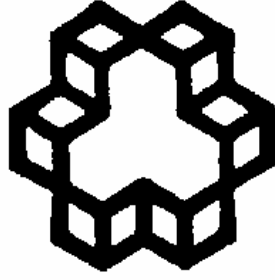


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده هوافضا

گروه سازه های هوایی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحلیل استاتیکی پوسته استوانه ای کامپوزیتی فلز الیاف

(FML)

استاد راهنما:

دکتر علی مظفری

استاد مشاور:

مهندس علی داور

نگارش:

حسن جعفری

اسفند ۸۸

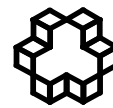
تقدیم به

مادرم به پاس محبت های بی دریغ او

تقدیم به

خانواده مهربانم

بسمه تعالی



تاسیس ۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تأییدیه هیأت داوران

شماره:
تاریخ:

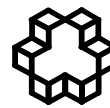
هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان :

تحلیل استاتیکی پوسته استوانه ای کامپوزیتی الیاف فلز (FML)

توسط آقای حسن جعفری ، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش سازه های هوایی در تاریخ ۱۳۸۸ / ۱۲ / ۱۹ مورد تأیید قرار می دهند.

امضاء	جناب آقای دکتر علی مظفری	۱- استاد راهنمای اول
امضاء	جناب آقای مهندس علی داور	۳- استاد مشاور
امضاء	جناب آقای دکتر علیرضا نوین زاده	۳- ممتحن داخلی
امضاء	جناب آقای دکتر محسن محسنی شکیب	۴- ممتحن
امضاء	جناب آقای دکتر امیر علی نیکخواه	۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

بسمه تعالی



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

شماره:

تاریخ:

اظهارنامه دانشجو

اینجانب حسن جعفری دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش سازه های هوایی دانشکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان

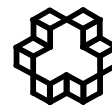
تحلیل استاتیکی پوسته استوانه ای کامپوزیتی الیاف فلز (FML)

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر **علی مظفری** توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو: حسن جعفری

تاریخ:

۴۲۱۷-۱۳۸۷/۱۰/۲۹



حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

شماره:

تاریخ:

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

* توجه:

این فرم می بایست پس از تکمیل، در نسخ تکثیر شده قرار داده شود.

تقدیر و تشکر:

از استاد راهنما، جناب آقای دکتر علی مظفری که اینجانب را در تمامی مراحل تهیه و تدوین پایان نامه حاضر راهنمایی فرمودند که بدون شک انجام این کار بدون یاری ایشان میسر نبود.

و از استاد مشاور، جناب آقای مهندس علی داور که با راهنمایی های ارزنده شان راه گشای بنده بوده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از سروران معظم جناب آقای مجید باقری فرد و جناب آقای مهندس حسین آشوری به پاس حمایت بی دریغشان سپاسگذارم.

چکیده:

در این پایان نامه با توجه به گستردگی کاربرد FML (Fiber Metal Laminate) و گسترش موارد استفاده از آن، ابتدا انواع مختلف این نوع کامپوزیتها و مشخصات آنها بررسی شده است و انواع تئوری های رایج پوسته مورد بررسی قرار می گیرد. با استفاده از تئوری تغییر شکل برشی درجه اول و تئوری کلاسیک به بررسی کمانش پوسته های استوانه ای از جنس FML تحت بار محوری و با تکیه گاه های ساده پرداخته می شود. جهت تحلیل دو حالت استوانه کامل و پینل استوانه ای کامپوزیتی فلز الیاف کامپوزیت از جنس آلومنیوم-شیشه در نظر گرفته شده است. از نرم افزارالمان محدود Abaqus و همچنین سایر مراجع موجود جهت اعتبار سنجی نتایج تحلیل بدست آمده استفاده شده است و با استفاده از نرم افزار Matlab، اثر پارامترهای مختلف FML از جمله کسر حجمی فلز (MVF)، زاویه الیاف، لایه چینی های مختلف، ابعاد هندسی و تعداد لایه های فلز روی نیروی کمانش و مدهای کمانش در دو حالت استوانه کامل و پینل مورد بررسی قرار گرفته است و جهت سهولت بررسی بهتر نتایج بدست آمده به صورت نمودار نشان داده شده اند و بر روی نتایج بدست آمده بحث صورت پذیرفته است.

