



## بررسی و شبیه‌سازی غیر خطی استاتیکی ورق استوانه‌ای به روش ریکس

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، اسلام‌آباد غرب، ایران

بهنام حاتمی

عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، کرمانشاه، ایران

شاپور ابراهیمی

### چکیده

پوسته‌های استوانه‌ای تقویت‌شده، یکی از مهم‌ترین سازه‌ها در صنایع هوافضا است. در اثر بارهای اعمالی پوسته‌های نازک بیشتر تمایل به کمانش، اعوجاج و دفرمگی دارند. این پژوهش به بررسی اثر بار خطی اعمال شده به پوسته استوانه‌ای در اثر بار اعمالی به روش ریکس پرداخته شده است. پس از شبیه‌سازی مشاهده شد که در اثر بار اعمالی پوسته بیشتر تمایل به دفرمگی در سر آزاد خود دارد. تنش نرمال به وجود آمده نیز بیشتر از تنش برشی است. بیشترین تنش نرمال رخ داده مقدار ۱۱۶۲۰ پاسکال است.

کلمات کلیدی: پوسته، تنش، دفرمگی، آباکوس

## مقدمه

پوسته‌های استوانه‌ای تقویت‌شده، یکی از مهم‌ترین سازه‌ها در صنایع هوافضا است [۱]. مخازن استوانه‌ای جدار نازک به دلیل ضخامت کم دیواره مستعد کماتش تحت بارهای وارده می‌باشند [۲]. مرادی دستجردی و همکاران به بررسی استاتیکی استوانه از جنس مواد هدفمند نشان دادند که روش بدون المان روش دقیق تری است [۳]. محمدی و همکاران در بررسی پوسته استوانه‌ای سه‌بعدی نشان دادند که تنش‌ها و جابه‌جایی‌ها در هر نقطه‌ای از استوانه قابل محاسبه است [۴]. قاجار و همکاران نشان دادند که ضرایب شدت تنش دینامیکی از پارامترهای مهم برای بررسی و شناخت پیش‌بینی رفتار شکست است [۵]. فریدوند و همکارش نشان دادند که مسیر رشد ترک از امتداد اولیه ۴۵ درجه و همچنین ضرایب شدت تنش بدست آمده از شبیه‌سازی با روش تجربی مطابقت دارد [۶]. آیت الهی و همکاران نشان دادند که استفاده از تابع پتانسیل مختلط برای شیارهای کلیدی شکل در مود اول در نظر گرفتن ترم تکین موجب خطای زیادی می‌شود [۷]. قاسمی و همکاران نشان دادند که روش اجزا محدود توسعه یافته سادگی و کارایی بیشتری در شناسایی ضرایب شدت تنش دارد [۸]. امام علی زاده و همکاران در بررسی ضرایب شدت تنش در چند لایه GLARE نشان دادند که رشد ترک در لایه‌های آلومینیوم مجزا بسیار بیشتر از لایه‌های آلومینیوم موجود در چند لایه‌های هیبرید است [۹].

