

تأثیر عیوب فرآیند رشته پیچی الیاف در کمانش لوله های کامپوزیتی

احسان افشاری

مدرس مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه ای، همدان، ایران

الهام عزیزی کاشانتوئی

مدرس کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، کنگاور، ایران

چکیده:

در چند دهه اخیر، استفاده از مواد مرکب به دلیل داشتن خواصی ویژه از جمله سفتی و استحکام ویژه بالا، در صنایع مختلف روندی رو به رشد را داشته است. اخیراً لوله‌ها و مخازن کامپوزیتی یکی از تولیدات مهم صنایع هوایی، دریایی و پالایشگاه‌ها می‌باشند و تا به امروز فرآیند رشته‌پیچی مناسب‌ترین روش در تولید آن‌ها محسوب می‌شود. عمده عیوب ایجاد شده در فرآیند رشته‌پیچی شامل خطای زاویه الیاف و عدم یکنواختی در توزیع رزین می‌باشد. این عیوب بر رفتار مکانیکی قطعات تولید شده تأثیر به سزایی می‌گذارد. در نتیجه در این پژوهش به بررسی تأثیر خطای زاویه الیاف و عدم یکنواختی در توزیع رزین بر رفتار کمانشی لوله های کامپوزیتی تحت فشار خارجی هیدرواستاتیک یکنواخت پرداخته شده است. در این پژوهش، کمانش لوله های کامپوزیتی تحت فشار خارجی به صورت شبیه‌سازی اجزای محدود مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا از لوله های کامپوزیتی به قطرهای ۲۵۰ و ۶۰۰ میلی‌متر و طول ۱/۳۵ متر از جنس E-glass/Epoxy استفاده شده است. تأثیر خطای زاویه الیاف و درصد حجمی الیاف بر رفتار کمانشی در لایه چینی $[±۳۰]$ و $[±۶۰]$ این قطعات مورد مطالعه قرار گرفت. اثر خطای $(±۵)$ درجه در دستگاه پیچش الیاف سبب اختلاف ۱۰ درصدی در فشار کمانشی لوله می‌شود. در لوله‌های تولید شده با نسبت طول به قطر ۴ اثر خطا سبب می‌شود فشار کمانشی تا ۱۲ درصد کاهش یابد و همچنین در نسبت قطر به ضخامت ۵۰ باعث می‌شود فشار کمانشی تا ۳۷ درصد کاهش یابد.

کلمات کلیدی: کمانش لوله، دستگاه پیچش، فرآیند رشته‌پیچی، خطای زاویه

مقدمه

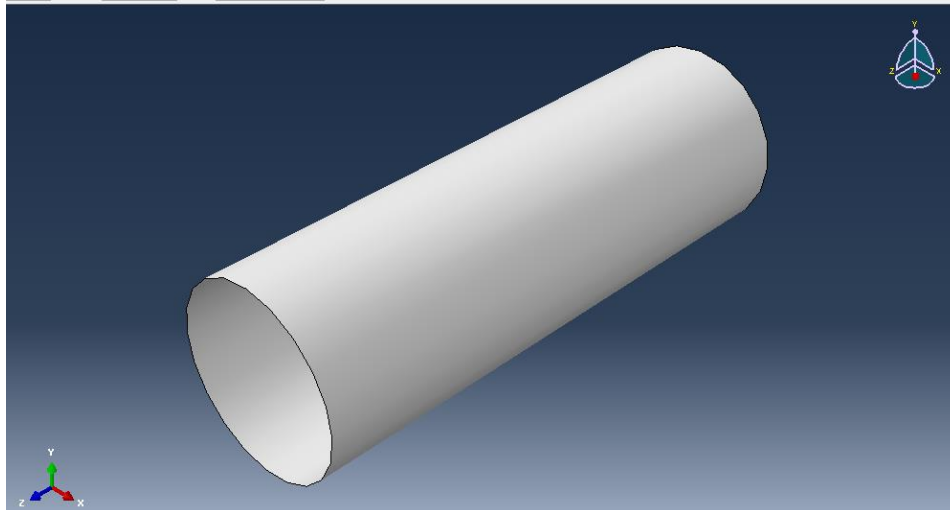
کامپوزیت به معنی ماده مرکب و مواد کامپوزیتی به معنی مواد مرکب می‌باشد. ماده مرکب از ترکیب چندین ماده با ویژگی‌ها و خصوصیات مختلف بوجود می‌آید. مطالعه تاریخ نشان می‌دهد که اولین بار ساخت مواد مرکب توسط بشر، در دوره پارسنگی می‌باشد و همچنین حدود ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در خاورمیانه از پلیمر برای قیراندود کردن قایق‌ها استفاده شده است. اما مهمترین تحولات در مواد مرکب بین سالهای ۱۸۴۷ تا ۱۹۴۶ اتفاق افتاد که دانشمندان مفهوم جدیدی از آن ارایه کردند (محسنی شکیب، ۱۳۸۷). تا قبل از ورود کامپوزیت به صنعت، فلزات و آلیاژهای آن‌ها مورد توجه صنایع فضایی و دریایی بودند اما امروزه بخش مهمی از این صنایع به آن‌ها وابسته است. آلیاژها نمونه‌ای از مواد مرکب هستند منتها از ترکیب مواد در مقیاس میکروسکوپی بوجود می‌آیند، آلیاژهای فلزی در مقیاس ماکروسکوپی، بعنوان یک ماده هموزن فرض می‌شوند. مقیاس ماکروسکوپی یعنی هر کدام از مواد تشکیل دهنده ماده پس از ترکیب، با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند. شکل ۱ ترکیب تقویت کننده و زمینه را نشان می‌دهد (رجبی و همکاران، ۱۳۸۵). در این پژوهش از الیاف شیشه پیوسته با زمینه اپوکسی استفاده شده است. از خصوصیات الیاف شیشه می‌توان به استحکام بالا، قیمت پایین، مقاومت شیمیایی بالا و خواص عایقی مناسب اشاره کرد. از معایب آن می‌توان به مدول الاستیک پایین، پیوند ضعیف به پلیمرها، وزن مخصوص بالا، حساسیت به سایش و مقاومت در برابر خستگی پایین اشاره نمود. الیاف شیشه انتخاب شده در این پژوهش از خانواده (E) انتخاب شده که این حرف معرف واژه الکتریکال به این دلیل ذکر می‌شود که این نوع الیاف برای کاربردهای الکتریکی طراحی شده است. با این وجود استحکام کششی مناسب الیاف شیشه باعث شده تا این الیاف در مخازن تحت فشار داخلی و خارجی، موشک و دیگر سازه‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. ساخت الیاف شیشه معمولاً از سنگ شیشه و الیاف توسط ذوب کردن سنگ شیشه با کنترل دقیق درجه حرارت حاصل می‌شود (کاو، ۱۳۹۲). امروزه یکی از کاربردهای مهم پوسته‌های کامپوزیتی، در تولید لوله‌های تحت فشار خارجی است. این لوله‌ها علاوه بر فشار داخلی سیال در برابر فشارهای خارجی، استحکام خوبی دارند و می‌توان از آن‌ها در فشار خارجی بالا استفاده کرد (مشایخی، ۱۳۷۴). در صنایع مکانیک ماده کامپوزیت به مفهوم ترکیب دو جزء تقویت کننده و زمینه می‌باشد. هر جزء متحمل وظیفه‌ای است که جزء اصلی یا تقویت کننده، وظیفه تحمل نیرو را دارد و در واقع خصوصیات اصلی کامپوزیت به این جزء وابسته است. جزء دیگر، زمینه نام دارد که پایه کامپوزیت است و وظیفه اصلی آن انتقال و تقسیم نیرو می‌باشد (Niu, 1988). لوله‌های کامپوزیتی از تولیدات مهم صنایع هوایی، دریایی و پالایشگاه‌ها محسوب می‌شوند و فرآیند رشته‌پیچی از مناسب‌ترین روش‌ها در تولید آن‌ها به شمار می‌آید. در قطعات ساخته شده به روش رشته‌پیچی، تحت بارگذاری‌های خارجی سبب کماتش شده که در تخریب و کاهش عمر سازه اثر گذار است. در این پژوهش، مطالعه‌ای بر معایب ساخت دستگاه پیچش الیافی صورت گرفته که قادر به تولید لوله‌هایی با قطر ۴ متر و طول ۱۲ متر می‌باشد. قسمت عمده این عیوب در فرآیند رشته‌پیچی بر روی دستگاه پیچش الیاف تمرکز دارد. امروزه دستگاه‌های پیچش الیاف، سرعت و دقت در تولید محصولات کامپوزیتی را افزایش داده‌اند. هر دستگاه پیچش الیاف دارای یک تعداد محور یا درجه آزادی مشخص است که هرچه تعداد این محورها بیشتر باشد، امکان تولید قطعات با شکل‌های پیچیده‌تر میسر خواهد شد. دستگاه پیچش الیاف نه تنها برای اشکال متقارن تک محوری بلکه برای مقاطع منشوری و حتی اشکال پیچیده نیز استفاده می‌شود. رشته‌پیچی به دو صورت مرطوب و خشک انجام می‌شود. در طول فرآیند تولید لوله‌ها کامپوزیتی، عیوبی رخ می‌دهد که این عیوب از مراحل ابتدایی ساخت الیاف و رزین تا مرحله نهایی پختن کامپوزیت اتفاق می‌افتد. از جمله عیوبی که دیده شده، می‌توان به خطای دستگاه پیچش الیاف اشاره کرد. دستگاه‌های رشته‌پیچی به دو شیوه کار می‌کنند. در شیوه اول مندرل ثابت بوده و الیاف با پیچش حول مندرل، بر روی آن پیچیده می‌شود. در شیوه دوم الیاف ثابت بوده و با چرخش مندرل، الیاف به دور آن پیچیده می‌شود (Hoa, 2009). همچنین در فرآیند رشته‌پیچی، تقویت کننده بسته به نوع آرایش و شکل ظاهری، تحت یک زاویه مشخص به دور مندرل پیچیده می‌شود. به علت وجود خطای اپراتور و خطای دستگاه، زاویه مشخص شده نیز با خطا همراه می‌شود. تغییرات زاویه سبب تغییرات در خصوصیات رفتاری ماده می‌شود. این تغییرات رفتار ماده را در فشارهای خارجی تحت تاثیر قرار می‌دهد. درصد نسبت تقویت کننده به زمینه را درصد حجمی تقویت کننده می‌گویند. در فرآیندهای تر پیچی، درصد حجمی با خطا همراه است (Mazum, 2002). در ساخت

