

Research Paper

Finite element study on stress distribution in impact of carbon nanotube composite patches used in the gas transfer tubing

*Mohammad Javidpour¹, Seyed Rahim Kiahosseini²

1- MSc. Student, Department of Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

Citation: Javidpour M, Kiahosseini S. R. Finite element study on stress distribution in impact of carbon nanotube composite patches used in the gas transfer tubing. Metallurgical Engineering 2017; 20(2) 132-141 <http://dx.doi.org/10.22076/me.2017.51901.1107>

doi: <http://dx.doi.org/10.22076/me.2017.51901.1107>

ABSTRACT

In the countries with natural gas, repair of gas transmission pipes is a problem. In this study, the epoxy composite with single wall carbon nanotubes reinforcements as patch was used and the von Mises stress distribution was determined. For this purpose, the tubular steel with thickness and length 6 mm 1.5 m was simulated in ANSYS software at both ends of the pipe patched-epoxy composite single-walled carbon nanotubes with reinforcing particles ratios 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1, 0.13 and 0.15 were applied. Then, according to the true values of internal pressure and external pressure, the stress of gas pipe distribution on the patch was determined. Von Mises stress results showed that, carbon nanotubes 0.01 times the maximum repair patch has 0.19 MPa von Mises stress is the maximum that occurred in the casing without patches that 1.48 Mpa is, much less. It was also found to increase the percentage of carbon nanotube to 0.15, von Mises stress to the maximum reaches 0.43 MPa. As a result, it can be stated that the nanocomposite patch greater ease in pipes, can be improved tensile properties are repaired areas. As well as increasing the percentage of nanotubes in composites, von Mises stress increases the maximum in the elderly.

Keywords: epoxy resins, von Mises stresses, ANSYS software.

■ ■

* *Corresponding Author:*

Seyed Rahim Kiahosseini, PhD

Address: Department of Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

Tel: +98 (23) 35225067

E-mail: rkiahoseyni@yahoo.com

بررسی المان محدود تاثیر نانولوله کربنی بر توزیع تنش در وصله‌های کامپوزیتی مورد استفاده در لوله‌های انتقال گاز

محمد جاوید پور^۱، سید رحیم کیا حسینی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
 ۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

چکیده

تعمیر لوله‌های انتقال گاز، یکی از معضلات کشورهای دارای منابع گاز طبیعی است. در این تحقیق سعی شد، با استفاده از کامپوزیت‌های پایه اپوکسی با تقویت‌کننده‌های نانو لوله کربنی تک جداره، به عنوان وصله‌های مورد استفاده در لوله گاز، به بررسی توزیع تنش وون میسر در آن پرداخته شود. برای این منظور ابتدا لوله‌ای از جنس فولاد با ضخامت ۶ mm و به طول ۱/۵ m در نرم‌افزار ANSYS شبیه‌سازی شد و در دو سر لوله وصله‌های کامپوزیتی پایه اپوکسی با ذرات تقویت‌کننده نانو لوله کربنی تک جداره با نسبت‌های ۰/۰۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۰۷، ۰/۱، ۰/۱۳، ۰/۱۵ و اعمال شد و مش‌بندی گردید. سپس با توجه به مقادیر حقیقی فشار درونی گاز و فشار خارجی لوله، توزیع تنش بر روی وصله بدست آمد. نتایج نشان داد که تنش وون میسر ماکزیمم در وصله‌های تعمیری دارای ۰/۰۱ نانولوله کربنی برابر ۰/۱۹ MPa می‌باشد که نسبت به تنش وون میسر ماکزیمم به وجود آمده در پوشش لوله بدون وصله که ۱/۴۸ MPa است، بسیار کمتر می‌باشد. همچنین مشخص گردید با افزایش درصد نانولوله کربنی به ۰/۱۵، تنش وون میسر ماکزیمم به ۰/۴۳ MPa می‌رسد. در نتیجه می‌توان بیان نمود که وصله‌های نانو کامپوزیتی ضمن سهولت بیشتر در تعمیر خطوط لوله انتقال گاز، می‌تواند باعث بهبود خواص استحکامی مناطق تعمیر شده گردند. همچنین افزایش درصد نانو لوله در ترکیب کامپوزیت، باعث افزایش تنش وون میسر ماکزیمم در آن می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: رزین اپوکسی، تنش وون میسر، نرم افزار ANSYS.

۱. مقدمه

اجرا می‌گردد. این روش شامل تقویت محل‌های خورده شده توسط وصله‌های FRP در اطراف لوله می‌باشد. تقویت لوله با مواد FRP دارای مزایای مختلفی نسبت به روش‌های سنتی است. استفاده از این روش سریع‌تر و ساده‌تر قابل اجرا است و بدون قطع شبکه انتقال می‌توان لوله را تعمیر نمود. احتمال آتش‌سوزی و انفجار ناشی از جوشکاری یا برش لوله وجود ندارد (۱۳) و این روش اقتصادی‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد (۱۴). در یک تحقیق مقایسه‌ای، مشخص گردید که تعمیر خط لوله با FRP حدود ۲۴٪ ارزان‌تر از تعمیر با جوشکاری وصله فولادی و ۷۳٪ ارزان‌تر از جایگزین کردن لوله آسیب دیده می‌باشد (۱۵). سیستم تعمیر FRP باعث ایزوله کردن عیوب خارجی از محیط خورنده شده و در نتیجه خوردگی خارجی کمتر و نیاز به تعمیر مجدد را به تعویق می‌اندازد. در برخی موارد جهت افزایش عمر سطوح داخلی لوله از مواد مانع کننده در سیال استفاده می‌نمایند (۷). رفتار لوله‌های تعمیر شده با وصله‌های مختلف توسط محققین مختلفی بررسی شده است و پارامترهای مختلف (۱۶-۲۳) در شرایط بارگذاری