واژه های کلیدی: فلز الیاف- چند لایه-کمانش-کسر حجمی-کامپوزیت

فهرست مطالب

<u>۱</u>	<u>فصل اول</u>	<u>۱</u>
۱	مقدمه ای بر کامپوزیت‌های فیبر فلز	
۲	مقدمه [۱]	۱-۱-
<u>۵</u>	<u>فصل دوم</u>	<u>۲</u>
۵	مواد تشکیل دهنده FML و خواص آنها	
۶	مواد تشکیل دهنده FML و خواص آنها	۱-۲-
۶	انواع فیبر مورد استفاده در FML ها	۲-۲-
۶	ورق‌های فلزی مورد استفاده در FML ها	۳-۲-
۶	انواع رزین	۴-۲-
۷	برخی تعاریف خواص مکانیکی کامپوزیت	۵-۲-
۷	کسر جرمی - کسر حجمی - جرم مخصوص [۹]	۱-۵-۲-
۸	مدول الاستیسیته و مدول برشی [۹]	۲-۵-۲-
۸	مدول الاستیسیته و مدول برشی در حالت کلی	۳-۵-۲-
۹	روابط تنش کرنش [۹]	۴-۵-۲-
۹	مشخصه های مجاز مورد نیاز در طراحی مواد [۷]	۶-۲-
۱۰	تعیین مشخصه ها با استفاده از روش کسر حجمی فلز [۷]	۱-۶-۲-
<u>۱۲</u>	<u>فصل سوم</u>	<u>۳</u>
۱۲	انواع کامپوزیت‌های فیبر فلز (FML)	
۱۳	مقدمه	۱-۳-
۱۳	آرال [۷]	۲-۳-
۱۳	تاریخچه پیدایش آرال:	۱-۲-۳-
۱۳	انواع آرال [۷]	۲-۲-۳-
۱۴	خواص مکانیکی آرال [۷]	۳-۲-۳-
۱۴	معایب آرال [۷]	۴-۲-۳-
۱۴	کاربردهای آرال [۷]	۵-۲-۳-
۱۴	کاربرد در بدنه :	۱-۵-۲-۳-

۱۵	آرال بالستیک :	۲-۵-۳-۳
۱۵	سازه های فضایی و لوله ها	۳-۵-۲-۳
۱۵	گلر [۷]	۳-۳
۱۵	تعریف گلر و انواع آن	۱-۳-۳
۱۶	کد بندی انواع گلر	۲-۳-۳
۱۷	خواص گلر	۳-۳-۳
۱۷	خواص ضربه گلر :	۱-۳-۳-۳
۱۷	مقاومت در برابر گرما:	۲-۳-۳-۳
۱۸	خواص گلر در برابر رطوبت:	۳-۳-۳-۳
۱۸	کاربردهای گلر	۴-۳-۳
۱۸	کاربرد در بدنه :	۱-۴-۳-۳
۱۸	کاربرد گلر در ایرباس؛	۲-۴-۳-۳
۱۹	پوسته های بالایی و پایینی بال :	۳-۴-۳-۳
۱۹	پوسته ها و فریم ها :	۴-۴-۳-۳
۱۹	طبقات در قسمت مسافران و درب های حمل بار :	۵-۴-۳-۳
۱۹	دیواره های آتش	۶-۴-۳-۳
۲۰	تیغه های نگهدارنده در هواپیما	۷-۴-۳-۳
۲۰	دیواره جدا کننده حمل بار	۸-۴-۳-۳
۲۰	سایر کاربرد ها :	۹-۴-۳-۳
۲۰	صورت‌های دیگر گلر	۵-۳-۳
۲۱	مقایسه بین گلر و آلومینیوم [۷]	۴-۳
۲۲	چند لایه های گلر دما بالا (ELEVATEDTEMPRATURE GLARE) [۷]	۵-۳
۲۲	خواص مکانیکی لمینیت های دما بالا آلومینیوم-شیشه AL/GLASS [۷]	۶-۳
۲۲	خواص کششی :	۱-۶-۳
۲۳	خواص بلانت ناچ :	۲-۶-۳
۲۳	خواص خستگی :	۳-۶-۳
۲۳	لمینیت‌های آلومینیوم /کربن [۷]	۷-۳
۲۳	خواص مکانیکی لمینیت‌های آلومینیوم-کربن	۱-۷-۳
۲۴	خواص کششی :	۲-۷-۳
۲۴	خواص بلانت ناچ	۳-۷-۳
۲۴	خوردگی گالوانیک :	۴-۷-۳
۲۵	چند لایه های های کربن / تیتانیوم	۸-۳
۲۵	خواص مکانیکی لمینیت کربن - تیتانیوم :	۱-۸-۳
۲۵	خواص کششی :	۲-۸-۳

