مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال دوم، شماره ۱۴، شهریور ۱۳۹۹
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

# بررسی رفتار آزمایشگاهی و عددی پوسته های استوانه ای GFRPتحت اثر بار دندانه ای

**بابک سربلند [۱]، حسین شوکتی [۲]**

[۱] دانشجوی دکتری عمران- سازه ، دانشگاه پردیس دانشگاه ارومیه (نویسنده مسئول)
[۲] استاد گروه عمران ،دانشکده فنی ،دانشگاه ارومیه

**چکیده**

در تحقیق حاضر سعی براین است که رفتار ، تغییر شکل ها و کرنش های ناشی از بارهای دندانه ای موضعی(دنت) در مخازن GFRP مورد تحلیل و بررسی آزمایشگاهی و نرم افزاری قرارگیرد. همچنین نمودارهای بار-جابجائی و بار- کرنش در شرایط آزمایشگاهی و نرم افزاری مورد تحلیل و مقایسه قرارگرفته و ارزیابی شود. تحقیق حاضر می تواند در پروژه های شرکت نفت و سازمان آب و انواع مخازنی که در معرض بارهای موضعی می باشند، مورد استفاده قرار گیرد. برای شناخت اهمیت و ضرورت تحقیق ابتدا باید با بار دندانه ای(دنت) و نحوه اعمال این بار بر مخازن و خطرات ناشی از اعمال آن بر مخازن و نحوه مقاومت دربرابر این بار را مورد بررسی قراردهیم. بار دنت یک بار نقطه ای و متمرکز است که با توجه به نوع هندسه و شکل و نحوه رفتار و برخورد با مقطع می تواند رفتار متفاوتی در سازه از خود نشان دهد، در آزمایشگاه درحالتهای مختلف می تواند بر لوله یا مخزن وارد شود. مانند بار دنت گنبدی شکل، مخروطی یا کله قندی، کروی شکل، مستطیلی، گوه ای، و نوک تیز.

**واژه‌های کلیدی:** بارهای دندانه ای موضعی، بررسی آزمایشگاهی، مخازن GFRP، مقاومت

## ۱. مقدمه

کاربردهای سازه ای مواد کامپوزیتی در سازه های مختلف صنایع نفت و گاز و سیستمهای آبرسانی و فاضلاب ، صنایع دریایی و صنایع هوا وفضا و نظامی را شامل می شوند.، به خصوص در سازه هایی که در آنها نسبت بالای استحکام به وزن و عمر خستگی حائز اهمیت است، این کاربردها در حال افزایش است که یک نمونه رایج آن مخازن کامپوزیتی استوانه ای است. این سازه ها تحت اثر بار دندانه ای(دنت) دچار ترک و شکست می شوند. به عنوان نمونه میتوان به مخازن نفت و آب ، خط لوله ها و لوله های دیگ بخار تحت بار دنت اشاره کرد. مطالعات آزمایشگاهی و عددی نشان می دهند که شکست و ترک ناشی از اعمال بار دندانه ای(دنت) یکی از عوامل اصلی خطر در پوسته های استوانه ای جدار نازک است . از دیگر موضوعات مهم در طراحی سازه ها و از جمله سازه های پوسته ای، بحث پایداری و مقاومت این سازه ها در برابر بارهای وارده می باشد. اثر بار دندانه ای(دنت) باعث ناپایداری این سازه ها می شود. لذا برای به دست آوردن مدلی که بتواند هم در مقابل این نوع بارها مقاومت کند و هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد، باید این اثرات در رفتار سازه ای مخازن کامپوزیتی مورد توجه قرار گیرد. در این مقاله، اثر بار دندانه ای(دنت) بر رفتارمخازن تحت حالتهای مختلف هندسی شامل تغییر ارتفاع موردبررسی قرار خواهد گرفت.

## ۲. مروری بر تحقیقات انجام شده

S.Eyvazinejad Firouzsalari and Showkati.H [۱] در سال ۲۰۱۳ بررسی های تجربی برروی ترکیب بارمحوری ودندانه ای را توسط جک های هیدرولیکی عمودی و افقی، برروی لوله های فولادی انجام دادند و برای آن ها نمودارهای بار-تغییرمکان رسم نمودند. آن ها تغییرشکل های حاصل از آزمون را با نرم افزار مقایسه نمودند که تغییرشکل ها و نتایج تجربی و تئوری تطابق بسیارخوبی باهم داشتند. همچنین دریک تحقیق دیگر رفتار لوله ها را به صورت تجربی تحت بار محوری بررسی نمودند و نتایج را باروش المان محدود مقایسه نمودند.

Jandark Oshana Jajo[۲] در سال ۲۰۱۴درپایان نامه دکترای خود در مورد اثرات انواع بار دنت برروی لوله های فولادی تحقیق کرد، طبق این پایان نامه سه نوع بار دنت برروی لوله وارد می شود: ۱- باردنت گنبدی شکل ۲- بار دنت دایروی شکل ۳- بار دنت مستطیلی شکل. در این تحقیق بار دنت یک تغییر شکل پلاستیکی برروی لوله به وجود آورد که این تغییر شکل باعث به وجود آمدن کرنش در دیواره لوله شد، همچنین این تحقیق تاثیرات نوع شکل بار دنت، عمق بار دنت و فشارهای داخلی برروی توزیع کرنش برروی لوله را مورد بررسی قرار داد.

Vahideh moosavi and Showkati.H[۳]درسال۲۰۱۸ تحقیقات آزمایشگاهی و تئوریک رفتار خط لوله GFRP تحت اثر همزمان نیروی محوری و بار دندانه ای را مورد بررسی قرار دادندو نتیجه گرفتند که در تمامی نمونه های تست شده در آزمایشگاه مدهای شکست در وسط دهانه و بصورت فرورفتگی درزیر محل اعمال بار موضعی و با صدای ترک خوردن لوله GFRP همراه می باشد. همچنین مقاومت نمونه ها در حالت با بستر صلب بیشتر از حالت بدون بستر می باشد. چون در حالت بستر صلب، وجود بستر صاف و صلب مانع از ایجاد لنگر ثانویه ناشی از تغییر شکل خمشی می شود.