یکی از منابع تامین انرژی در دنیا، نفت و گاز طبیعی می‌باشد (۱). به دلیل اینکه لوله‌های فولادی ارزان قیمت هستند، لذا در خطوط انتقال نفت و گاز از آنها بسیار استفاده شده است (۲). این لوله‌ها در معرض آسیب‌دیدگی‌های داخلی یا خارجی ناشی از فرسایش و خوردگی هستند (۳، ۴). این آسیب‌ها در هنگام حمل و نقل یا تولید لوله و یا در حین استفاده در محیط خورنده رخ می‌دهد. بیشتر از ۶۰٪ خطوط لوله در دنیا، بیشتر از ۴۰ سال عمر دارند (۵، ۶). در نتیجه اصلاح لوله‌های آسیب دیده به منظور افزایش کارایی آنها امری ضروری است (۷). روش مرسوم این است که قسمت‌های آسیب دیده یا خورده شده جدا می‌شوند و با لوله جدید یا وصله جایگزین می‌شود (۸). در دهه اخیر از کامپوزیت‌های پایه پلیمری دارای مواد تقویت کننده (Reinforced Poly-Fiber FRP) به منظور تعمیر لوله‌ها استفاده گردیده است (۹). این روش طبق استانداردهای کد لوله ASME B31.4 (۱۰) و ASME B31.8 (۱۱) و همچنین CSA Z662 (۱۲) تعریف و

* نویسنده مسئول:

دکتر سید رحیم کیا حسینی

نشانی: دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، گروه مهندسی مکانیک.

تلفن: ۰۲۳) ۹۸+۳۵۲۲۵۰۶۷

پست الکترونیکی: rkiahoseyni@yahoo.com

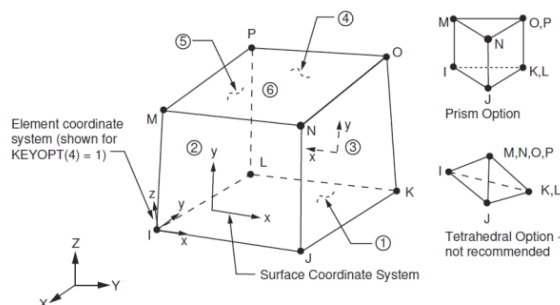
جدول ۱. مدول یانگ نانو کامپوزیت با درصد وزنی مختلف

مدول یانگ با استفاده از قانون مخلوط (GPa)	در صد وزنی ماتریس اپوکسی (%wt)	در صد وزنی نانولوله کربنی تک جداره (%wt) با قطر ۰/۶۸ nm
۱۳/۴۸	۰/۹۹	۰/۰۱
۳۴/۴۱	۰/۹۷	۰/۰۳
۵۵/۳۵	۰/۹۵	۰/۰۵
۷۶/۲۹	۰/۹۳	۰/۰۷
۱۰۷/۷	۰/۹	۰/۱
۱۳۹/۱	۰/۸۷	۰/۱۳
۱۶۰/۰۵	۰/۸۵	۰/۱۵

با استفاده از قانون مخلوط و درصد وزنی‌های مختلف مدول یانگ نانو کامپوزیت شامل نانولوله کربنی تک جداره با قطر ۰/۶۸ nm مطابق جدول (۱) به دست می‌آید.

با توجه به قابلیت‌های ویژه روش عددی در حل مسائل، مدل المان محدود لوله و وصله نانو کامپوزیتی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. برای مدل‌سازی و تحلیل از نرم افزار ANSYS استفاده شد. به منظور صحت‌گذاری مدل، یک تحلیل مودال (ارتعاشات آزاد) از نوع آزاد-آزاد انجام گرفت. برای این منظور یک المان متناسب با لوله با مدل المان Solid45 انتخاب گردید. این المان یک المان شش وجهی بود که برای مدل‌سازی اجسام سه بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این المان دارای ۸ گره است و در صورتی که چند گره المان روی هم منطبق شوند المان به شکل ساده‌تر مثل هرم تبدیل می‌شود. هر گره دارای سه درجه آزادی جابجایی در جهات X, Y, Z می‌باشد. از این المان برای مسائل خطی و غیرخطی می‌توان استفاده کرد [۸]. شکل (۱-الف) انتخاب المان Solid45 را نشان می‌دهد.

سپس مدول یانگ، نسبت پواسون و چگالی به منظور معرفی جنس لوله در نرم‌افزار وارد گردید. جنس لوله فولاد ضد زنگ در نظر گرفته شد که مشخصات آن در جدول (۲) نشان داده شده است. سپس مطابق شکل ۲، مدل طراحی شده مدل مش‌بندی گردید. برای حل مسئله از روش Block Lanczos استفاده شد. این روش نرخ همگرایی سریعی نسبت به دیگر روش‌ها دارد و برای مدل‌هایی که مش‌بندی مناسب ندارند



شکل ۱. الف) المان سه بعدی Solid45

مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۰، ۲۴). به عنوان نمونه، در دو تحقیق مجزا پیفنینگ و همکاران (۲۵، ۲۶) تاثیر حضور گاز CO₂ در دمای ۶۰-۴۰ °C بر روی خوردگی لوله‌های فولادی مورد بررسی قرار دادند.