۲۵	مشخصات بلانت ناچ	۳-۸-۳
۲۵	خواص خستگی :	۴-۸-۳

۲۶	فصل چهارم	۴
----	------------------	----------

۲۶	تئوری پوسته ها	
۲۷	مقدمه [۱۱]	۱-۴
۲۷	تئوری کلاسیک [۱۲]	۱-۱-۴
۲۹	تئوری FSDT [۱۱]	۲-۱-۴
۳۰	توضیحاتی در مورد تئوری پوسته مراتب بالاتر [۱۲]	۳-۱-۴
۳۰	روابط تنش کرنش در سایر تئوری ها [۱۴]	۴-۱-۴

۳۲	فصل پنجم	۵
----	-----------------	----------

۳۲	تحلیل استاتیکی پوسته استوانه ای	
۳۳	مشخصات هندسی پوسته ها [۱۱]	۱-۵
۳۷	سینتیک پوسته (معادلات تعادل) [۱۱]	۲-۵
۳۸	سینماتیک پوسته (روابط تنش، کرنش) [۱۱]	۳-۵
۴۰	معادلات حرکت [۱۱، ۱۳]	۴-۵
۴۳	روابط تنش کرنش پوسته استوانه	۵-۵
۴۵	روابط سازگاری چند لایه استوانه ای [۱۱]	۶-۵
۴۷	معادلات حرکت ساده شده استوانه [۱۱]	۷-۵

۴۸	فصل ششم	۶
----	----------------	----------

۴۸	حل تحلیلی استوانه	
۴۹	حل تحلیلی استوانه با استفاده از تئوری FSDT	۱-۶
۵۴	شرایط مرزی؛ کلیه تکیه گاه ها ساده ؛	۱-۱-۶
۵۴	توابع جابجایی	۲-۱-۶
۵۵	نتیجه حل تحلیلی استوانه	۳-۱-۶
۶۱	تحلیل استوانه با استفاده از تئوری کلاسیک	۲-۶
۶۵	شرایط مرزی استوانه:	۱-۲-۶
۶۵	توابع جابجایی:	۲-۲-۶

۶۶	۳-۶- بررسی نتایج حل استوانه
۶۶	۱-۳-۶- مقایسه نتایج با سایر مراجع در حالت استوانه
۶۶	۱-۱-۳-۶- حالت $MVF=1$ (حالت ایزوتروپ)
۶۷	۲-۱-۳-۶- حالت $MVF=0$ (حالت اورتوتروپ خاص)