Ali Zarrin and Showkati.H [۴] درسال ۲۰۱۸ تحقیقات آزمایشگاهی و تئوری لوله های GRP تحت بار دندانه ای را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که تمامی نمونه ها از ابتدا تا انتهای بارگذاری دارای رفتار خطی می باشند و با شیب یکسان پیش می روند که این رفتار ناشی از رفتار و خواص مصالح GRP می باشد. همچنین بروز تغییر شکل در سطح فوقانی گوه شدیدتر از سطح جانبی و به صورت فرورفتگی می باشد.

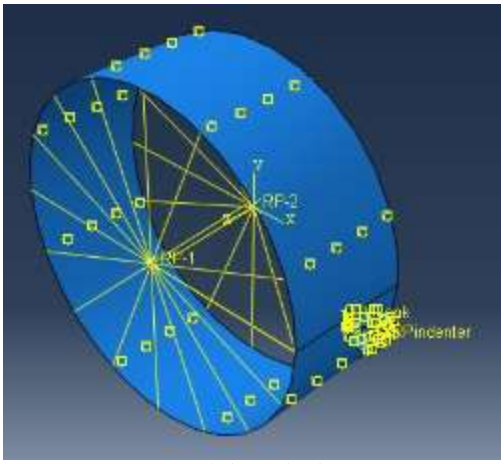
## ۳. تحلیل غیر خطی اثر باردندانه ای بر مخزن به کمک روش عناصر محدود

برای ارائه مدل اجزای محدود نمونه ها از نرم افزار ABAQUS استفاده شده است نمونه های مدلسازی شده به صورت مخازن دارای ارتفاع ۳۰۰ و ۵۰۰ میلیمتر و قطر ۸۰۰ میلی مترمی باشد ..در مدلسازی پوسته استوانه ای کامپوزیتی چندلایه در نرم افزار ABAQUS ، برای مش بندی المان چهار ضلعی و چهار گرهی (S۴R ) ،که یک المان دو انحنایی است و قابلیت تحلیل کرنش های بزرگ را دارا است و برای تحلیل نمونه ها ، روش انتگرال گیری کاهش یافته مورد استفاده قرار می گیرد . این نرم افزار قابلیت مدل سازی و تحلیل انواع مصالح به صورت الاستیک و پلاستیک را داراست که در این تحقیق با توجه به ماهیت مواد کامپوزیتی این مواد به صورت الاستیک و با در نظر گرفتن تعداد لایه ها و زوایای آنها نسبت به محور X مدلسازی می شوند. بارگذاری و شرایط مرزی مدل در محیط بار مشخص می شود. مشخصات مکانیکی مصالح بکاررفته در مخازن ازنوع غیرایزوتروپیک بوده و مقادیر مدول یانگ، مدول برشی و ضرایب پوواسون در جهات مختلف در جدول شماره۱ آورده شده است.

**جدول شماره۱- مشخصات مکانیکی مصالح**

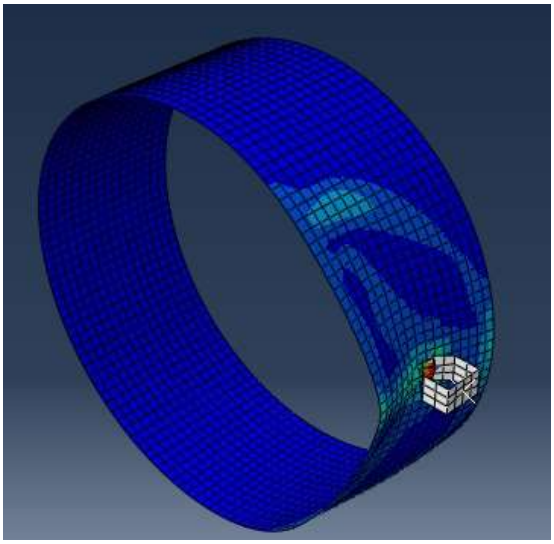
| | | |
|---|---|---|
| Young's Modulus(Pa) | E۱,E۲,E۳ | ۲۱۷۱۰۰۰۰, ۵۶۰۲۰۰۰, ۵۶۰۲۰۰۰ |
| Shear Modulus(Pa) | G۱۲,G۱۳,G۲۳ | ۱۹۹۰۰۰۰, ۱۹۹۰۰۰۰, ۲۶۰۳۰۰۰ |
| Poisson's ratio | Nu۱۲,Nu۱۳,Nu۲۳ | ۰,۲۷۳,۰,۲۷۳, ۰,۰۷۶ |

مدل سازی نمونه ها از مدل کامپوزیت استفاده شده است. مخازن به صورت کامپوزیتی سه لایه شامل لایه آستری، لایه مقاوم مکانیکی و لایه خارجی با ضخامت ۴ میلی متر و زاویه الیاف ۹۰درجه مدل سازی شده اند. باتوجه به وجود گزینه های متنوع در اعمال شرایط مرزی، ایجاد شرایط تکیه گاهی برروی نمونه مشابه آنچه در تست های آزمایشگاهی انجام می یابد از مهمترین چالش های مدل سازی نرم افزاری بشمار می آید. در این مطالعه به منظور اعمال شرایط مرزی انتهایی مخزن، تمامی خصوصیات گره های موجود در لبه مخزن در آن ناحیه به نقطه ای در مرکز آن ها اختصاص داده شده تا اعمال شرایط مرزی تنها برروی آن نقطه انجام شود. با انجام آنالیزهای مختلف مشاهده شد این شیوه بیشترین تطابق و بهترین دقت را درمیان سایر روش ها داراست. تمامی درجات آزادی و انتقالی تکیه گاهها کاملا ثابت درنظر گرفته شد. گوه نیز درراستای عمود بر محور طولی آزادی حرکت دارد.