در این تحقیق رفتار مکانیکی وصله‌های نانو کامپوزیتی تقویت شده به وسیله نانولوله کربنی بر روی لوله‌های فولاد زنگ‌نزن در حین سرویس به وسیله نرم افزار ANSYS نسخه ۱۶ مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲. روش تحقیق

یک متر از یک لوله فولادی کربن استیل به ضخامت ۶ mm و شعاع داخلی ۰/۱۴۶ m و شعاع خارجی ۰/۱۵۲ m که دارای کلتار باشد به وسیله نرم افزار ANSYS نسخه ۱۶ مدل گردید. پوشش معمولی وسط این لوله را به مقدار ۵۰ cm جدا کرده و با پوشش نانو کامپوزیت پوشش داده شد. مدول یانگ نانو کامپوزیت با استفاده از قانون مخلوط مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (۲۷). معادله ۱.

$$E_{(nc)} = E_{(n)}V_{(n)} + E_{(m)}V_{(m)}$$

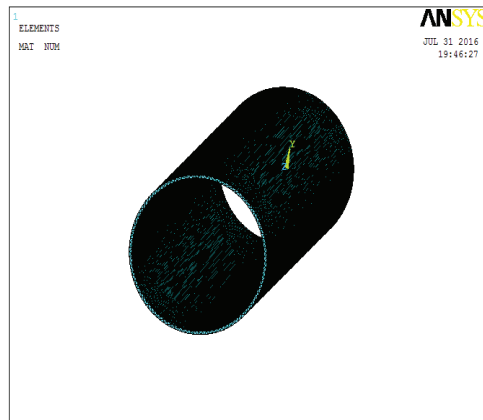
که در این رابطه E_n و E_m به ترتیب مدول یانگ نانو لوله و ماتریس اپوکسی و V_n و V_m به ترتیب کسر حجمی نانو لوله و ماتریس اپوکسی می‌باشد. با توجه به مدول الاستیسیته نانولوله کربنی تک جداره با قطر ۰/۶۸ nm و ماتریس اپوکسی که به ترتیب ۱۰۵۰ GPa (۲۸) و ۳ GPa (۲۹) هستند، با استفاده از قانون مخلوط و در صد وزنی‌های مختلف مدول یانگ نانو کامپوزیت به دست آمد. چنانچه درصد وزنی نانولوله کربنی تک جداره و اپوکسی به ترتیب ۰/۱ و ۰/۹۰ در نظر گرفته شود. لذا مدول الاستیسیته نانو کامپوزیت شامل نانولوله کربنی تک جداره با قطر ۰/۶۸ nm مطابق زیر به دست می‌آید:

$$E_{nc} = (1050)(0/1) + (3)(0/9) = 107/YGPa$$

جدول ۲. نتایج ده فرکانس طبیعی اول

***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	0.0000	1	1	1
2	0.0000	1	2	2
3	0.0000	1	3	3
4	0.13331E-02	1	4	4
5	0.17709E-02	1	5	5
6	0.21081E-02	1	6	6
7	335.09	1	7	7
8	345.19	1	8	8
9	351.82	1	9	9
10	365.35	1	10	10



شکل ۲. مدل مش‌بندی شده در نرم‌افزار ANSYS

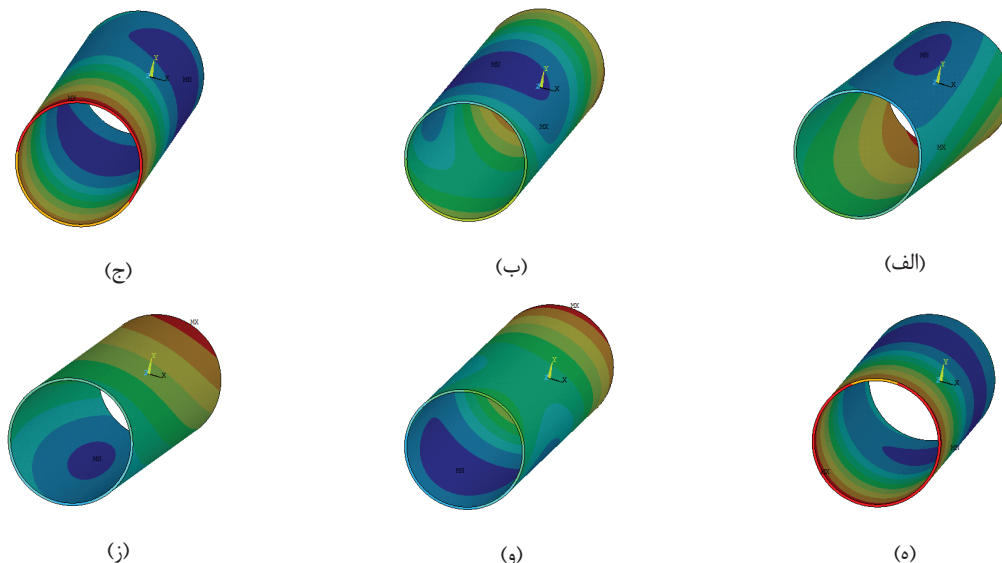
سازه تاثیرگذار است. نتایج به دست آمده نشان داد که از ده فرکانس به دست آمده شش فرکانس طبیعی اول صفر و نزدیک به صفر بوده و بقیه فرکانس‌ها غیر صفر می‌باشند جدول (۲). فرکانس‌های پنجم و ششم دقیقاً صفر نبوده ولی مقادیر ناچیزی دارند که تقریباً صفر در نظر گرفته شدند. در شرایط تحلیل مودال در حالت آزاد-آزاد (به این مفهوم که سازه هیچ قیدی ندارد) چون مدل بدون درگیری بوده لذا سختی کل سیستم k باید صفر باشد. بنابراین چنانچه پس از اعمال شرایط مودال به تعداد درجات آزادی صلب جسم فرکانس طبیعی تقریباً صفر باشد، مدل و اعمال شرایط صحیح بوده است. درجه آزادی تعداد پارامترهایی است که برای بیان رفتار سازه مورد نیاز می‌باشد. با توجه به توضیحات اشاره شده، صفر بودن شش فرکانس اول بیانگر صحیح بودن مدل بوده و به این ترتیب مدل صحت گذاری شده و درستی آن اثبات می‌شود. از طرف دیگر شکل مودهای به دست آمده نیز درست بودن مدل را تایید کردند. شش شکل مود اول از نوع صلب و بقیه شکل مودها از نوع قابل انعطاف بودند. در شکل‌های (۳) (الف) تا (و) مودهای ارتعاشی صلب و در شکل‌های (۴) (الف) تا (د) مودهای ارتعاشی قابل انعطاف نشان داده شده است.