لوله های کامپوزیتی با فرآیند رشته‌پیچی، پارامترهای متعددی برای بهینه‌سازی لوله وجود دارد که از مهم ترین آن‌ها می‌توان به هندسه لوله و خصوصیات مکانیکی ماده اشاره کرد. هدف تولید یک لوله بهینه، با ثابت نگه داشتن پارامترهای هندسی و جنس ماده اولیه است. از این رو باید به پارامترهایی مانند ضخامت و درصد حجمی الیاف در هر لایه و همچنین زاویه ترتیب قرارگیری زوایا اشاره کرد. در ساخت لوله با فرآیند رشته‌پیچی، پارامترهای مذکور تحت خطاهایی قرار می‌گیرند. در رابطه با مهمترین پارامترهای موثر بر آرایش لایه‌ها و تاثیر آن‌ها بر رفتار کمانشی لوله‌ها باید بیان کرد که اولین مطالعات انجام شده در زمینه کمانش پوسته‌ها به قرن نوزدهم میلادی مربوط می‌شود که به دلیل عدم وجود یک فرمول بندی مشخص در پایداری، بطور قابل ملاحظه‌ای متفاوت بودند. از این رو می‌توان به بهینه‌سازی استوانه‌های جدار نازک کامپوزیتی تحت فشار خارجی با ضخامت و چیدمان مختلف در لایه‌ها پرداخت (Soden et al, 1993). با فرمول‌سازی و بهینه‌سازی مساله به کمک الگوریتم ژنتیک، هشت مخزن را با ضخامت‌های مختلف بررسی کرد و اختلاف بین حل عددی و تجربی آن‌ها در کمانش برابر ۵ درصد و در شکست برابر ۳ درصد در نظر گرفت. روش بهینه‌سازی استفاده شده در این مطالعه، سبب افزایش ۲۰ درصدی استحکام لوله در برابر فشار بحرانی کمانش شد. تحقیقات آن‌ها بر روی چهار مخزن از جنس کربن اپوکسی و چهار مخزن از جنس شیشه اپوکسی در ضخامت‌های مختلف انجام شد که نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد لایه چینی‌ها، ضخامت مخزن افزایش می‌یابد. همچنین ضخامت از پارامترهای موثر در بار کمانشی محسوب می‌شود که افزایش آن منجر به افزایش بار کمانشی می‌شود (Messenger et al, 2002).