۶۹	فصل هفتم	۷
----	----------	---

۶۹	حل تحلیلی پنل - PANEL
۷۰	۱-۷- حل تحلیلی پنل با استفاده از تئوری FSDT
۷۰	۱-۱-۷- شرایط مرزی پنل با تکیه گاه ساده
۷۰	۲-۱-۷- توابع جابجایی
۷۱	۳-۱-۷- حل تحلیلی
۷۴	۲-۷- حل پنل با استفاده از تئوری کلاسیک
۷۴	۱-۲-۷- شرایط مرزی
۷۴	۲-۲-۷- توابع جابجایی:
۷۵	۳-۲-۷- حل تحلیلی
۷۶	۳-۷- بررسی نتایج حل پنل
۷۶	۱-۳-۷- حالت $MVF=1$ (حالت ایزوتروپ)
۷۷	۲-۳-۷- مراحل مدلسازی با نرم افزار ABAQUS [۲۵]
۸۰	۳-۳-۷- بررسی نتایج حل با نرم افزار ABAQUS

۸۳	فصل هشتم	۸
----	----------	---

۸۳	تحلیل نتایج
۸۴	۱-۸- بررسی اثر پارامترهای مختلف FML بر نیروی کمانش استوانه
۸۴	۲-۸- اثر تعداد لایه فلز (در ضخامت ثابت با افزایش MVF)
۸۴	۳-۸- اثر زاویه الیاف در لایه چینی خاص
۸۷	۴-۸- اثر LAY-UP در زاویه الیاف خاص
۹۰	۵-۸- اثر هندسه استوانه بر مدهای کمانش
۹۰	۱-۵-۸- اثر طول بر روی مد کمانش
۹۲	۲-۵-۸- اثر شعاع بر روی مد کمانش
۹۲	۶-۸- اثر مد کمانش بر روی نیروی کمانش
۹۳	۷-۸- اثر ابعاد هندسی بر روی نیروی کمانش

۹۳	اثر شعاع استوانه	۸-۷-۱-
۹۴	اثر طول استوانه	۸-۷-۲-
۹۶	بررسی اثر پارامترهای مختلف FML بر نیروی کمانش پنل	۸-۸-
۹۶	اثر زاویه الیاف در لایه چینی خاص	۸-۸-۱-
۹۸	اثر LAY-UP در زاویه الیاف خاص	۸-۸-۲-
۱۰۲	اثر ابعاد هندسی بر روی نیروی کمانش	۸-۸-۳-
۱۰۲	اثر شعاع پنل بر روی نیروی کمانش	۸-۸-۳-۱-
۱۰۲	اثر طول پنل بر روی نیروی کمانش	۸-۸-۳-۲-
۱۰۳	اثر ابعاد هندسی برمد کمانش بر	۸-۸-۴-
۱۰۳	تغییرات مد کمانش (m) با تغییر شعاع	۸-۸-۴-۱-
۱۰۵	تغییرات مد کمانش (n) با تغییر شعاع	۸-۸-۴-۲-
۱۰۶	تغییرات مد کمانش (n) با تغییر طول	۸-۸-۴-۳-
۱۰۸	تغییرات مد کمانش (m) با تغییر طول	۸-۸-۴-۴-
۱۰۹	تغییرات نیروی کمانش با زاویه پنل	۸-۸-۵-
۱۱۰	نتیجه گیری:	۸-۹-
۱۱۱	پیشنهادات	۸-۱۰-
	پیوست	