مطلوب است. همچنین نیاز به فضای حافظه متوسط و حجم پایین دیسک سخت از برتری‌های این روش حل مودال نسبت به سایر روش‌های معمولی می‌باشد. در ادامه برای حل مسئله تعداد فرکانس‌های طبیعی و بازه فرکانسی تعریف گردید. برای دستیابی به دقت مناسب تر تعداد فرکانس‌های طبیعی ۱۰ فرکانس اول، و بازه فرکانسی بین ۰ تا ۱۵۰۰۰ تعیین شد و در نهایت نیز مسئله در درصدهای مختلف نانو لوله کربنی حل گردید.

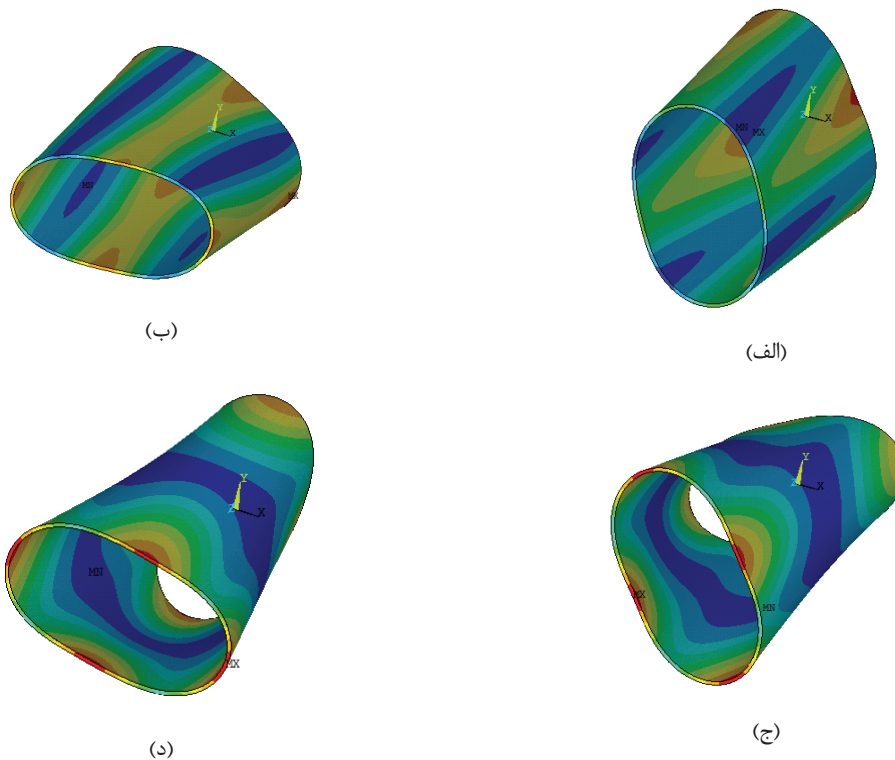
۳. نتایج و بحث

بررسی نتایج تحلیل مودال

به طور کلی دو نوع نتیجه مهم از تحلیل مودال استخراج می‌شود یکی فرکانس‌های طبیعی سازه و دیگری شکل مودهای مربوط به سیستم که در هر دو سختی و جرم



شکل ۳. (الف) شکل مود اول نوع صلب، (ب) شکل مود دوم نوع صلب، (ج) شکل مود سوم نوع صلب، (د) شکل مود چهارم نوع صلب، (ه) شکل مود پنجم نوع صلب، (و) شکل مود ششم نوع صلب.



شکل ۴. الف) شکل مود هفتم نوع قابل انعطاف، ب) شکل مود هشتم نوع قابل انعطاف، ج) شکل مود نهم نوع قابل انعطاف، د) شکل مود دهم نوع قابل انعطاف.

جدول ۳. مقایسه جرم لوله در دو حالت آزمایشگاهی و نرم افزاری

جرم لوله kg	
نتایج آزمایشگاهی	نتایج نرم افزار
۴۴	۴۴/۳

شکل (۵-الف) طراحی گردید. سپس مشخصات فولاد، پوشش و نانو کامپوزیت با توجه به قانون مخلوط جهت تقویت برای نرم افزار معرفی و مدل مش بندی گردید. سپس پوشش با معرفی جنس متناظر (جنس ۲) اعمال و مش بندی گردید. مدل مش بندی شده و هندسه بزرگ نمایی شده از فولاد و پوشش در شکل (۶) نشان داده شده است.

در ادامه حجم نانوکامپوزیت نیز با معرفی جنس مرتبط (جنس ۳) مطابق شکل (۷) مش بندی گردید. در این شکل هندسه بزرگ نمایی شده از فولاد و پوشش و نانو کامپوزیت نشان داده شده است.