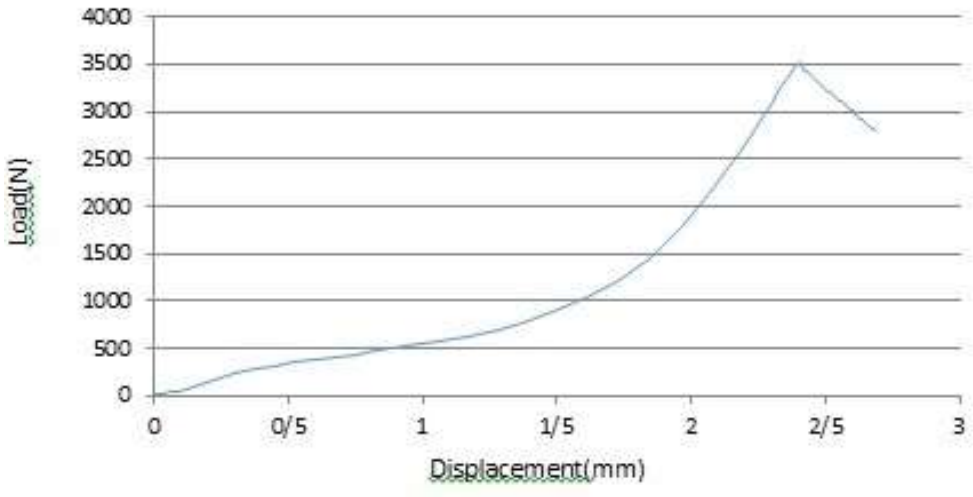



**شکل۱- اعمال شرایط مرزی**

برای اعمال بار موضعی از Static Riks استفاده شده است. حلگر ریکس قادر به در نظر گرفتن اثرات غیرخطی هندسی و فیزیکی هست. از مهمترین ویژگی های این نوع تحلیل می توان به قدرت منحصر به فرد ارزیابی رفتار پس کمانشی نمونه تحت بارگذاری توسط آن اشاره کرد که در سایر آنالیزهای موجود در کتابخانه نرم افزار قابل انجام نمی باشد. این توانایی ناشی از پیش بردن معادلات دیفرانسیل حاکم بر مسئله به طریق طول کمان توسط این نوع حلگر می باشدکه درآن نمو جزئی در بار و جابجائی به صورت همزمان اعمال می شود. درمحل اعمال بار موضعی دروسط دهانه تغییر شکلی به سمت پایین به صورت فرورفتگی درنمونه ایجاد شده است. در شکل زیر نحوه تغییرشکل نمونه نشان داده شده است. درمحدوده وسط دهانه یک تنش یکنواخت در سطح فوقانی مخزن مشاهده می شود. این تنش به دلیل متقارن بودن بارگذاری می باشد.



**شکل۲- تغییر شکل نمونه دراثر اعمال بار موضعی**




**شکل۳- نمودار نیرو- جابجائی**

## ۴. تحقیقات آزمایشگاهی

انجام تست بر روی نمونه های آزمایشگاهی بطوریکه بتوان از نتایج حاصل از آن استفاده کرد و قابل مقایسه با نتایج تئوری و نرم افزاری باشد نیازمند شناخت کافی ازمساله و فرضیات حاکم و شرائط تاثیر گذار برآن می باشد . هرعامل دیده

نشده و اعمال نادرست در آزمایشگاه ، ناکاملی و یا نقص در یک نمونه تست به نمونه دیگر باعث واگرایی در پاسخ های به دست آمده خواهد شد . بنابراین باید دقت کافی در مدلسازی رفتار مصالح ، شرائط تکیه گاهی و راه اندازی آن در آزمایشگاه ، سرعت اعمال بار و بررسی دقیق نمونه های آزمایشگاهی و عدم وجود نقص قابل رویت درآن صورت بگیرد تا بتوان با کمترین ضریب خطا مدلسازی نمونه های آزمایشگاهی انجام شود و نتایج ارزشمند آن برای استفاده های بعدی در دسترس قرار بگیرند.