لیست اشکال و نمودارها

- شکل (۱-۱) - قسمتهای مختلف بدنه و نوع بارگذاری های اعمال شده به آن [۴] ۴
- شکل (۱-۵) - هندسه پوسته چندلایه دارای در خم - (۱) - هندسه پوسته (۲) - بردارهای مکانی سطح میانی و بالای آن (۳) - المان دیفرانسیلی از پوسته ۳۴
- شکل (۲-۵) - المان سطح پوسته دو خم (۱) - المان سطح روی سطح میانی (۲) - المان سطح روی سطح در فاصله ξ از سطح میانی ۳۶
- شکل (۳-۵) - برآیند های نیرویی بر روی المان پوسته ۳۷
- شکل (۴-۵) - مختصات و هندسه پوسته استوانه ای چند لایه ۴۳
- شکل (۱-۷) - نیروهای واژه بر المان پنل ۷۰
- شکل (۲-۷) - چیدمان لایه های کامپوزیت مدلسازی شده ۷۹
- نمودار (۱-۸) - نیروی کمانش برحسب تعداد لایه فلز با ثابت نگاهداشتن ضخامت $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۴
- نمودار (۲-۸) - نیروی کمانش برحسب MVF با ثابت نگاهداشتن ضخامت و تعداد لایه فلز برای لایه چینی (2/1) $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۵
- نمودار (۳-۸) - نیروی کمانش برحسب MVF با ثابت نگاهداشتن ضخامت و تعداد لایه فلز برای لایه چینی (3/2) $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۶
- نمودار (۴-۸) - نیروی کمانش برحسب MVF با ثابت نگاهداشتن ضخامت و تعداد لایه فلز برای لایه چینی (4/3) $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۶
- نمودار (۵-۸) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف $GLARE\ 2B$ با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۷
- نمودار (۶-۸) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف $GLARE\ 3$ با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۸
- نمودار (۷-۸) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف $GLARE\ 4A$ با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۸
- نمودار (۸-۸) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف $GLARE\ 4B$ با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM$ $R=L=1M$ ۸۹

نمودار(۸-۹) نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 5 با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه
الیاف $H=3MM R=L=1M$

۸۹

نمودار(۸-۱۰) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 2A با ثابت نگاهداشتن ضخامت و
زاویه الیاف $H=3MM R=L=1M$

۹۰

نمودار(۸-۱۱) - مد کمانش (M) برحسب طول برای لایه چینی مختلف

۹۱

نمودار(۸-۱۲) - مد کمانش (N) برحسب طول برای لایه چینی مختلف

۹۱

نمودار(۸-۱۳) -مد کمانش (M) برحسب شعاع برای لایه چینی مختلف

۹۲

نمودار(۸-۱۴) - نیروی کمانش برحسب (N) برای لایه چینی مختلف در مد کمانش (M)

۹۳

نمودار(۸-۱۵) - نیروی کمانش برحسب شعاع برای لایه چینی های مختلف با ثابت نگاهداشتن ضخامت و طول

۹۴

$$H=1.9MM L=1M$$

نمودار(۸-۱۶) - نیروی کمانش اویلری برحسب طول برای لایه چینی GLARE 3 4/3 مختلف با ثابت نگاهداشتن ضخامت
و طول $H=3MM L=1M$

۹۵

نمودار(۸-۱۷) - نیروی کمانش موضعی برحسب طول برای لایه چینی GLARE 3 4/3 مختلف با ثابت نگاهداشتن ضخامت
و طول $H=3MM L=1M$

۹۵

نمودار(۸-۱۸) - ترکیب نمودارهای نیروی کمانش اویلری و موضعی برحسب طول برای لایه چینی GLARE 3 4/3 با ثابت
نگاهدشتن ضخامت و طول $H=3MM L=1M$

۹۶

نمودار(۸-۱۹) - نیروی کمانش برحسب MVF با ثابت نگاهداشتن ضخامت و تعداد لایه فلز برای لایه چینی (2/1)
 $A=30^{\circ} H=3MM R=L=1M$

۹۷

نمودار(۸-۲۰) - نیروی کمانش برحسب MVF با ثابت نگاهداشتن ضخامت و تعداد لایه فلز برای لایه چینی (3/2)
 $H=3MM R=L=1M A=30^{\circ}$

۹۷

نمودار(۸-۲۱) - نیروی کمانش برحسب MVF با ثابت نگاهداشتن ضخامت و تعداد لایه فلز برای لایه چینی (4/3)
 $H=3MM R=L=1M A=30^{\circ}$

۹۸

نمودار(۸-۲۲) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 3 با ثابت نگاهداشتن ضخامت و
زاویه الیاف $H=3MM R=L=1M$

۹۹

نمودار(۸-۲۳) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 2A با ثابت نگاهداشتن ضخامت و
زاویه الیاف $H=3MM R=L=1M$