روش تحقیق

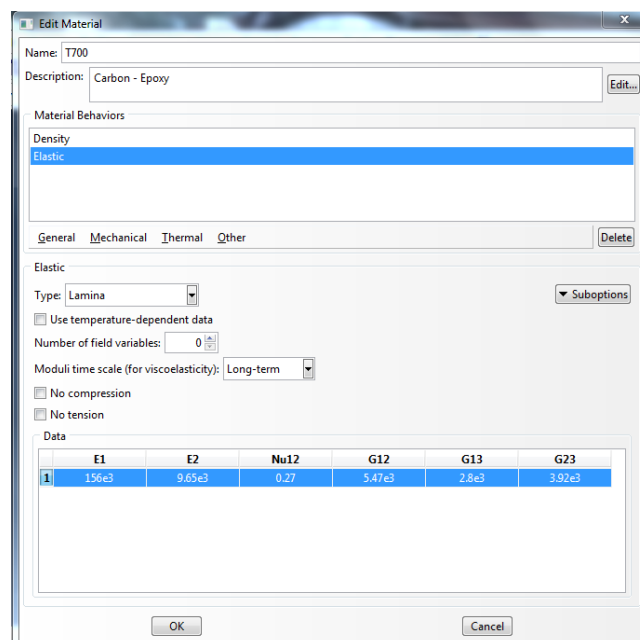
با وجود اینکه مدل سازی و شبیه‌سازی پدیده های واقعی و تحلیل فیزیکی آن‌ها به صورت دقیق، امری محال است اما ایجاد مدل های کامپیوتری کمک می‌کند تا رفتار و عملکرد پدیده های واقعی را بتوان با استفاده از آزمایش ها مورد بررسی قرار داد. البته شبیه‌سازی پدیده ها، ناگزیر از ساده سازی و ایده آل سازی می‌باشد (Frulloni et al, 2007). نرم‌افزارها توانایی حل معادلاتی را دارند که در گذشته یکی از معضلات بزرگ و حل نشدنی به شمار می‌آمد. از این میان می‌توان به نرم‌افزار آباکوس که یکی از قوی ترین ابزارهای تحلیل در صنایع مکانیک، هوافضا، دریایی و عمران است اشاره کرد. این نرم‌افزار بر مبنای روش المان محدود کار می‌کند. در گستره توانمندی های این نرم افزار، می‌توان به شبیه‌سازی مواد مرکب اشاره کرد (Liu et al, 2014). زمانی که لوله تحت فشار خارجی قرار گیرد در هندسه و خواص ماده اش رفتاری غیر خطی رخ می‌دهد که تحلیل غیر خطی کمانش لازمه کار، قرار می‌گیرد. تحلیل غیر خطی نیازمند رابطه تغییرات افزایشی نیرو به تغییرات افزایشی جابجایی می‌باشد (Kim and kim, 2002). یکی از پدیده های واقعی که نتایج آزمایشات و شبیه‌سازی به آن نزدیک است، پدیده کمانش در لوله های کامپوزیتی می‌باشد. با دانشی کافی از رفتار مواد مرکب، شبیه‌سازی لوله های کامپوزیتی با نرم افزار آباکوس نتایج قابل قبولی را ارائه کرده است (Moon et al, 2010). مطابق اشکال ۱ ابتدا مدل هندسی مخزن و در شکل ۲ به تعریف ماده پرداخته می‌شود. همچنین جهت گیری الیاف بر دیواره لوله در نرم افزار تعریف می‌شود و در شکل ۳ مراحل بعدی شرایط بارگذاری و شرایط مرزی همانند پدیده واقعی اعمال می‌گردد. نرم افزار پس از تحلیل مساله نتایجی مشابه لوله کامپوزیتی تحت آزمایش ارائه می‌دهد که صحت و دقت شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. اکنون با تغییر در خواص ماده و همچنین ترتیب و زاویه لایه ها، رفتار لوله ها را می‌توان در برابر فشارهای خارجی مورد بررسی قرار داد. مدل سازی لوله کامپوزیتی شامل جداره آن است. جداره این لوله به عنوان پوسته ای با قابلیت تغییر شکل در نظر گرفته شده است (Kyoung et al, 1999).

سیزدهمین کنفرانس بین المللی



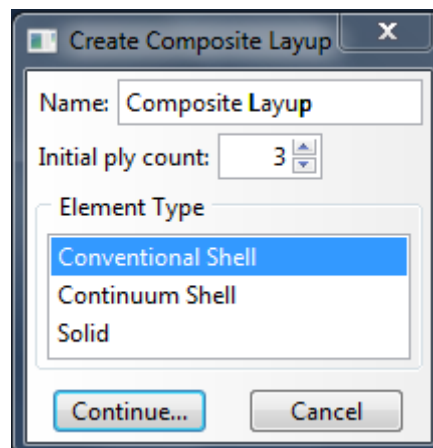
شکل ۱ مدل سه بعدی مخزن کامپوزیتی

برای تحلیل و آنالیز لوله های کامپوزیتی، تعریف خواص و ویژگی های مواد تشکیل دهنده آن باید مورد توجه قرار بگیرد. مواد کامپوزیتی به چند گونه تعریف می شوند که یکی از راه های مدل سازی آن ها تعریف مدول الاستیسیته (E_1, E_2, E_3)، ضریب پواسون ($\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$) و همینطور مدول های برشی (G_{12}, G_{13}, G_{23}) می باشد. پس از تعریف خصوصیات مکانیکی کامپوزیت نوبت به ایجاد مقطع می رسد. یک مقطع، حاوی اطلاعاتی از خواص ماده است که به یک مدل یا قسمتی از آن نسبت داده خواهد شد. در این مدل سازی مقطع لوله، پوسته فرض شده است. تعریف خصوصیات ماده کامپوزیت در یک پوسته کامپوزیتی مطابق شکل ۲ مدل می شود.