محمی الدینی و همکارش نشان دادند که برای حل مسائل مکانیک شکست بدون نیاز به افزایش حجم محاسبات، از روش اصلاح تابع وزن استفاده شده است. ضرایب شدت تنش با استفاده از انتگرال‌های مستقل از مسیر  $\int$  که برای مواد ناهمگن فرمول بندی شده اند محاسبه می‌شود. برای بررسی اعتبار روش عددی حاضر، ضریب شدت تنش مود اول در سک صفحه شامل ترک لبه ای با فرض تغییر نمایی مدول یانگ در امتداد ترک محاسبه شده است. مقایسه پاسخ بدست آمده با پاسخ تحلیلی، نشان دهنده دقت بالای روش مورد استفاده است [۱۰]. کریمی پور و همکارش نشان دادند که با استفاده از روش توزیع نابجایی تحلیل تنش در یک صفحه الاستیک بی‌نهایت حاوی مجموعه از ترک‌ها تحت بار باد صفحه ای بر اساس تئوری گردایان کرنش انجام می‌گردد. ابتدا حل نابجایی باد صفحه ای در صفحه با حل معادله بای هارمونیک، اعمال شرایط مرزی و پیوستگی مربوط به نابجایی بار صفحه با استفاده از تبدیل فوریه انجام می‌گردد و میدان تنش در اثر نابجایی بار صفحه ای به صورت انتگرالی بدست آمده است. مولفه‌های تنش دارای تنکیکی از نوع مرتبه بالا در نوک ترک هستند [۱۱]. قاجار و همکارش به بررسی کاربرد روش تحلیلی موسخلیشویلی و یافتن نگاشت هم‌دیس مناسب، رفتار دو ترک نابرابر و هم راستای اطراف یک سوراخ دایروی بررسی بر ضرایب شدت تنش محاسبه می‌شوند. تاثیر پارامترهای مختلف از جمله، زاویه بارگذاری، طول ترک و غیره بر روی مقادیر ضرایب شدت تنش بررسی می‌گردد. صفحه‌ی همسانگرد نامحدود و نوع بارگذاری و شرایط مرزی به گونه‌هایی است که سطح سوراخ و ترک‌ها عاری از تنش می‌باشند و بار کششی در دور دست تحت زاویه دلخواه اعمال می‌گردد. جهت اطمینان از صحت روش، بعضی مسائل خاص که حلشان موجود است حل نموده و با داده‌های موجود در مراجع مقایسه می‌گردد. قاجار و همکارش یک رابطه صریح برای ضریب شدت تنش بر حسب پارامترهای هندسی ارائه کرده‌اند [۱۲]. محمدی منفرد و همکارش با استفاده از روش توزیع نابجایی تحلیل تنش در نیم صفحه ساخته شده از مواد ارتوتروپیک تابع تضعیف شده توسط چندین ترک لبه ای تحت بار خارج صفحه ای ضربه ای انجام شده است. ابتدا حل نابجایی باتشکیل معادله حاکم و اعمال شرایط مرزی و پیوستگی در محل نابجایی با استفاده از تبدیلات فوریه و لاپلاس انجام می‌گردد. با استفاده از این حل، معادلات انتگرالی تکین از نوع کوشی برای ترک‌های لبه ای در نیم صفحه ساخته شده از مواد ارتوتروپیک تابعی تشکیل می‌شوند. سپس با استفاده از روش عددی این معادلات حل گردیده تا تابع توزیع نابجایی روی ترک‌ها بدست آید [۱۳]. رضائزاد و همکاران نشان دادند که در استفاده از روش XFEM در نرم افزار آباکوس مسیر رشد ترک را بسیار شبیه به واقعیت پیش‌بینی می‌کند [۱۴]. قاسمی و همکارش نشان دادند که روش المان محدود توسعه یافته (XFEM) یکی از قوی‌ترین روش‌های



عددی است که بر پایه المان محدود بوده ولی فارغ از موقعیت نسبی شبکه بندی نسبت به ناپیوستگی با قدرت همگرایی خوبی به حل مسائل می پردازد [۱۵].

### روش ریکس

به طور کلی این روش برای پیش بینی گسیختگی غیر خطی از نظر هندسی یک سازه استفاده می شود، که شامل مواد غیر خطی و شرایط مرزی باشد، که اغلب از تحلیل غیرخطی مقدار ویژه برای ارائه اطلاعات مربوط به فروپاشی سازه استفاده می شود

### شبیه سازی

برای بررسی ورق استوانه ای با ابعاد هندسی زیر مدل سازی شده است.