۹۹

- نمودار(۸-۲۴) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 2B با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM R=L=1M$ ۱۰۰
- نمودار(۸-۲۵) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 4A با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM R=L=1M$ ۱۰۰
- نمودار(۸-۲۶) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 4B با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM R=L=1M$ ۱۰۱
- نمودار(۸-۲۷) - نیروی کمانش برحسب MVF برای لایه چینی های مختلف GLARE 5 با ثابت نگاهداشتن ضخامت و زاویه الیاف $H=3MM R=L=1M$ ۱۰۱
- نمودار (۸-۲۸) - نیروی کمانش برحسب شعاع برای لایه چینی های مختلف با ثابت نگاهداشتن ضخامت و طول $H=1.9MM L=1M$ ۱۰۲
- نمودار(۸-۲۹) - نیروی کمانش برحسب طول برای لایه چینی GLARE 3 4/3 مختلف با ثابت نگاهداشتن ضخامت و طول $H=3MM L=1M$ ۱۰۳
- نمودار(۸-۳۰) - مد کمانش (M) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 3 $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۳
- نمودار(۸-۳۱) - مد کمانش (M) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 2A $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۴
- نمودار(۸-۳۲) - مد کمانش (M) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 4A $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۴
- نمودار(۸-۳۳) - مد کمانش (M) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 5 $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۴
- نمودار(۸-۳۴) - مد کمانش (N) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 2A $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۵
- نمودار(۸-۳۵) - مد کمانش (N) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 3 $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۵
- نمودار(۸-۳۶) - مد کمانش (N) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 4A $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۶
- نمودار(۸-۳۷) - مد کمانش (N) برحسب شعاع برای لایه چینی GLARE 5 ۱۰۶
- نمودار(۸-۳۸) - مد کمانش (N) برحسب طول برای لایه چینی GLARE 3 و GLARE 5 $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۷
- نمودار(۸-۳۹) - مد کمانش (N) برحسب طول برای لایه چینی GLARE 2A $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۷
- نمودار(۸-۴۰) - مد کمانش (N) برحسب طول برای لایه چینی GLARE 4A $R=L=1, A=30^{\circ}, H=1.9MM$ ۱۰۷

- ۱۰۸ نمودار(۸-۴۱) - مد کمانش (M) برحسب طول برای لایه چینی $R=L=1, A=30^\circ, H=1.9MM$. GLARE 2A
- ۱۰۸ نمودار(۸-۴۲) - مد کمانش (M) برحسب طول برای لایه چینی $R=L=1, A=30^\circ, H=1.9MM$. GLARE 3
- ۱۰۸ نمودار(۸-۴۳) - مد کمانش (M) برحسب طول برای لایه چینی $R=L=1, A=30^\circ, H=1.9MM$ GLARE 4A
- ۱۰۹ نمودار(۸-۴۴) - مد کمانش (M) برحسب طول برای لایه چینی $GLARE5, R=L=1, A=30^\circ, H=1.9MM$
- ۱۰۹ نمودار(۸-۴۵) - نیروی کمانش برحسب زاویه پنل برای لایه چینی مختلف $R=L=1, H=1.9MM$