پس از مش بندی و اتمام آن مدل آماده اعمال شرایط بار گذاری و تکیه گاهی گردید. از آنجایی که لوله مورد بحث زیر خاک مدفون شده است شرایط بار گذاری شامل اعمال فشار خاک روی لوله و اعمال فشار داخلی ناشی از انتقال گاز می‌باشد. با استفاده از قانون فشار استاتیک و مقادیر چگالی خاک شتاب گرانش و ارتفاع دو متری خاک داریم (رابطه (۲)):

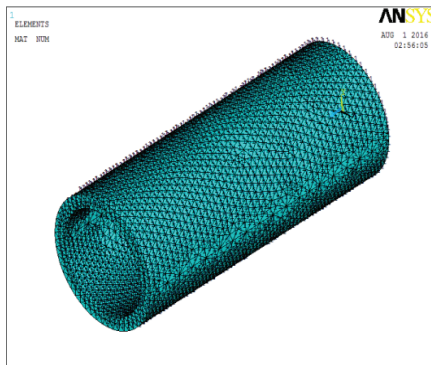
اعتبار سنجی

برای اعتبار سنجی نتایج نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. مطابق جدول (۳)، نتایج نرم افزار تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت.

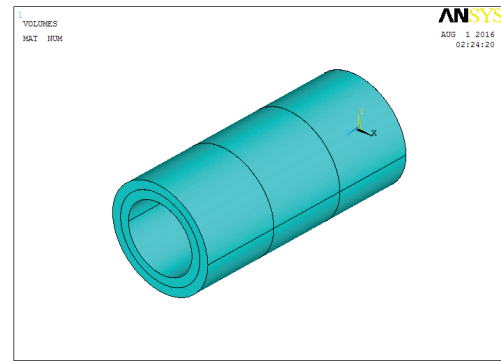
با توجه به صفر بودن شش فرکانس طبیعی اول، صلب بودن شش شکل مود اول، قابل انعطاف بودن بقیه شکل مودها و تطابق خوب نتیجه جرم در دو حالت آزمایشگاهی و نرم افزاری مدل صحت‌گذاری می‌شود. لذا می‌توان به عملکرد صحیح نرم افزار اعتماد کرد.

تحلیل تنش لوله با وصله نانوکامپوزیتی در نرم افزار ANSYS

با توجه به اینکه لوله های خطوط انتقال گاز دارای قطر بیش از ۲۰ cm هستند، لوله ای با قطر داخلی ۲۴ cm و قطر خارجی ۳۰ cm به طول ۱/۵ m مدلسازی گردید. محل نصب نانو کامپوزیت به مقدار ۵۰ cm در وسط لوله فولادی به طول ۱/۵ m که طرفین لوله به اندازه ۵۰ cm دارای پوشش (از جنس کلتار) به ضخامت ۶ cm بود. مدل ایجاد شده مطابق

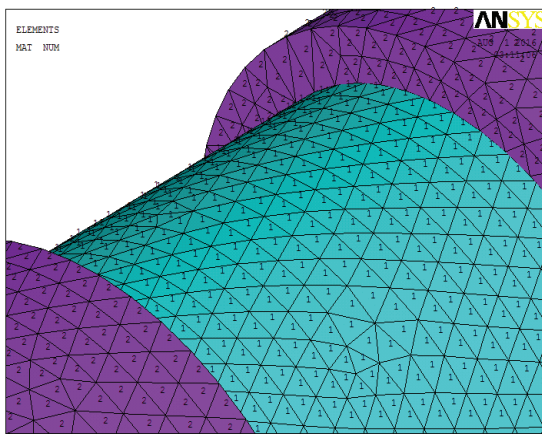


(ب)

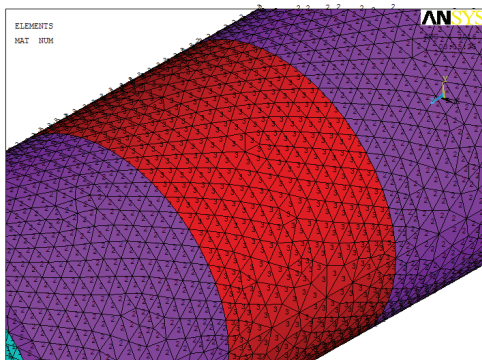


(الف)

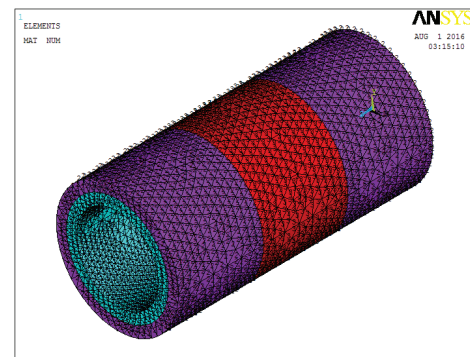
شکل ۵. الف) مدل لوله و پوشش کلتار و پوشش نانو کامپوزیت، ب) مش بندی لوله فلزی.



شکل ۶. الف) مش بندی پوشش کلتار در لوله تعمیری، ب) نمای بزرگ شده لوله تعمیری



(ب)



(الف)

شکل ۷. الف) مش بندی لوله تعمیری با نانو کامپوزیت، ب) مش بندی لوله تعمیری با نانو کامپوزیت.

پوشش و نانو کامپوزیت اعمال شود. از آن جایی که پوشش دارای دو طول ۵۰ cm و نانو کامپوزیت دارای طول ۵۰ cm می باشد، فشار ۱۹۰۰۰ Pa متناسب با طول هر قسمت روی مدل اعمال گردید.

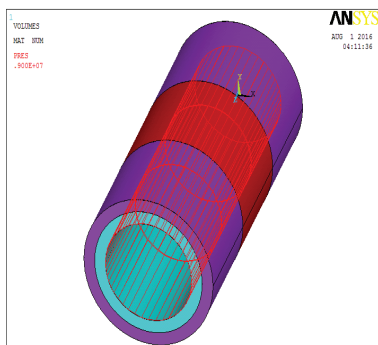
فشار روی قسمت پوشش $38000 \times 0.66 = 25080$
 فشار روی قسمت نانو کامپوزیت $38000 \times 0.33 = 12540$

معادله ۲.