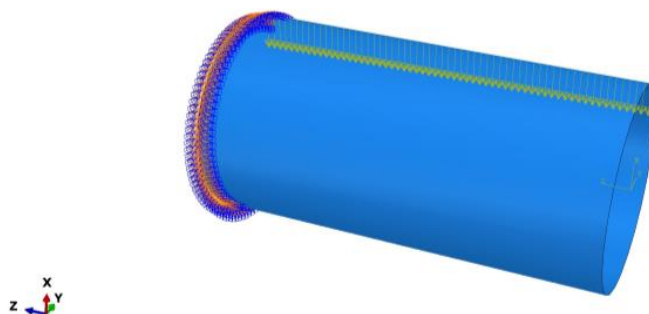


شکل ۱

شکل ۱ شکل هندسی ورق استوانه ای است که طول آن ۰/۶ متر، قطر آن ۰/۱۵ متر و ضخامت ۰/۰۰۰۵ متر است. ورق از جنس فولاد با مدول یانگ ۲۱۰۰۰ و نسبت پواسون ۰/۳ به صورت Sell مدل سازی شده است.

### مشخصات شبیه سازی

برای شبیه سازی از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی ریکس با تعداد شبکه ۹۱۰۰ از نوع چهارگوش خطی استفاده شده است. یک بار خطی ۲ نیوتن مطابق شکل زیر به پوسته اعمال شده است.

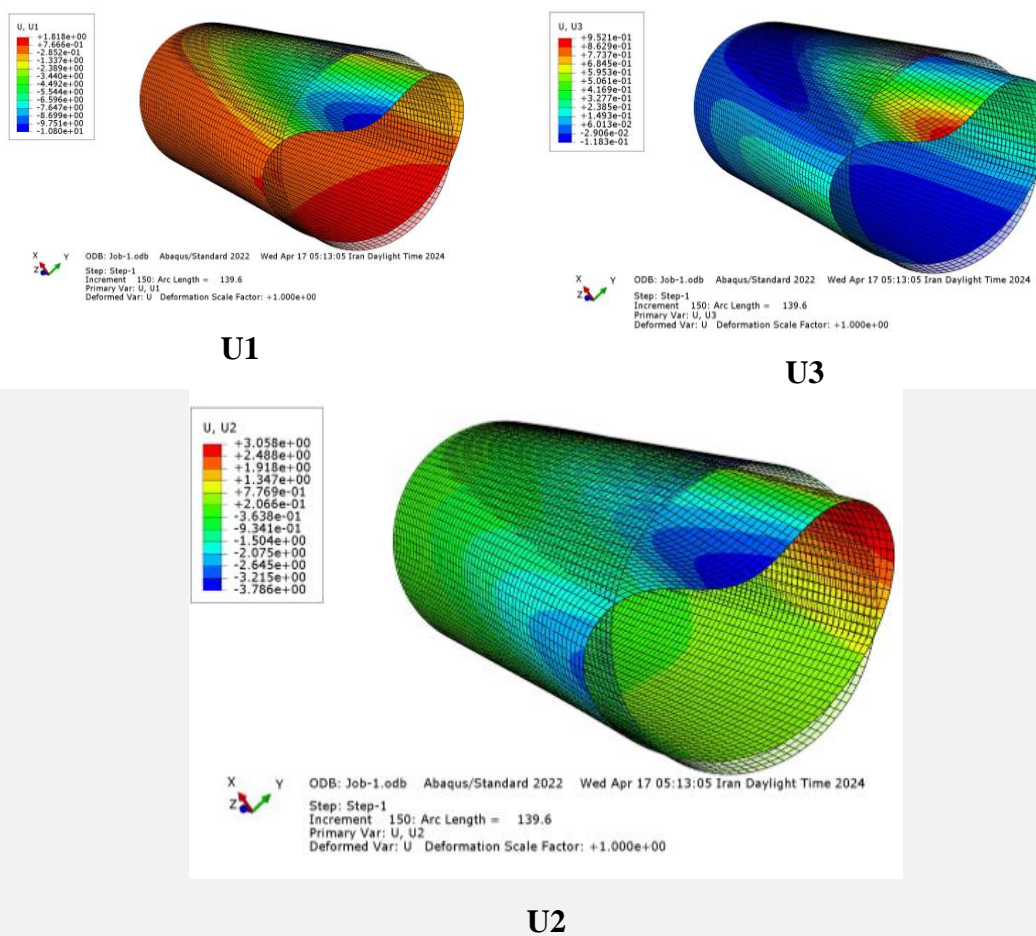


شکل ۲

شکل ۲ نشانگر نحوه اعمال بار و شرایط مرزی اعمال شده است. یک طرف استوانه کامل ثابت شده و در راستای طول استوانه به صورت خطی یک بار ۲ نیوتنی اعمال شده است.

