایج مدلسازی برای مدلهای ۱- ج و ۳- ج ۵۱
جدول ۳-۱۲– نتایج مدلسازی برای مدلهای ۳و ۳- د ۵۲
جدول ۳- ۱۳- بیشینه تغییر P_{cr} نسبت به مقاومت کمانشی محاسبه شده برای سازه های تقویت شده با تقویت کننده های با پروفیل مربع- مستطیل ۵۸
جدول ۴-۱- بار کمانش مربوط به پوسته استوانه ای تقویت نشده مربوط به سریهای با تعداد جملات مختلف ۸۴
جدول ۴-۲- بار کمانش مربوط به پوسته استوانه ای تقویت نشده مربوط به سریهای با تعداد جملات مختلف ۸۵
جدول ۴-۳ – بارهای مربوط به مدهای مختلف کمانش پوسته تقویت نشده ۸۶
جدول ۴-۴ - مشخصات نمونه مدل شده برای پوسته استوانه ای تقویت نشده ۸۷
جدول ۴-۵- مشخصات مقاومت در برابر شکست برای *E-glass/Epoxy* ۹۳
جدول ۴-۶- مشخصات نمونه های مدل شده و نتایج حاصله برای گروه ۱ ..... ۹۶
جدول ۴-۷- مشخصات نمونه های مدل شده و نتایج حاصله برای گروه ۲ ..... ۹۷
جدول ۴-۸- مشخصات نمونه های مدل شده و نتایج حاصله برای گروه ۳ ..... ۹۷
جدول ۴-۹- بیشینه و کمینه و متوسط مقاومت کمانشی هر گروه ۹۸
جدول ۴-۱۰- بیشینه تغییر P_{cr} نسبت به مقاومت کمانشی محاسبه شده برای سازه با تقویت کننده ب پروفیل مربع- مستطیل ۱۰۸

جدول ۴-۱۱- بیشینه افزایش مقاومت نسبت به سازه مرجع ۱۰۹
جدول ۴-۱۲- نتایج عددی و تجربی در مورد سازه های ۱و۳ ..... ۱۱۵
جدول ۴-۱۳- نتایج نرمالیزه شده تئوری و تجربی سازه های ۱ و ۳ ..... ۱۱۵

نمادها

قطر داخلی پوسته	d_i
ضخامت پوسته	t
طول پوسته	L_o
شعاع داخلی پوسته	r
مدول طولی	E_{ij}
مدول برشی	G_{ij}
ضریب پواسون	ν_{ij}
چگالی	ρ
جابه جایی در راستای محور X	u
جابه جایی در راستای محیطی	v
جابه جایی در راستای شعاع	w
چرخش حول محور X	R_x
چرخش حول محور Y	R_y
چرخش حول محور Z	R_z
بار کمانش	P_{cr}
مدول معادل پوسته	E_x^{sh}
اعضای ماتریس سختی کاهش یافته	Q_{ij}
اعضای ماتریس سختی کاهش یافته در مختصات هندسی	$\overline{Qij}$
اعضای ماتریس سختی محوری	A_{ij}
اعضای ماتریس سختی محوری-خمشی	B_{ij}
اعضای ماتریس سختی خمشی	D_{ij}
ارتفاع ریب	h
ارتفاع مرکز سطح ریب	h_1
فاصله مرکز سطح ریب تا سطح میانی پوسته	d
ضلع تقویت کننده	L_b و L_t
ممان اینرسی گذرنده از مرکز سطح پروفیل	I_o
درصد افزایش مقاومت کمانشی	P^*
نسبت مقاومت کمانشی به وزن	P_w
مقاومت کمانشی به وزن مخصوص	P_{sw}
کرنشهای سطح میانی پوسته	$\varepsilon_x^\circ, \varepsilon_\theta^\circ, \gamma_{x\theta}^\circ$
کرنشهای سطح بالایی ریب	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \gamma_{12}$