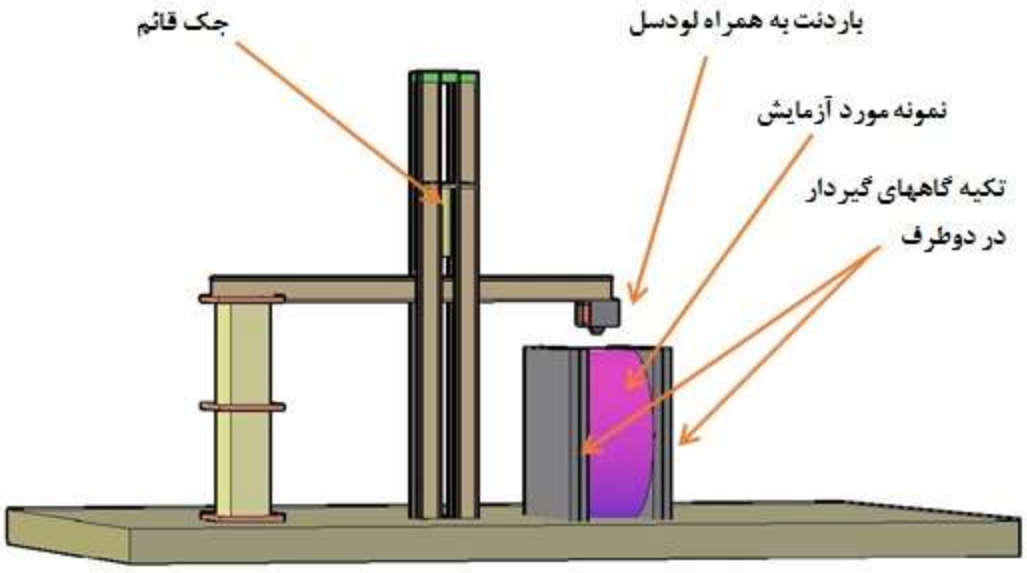
### ۴-۱. معرفی نمونه های آزمایشگاهی

برای بررسی رفتار پوسته های جدار نازک کامپوزیتی تحت باردنت در این مرحله دو نمونه آزمایشگاهی تهیه ومورد آزمایش قرار گرفت که مشخصات مکانیکی یکسانی داشته و تنها عامل متغییر در آنها ارتفاع پوسته می باشد . (جدول ۲) . جهت انتخاب R/t مناسب با توجه به محدودیت تولید از لحاظ ضخامت برای این پوسته ها در کارخانه و پاره ای از محدودیت های آزمایشگاهی به شعاع ۴۰۰ میلیمتر و ضخامت ۴ میلی متر انتخاب شد . در نمونه های مورد استفاده در این تحقیق ، نسبت های مختلف R/tو L/Rمورد نظر خواهد بود .لازم به یادآوری است که در رفتار پوسته های جدار نازک تحت بار دنت پارامترهای هندسی بی بعد R/tو L/Rبعنوان مهمترین پارامتر مورد بررسی قرار می گیرد.

**جدول ۲: مشخصات هندسی نمونه ها**

| ردیف | اسم نمونه | قطر (mm) | ارتفاع (mm) | ضخامت هرلایه (mm) | تعداد لایه الیاف | زاویه الیاف |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | Spec-۱ | ۸۰۰ | ۳۰۰ | ۴ | ۳ | ۹۰،۰ |
| ۲ | Spec-۲ | ۸۰۰ | ۵۰۰ | ۴ | ۳ | ۹۰،۰ |

شکل زیرحالت شماتیک نمونه آزمایشگاهی را برای درک بهتر مسئله نشان می دهد:



### ۴-۲. بارگذاری نمونه های آزمایشگاهی

در آزمایش اول ارتفاع مخزن ۳۰۰ میلی متر با ضخامت ۱ میلی متر به محور دوانتها به صورت کاملا گیردار می باشد در نظر گرفته شد، جهت بررسی رفتار نمونه های آزمایشگاهی تحت اثر بار دنت از گوه استفاده می شود. این گوه به صورت عمودی بر بدنه نمونه وارد می شود و سیستم سازه ای بارگذاری به نوعی طراحی شده است که با استفاده از میله های نگهدارندۀ صفحه های بالا و پایین کاملا گیردار شده است،در قسمتهای مختلف این نمونه در وسط ارتفاع و بصورت محیطی ابزارهای اندازه گیری مختلف نصب می شود. این ابزارها شامل کرنش سنج برای اندازه گیری کرنش در نقطه خاص و در جهت مورد نظر و LVDT جهت اندازه گیری مقادیر تغییر مکان نقاط مختلف بر روی پوسته می باشد . تمام ابزار اندازه گیری توسط کابل رابط ، اطلاعات بدست آمده نقاط مختلف را به دیتالاگر و نرم افزار مربوطه ارسال می کنند. تعدادی از این ابزارها در اشکال زیرنشان داده شده است شکلهای زیر بار دندانه ای و مراحل ساخت نمونه آزمایشگاهی و گیردار نمودن تکیه گاههای را نشان می دهند.

(الف) انتهای گوه

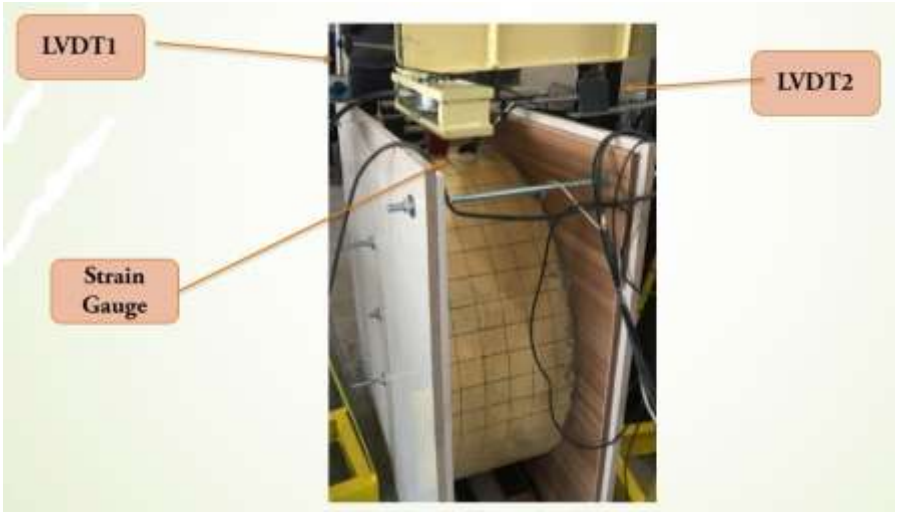
(ب) نوک گوه

(ج) لودسل

(د) گوه به همراه لودسل

شکل(۲۲) - شکل شماتیک نمونه در آزمایشگاه

**شکل۵: نحوه اعمال بار دندانه ای و اتصال به لودسل**




**شکل۶: شکل کلی نمونه در آزمایشگاه سازه های جدار نازک**

در این آزمایش از یک عدد کرنش سنج و یک عدد LVDT استفاده شده است. در شکلهای زیر نحوه اعمال بار دندانه ای به مخزن و ایجاد ترک در مخزن نشان داده شده است.