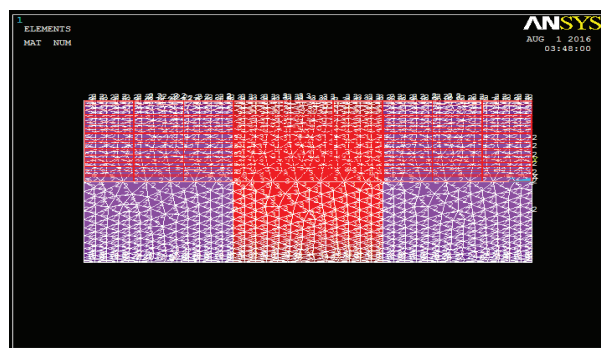
$$P = \rho gh$$

$$P = 1900 * 10 * 2 = 38000$$

به این ترتیب مقدار فشار ۳۸۰۰۰ Pa به دست آمد. این مقدار فشار باید روی کل یک متر لوله و روی قسمت های



(ب)



(الف)

شکل ۸. الف) اعمال فشار استاتیکی ناشی از خاک به لوله، ب) اعمال فشار داخلی ۹۰ bar خط انتقال.

است. قطعا مقداری از تنش نیز به کلتار اعمال می شود که مشاهده می گردد بیشترین و کمترین مقادیر تنش اعمالی به آن به ترتیب ۱/۴۸ MPa و ۱۸۳۶۹ MPa می باشد.

در شکل (۹- ج) مقدار تنش اعمالی به پوشش نانوکامپوزیتی شامل نانولوله کربنی تک جداره با قطر ۰/۶۸ nm نشان داده شده است. مشاهده می شود تنش کمتری در مقایسه با لوله فلزی و پوشش کلتار روی قسمت تعمیراتی نانو کامپوزیتی اعمال می شود. مطابق شکل بیشترین و کمترین مقادیر تنش اعمالی به پوشش نانوکامپوزیت به ترتیب ۱۲۸۹۲ Pa و ۱۹۰۱۷۵ Pa می باشد.

در ادامه به طور خلاصه نتایج مربوط به این تحلیل (۰/۱) نانو لوله کربن به عنوان فاز تقویت کننده و ۰/۹۹ اپوکسی به عنوان فاز اصلی) در جدول (۴) آمده است.

با توجه به جدول می توان دریافت که پوشش نانوکامپوزیت شامل نانولوله کربنی تک جداره با قطر ۰/۶۸ nm دارای مقاومت خوبی نسبت به قسمت های دیگر است.

در ادامه مشابه قبل، درصد وزنی مختلف برای نانولوله کربنی تک جداره و ماتریس اپوکسی تحلیل تنش انجام شد و نتایج در هر کدام از بخش های لوله محاسبه گردید.

جدول (۵) ریز تنش در قسمت های مختلف با در صد وزنی های مختلف را نشان می دهد. با توجه نتایج مشخص است که در تمامی حالت ها پوشش نانوکامپوزیت شامل نانولوله کربنی تک جداره با قطر ۰/۶۸ nm دارای تنش کمتر و به عبارتی استحکام بیشتری نسبت به لوله فلزی و کلتار می باشد. ضمن اینکه نانو کامپوزیت با در صد وزنی

در ادامه این مقادیر روی لوله مطابق شکل (۸- الف) اعمال شد. همچنین با توجه به اینکه میزان فشار خطوط انتقال بین ۱۴ bar تا ۹۰ bar است، بیشترین میزان فشار یعنی ۹۰ bar به لوله تعمیراتی با وصله نانوکامپوزیت اعمال گردید (شکل ۸- ب)). در نهایت شرایط تکیه گاهی شامل ثابت شدن دو سر لوله در تمام جهات نیز اعمال گردید و مساله حل و نتایج مورد بررسی قرار گرفت.

یکی از نتایجی که نرم افزار ANSYS می تواند به کاربر ارائه کند تنش فون میز می باشد، که مطابق روابط (۳) و (۴) است. که در این روابط σ_x تنش عمودی، τ_{xy} تنش برشی، σ_1 تنش اصلی ماکزیمم و σ_2 تنش اصلی مینیموم می باشد.

معادله ۳.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

معادله ۴.

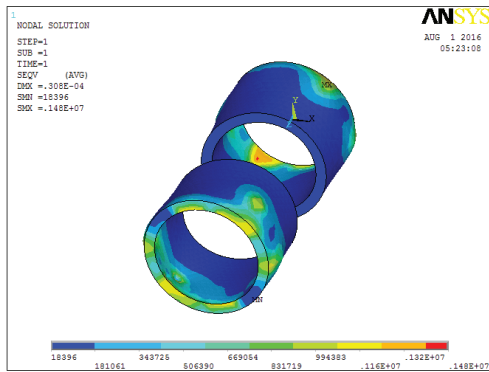
$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$$

در شکل (۹- الف) تنش در لوله فلزی را نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود مقدار زیادی از تنش روی این قسمت اعمال می گردد. همانطور که مشاهده می گردد بیشترین و کمترین مقادیر تنش اعمالی به لوله فلزی به ترتیب ۴۶/۹ MPa و ۸ MPa می باشد.

