



## دانشگاه ارومیه

### دانشکده فنی و مهندسی – گروه مهندسی عمران

گزارش های پیشرفت کار پایان نامه دوره دکتری تخصصی

دانشجویان دکتر شوکتی

## بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار کمانشی پوسته های استوانه ای جدار نازک با مصالح GFRP تحت بار

### محوری

#### رباب ناصری قلقاچی

دانشجوی دکتری سازه، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه

:

[r.naseri@urmia.ac.ir](mailto:r.naseri@urmia.ac.ir)

#### خلاصه

سازه های پوسته ای جدار نازک بدلیل فرم مناسب از جمله سازه های پر کاربرد در صنایع مدرن محسوب می شوند. از جمله این کاربردها در مخازن نفتی، سکوهای فراساحل و سیلوها می باشند. این سازه ها به دلیل جدار نازک بودن یعنی نسبت بسیار کم ضخامت به شعاع پوسته و نیز بدلیل میدان نیروی داخلی فشاری ایجاد شده در برابر نیروهای خارجی اعمالی به پوسته ها، مستعد خرابی کمانشی هستند. با توجه به اینکه سیلوها و مخازن جز سازه های پرهزینه و مهم برای هر کشوری هست، مهندسان طراح باید آگاهی دقیقی از رفتار پوسته در تمام انواع بارگذاری داشته باشند. امروزه با استفاده از مزایای منحصر به فرد الیاف و پلیمر می توان مواد کامپوزیتی با کارایی بالا تولید کرد. با توجه به خواص مکانیکی جذاب آنها، از جمله نسبت مقاومت به وزن و سختی به وزن بالا و نیز مقاومت در برابر خوردگی ناشی از مواد شیمیایی، سازه های پوسته ای کامپوزیتی تقویت شده با الیاف به طور فزاینده ای جایگزین مواد ایزوتروپیک معمول، در صنایع مختلف هوا و فضا، دریایی و خودرو شده اند. همانند هر پوسته وجود بارگذاری داخل صفحه ممکن است باعث کمانش شود. دانستن دقیق بارهای کمانشی، شکل مودال و رفتار پس کمانشی برای طراحی اقتصادی قابل اعتماد سازه های پوسته ای ضروری است.

مهمترین الیاف مورد استفاده در کامپوزیت ها کربن و شیشه می باشد. الیاف شیشه در کنار مزایایی که دارند به علت قیمت پایین و مقاومت شیمیایی بالای آنها نسبت به الیاف کربن در این پژوهش استفاده می شوند. همچنین در این تحقیق به منظور افزایش بهره روری در پوسته های جدار نازک از جداره کامپوزیت با الیاف GFRP در طول کل پوسته بجای فولاد استفاده می شود و رفتار کمانشی و پس کمانشی این پوسته ها تحت بار محوری در آزمایشگاه مورد بررسی و با نتایج نرم افزاری و تئوری مورد مقایسه قرار می گیرد.

**کلمات کلیدی:** پوسته های استوانه ای کامپوزیتی، بار محوری، کمانش، مصالح GFRP

#### ۱) معرفی

موضوع کمانش و پس کمانش پوسته های کامپوزیتی چندلایه در مقایسه با پوسته های ایزوتروپیک تاریخچه نسبتاً کوتاهی دارد. این وجود، در طی این مدت کوتاه تحقیقات قابل توجهی صورت گرفته است و به پایداری سازه های پوسته ای غیر ایزوتروپیک توجه چشمگیری شده است. مطالعات متعدد در مورد تحلیل و مدلسازی پوسته های استوانه ای چند لایه کامپوزیت انجام شده است. با این حال، نظریه های مورد استفاده در این تجزیه و تحلیل ها عمدتاً توسعه یافته مدل های مختلف ایزوتروپیک هستند. رفتار کمانشی