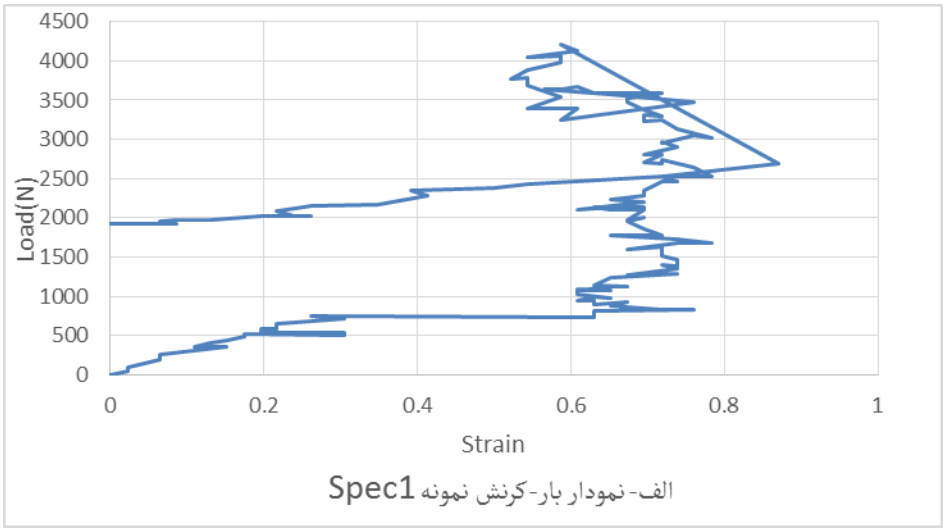
(الف)بارگذاری اولیه

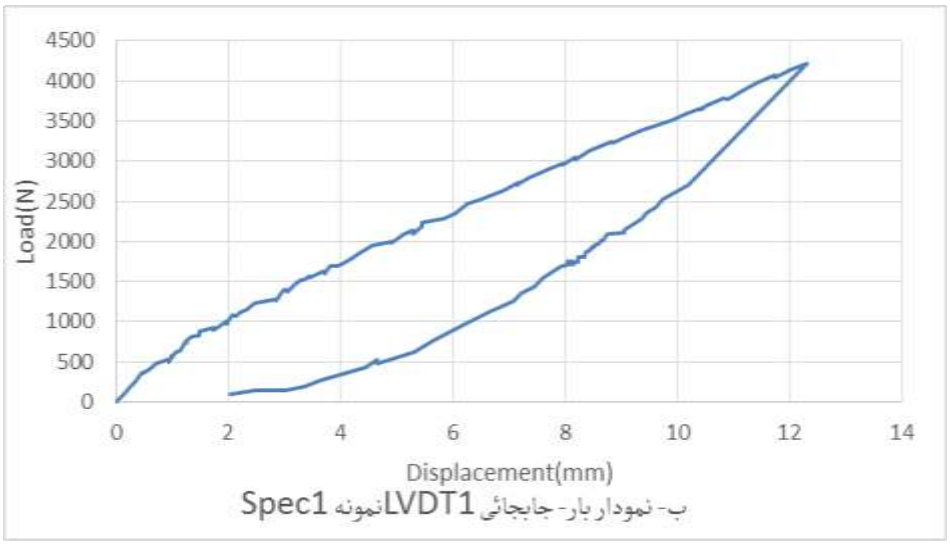
(ب) لحظه تغییر شکل در مخزن

(ج) لحظه شکست و ایجاد ترک در مخزن

(د) شکل نهایی مخزن

شکل




**شکل۸: نمودارهای بدست آمده از آزمایش اول**

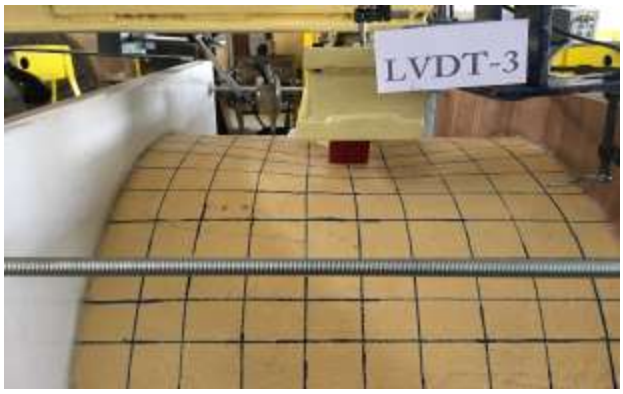
با بررسی نمودارهای فوق مشخص می شود که به ترتیب در نیروهای ۵۲۹,۲، ۸۰۳,۶، ۸۸۲ نیوتن صدای خفیف ترک ها شنیده شد. مقدارکرنش نیز به صورت متناوب افزایش پیدا کرد. سپس با افزایش بارگذاری شاهد نوسانات در مقادیر کرنش بودیم تا اینکه در نهایت پس از اعمال بار ۴۲۱۴ نیوتن و ایجاد تغییر شکل نهایی مقدار کرنش نهایی به ۰,۸۷ می رسد. در نمودار بار- جابجائی با توجه به اینکه سطح فوقانی نمونه در ارتباط مستقیم با اعمال بار دندانه ای می باشد در نتیجه دچار بیشترین تغییر شکل نسبت به سایر قسمتهامی باشدهمچنین منحنی رسم شده تا لحظه شکست مخزن دارای شیب ثابتی نمی باشد و دارای رفتار نسبتا غیرخطی می باشد. همانطوریکه از این نمودار مشخص است مخزن در نیروی ۴۲۱۴ نیوتن به حداکثر ظرفیت قابل تحمل رسیده و دچار ترک می شود. سپس با کاهش بار، به تدریج مقدار جاجائی نیز در نمودار کاهش می یابد.