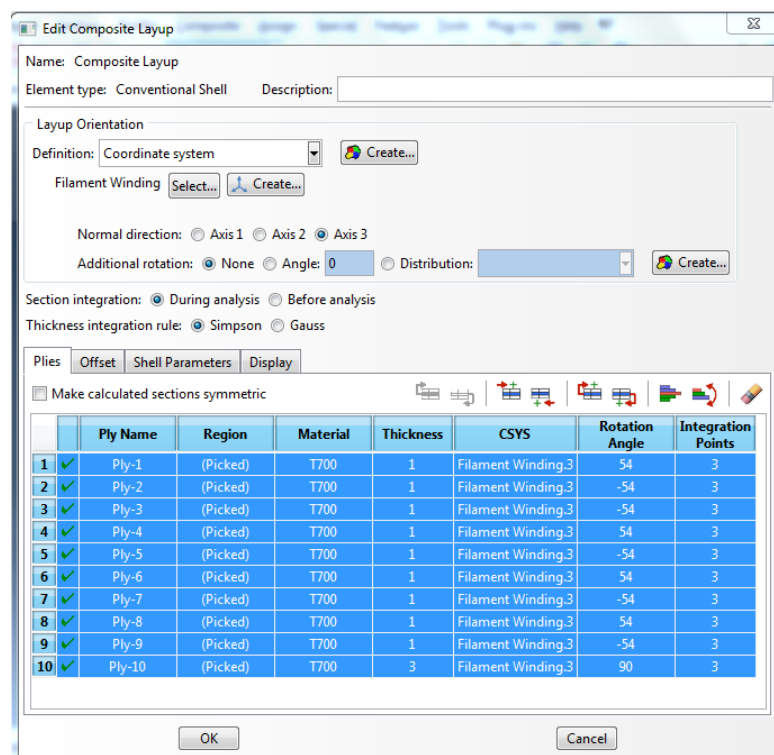


شکل ۲ تعریف خصوصیات مکانیکی مواد کامپوزیتی در نرم افزار

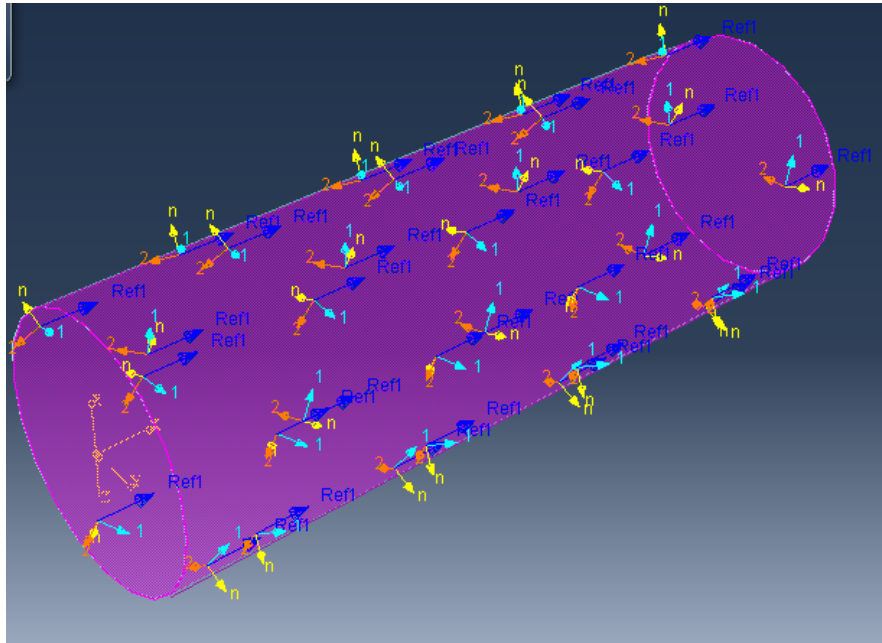
پس از تعریف خصوصیات ماده یک Section که برای تعریف نحوه چیدمان لایه ها، ضخامت و زاویه الیاف ایجاد می‌شود. در شکل ۳ نشان داده شده است که مواد کامپوزیت به صورت تعریف Composite Layup شده است. در این قسمت پس از لایه چینی و جهت گیری مواد برای هر لایه یک مختصات تعریف می‌شود که الیاف نسبت به مختصات تعیین شده قرار می‌گیرند تنظیمات مربوط به لایه چینی و زاویه چینی در شکل ۴ و تنظیمات مربوط به تعریف مختصات و زاویه الیاف در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳ تعیین المان در مدل سازی مواد کامپوزیتی در نرم افزار

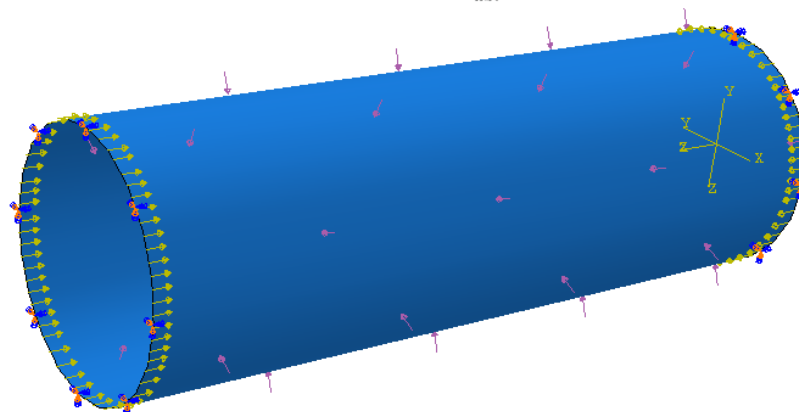


شکل ۴ زاویه چینی و تعیین خصوصیات هر لایه در مدل سازی مواد کامپوزیت در نرم افزار



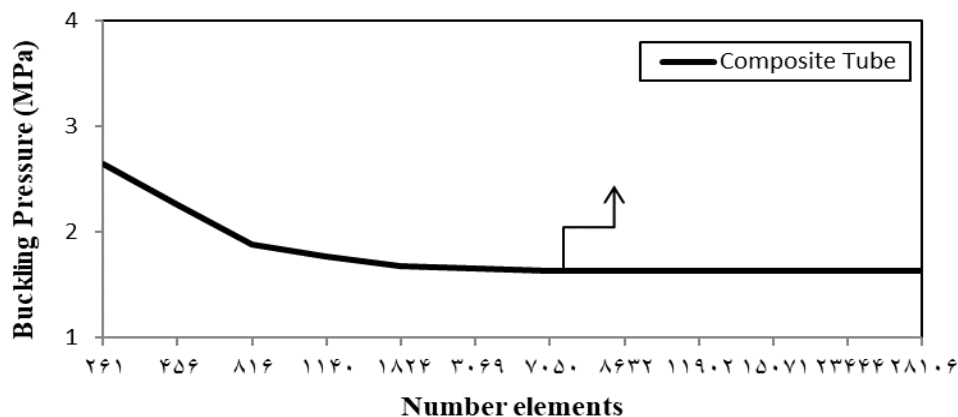
شکل ۵ تعیین مختصات و فرارگیری زاویه لایه‌های $[\pm 54]$