## دانشگاه ارومیه

### دانشکده فنی و مهندسی – گروه مهندسی عمران

گزارش های پیشرفت کار پایان نامه دوره دکتری تخصصی

دانشجویان دکتر شوکتی

اعضای استوانه‌ای در ابتدا توسط Lorenz (۱۹۰۸) مورد تحلیل قرار گرفت پس از آن، Donnell (۱۹۳۴) متوجه شد که تحلیل های پایداری خطی کافی نبوده و پیشنهاد کرد که نیاز به یک روش تحلیل است که تغییرشکل‌های بزرگ را در نظر بگیرد. اولین روش دقیق برای تحلیل غیرخطی هندسی توسط Von Karman and Tsien (۱۹۴۱) به دست آمد. تحقیقات انجام شده توسط Donnell (۱۹۵۰) and Wan اهمیت زیادی داشتند و نشان می‌داد که علت اختلاف بین نتایج تجربی و آزمایشگاهی ناکاملی‌های اولیه می‌باشد. (۱۹۶۳) Tennyson آزمایشهایی روی ۵ نمونه پوسته استوانه‌ای با تکیه‌گاههای گیردار و تحت بار محوری انجام داد. (۲۰۰۰) Mandal and Calladin آزمایشهایی بر روی پوسته‌های استوانه‌ای از جنس لاستیک سیلیکون کوچک مقیاس که تحت وزن خود قرار گرفته بود انجام دادند. (۲۰۱۲) Prabu et al. مطالعه عددی در مورد پوسته‌های استوانه‌ای جدارنازک که دارای ترکیبی از ناکاملی هندسی موضعی و توزیع شده بودند، انجام دادند. (۲۰۱۵) Naryana et al لیل غیرخطی کمانش و پس‌کمانش پوسته‌های استوانه‌ای با ناکاملی را تحت بار فشاری محوری انجام دادند (۲۰۱۵) Vakili and showkati رفتار پوسته‌های استوانه‌ای جدار نازک تحت فشار داخلی به همراه فشار محوری را در آزمایشگاه و به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند و همچنین تغییرات ارتفاع و موقعیت FRP در روند مقاوم‌سازی را بررسی کرده و مطابقت آن با ارتفاع و موقعیت رخداد پافیلی به عنوان بهترین نتیجه را نشان دادند. (۲۰۱۷) Jacob et al رفتار پوسته‌های استوانه‌ای فلزی سورخدار و بدون سورخ تحت بار محوری را در آزمایشگاه مورد بررسی قرار دادند. (۲۰۱۸) Christopher رفتار کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای بدون ناکاملی را بررسی کرد. Khot (۱۹۷۰) روشی برای رفتار پس‌کمانش پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی چند لایه با در نظر گرفتن ناکاملی اولیه ارائه کرد. Khot (۱۹۷۰) and Venkayya روشی برای پس‌کمانش پوسته‌های استوانه‌ای چند لایه کامپوزیتی ارائه کرد که معادله تعادل پوسته را ارضا می‌کرد اما شرایط مرزی از قبیل تکیه‌گاههای ساده و گیردار را ارضا نمی‌کرد. (۱۹۷۳) Tennyson and Muggeridge یک روش طراحی جدید برای تخمین محافظه‌کارانه مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای غیرایزوتروپیک تحت بار محوری ارائه دادند. (۱۹۹۳) Birman and Bert رفتار پس‌کمانشی صفحات و پوسته‌های کامپوزیتی را تحت بار محوری و افزایش حرارت یکنواخت نشان دادند. (۲۰۰۰) Smerdov یک روش محاسباتی برای فرمول بندی بهینه مسایل بهینه‌سازی روی پوسته‌های استوانه‌ای لمینیتی تحت بارهای محوری فشاری انجام داد. (۲۰۰۲) Weaver et al نشان دادند که برای پوسته استوانه‌ای شبه ایزوتروپیک که زوایای الیاف در آنها ۰، ۹۰، ۴۵ / -۴۵ می‌باشد حداقل تعداد لایه‌ها برای اینکه کوپل پیچشی- خمشی از بین برود برابر ۴۸ می‌باشد. (۲۰۰۸) Hui-Shen تئوری لایه مرزی را برای بررسی کمانش و پس‌کمانش پوسته‌های استوانه‌ای لمینیتی تحت بار محوری و بار فشاری یکنواخت بکار برد. (۲۰۱۳) Yenugula et al رفتار کمانشی ۵ نمونه آزمایشگاهی کاملاً مشابه را تحت بار محوری بدست آوردند و با نتایج به دست آمده از نرم‌افزار ANSYS مقایسه کردند.

## ۲) روش انجام کار

در این تحقیق برای بررسی رفتار کمانشی و پس‌کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای با مصالح GFRP روشهای تحلیل عددی، تئوری و آزمایشگاهی بکار می‌رود. برای بررسی عددی از نرم افزار ABAQUS V۲۰۱۴ استفاده می‌شود. در این نرم‌افزار پوسته‌ها با توجه به ارتفاع، شعاع، ضخامت پوسته و مشخصات مصالح GFRP، تعداد لایه‌ها و زوایای آنها با محور پوسته مدلسازی می‌شوند. تحلیل‌های خطی و غیرخطی برای بررسی رفتار کمانشی و پس‌کمانشی پوسته‌های مورد نظر انجام می‌گیرد. برای بررسی آزمایشگاهی رفتار کمانشی و پس‌کمانشی پوسته‌های جدار



## دانشگاه ارومیه

### دانشکده فنی و مهندسی – گروه مهندسی عمران

گزارش های پیشرفت کار پایان نامه دوره دکتری تخصصی

دانشجویان دکتر شوکتی

نازک کامپوزیتی تحت بار محوری سیستم تست طراحی و نمونه‌های آزمایشگاهی مورد نظر ساخته شده و مورد آزمایش قرار می‌گیرند. بارگذاری به صورت بار محوری یکنواخت در لبه‌ها می‌باشد. در آزمایشگاه برای اعمال بار مورد نظر از جک قائم هیدرولیکی استفاده می‌شود. از نظر شرایط تکیه گاهی نیز نمونه‌ها از قسمت پایین در سه جهت انتقالی شعاعی، مماسی و محوری مقید هستند و در قسمت بالا نمونه‌ها فقط قید شعاعی و مماسی دارند. پس از استخراج نتایج آزمایشگاهی و رسم نمودارهای مربوطه با نتایج عددی مقایسه می‌گردد. برای بررسی رفتار تئوریک پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی، با استفاده از روابط تئوری ارائه شده توسط Kollar, L. P. and Springer G.S.(۲۰۰۳) برنامه نرم‌افزاری مربوط به محاسبه بارکمانشی تحت نیروی محوری نوشته می‌شود. در این محاسبه، ماتریس سختی پوسته‌های استوانه‌ای کامپوزیتی تشکیل و معادلات حل می‌گردد که تابعی از مشخصات مکانیکی پوسته‌های مذکور از قبیل مدول الاستیسیته، زاویه الیاف با محور پوسته و ضخامت هر کدام از لایه‌ها می‌باشد.