خمشهای سطح میانی پوسته	$\kappa_x, \kappa_\theta, \kappa_{x\theta}$
زاویه بین راستای الیاف و محور طولی دستگاه هندسی درهر لایه	α
نشانگر فاصله سطح هر لایه نسبت به سطح میانی چند لایه	Z_k
نیروهای منتجه برشی	Q_x^{sh}, Q_θ^{sh}
کرنش سطح بالایی ریب ذر راستای طول آن	ε_l
نیروی واحد طول خارجی وارد بر پوسته	N
نیروی برشی بین ریب و پوسته	F
کوپل خمشی وارد بر پوسته	M_{sh}
ممان خمشی حاصل از خمیدگی وارد بر ریب در هر نقطه	M_{cs}
ممان خمشی متوسطحاصل از خمیدگی وارد بر ریب	$\overline{M_{cs}}$
ممان خمشی وارد بر ریب توسط نیروی برشی	M_{fs}
کوپل خمشی وارد بر ریب	M_s
تنش در راستای طول ریب	σ_l
پارامتر سختی معادل ریب	Z_f
نیروهای وارد بر پوسته از طرف ریب	$F_x , F_\theta , F_{x\theta}$
ممانهای وارد بر پوسته از طرف ریب	$M_x , M_\theta , M_{x\theta}$
اضلاع سلول واحد	a , b
انرژی کرنشی پوسته	U
کار انجام شده توسط نیروی خارجی وارد بر پوسته	V
انرژی کل	Π
حد مقاومت ماده مرکب	$X_t , X_c , Y_t , Y_c , S$
درصد تفاوت مقاومت کمانشی به وزن مخصوص دو روش	$P_{sw\text{-}fa}$

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

یکی از اهداف مهم در طراحی سازه های مکانیکی هر چه مقاوم تر کردن سازه در برابر بارهای وارد بر سازه همراه با افزایش بسیار کم وزن و یا به عبارت دیگر بالا بردن پارامتر مقاومت در برابر وزن است. یکی از این سازه ها پوسته های استوانه‌ای می باشند که به علت کاربرد وسیع درصنعت ، مقاومت آنها در برابر بارهای گوناگون و درشرایط مختلف از جمله مقاومت آنها در برابر کمانش همواره مورد بررسی محققان قرار گرفته است . به کار بردن تقویت کننده ها و رینگهای درونی وبیرونی از جمله راههای افزایش مقاومت این سازه در برابر بارهای مختلف همراه با افزایش کم وزن این سازه و یا به عبارت دیگر بالا بردن مقاومت بر وزن این سازه می باشد.

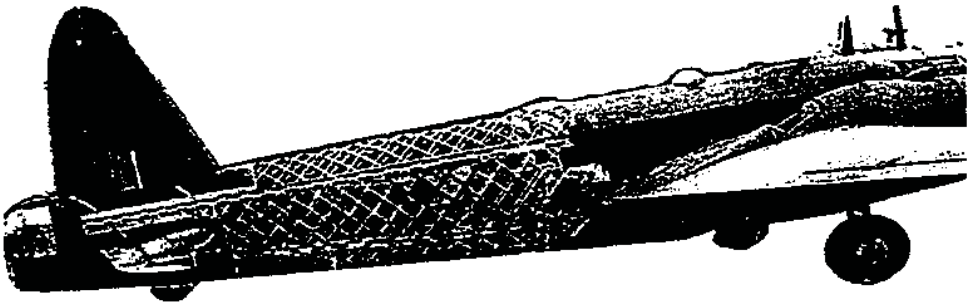
در طی دهه های گذشته، مواد کامپوزیتی از حوزه آزمایشگاه و کاربردهای خاص به حوزه های گوناگون صنعت به صورت تجاری راه یافته اند. مواد مرکب بعد از موفقیت در صنایع هوافضا، ورزش وچند صنعت ویژه، اکنون به عنوان یکی از مواد مورد اعتماد و قابل انتخاب در صنایع مختلف تبدیل گشته‌اند .برخی از قابلیتهای شناخته شده و منحصر به فرد مواد مرکب، عبارتند از : مقاومت و سفتی مخصوص بالا، مقاومت زیاد در برابر خوردگی و خستگی و عایق بودن در مقابل الکترومغناطیس .دردو دهه اخیر با بالا رفتن کاربرد مواد مرکب ، تحقیقات بسیاری در مورد استفاده ازاین مواد در پوسته های استوانه ای وهمینطور کمانش پوسته های استوانه ای کامپوزیتی با به کارگیری روشهای گوناگون صورت پذیرفته است [۵-۱]. همینطور بررسیهایی نیز در مورد به کار گیری تقویت کننده ها و رینگها در داخل و یا خارج این پوسته ها و اثری که در مقاومت کمانشی پوسته های کامپوزیتی استوانه ای دارند انجام شده است[۱۰-۶].