در این ماژول قطعات در کنار یکدیگر و در قسمتهای مشخص شده قرار می‌گیرند. لوله کامپوزیتی شامل یک پوسته استوانه‌ای می‌باشد در این محیط نوع تحلیل انتخاب می‌شود. در ابتدای کار، نرم‌افزار یک گام اولیه ایجاد می‌کند. این گام برای هر مدل ثابت است و این اجازه را به کاربر می‌دهد تا به تعریف شرایط مرزی، میدان‌های موجود و برهم کنش‌ها بپردازد که این عملیات معمولاً برای ادامه هر تحلیل لازم می‌باشند. برای تحلیل کماتش در مخزن کامپوزیتی، پس از انتخاب Linear perturbation، گزینه Buckle انتخاب می‌شود. در این بخش کاربر می‌تواند به ایجاد یک یا چند گام تحلیل بپردازد. یکی از مراحل مهم در تحلیل، تعریف عامل خارجی تاثیر گذار بر روی مدل است که با تغییر و نحوه اعمال این عامل خارجی، نتیجه مسئله تغییر می‌کند. در این محیط به تعریف اعمال بارهای خارجی، شرایط مرزی و تکیه گاه‌ها پرداخته می‌شود. برای ایجاد بارگذاری ابتدا باید عوامل خارجی تاثیر گذار بر مدل را شناسایی و مورد ارزیابی قرار داد. در لوله‌های تحت فشار خارجی، بارگذاری فشاری مدنظر است که از این رو، از دسته بارهای مکانیکی، بارگذاری فشاری انتخاب می‌شود. سپس سطح جانبی خارجی لوله را به عنوان محل بارگذاری انتخاب می‌شود و مقدار بار وارد شده برحسب پاسکال وارد می‌شود. پس از آن شرایط مرزی را برای لوله تعیین می‌شود. دو سر لوله به عنوان یک تکیه‌گاه فرض می‌شود که تنها در جهت محور اصلی لوله آزاد است. اما برای تثبیت لوله در جهت محور اصلی یک نود در راستای محور از تمامی جهات مقید می‌شود. نحوه اعمال بارگذاری و شرایط مرزی در شکل ۶ نشان داده شده است. روش اجزای محدود از مهم‌ترین و راه‌گشا ترین روش‌های شناخته شده در حل مسائل می‌باشد که دقت نتیجه آن به نوع المانی که برای شروع حل انتخاب می‌شود، بسیار وابسته است. یک المان نامناسب می‌تواند امکان حل مسئله را از بین ببرد، سرعت حل را پایین آورد یا حتی خطای حل را بسیار بالا ببرد. پیچیدگی قطعه کار در محیط ترسیم موجب به پیچیدگی المان بندی در محیط شبکه بندی می‌شود. به همین منظور ترسیم ساده‌تر نتایج بهتری در المان بندی می‌گذارد. المان بندی یک پوسته استوانه‌ای از جمله ترسیم‌های ساده می‌باشد. تعیین نحوه تولید مش یکی از مهمترین عملیات‌های محیط مش بندی است، معمولاً برای مدل‌هایی که از روش اکستروژن ایجاد شده‌اند از تکنیک Sweep برای مش زدن استفاده می‌شود که نسبت به یک مسیر مشخص المان بندی می‌کند و این امکان وجود دارد که این مسیر توسط کاربر تعیین شود. در این مدل سازی، المان‌ها در راستای طول مخزن چیده شده‌اند (Moiri et al, 2013).



شکل ۶ اعمال بارگذاری و شرایط مرزی در مدل

تبدیل مدل مهندسی به مدل اجزای محدود، نیازمند مش بندی است. اندازه مش در حل معادلات بسیار مهم است. برای اعتبار داشتن یک حل المان محدود، باید همگرایی اتفاق افتاده باشد. با کوچکتر شدن اندازه مش، تعداد مش ها افزایش یافته که در نهایت موجب افزایش زمان محاسبات می شود اما حل مسئله دقیق تر می شود تا جایی که کاهش اندازه مش، در جواب مسئله تاثیرگذار نیست. تضمین این اتفاق که اصل معتبر بودن حل را تعیین می کند، اعتبارسنجی خوانده می شود. برای همگرا کردن جواب ها در لوله کامپوزیتی، تعداد مش های متفاوتی زده شد و مدل مورد تحلیل قرار گرفت. برای هر تعداد از مش ها، Eigenvalue های مختلفی بدست می آمد تا جایی که با ریزتر شدن مش ها جواب مساله تغییر نمی کرد. به بیانی دیگر فشار بحرانی کمانش بدست آمده مستقل از اندازه المان ها می باشد. شکل ۷ نشان دهنده همگرایی مش در لوله کامپوزیتی با ۷۱۲۰ المان می باشد. همگرایی مش در مخزن کامپوزیتی به همین صورت انجام شد که تعداد مش های ایجاد شده بر روی لوله کامپوزیتی برای همگرایی جواب ها معادل ۲۴۵۴۴ المان بدست آمد.

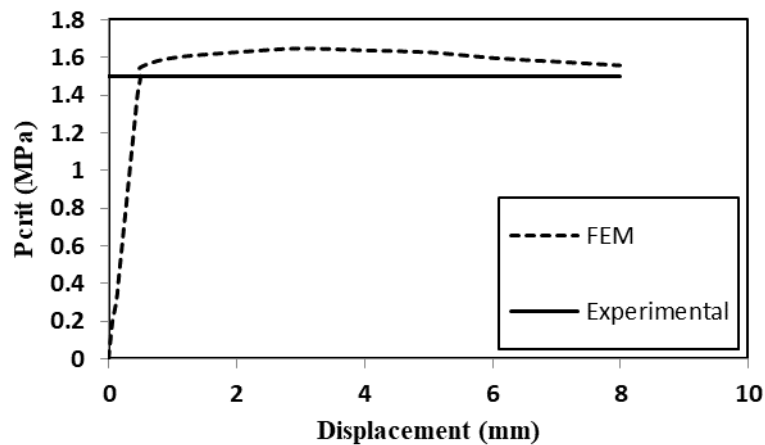


شکل ۷ همگرایی مش در لوله کامپوزیتی

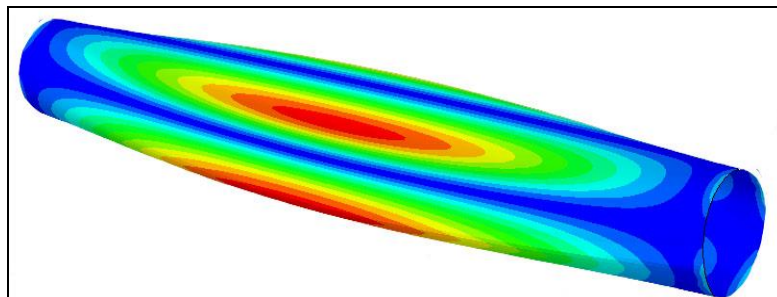
در این مازول تحلیل مدل به پایان می رسد و فقط مشاهد نتایج، که در مازول Visualization صورت می گیرد، باقی می ماند. در آخر توسط گزینه نتایج وارد محیط مشاهد نتایج شده و نتایج تحلیل مشاهده خواهد شد. پس از پایان شبیه سازی، در این مرحله

نتایج تحلیل مشاهده می‌شود که شامل توزیع تنش و کرنش در المان‌های مختلف و محاسبه فشار کمانشی در لوله می‌باشد. شکل ۸ تا ۱۹ نشان دهنده نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی لوله کامپوزیتی است.