درآزمایش دوم ارتفاع مخزن ۵۰ سانتی متر با ضخامت ۴ میلی متر که مخزن از دوانتها دقیقا مانند تست شماره ۱ به صورت کاملا گیردار در نظر گرفته شد، بارگذاری این نمونه آزمایشگاهی نیز تحت همان بار دنت قبلی می باشد.در این آزمایش از یک عدد کرنش سنج و سه عدد LVDT استفاده شده است. در قسمتهای مختلف این نمونه در وسط ارتفاع و بصورت محیطی ابزارهای اندازه گیری مختلف نصب می شود. این ابزارها شامل کرنش سنج برای اندازه گیری کرنش در نقطه خاص و در جهت مورد نظر و LVDT جهت اندازه گیری مقادیر تغییر مکان نقاط مختلف بر روی پوسته می باشد . تمام ابزار اندازه گیری توسط کابل رابط ، اطلاعات بدست آمده نقاط مختلف را به دیتالاگر و نرم افزار مربوطه ارسال می کنند. تعدادی از این ابزارها در اشکال زیرنشان داده شده است.

الف-نمونه آزمایشگاهی دوم و محل قرارگیری کرنش سنج ، LVDT۱،LVDT۲

ب- نمونه آزمایشگاهی دوم و محل قرارگیری LVDT۳

**شکل۹: شمای کلی نمونه در آزمایش دوم**

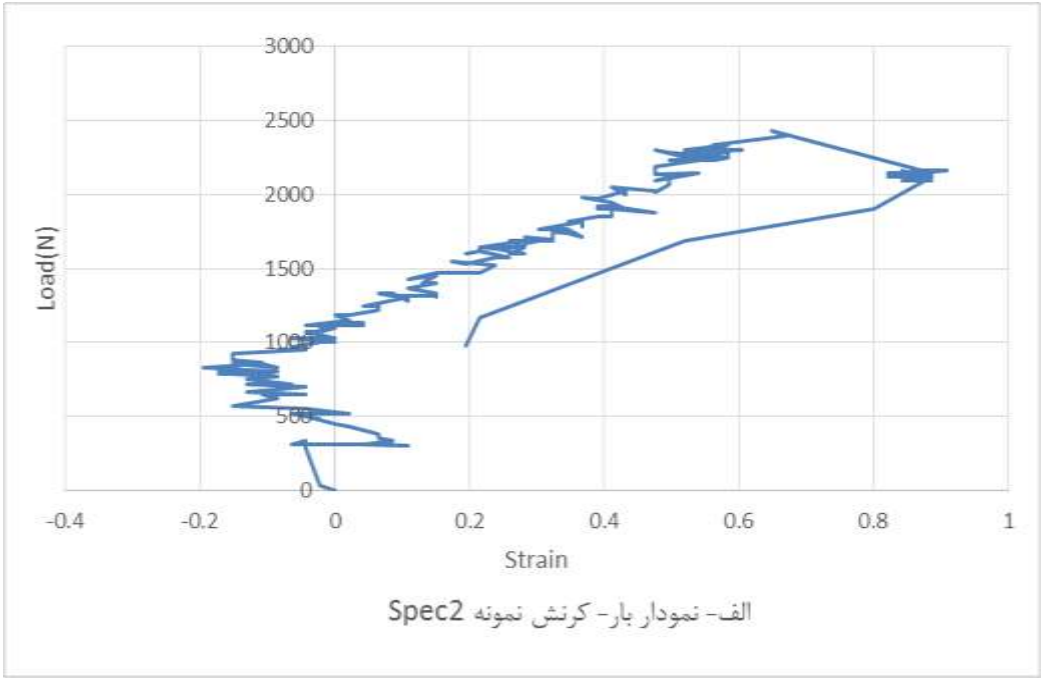


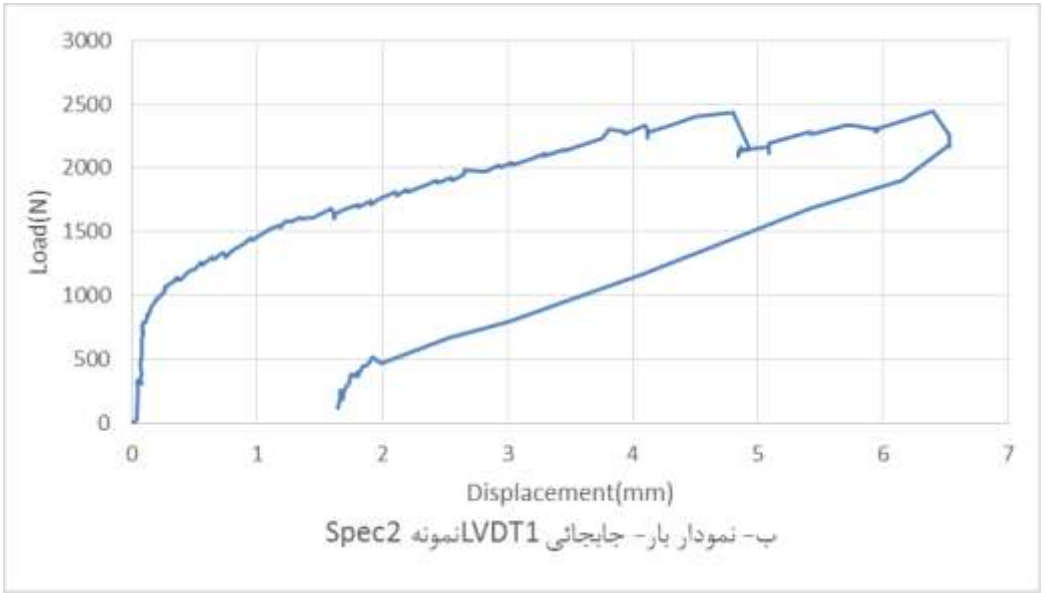

**شکل۱۰: تغییر شکل مخزن پس از اعمال باردنت**

و سرانجام جدا شدگی لبه فوقانی تکیه گاه که در بار ۲۱۵۶نیوتن رخ داد:

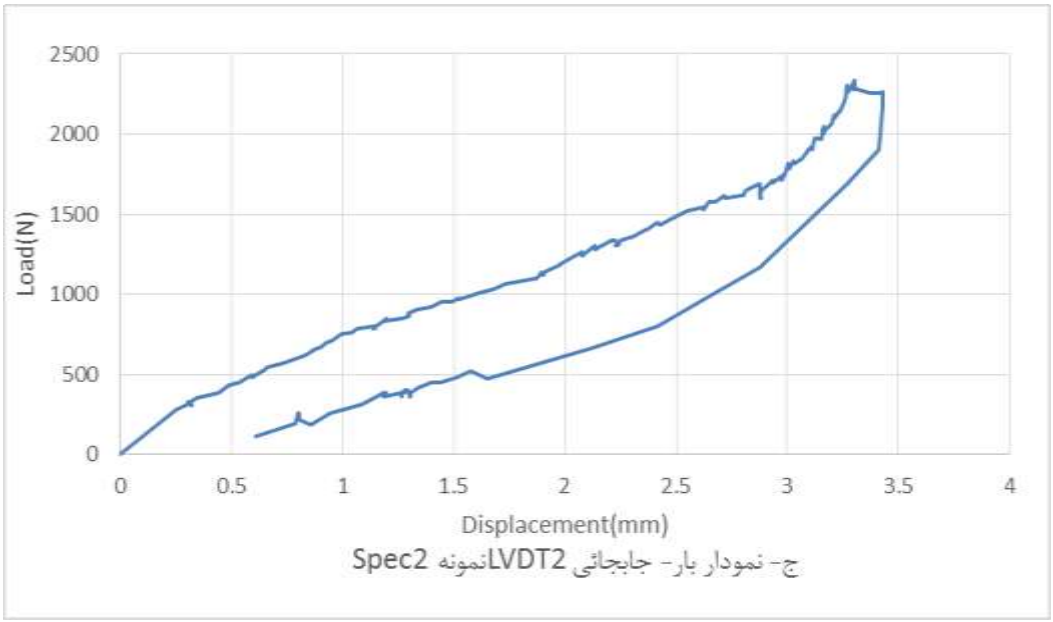
**شکل۱۱: جداشدگی پس از اعمال باردنت**

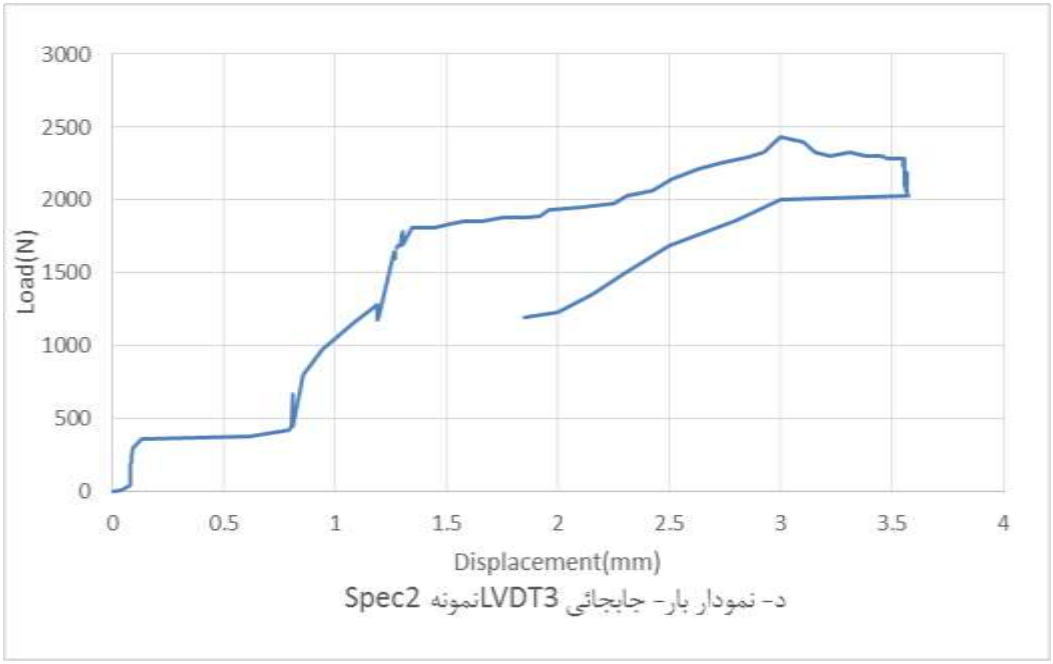
شکل های زیر مقادیر اندازه گیری شده کرنش و جابجائی را در نمونه آزمایشی دوم نشان می دهند.




**شکل۱۲: نمودارهای بدست آمده از آزمایش ۲**




**شکل۱۲: نمودارهای بدست آمده از آزمایش ۲**

پس از اعمال بارگذاری اولین صدای خفیف ترک در ۵۶۸,۴ نیوتن اتفاق افتاد، سپس صداهای ترک به ترتیب در ۶۹۶,۵۱و ۸۰۴,۴۲ نیوتن رخ داد، Reset کانال ۴ در ۱۳۱۴,۵۴ نیوتن انجام شد و به طور پیوسته صداهای خفیف ترک خوردگی به گوش می خورد، جداشدگی لبه فوقانی از تکیه گاه در ۲۱۵۸,۲نیوتن رخ داد و در ۲۴۵۲,۵ نیوتن صدای شدید ترک به وجود آمدو سبب افت بار شد و خروج از تکیه گاه اتفاق افتاد، سپس به ترتیب Reset کانال در کرنش های ۹۷،۹۱ و ۵۴ انجام شد.