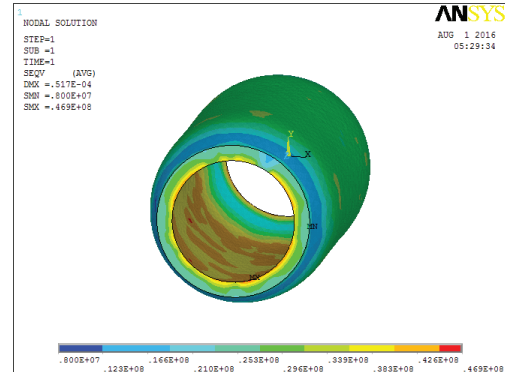
در شکل (۹- ب) تنش در پوشش کلتار نشان داده شده

جدول ۴. مقایسه تنش در بخش های مختلف

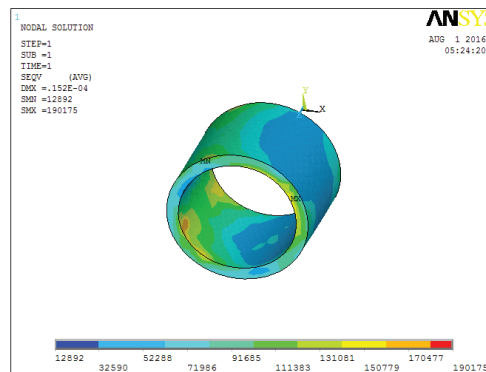
بخش های مختلف	لوله تعمیراتی	پوشش کلتار	پوشش نانوکامپوزیت شامل نانولوله کربنی تک جداره با قطر ۰/۶۸ nm
بیشترین تنش	۴۶/۹ MPa	۱/۴۸ MPa	۰/۱۹ MPa
کمترین تنش	۸ MPa	۱۸۳۶۹ Pa	۱۲۸۹۲ Pa



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۹. الف) تنش اعمال شده بر لوله فلزی، ب) تنش اعمال شده بر پوشش کلتار، ج) تنش اعمال شده بر پوشش نانوکامپوزیتی

جدول ۵. مقایسه تنش در بخش‌های مختلف لوله با درصد وزنی‌های مختلف

درصد وزنی نانولوله کربنی تک جداره	درصد وزنی ماتریس اپوکسی	مدول یانگ با استفاده از قانون مخلوط (GPa)	تنش لوله فلزی (MPa)	تنش پوشش کلتار (MPa)	تنش پوشش نانوکامپوزیت (MPa)
۰/۰۱	۰/۹۹	۱۳/۴۷	$\sigma_{max} = ۴۶/۹$ $\sigma_{min} = ۸$	$\sigma_{max} = ۱/۴۸$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۸$	$\sigma_{max} = ۱/۱۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۲$
۰/۰۳	۰/۹۷	۳۴/۴۱	$\sigma_{max} = ۴۶/۹$ $\sigma_{min} = ۸$	$\sigma_{max} = ۱/۴۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۷$	$\sigma_{max} = ۰/۲۸$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۵$
۰/۰۵	۰/۹۵	۵۵/۳۵	$\sigma_{max} = ۴۶/۹$ $\sigma_{min} = ۸$	$\sigma_{max} = ۱/۴۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۶$	$\sigma_{max} = ۰/۳۳$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۸$
۰/۰۷	۰/۹۳	۷۶/۲۹	$\sigma_{max} = ۴۶/۹$ $\sigma_{min} = ۸$	$\sigma_{max} = ۱/۴۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۵$	$\sigma_{max} = ۰/۳۶$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۷$
۰/۱	۰/۹	۱۰۷/۷	$\sigma_{max} = ۴۶/۹$ $\sigma_{min} = ۸$	$\sigma_{max} = ۱/۴۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۵$	$\sigma_{max} = ۰/۳۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۲۲$
۰/۱۳	۰/۸۷	۱۳۹/۱	$\sigma_{max} = ۴۶/۹$ $\sigma_{min} = ۸$	$\sigma_{max} = ۱/۴۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۵$	$\sigma_{max} = ۰/۴۲$ $\sigma_{min} = ۰/۰۲۷$
۰/۱۵	۰/۸۵	۱۶۰/۰۵	$\sigma_{max} = ۴۶/۹$ $\sigma_{min} = ۸$	$\sigma_{max} = ۱/۴۹$ $\sigma_{min} = ۰/۰۱۵$	$\sigma_{max} = ۰/۴۳$ $\sigma_{min} = ۰/۰۲۸$

کامپوزیتی پایه اپوکسی تقویت شده با نانو لوله کربنی تک‌جداره می‌تواند تاثیر بسزایی در توزیع تنش وون میسر در وصله‌های ساخته شده داشته باشد. توزیع تنش ماکزیمم در این وصله‌ها کمتر از پوشش مورد استفاده بر روی لوله بود که می‌توان نتیجه گرفت این وصله‌های در برابر نیروهای وارد شده به خوبی مقاومت خواهند نمود. همچنین با افزایش درصد نانو لوله کربنی در کامپوزیت، تنش وون میسر ماکزیمم کاهش یافت که می‌تواند ناشی از افزایش مدول یانگ در کامپوزیت باشد و افزایش رفتار ترد در آن باشد.

نانولوله کربنی تک‌جداره ۰/۰۱ و ماتریس اپوکسی ۰/۹۹ دارای کمترین تنش بوده و مناسبترین درصد ترکیب می‌باشد. به عبارتی با افزایش درصد نانو لوله کربنی، مدول یانگ کامپوزیت افزایش یافته است، لذا وصله مورد استفاده رفتار تردتری از خود نشان داده است. همین خواص ماده باعث شده تا توزیع تنش یکنواختی در وصله صورت نگیرد و لذا تنش وون میسر ماکزیمم به صورت منطقه‌ای افزایش یابد.