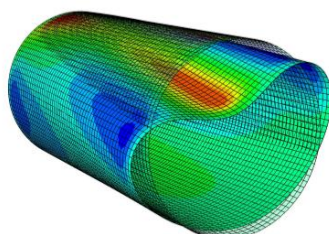
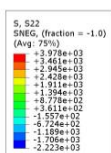
## نتایج

پس از انجام شبیه سازی در نرم افزار آباکوس نتایج شبیه سازی به صورت زیر است.



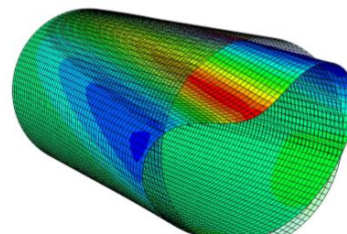
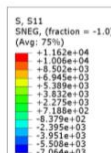
شکل ۳

شکل ۳ میزان جابه جایی در سه راستا را نشان می دهد. همانطور که در شکل پیداست بیشترین میزان جابه جایی در استوانه در راستای دوم با مقدار حدودا ۳ سانتی متر رخ داده است.



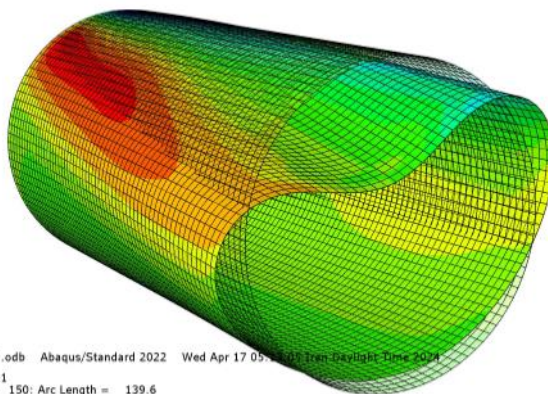
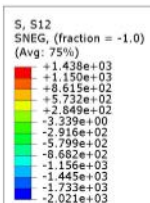
X Y ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 2022 Wed Apr 17 05:13:05 Iran Daylight Time 2024  
Step: Step-1  
Increment: 150; Arc Length = 139.6  
Primary Var: S, S22  
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

S22



X Y ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 2022 Wed Apr 17 05:13:05 Iran Daylight Time 2024  
Step: Step-1  
Increment: 150; Arc Length = 139.6  
Primary Var: S, S11  
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

S11

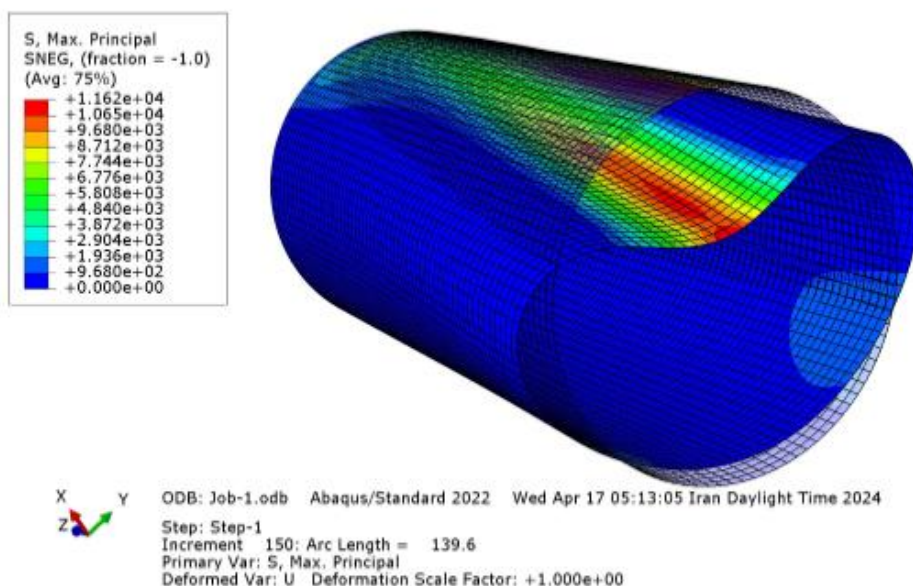


X Y ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 2022 Wed Apr 17 05:13:05 Iran Daylight Time 2024  
Step: Step-1  
Increment: 150; Arc Length = 139.6  
Primary Var: S, S12  
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