۱-۲- سازه های مشبک های کامپوزیتی

بدون شک یکی از موضوعاتی که ذهن بسیاری از محققان این زمینه در یک دهه قبل را به خود مشغول کرده است تمرکزبیشتر بر روی استفاده از سازه های مشبک کامپوزیتی به منظور بالاتر بردن مقاومت بر وزن سازه می باشد.

ساز ههای مشبک به لحاظ ظاهری مشابه سازه های شبکه بندی شده با تیرها یا قابها می باشند.

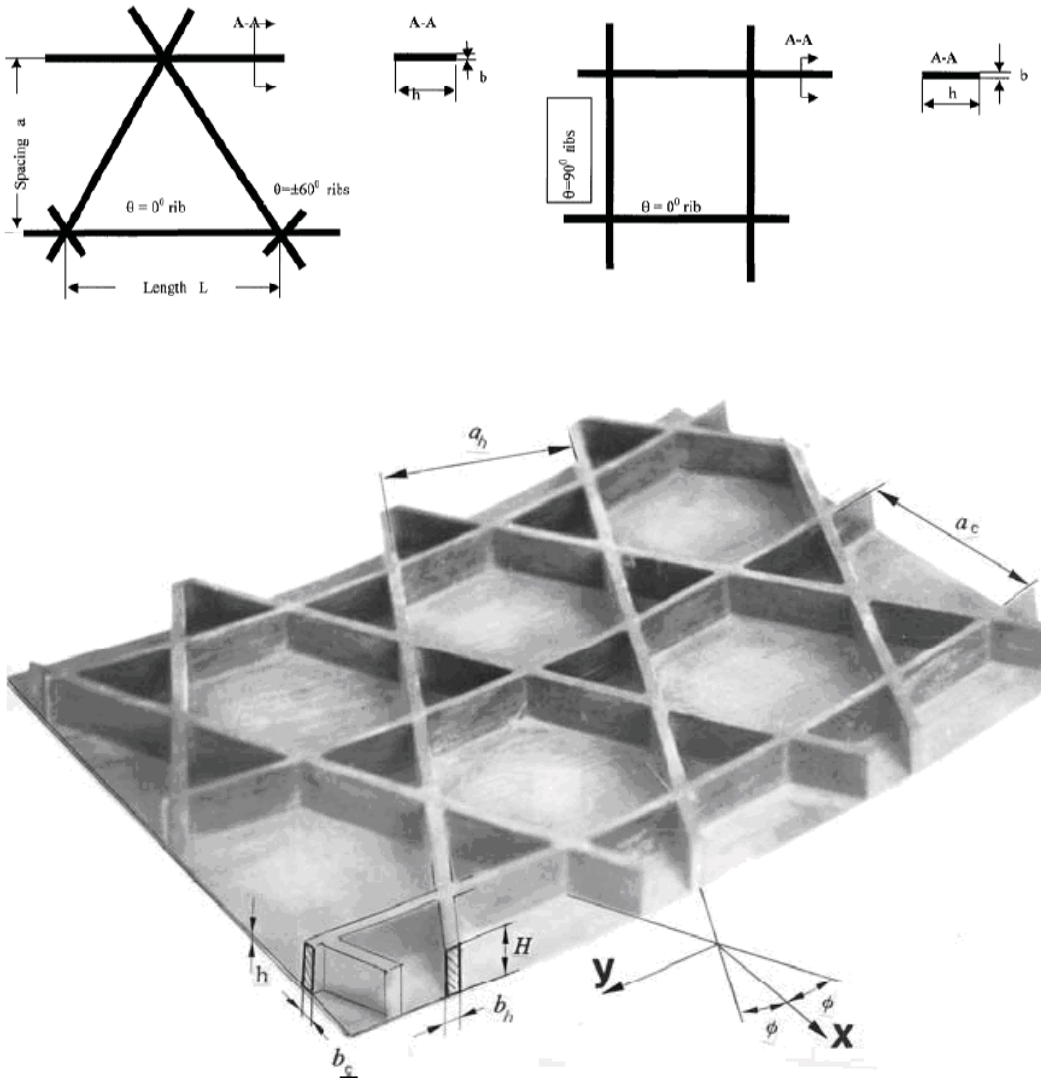
تاریخچه این نوع از ساز هها به تقویت کننده های توری شکل و فلزی بمب افکن ویکرز ولنگتون در سالهای جنگ جهانی دوم برمی گردد (شکل (۱-۱)) که قابلیت بالایی در تحمل تخریبهای موضعی از خود نشان داد .