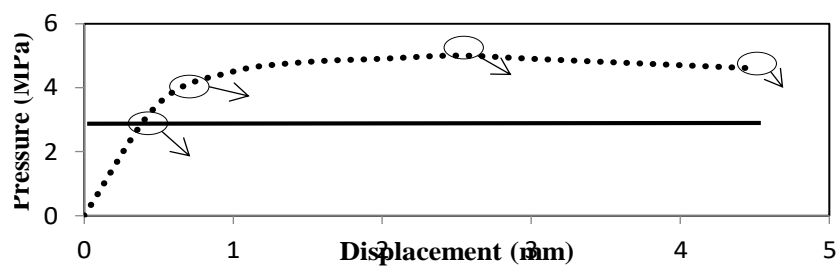
یافته ها



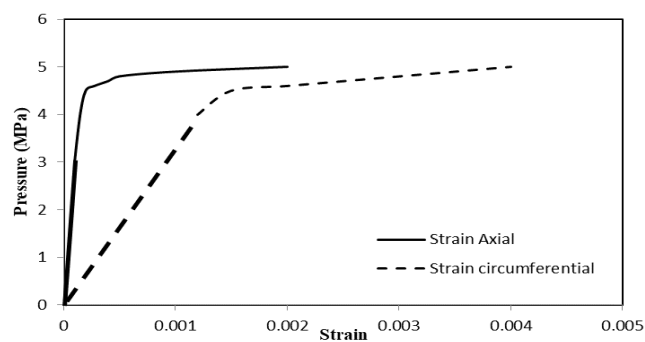
شکل ۸ نمودار فشار جابجایی در لوله کامپوزیتی



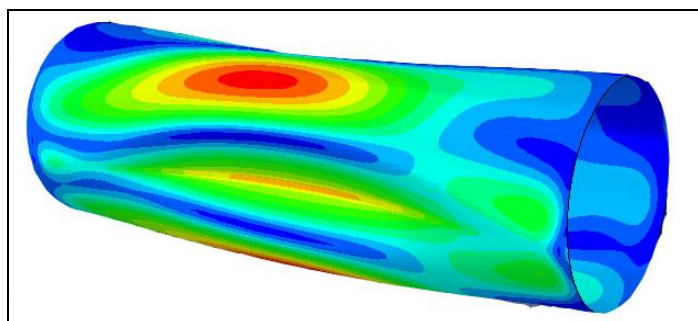
شکل ۹ لوله کامپوزیتی شبیه‌سازی شده با المان محدود



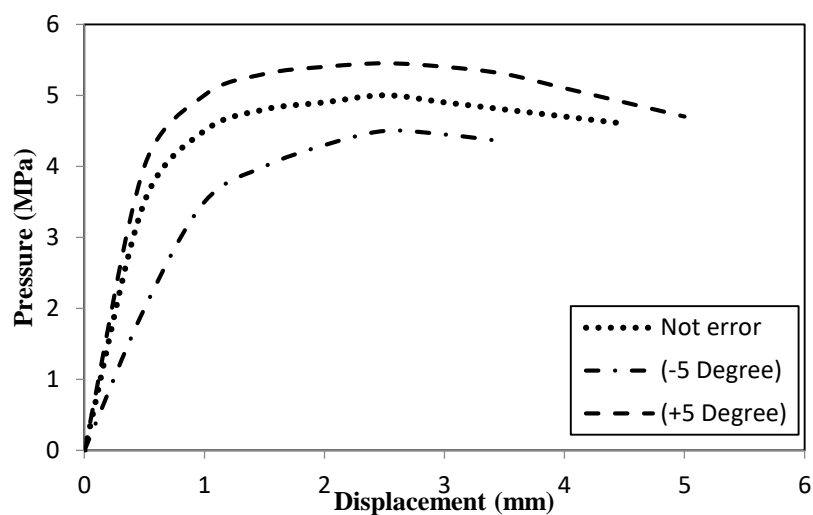
شکل ۱۰ نمودار فشار جابجایی در لوله کامپوزیتی



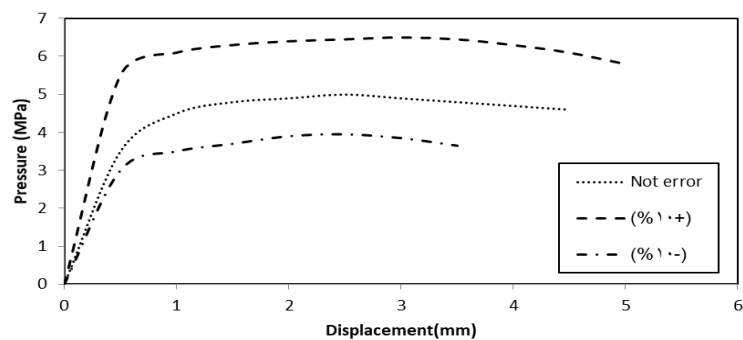
شکل ۱۱ کرنش‌های طولی و جانبی در لوله کامپوزیتی



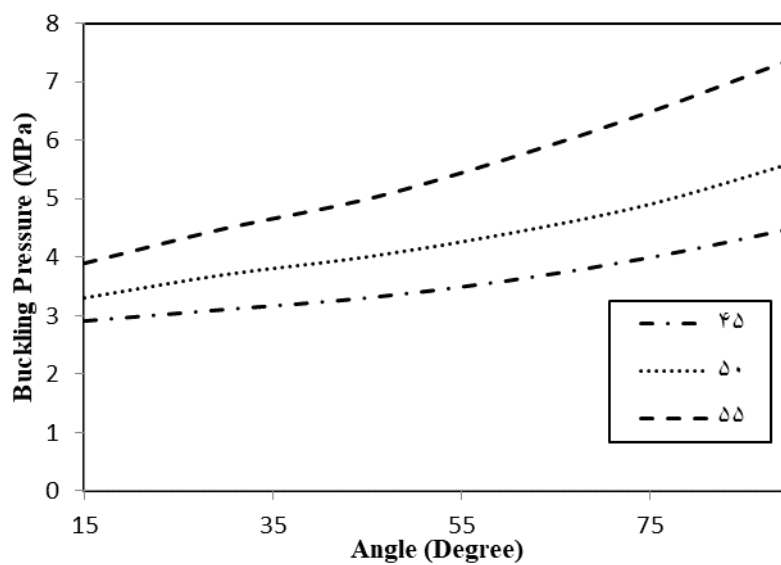
شکل ۱۲ مخزن کامپوزیتی تحت فشار خارجی هیدرواستاتیک ۵ مگاپاسکال



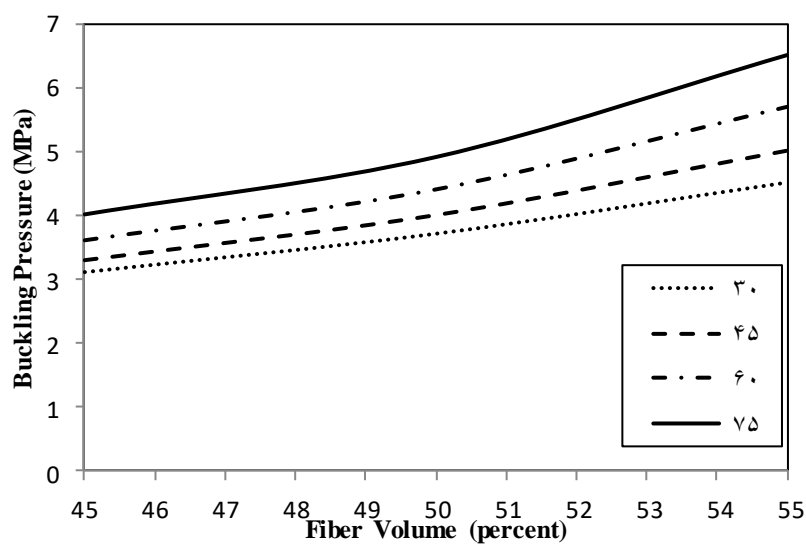
شکل ۱۳ اثر خطای زاویه در نمودار فشار جابجایی به کمک نرم افزار شبیه سازی