S12

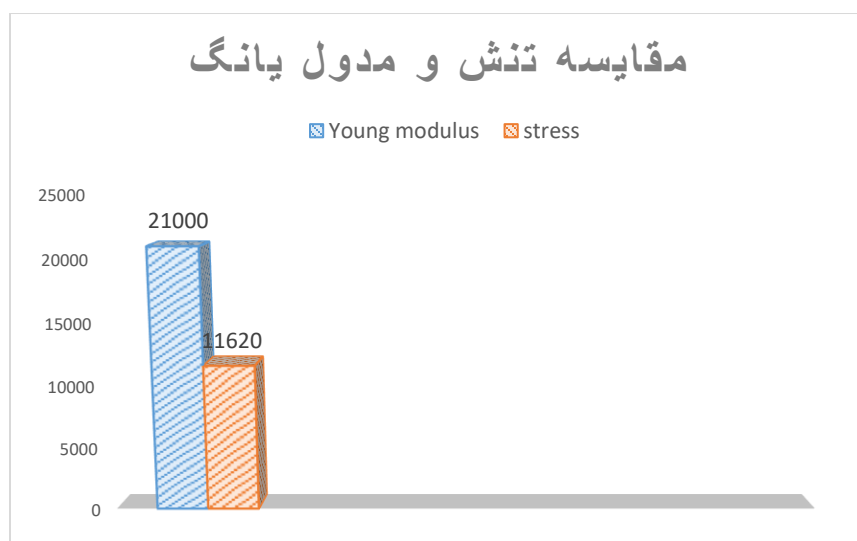
شکل ۴

شکل ۴ نشانگر میزان تنش‌های نرمال رخ داده در راستای ۱ و ۲ همچنین میزان تنش برشی رخ داده در پوسته را نشان می‌دهد. همانطور که در تصویر پیداست تنش‌های نرمال در شکل بیشتر از تنش برشی است. این امر موجب دفرمه شدن پوسته به جای پاره شدن می‌شود. همانطور که در شکل نیز پیداست پوسته بیشتر تمایل به دفرمه شدن داشته و اثری از پارگی در پوسته دیده نمی‌شود. بیشترین مقدار تنش نرمال رخ داده مقدار ۱۱۶۲۰ پاسکال است.



شکل ۵

شکل ۵ نشانگر بیشترین تنش رخ داده در پوسته است. بیشترین تنش رخ داده در قطعه ۱۱۶۲۰ پاسکال بوده که در محل اعمال بار رخ داده است. همانطور که در تصویر پیداست در محل ثابت پوسته تنش کمتری رخ داده است. سر آزاد پوسته دچار دفرمگی در اثر بار اعمالی شده است. با مقایسه بیشترین مقدار تنش با مدول یانگ در اثر این بار استاتیکی پوسته دچار خستگی و گسیختگی نخواهد شد. شکل شماره ۶ نمودار مقایسه تنش و مدول یانگ را نشان می دهد.



شکل ۶





## نتیجه‌گیری

پس از بررسی نتایج شبیه‌سازی پوسته نازک در اثر اعمال بار خطی نشان داده‌شد که در اثر بار اعمالی پوسته مدل‌سازی شده دچار خستگی و گسیختگی نخواهد شد. همچنین مشاهده‌شد که در اثر بار اعمالی پوسته دچار پارگی نخواهد شد، در اثر بار اعمالی تنش برشی رخ داده در پوسته کم‌تر از تنش نرمال است. بیشتر بودن تنش نرمال پوسته را متمایل به دفرمگی می‌کند. بیشترین مقدار تنش نرمال رخ داده در پوسته مقدار ۱۶۲۰ پاسکال است.