شکل ۱-۱ - کاربرد سازه مشبک فلزی در بدنه بمب افکن ویکرز ولنگتون

سازه های مشبک کامپوزیتی ترکیب بندی هندسی مشخصی دارند، به عنوان مثال همانطور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. سازه‌های تقویت شده ارتوگرید شامل ریبهایی هستند که در جهت محیطی و محور استوانه و به طور کلی عمود برهم قرار گرفته‌اند. همچنین سازه های ایزوگرید شامل ریبهای کامپوزیتی تک جهته‌ای می باشند که به منظور ایجاد یک ترکیب تکرارپذیر از مثلث

های متساوی الاضلاع بر روی یک صفحه می توانند زوایای $\pm 60^{\circ}$ و صفر درجه داشته باشند . در این سازه‌ها تقویت کننده‌ها می توانند به صورت مارپیچ و محیطی بر روی سطح پوسته قرار داشته باشند. از انواع دیگر این سازه ها همچنین می توان به سازه های انایزوگرید با ترکیب هندسی پیچیده تر اشاره نمود. در این سازه ها انواع سلولهای تقویت کننده‌ها ازجمله مثلث و یا مربع و یا شش ضلعی را می توان مشاهده نمود.



شکل ۱-۲- سازه های مشبک با ترکیب هندسی مختلف

ریبها می توانند با استفاده از مقداری رزین اضافه به صفحات صاف یا انحنادار متصل گردند تا در نهایت یک سازه مشبک کامپوزیتی را ایجاد کنند .پارامترهای عمومی ریبها عبارتند از زاویه قرارگیری و ارتفاع مقطع ، طول ، ریبها از آنجاییکه طول ریب در قیاس با سایر ابعاد آن بزرگ است، ریبها رفتاری شبیه به تیر از خود بروز می دهند .

سازه‌های مشبک کامپوزیتی به صورت همزمان قابلیتهای سازه‌های کامپوزیتی ساده و همچنین سازه های تقویت شده را دارند که به عنوان نمونه می توان به چند مورد از آنها اشاره نمود

الف- خصوصیات شبکه تعیین شده برای تقویت کننده ها باعث می شود که مسیر بارهای تخریبی در اطراف نقاط آسیب دیده تغییر یابد که این، قدرت تحمل این سازه ها در برابر بارهای گوناگون را افزایش می دهد.

ب- در این سازه ها به دلیل اینکه معمولا ریبها به صورت یک جهته ساخته می شوند ، دارای درصد حجمی بالا و به تبع آن استحکام زیادی در مقایسه با وزن خود می باشند. این عامل همچنین باعث بروز برتری دیگری در نزد این سازه ها نسبت به سازه های فلزی یا کامپوزیتی ساده و یا سازه های کامپوزیتی ساندویچی می شوند که آن احتمال بسیار کم بروز پدیده تورق در آنها است . همچنین هنگامی‌که تمام ریبها از الیاف تک جهته ساخته می شوند، هیچ عدم تطابقی در خواص مواد بروزنکرده که خود باعث مقاومت بالایی در برابر ضربه و خستگی نسبت به سازه های با لایه‌چینی ساده می‌گردد.

ج- با داشتن ریبهای مجزا، ترکها نمی توانند از یک ریب به ریب همجوار آن سرایت کنند و بنابراین قدرت تحمل آسیب دیدگی سازه افزایش می یابد.

د- به دلیل ساختار باز این سازه، رطوبت کمترین تأثیر را در قیاس با سازه های ساندویچی با هسته خلل و فرج دار، دارد.