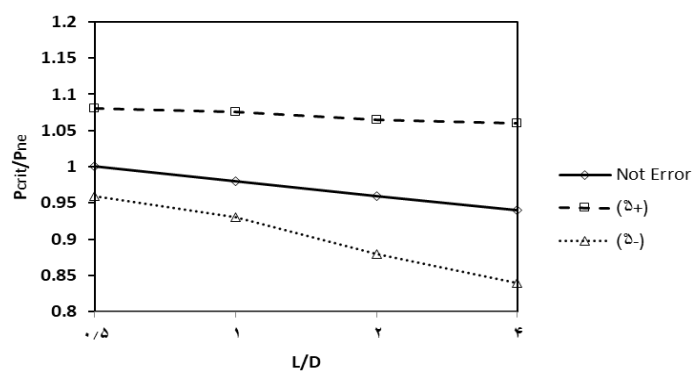
شکل ۱۳ اثر خطای درصد حجمی در نمودار فشار جابجایی



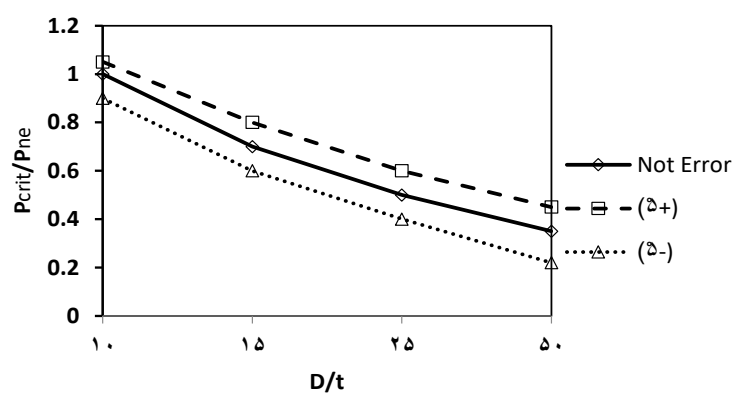
شکل ۱۴ اثر زاویه در فشار بحرانی کماتش



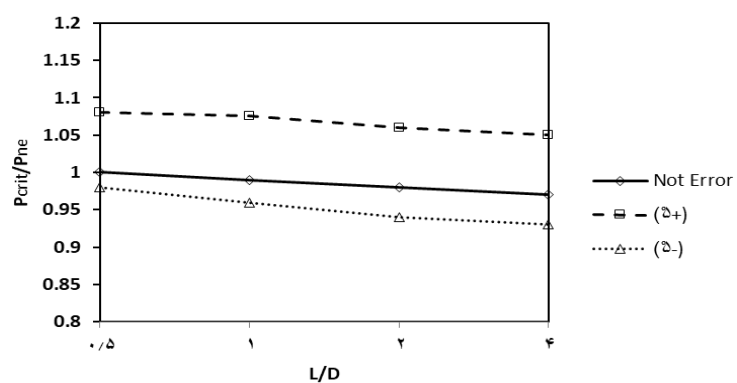
شکل ۱۵ اثر درصد حجمی بر کماتش مخازن کامپوزیتی به کمک شبیه‌سازی



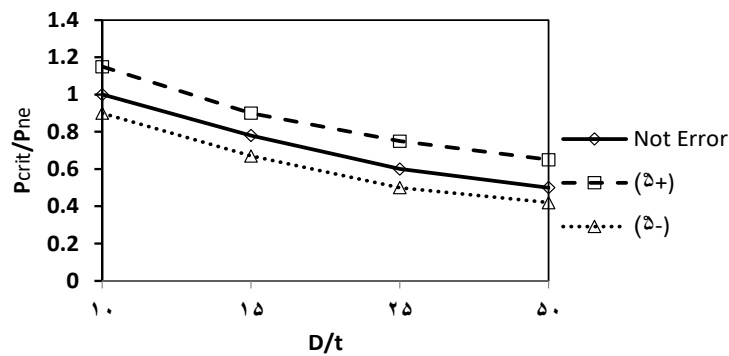
شکل ۱۶ اثر خطای زاویه رشته‌پیچی در مخازن $[\pm 30^\circ]$ بر حسب نسبت طول به قطر



شکل ۱۷ اثر خطای زاویه رشته‌پیچی در مخازن $[\pm 30^\circ]$ بر حسب نسبت قطر به ضخامت