لیست جداول

- ۱۶ جدول (۱-۳) - گریدهای مختلف گلر
- ۲۴ جدول (۲-۳) - نتایج آزمایش بلانت ناچ چند لایه آلومنیوم - کربن
- ۶۷ جدول (۱-۶) - مقایسه مقدار نیروی کمانش در ۱ MVF برای حل به روش کلاسیک و FSDT و حل به روش مرجع [۱۷]
- ۶۸ جدول (۲-۶) - خصوصیات مواد مورد استفاده در مرجع [۱۹] جهت مقایسه نتایج با روش تحلیلی حاضر
- ۶۸ جدول (۳-۶) - نتایج حل با استفاده از تئوری FSDT و مقایسه با مرجع [۱۹]
- ۶۸ جدول (۴-۶) - نتایج حل با استفاده از تئوری کلاسیک و مقایسه با مرجع [۱۹]
- ۷۶ جدول (۱-۷) - مقایسه نتایج حل پنل با مرجع [۲۳] در حالت $MVF=1$
- ۷۷ جدول (۲-۷) - مقایسه نتایج حل پنل با مرجع [۲۴] در حالت $MVF=1$
- ۷۹ جدول (۳-۷) - شرایط مرزی اعمال شده در نرم افزار
- ۸۰ جدول (۴-۷) - نتایج تحلیل ABAQUS پنل با ابعاد $R=L=1m$, $\alpha = 30^\circ$, Glare 2A 2/1
- ۸۲ جدول (۵-۷) - مقایسه نتایج تحلیل حاضر با نتایج تحلیل ABAQUS

لیست علائم

---	نیروی محوری	\hat{N}	N	φ_x	تابع چرخش حول محور y
---	کسر جرمی فیبر	M_f	---	χ	محور مختصات
---	کسر جرمی شبکه	M_m	---	γ	محور مختصات
---	مدول الاستیسیته برشی	G	GPa	Z	محور مختصات
---	مدول الاستیسیته	E	GPa	k_{xy}	انحنا
---	جرم مخصوص	ρ	Kg/m^3	γ_{xy}^0	کرنش برشی
---	ضریب پوآسون		---	ξ_1	مختصات محلی
---	کسر حجمی فیبر	V_f	---	ξ_2	مختصات محلی
---	کسر حجمی شبکه	V_m	---	ξ	مختصات محلی
---	تنش تسلیم	y	Mpa	S	طول المان
---	کشش نهایی	U_t	Mpa	\hat{n}	بردار عمود بر المان پوسته
---	کرنش		---	K_s	ضریب تصحیح برش
N	تنش		Mpa	Q	نیروی برشی
N.m	مقاومت خالص	σ_{net}	Mpa	M	گشتاور
N	مقاومت کلی	σ_{TUS}	Mpa	N	نیرو
---	تابع جابجایی در جهت x	u	---	R	شعاع
---	تابع جابجایی در جهت y	v	---	U	کار مجازی نیروهای داخلی
---	تابع جابجایی در جهت z	w	---	V	کار مجازی نیروهای خارجی
---	تابع چرخش حول محور x	φ_x	---	Ω	علامت نشان دهنده سطح میانی
N-m	علامت نشان دهنده مرز سطح	Γ	---	D_{ij}	ماتریس سفتی خمشی
---	درایه های ماتریس سختی	$Q_{ij}^{(K)}$	---	$\{\Delta\}$	ماتریس توابع جابجایی
---	ماتریس سفتی کششی	A_{ij}	N/m	n	تعداد نیم موجهای سینوسی در جهت محیطی
---	ماتریس سفتی دورانی	B_{ij}	N	m	تعداد نیم موجهای سینوسی در جهت طولی
m	ماتریس اپراتورهای مشتق	L	---	L	طول
mm	تعداد لایه ها	k	---	t_{AL}	ضخامت آلومنیوم
mm	درایه های ماتریس سفتی دورانی یافته	$\bar{Q}_{ij}^{(K)}$	---	t_{preg}	ضخامت پریپرگ

b	Bottom
1	Fibre direction
2	Transverse direction, perpendicular to the θ_{bre} direction
3	Out-of-plane direction
f	FIBER
m	Metal
t	Transverse direction
l	Longitudinal direction
0	Midplan surface

Arall	Aramid reinforced aluminium laminate
Ti	Titanium
CLT	Classical Laminate Theory
FML	Fibre Metal Laminate
FVF	Fibre volume fraction
Glare	Glass reinforced aluminium
L	Longitudinal direction (aluminium rolling and θ_{bre} layer direction)
LT	Longitudinal transverse direction (in-plane)
MVF	Metal Volume Fraction
AL	ALUMINUM
UD	Unidirectional
ET	Elevated Temperature