## منابع

۱. ف. کامران، تحلیل دینامیکی غیرخطی پوسته استوانه ای مدرج تابعی تقویت شده با بستر الاستیک and علیرضا، ش. و فشار خارجی. ۲۰۱۸.
۲. م.م. علیرضا، کمانش پوسته های استوانه ای کوتاه قامت فولادی تحت بارگذاری عرضی. ۲۰۱۸. and شروین، م.
۳. ع.ب. سمیه، تحلیل استاتیکی استوانه های از جنس مواد هدفمند ارتوتروپیک با and رسول، م.د.، ف. مهرداد، طول کوتاه به روش بدون المان. ۲۰۱۱.
۴. ا.ب. عزیزاله، تحلیل استاتیکی پوسته ی استوانه یی ایزوتروپ جانبی چندلایه ی سه and زهرار، م.، ن.ن. بهرام، بُعدی متقارن با استفاده از توابع پتانسیل تغییرمکان. ۲۰۲۲.
۵. ش.م. علی، محاسبه ضرایب شدت تنش دینامیکی ترک سه بعدی مواد تابعی با استفاده and اله، ق.ر.، پ. صفار، از روش انتگرال تعاملی. ۲۰۱۵.
۶. کاظمی، ضرایب شدت تنش و مسیر انتشار ترک تحت شرایط مد مرکب. مهندسی سازه و and فریدوند، رامین، ساخت، ۲۰۱۶. ۳(۳): 86-96.
۷. ب. بهادر، محاسبه ی میدان تنش مجانبی به همراه ضرایب شدت تنش و مرتبه بالاتر در شیار and مجیدرضا، آ.آ. کلیدی شکل. ۲۰۱۹.
۸. ص. سعید، استفاده از روش اجزاء محدود توسعه یافته در تعیین ضرایب شدت تنش و ترم and احمد، ق.ق.ب. های مرتبه بالای ترک. ۲۰۱۵.
۹. مهندسی مکانیک و GLARE. بررسی خستگی و ضرایب شدت تنش و رشد ترک در چندلایه های jet al., ۲۰۱۵. ۱۶(۱): 7-13. ارتعاشات،
۱۰. MLPG. 2009. ش. علیرضا، محاسبه ضرایب شدت تنش در مواد هدفمند به روش and علی، م.آ.
۱۱. فتوحی، محاسبه ضرایب شدت تنش مود سه در صفحه بی‌نهایت حاوی چند ترک بر اساس and پور، ک.، ایمان، p. 139-149. تئوری الاستیسیته گرادیان کرنش. مهندسی مکانیک مدرس، ۲۰۱۴. ۱۴(۷):
۱۲. ح. محمدی، محاسبه تحلیلی ضرایب شدت تنش در ترک های با طول نابرابر نشأت گرفته از سوراخ and قاجار p. 943-950. دایروی در صفحه نامحدود. نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۲۰۱۸. ۵۰(۵):
۱۳. باقری، محاسبه ضرایب شدت تنش در نیم صفحه ساخته شده از مواد ارتوتروپیک تابعی تضعیف and منفرد، م. شده توسط چندین ترک لبه‌ای تحت بارگذاری ضریه‌ای. نشریه مهندسی مکانیک ایران، ۲۰۲۰. ۲۲(۳): 99-120.



۱۴. مقایسه رویکردهای مدل سازی در *XFEM*: رشد ترک در محیط های متخلخل با استفاده از روش et al., رضائزاد, p. 27-40. آباکوس. روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن, ۲۰۲۰. ۱۰ (۲۴):
۱۵. در بررسی رشد ترک خستگی ورق های ترک دار *XFEM* روزبھانی, استفاده از روش and قاسمی, آ. پ. ک. انارکی, p. 15-27. مهندسی مکانیک مدرس, ۲۰۱۴. ۱۳ (۱۴): *FML*. آلومینیومی، تعمیر شده توسط وصله های کامپوزیتی