۴. نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که پوشش

References

- [1] Shamsuddoha M, Islam MM, Aravinthan T, Manalo A, Lau K-t. Effectiveness of using fibre-reinforced polymer composites for underwater steel pipeline repairs. *Composite Structures* 2013;100:40-54.
- [2] Kennedy JL. *Oil and gas pipeline fundamentals*. Tulsa, Oklahoma: PennWell Publishing Company; 1993. 271 p.
- [3] Frankel GS. Pitting Corrosion of Metals A Review of the Critical Factors. *Journal of the Electrochemical Society*. 1998;145(6):2186-98.
- [4] R.Francis. Galvanic corrosion of high alloy stainless steel in sea water. . *British Corrosion Journal*. 1994;26(1):53-9.
- [5] Evaluating different rehabilitation approaches. the magazine, Gas, North America, Oil. 2010.
- [6] Saeed N, Ronagh H, Virk A. Composite repair of pipelines, considering the effect of live pressure-analytical and numerical models with respect to ISO/TS 24817 and ASME PCC-2. *Composites: Part B* 2014;58:605-10.
- [7] J.L.F. Freire, Vieira RD, Diniz JLC, Meniconi LC. PART 7: EFFECTIVENESS OF COMPOSITE REPAIRS APPLIED TO DAMAGED PIPELINE. *Experimental Techniques*. 2007;31(5):59-66.
- [8] Mohitpour M, Golshan H, Murray A. *Pipeline Design & Construction: A Practical Approach*. Third ed. New York, United States: American Society of Mechanical Engineers; 2007.
- [9] Bakis CE, Lawrence C. Bank FA, V. L. Brown MA, Cosenza E, J. F. Davalos AMA, Lesko JJ, et al. Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction—State-of-the-Art Review. *Journal of Composites for Construction*. 2002;6(2):73-87.
- [10] ASME. *Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids*. ASME B3142009.
- [11] ASME. *power piping*. ASME B3112010.
- [12] Association CS. *oil and gas pipeline systems*. CSA Z662-072007.
- [13] Duell JM, Wilson JM, Kessler MR. Analysis of a carbon composite overwrap pipeline repair system. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2008;85(11):782-8.
- [14] Goertzen WK, Kessler MR. Dynamic mechanical analysis of carbon/epoxy composites for structural pipeline repair. *Composites Part B: Engineering*. 2007;38(1):1-9.
- [15] Koch GH, Brongers M, Thompson NG, Virmani YP, Payer JH. *CORROSION COST AND PREVENTIVE STRATEGIES IN THE UNITED STATES*. United States: National Technical Information Service, 2002.
- [16] Niu L, Cheng YF. Corrosion behavior of X-70 pipe steel in near-neutral pH solution. *Applied Surface Science*. 2007;253(21):8626-31.
- [17] Newberry AL. World's largest high pressure, large diameter GRP pipe project <http://www.materialstoday.com/composite-applications/features/worlds-largest-high-pressure-large-diameter-grp/>: *Materials Today*; 2008 [cited 2016 November 6].
- [18] Gibson AG, Linden JM, Elder D, Leong KH. Non-metallic pipe systems for use in oil and gas. *Plastics, Rubber and Composites* 2011;40:465-80.
- [19] Alexander C, Cercione L, Lockwood J. Development of a Carbon-Fiber Composite Repair System for Offshore Risers. 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering: American society of, Mechanical engineering; 2008. p. 389-405.
- [20] Alexander C, Ochoa OO. Extending onshore pipeline repair to offshore steel risers with carbon-fiber reinforced composites. *Composite Structures*. 2010;92(2):499-507.
- [21] Kessler MR, Walker RH, Kadakia D, Wilson JM, Duell JM, Goertzen WK. Evaluation of Carbon/Epoxy Composites for Structural Pipeline Repair. 5th International Pipeline Conference; 1427; Canada: American Society of Mechanical Engineers; 2004. p. 1427-32.
- [22] Meniconi LCM, Freire JLF, Vieira RD, Diniz JLC. Stress Analysis of Pipelines With Composite Repairs. 4th International Pipeline Conference; Calgary, Alberta, Canada20020.
- [23] Keller MW, Jellison BD, Ellison T. Moisture effects on the thermal and creep performance of carbon fiber/epoxy composites for structural pipeline repair. *Composites Part B: Engineering*. 2013;45(1):1173-80.
- [24] Shouman A, Taheri F. Compressive strain limits of composite repaired pipelines under combined loading states. *Composite Structures*. 2011;93(6):1538-48.
- [25] Pfennig A, Linke B, Kranzmann A. Corrosion behaviour of pipe steels exposed for 2 years to CO₂-saturated saline aquifer environment similar to the CCS-site Ketzin, Germany. *Energy Procedia*. 2011;4:5122-9.
- [26] Pfennig A, Kranzmann A. Effects of saline aquifere water

- on the corrosion behaviour of injection pipe steels 1.4034 and 1.7225 during exposure to CO₂ environment. *Energy Procedia*. 2009;1(1):3023-9.
- [27] Saito R, Fujita M, Dresselhaus G, Dresselhaus MS. Electronic structure of chiral graphene tubules. *Applied Physics Letters*. 1992;60:2204-6.
- [28] Kalamkarov AL, Georgiades AV, Rokkam SK, Veedu VP, Ghasemi-Nejhad MN. Analytical and numerical techniques to predict carbon nanotubes properties. *International Journal of Solids and Structures*. 2006;43(22-23): 6832-54.
- [29] Zaeri MM, Ziaei-Rad S, Vahedi A, Karimzadeh F. Mechanical modelling of carbon nanomaterials from nanotubes to bucky-paper. *Carbon*. 2010;48(13):3916-30.