شکل ۱۸ اثر خطای زاویه رشته‌پیچی در مخازن $[\pm 60^\circ]$ بر حسب نسبت طول به قطر



شکل ۱۹ اثر خطای زاویه رشته‌پیچی $[\pm 60]$ بر حسب نسبت قطر به ضخامت

بحث و نتیجه گیری

در ساخت لوله‌های کامپوزیتی توسط دستگاه پیچش الیاف، عیوبی غیر قابل پیش بینی رخ می‌دهد که در رفتار مکانیکی ماده در برابر کمانش اثر گذار است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که زاویه 90° درجه در برابر فشارهای خارجی استحکام بیشتری در برابر زاویه صفر درجه دارد. البته عملاً رشته‌پیچی زاویه صفر درجه امکان پذیر نیست و حداقل زاویه رشته‌پیچی در مخازن 15° درجه می‌باشد. افزایش فشار کمانشی در یک مخزن با لایه چینی 90° درجه نسبت به یک مخزن با لایه چینی 15° درجه برابر 44% درصد می‌باشد. تغییرات درصد حجمی در لایه چینی در یک زاویه مشخص در رفتار کمانشی مخزن تاثیر گذار است. اگر درصد حجمی به میزان 5% درصد افزایش پیدا کند، افزایش فشار کمانشی در یک لوله با لایه چینی 90° درجه نسبت به یک لوله با لایه چینی 15° درجه برابر 22% درصد می‌باشد. همچنین اگر درصد حجمی به میزان 5% درصد کاهش یابد، فشار کمانشی در لوله با لایه چینی 90° درجه نسبت به یک مخزن با لایه چینی 15° درجه برابر 31% درصد افزایش می‌یابد. اگر محدوده خطای درصد حجمی در تولید لوله به روش رشته‌پیچی $(\pm 5\%)$ درصد در نظر گرفته شود، لوله‌های تولید شده با زاویه‌های بزرگ تر عملکرد بهتری در برابر فشارهای خارجی دارند. تغییرات درصد حجمی در رشته‌پیچی لوله‌ها با زاویه‌های $(30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 70^\circ)$ درجه نشان می‌دهد که اختلاف فشار کمانشی در اثر خطای زاویه کمتر از خطای درصد حجمی می‌باشد. خطای زاویه در لوله‌های رشته‌پیچی با طول‌ها و قطرهای مختلف اثر گذار است. زاویه لوله‌های رشته‌پیچی در نسبت طول به قطرهای $(0.5, 1, 2, 4)$ نشان می‌دهد که زوایای بزرگ تر عملکرد بهتری دارند. اثر خطای زاویه در اختلاف فشار کمانشی، لوله‌های رشته‌پیچی با زاویه $[\pm 30^\circ]$ درجه در نسبت طول به قطر 4 برابر 6% درصد و در لوله‌های رشته‌پیچی با زاویه $[\pm 45^\circ]$ درجه اختلاف فشار کمانشی در نسبت طول به قطر 4 برابر 3% درصد و در لوله‌های رشته‌پیچی با زاویه $[\pm 60^\circ]$ درجه اختلاف فشار کمانشی در نسبت طول به قطر 4 برابر 3% درصد می‌باشد. پارامتر موثر دیگر در ساخت لوله‌های کامپوزیت نسبت قطر به ضخامت‌های مختلف است. با افزایش نسبت قطر به ضخامت، فشار کمانشی کاهش می‌یابد. اثر خطای زاویه در اختلاف فشار کمانشی در لوله‌های رشته‌پیچی با زاویه $[\pm 30^\circ]$ درجه در نسبت قطر به ضخامت 50 برابر 65% درصد و در لوله‌های رشته‌پیچی با زاویه $[\pm 45^\circ]$ درجه اختلاف فشار کمانشی در نسبت قطر به ضخامت 50 برابر 55% درصد و در لوله‌های رشته‌پیچی با زاویه $[\pm 60^\circ]$ درجه اختلاف فشار کمانشی در نسبت قطر به ضخامت 50 برابر 50% درصد می‌باشد. بیشترین اثر خطای زاویه در لایه چینی $[\pm 30^\circ]$ دیده شده که نشان می‌دهد فشار کمانشی در نسبت قطر به ضخامت (50) تا 37% درصد کاهش می‌یابد. از این رو دستگاه‌های پیچش الیاف با دقت $(\pm 5^\circ)$ درجه در تولید لوله‌ها کاربرد مطلوبی دارند و پیشنهاد می‌شود با افزایش ضخامت مخزن و رشته‌پیچی $[90^\circ]$ درجه در لایه‌های بالایی استحکام لوله را در برابر فشارهای کمانشی افزایش داد.

منابع

- محسنی شکیب، سید محسن، ۱۳۸۸، مکانیک سازه‌های مرکب، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)
- کدیور، محمد حسین، رجیبی، ایرج، جمالی، محمد حسین، ۱۳۸۵، مفاهیم اساسی در مواد مرکب، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- آواتارک، کاو، مکانیک مواد مرکب، مترجمان، باوی، نوید، باوی، امید، صالحی، منوچهر، ۱۳۹۲، چاپ دوم، تهران، انتشارات عابد
- مشایخی، محمد، ۱۳۷۴، پایان نامه بررسی کمانش پوسته‌های متقارن و حل آن با روش اجزا محدود، دانشگاه صنعتی اصفهان
- M. C. Y. Niu,(1988), Airframe Structural Design, Connilit Press
- S. V. Hoa,(2009), Principles of the Manufacturing of Composite Materials, DEStech publications, Inc
- S. K. Mazumdar,(2002), Composite Manufacturing Materials, product and Process Engineering, CRC Press
- P.D. Soden, R. Kitching, P.C. Tse, Y. Tsavalas, M.J. Hinton,(1993), Influence of winding angle on the strength and deformation of filament-wound composite tubes subjected to uniaxial and biaxial loads, Composite Science and Technology Vol. 46. pp. 363-378
- T. Messenger, M.Pyrz, B.Gineste, P.Chauchot, Optimal laminations of thin underwater
- E. Frulloni, J.M. Kenny, P. Conti, L. Torre,(2007), Experimental study and finite element analysis of the elastic instability of composite lattice structures for aeronautic applications"; Composite Structures Vol. 78. pp. 519–528
- P.F. Liu, L.J. Xing, J.Y. Zheng,(2014), Composites Part B ,Failure analysis of carbon fiber/epoxy composite cylindrical laminates using explicit finite element method, Vol .56. pp. 54-61
- S.E. Kim, C.S. Kim,(2002), Buckling strength of the cylindrical shell and tank subjected to axially compressive loads, Thin-Walled Structures Vol. 40. pp. 329-353
- J. Moon, I.H. Kim, B.H. Choi, J.H. Kweon, J.H. Choi,(2010), Journal of Composite Structures ,Buckling of filament-wound composite cylinders subjected to hydrostatic pressure for underwater vehicle applications, Vol. 92. pp. 2241–2251
- W.M. Kyoung, C.G. Kim, C.S. Hong, (1999), Composite Structures ,Buckling and postbuckling behavior of composite cross-ply laminates with multiple delaminations Vol. 43. pp. 257-274
- Moiri, Hamed, Faruzesh, Farinaz, Zamani Sani, Seyed Mohammad, Emami, Arzoo, (2013), finite element analysis of engineering problems with the help of ABAQU, first edition, Tehran, Fadak Isatis Publications

The effect of fiber twisting process defects on the buckling of composite pipes

Ehsan Afshari

Lecture of Mechanical Engineering , Technical and
Vocational University, Hamadan, Iran

Elham Azizi Kashantoei

Lecturer Agriculture Engineering, Islamic Azad
University, Kangavar, Iran

Abstract:

In the last few decades, the use of composite materials has had a growing trend in various industries due to their special properties, including high specific stiffness and strength. Recently, composite pipes and tanks are one of the important products of aviation, marine and refineries industries, and until today, the threading process is considered the most suitable method in their production. The major defects created in the filament winding process include fiber angle error and unevenness in resin distribution. These defects significantly affect the mechanical behavior of the produced parts. As a result, in this research, the effect of fiber angle error and non-uniformity in resin distribution on the buckling behavior of composite pipes under uniform hydrostatic external pressure has been investigated. In this research, the buckling of composite pipes under external pressure has been studied in the form of finite element simulation. In this regard, composite pipes with diameters of 250 and 600 mm and length of 1.35 meters made of E-glass/Epoxy have been used. The effect of fiber angle error and volume percentage of fibers on buckling behavior in porcelain layer [± 30] and [± 60] of these parts was studied. The effect of (± 5) degree error in the fiber twisting device causes a 10% difference in the buckling pressure of the pipe. In pipes produced with a ratio of length to diameter of 4, the effect of error causes the buckling pressure to decrease by 12%, and also in the ratio of diameter to thickness of 50, it causes the buckling pressure to decrease by 37%.

Keywords: Pipe buckling, twisting machine, strand twisting process, angle error