## ۵. مقایسه رفتارنمونه ها

**جدول شماره۳- مقایسه رفتار نمونه ها تحت بار دندانه ای**

| ردیف | اسم نمونه | L(mm) | R(mm) | t(mm) | L/R | R/t | P(N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | عددی | آزمایشگاهی |
| -۱ | Spec-۱ | ۳۰۰ | ۴۰۰ | ۴ | ۰,۷۵ | ۱۰۰ | ۳۵۴۷,۶ | ۴۲۱۴ |
| -۲ | Spec-۲ | ۵۰۰ | ۴۰۰ | ۴ | ۱,۲۵ | ۱۰۰ | ۲۳۳۷ | ۲۴۵۰ |

در جدول فوق P مقدار بار دندانه ای وارد بر نمونه می باشد که باعث به وجود آمدن ترک می شود. همانطوریکه در جدول فوق مشاهده می کنید با توجه به مقایسه رفتار نمونه ها در دو روش آزمایشگاهی و عددی اولین تشابهی که در نتایج بدست آمده هردونمونه وجوددارد اینست که مقدار بار دندانه ای برای ایجاد ترک در نمونه در حالت عددی نسبت به آزمایشگاه کمتر است. قطعا مقادیر عددی با توجه به تحلیلهای نرم افزاری و با توجه به مشخصات مکانیکی که از کارخانه فراسان تهیه شده اند، بدست آمده است. اما مقادیر آزمایشگاهی کاملا واقعی بوده و ضریب خطا در آزمایشگاه بسیار کم می باشد. و علت خطا در آزمایشگاه ممکن است بدلیل عدم جاگذاری و نصب ابزارهای اندازه گیری در محل های مناسب ویا سایر خطا ها در طول آزمایش باشد. برای مثال در آزمایش دوم نیروی۲۳۳۷ نیوتن، مقدار بدست آمده برای ترک خوردن نمونه تحت بار دندانه ای در نرم افزار می باشد در حالیکه در آزمایشگاه نمونه در ۲۴۵۰ نیوتن ترک نخورد و فقط جداشدگی لبه ی مخزن از تکیه گاه در یک سمت به وجود آمد. در نتیجه چنین تخمین زده می شود که با گیردارتر کردن تکیه گاه ها در آزمایشات بعدی در همین مخزن نه تنها ظرفیت مخزن جهت تحمل بار دندانه ای بیشتر بشود بلکه تکیه گاهها نیز مقاومت بیشتری دربرابر بار وارده خواهند داشت.

## ۶. نتیجه گیری:

۱- درمراحل اولیه اعمال بار جانبی به وسیله گوه، عمده مقاومت مخزن توسط مقطع عرضی زیر گوه تامین می شود و در ادامه بارگذاری عمده مقاومت مخزن توسط تارهای طولی تامین می گردد که سهم تارهای طولی بیشتر می باشد.

۲- با مقایسه نمودارهای بار موضعی- تغییر شکل ملاحظه می شود هردو نمونه از ابتدا تا انتهای بارگذاری دارای رفتار خطی می باشند و با شیب یکسان پیش می روند که این رفتار ناشی از رفتار و خواص مصالح GFRP می باشد.

۳- با بررسی نمونه ها در آزمایشگاه مشاهده شد که در تمامی نمونه ها مدهای شکست در وسط دهانه و به صورت فرورفتگی در زیر محل اعمال بار موضعی و با صدای ترک خوردن GFRP به دلیل کشش ایجاد شده در آن ها می باشد.

۴- با اندازه گیری تغییر قطر های قائم و افقی در نمونه ها مشخص شد که میزان تغییر قطر قائم بیشتر از میزان تغییر قطر افقی مقطع می باشد. همچنین بروز تغییر شکل در سطح فوقانی زیر گوه شدیدتر از سطح جانبی و به صورت فرورفتگی می باشد.

۵- همبستگی مناسبی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج عددی بدست آمده از نرم افزار وجود دارد. اختلاف در مقادیر نهایی جابجائی ها در نمونه های آزمایشگاهی و نرم افزاری، ناشی از وجود ناکاملی در مشخصات مکانیکی، ناکاملی هندسی همچون تغییر در ضخامت، مدلسازی همراه با خطای شرایط تکیه گاهی نمونه های آزمایشگاهی می باشد که در مدلسازی نرم افزاری لحاظ نمی شود.

۶- رفتار مخازن استوانه ای از جنس GFRP همچون سایر مخازن فولادی جدار نازک تابع پارامترهای هندسی بوده ودر نمونه های مختلف تغییر این پارامتر تفاوتهای اساسی درظرفیت باربری، مقاومت و پایداری ایجاد نماید.

۷- علیرغم بعضی از ناکاملیهای هندسی و فیزیکی نتایج بدست آمده برای سایر آزمایشهایی که در آینده انجام می گیرد با نتایج عددی انطباق خوبی با هم داشته باشند .

۸- با توجه به مزایای متعدد پوسته های کامپوزیتی ، که بهترین جایگزین نمونه های فلزی مشابه می باشند مطالعه دقیق رفتار اینگونه پوسته ها دارای اهمیت فوق العاده است.

## ۷. مراجع

۱. Firouzsalari, S. E. and H. Showkati (۲۰۱۳). "Thorough investigation of continuously supported pipelines under combined pre-compression and denting loads." International Journal of pressure vessels and piping ۱۰۴: ۸۳-۹۵.

۲. Jandark Oshana Jajo(۲۰۱۴) "Dent behaviour of steel pipes under pressure load." University of Windsor ۲۰۱۴.

۳. Mousavi. V, H. Showkati (۲۰۱۸) "Experimental and Theoretical Investigation of GFRP Pipe lines Behavior Under the Simultaneous Effect of Axial Force and Dent Load."A thesis submitted to the Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirement for the degree of master of Science in Structural Engineering ۲۰۱۸.

٤. Zarrin.A, H.Showkati(۲۰۱۸) "Experimental investigation behavior of GRP pipe under denting load." A thesis submitted to the Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirement for the degree of master of Science in Structural Engineering ۲۰۱۸.