

تحلیل و آنالیز مخزن CNG کامپوزیتی با آستر غیرفلزی تحت ضربه با سرعت پائین

عباس وفائی صفت^۱، محمد تفضلی هرنندی^۲
Abbas_v@yahoo.com

چکیده

مخزن گاز طبیعی فشرده CNG از جنس کامپوزیت کربن - اپوکسی با آستر غیرفلزی حدوداً ۶۰٪ از مخزن آلومینیومی با ابعاد و هندسه و شرایط کاری مشابه، سبک تر است. یکی از پارامترهای مهم در طراحی این مخزنها، مقاومت آنها در برابر ضربه و جلوگیری از انفجار است. در این مقاله، اثر ضربه با سرعت پائین بر مخزن کامپوزیتی گاز طبیعی فشرده بوسیله روش اجزاء محدود مورد بررسی قرار گرفته است. رفتار مخزن تحت ضربه با سرعت و زوایای مختلف و تغییر زوایای پیچش براساس معیار شکست چانگ-چانگ ارائه گردیده و در نهایت، اثر وجود فشار گاز در داخل مخزن قبل و بعد از ضربه در شکست مخزن مورد تحلیل واقع شده است.

کلیدواژه:

مخزن کامپوزیتی- ضربه- معیار شکست چانگ- چانگ- مخزن فشار

۱- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک دانشگاه امام حسین(ع)

۲- کارشناس ارشد، دانشگاه امام حسین(ع)

۱- مقدمه

برای طراحی مخازن کامپوزیتی که دارای عملکرد مطمئن و امن در برابر ضربه باشند، مقاومت ورق‌های لایه‌ای در برابر ضربه باید شناخته شده باشد. یکی از این آزمون‌هایی که بر روی مخازن کامپوزیت انجام می‌شود تست ضربه از طریق سقوط مخزن می‌باشد. در این آزمون یک یا چند مخزن تکمیل شده بدون اعمال فشار داخلی و استفاده از شیر، در دمای محیط تحت آزمون قرار می‌دهند. یک مخزن به صورت افقی از فاصله ۱/۸ متری از سطح انداخته می‌شود. همچنین، مخزن تحت زاویه ۴۵ درجه را از ارتفاعی ۱/۸ متری (فاصله مرکز گرانش آن از زمین) پرتاب می‌شود [۱].

مطالعات متعددی در باره اثر ضربه در مواد کامپوزیت انجام شده است. در سال ۱۹۸۰، باچراچ و هانسن رفتار دینامیکی استوانه‌های کامپوزیتی تحت ضربه را با روش اجزاء محدود بررسی کردند. آنها منطقه خرابی را به علت ضربه و با استفاده از معیار شکست تسای وو پیش‌بینی کردند [۲]. در سال ۱۹۹۷، کیم و گو با استفاده از المان اجزاء محدود سه بعدی، رفتار دینامیکی و خرابی لایه‌های سازه‌های کامپوزیتی با انحناهای مختلف تحت ضربه را بررسی کردند. آنها نشان دادند که با افزایش انحناء، نیروی ضربه افزایش پیدا می‌کند. اگرچه نوع خرابی تغییر نمی‌کند، اما باعث افزایش لایه لایه شدن منطقه خرابی می‌شود [۳]. در سال ۱۹۹۸ فوس، استرازنیکو و پون اثر چیدمان لایه‌های کامپوزیتی تحت ضربه را بررسی کردند و مقایسه‌ای بین نتایج عددی و تجربی انجام دادند [۴].

هر و لیانگ تحلیل اجزاء محدود لایه‌های کامپوزیتی و سازه‌های پوسته تحت ضربه با سرعت پائین را بررسی کردند. اثر تغییر پارامترهایی از قبیل انحناء پوسته، شرایط مرزی ساده و گیردار و سرعت های مختلف برخورد مطالعه شده است [۵]. چانگلیانگ و همکارانش لایه لایه شدن مخزن کامپوزیتی با آستر فلزی تحت ضربه با سرعت پائین را بررسی کردند. آنها از قانون اصلاح شده تماس هرتزین برای بدست آوردن نیروی تماس بین دو جسم و روش نیومارک برای تحلیل پروسه طی ضربه استفاده کردند [۶]. در مطالعات فوق اثر ضربه در قسمت عدسی مخزن مورد بررسی قرار نگرفته است. تاثیر ضربه در این قسمت بدلیل متغیر بودن زاویه، ضخامت الیاف، و نیز انحناء سطح پیچیده بوده و نیازمند توجه ویژه می‌باشد.

۲- نیروی تماس

مدت زمان برخورد بین دو جسم در یک پرپود کوتاه و به طور طبیعی کمتر از میکروثانیه می‌باشد. اساس پاسخ گذرا بر روی فرضیات زیر تحقیق می‌شود:

- الف- بین برخورد کننده و سازه کامپوزیتی، اصطکاک وجود ندارد.
ب- از اثر استهلاک سازه کامپوزیتی صرف‌نظر می‌شود.
ج- از نیروی جاذبه طی پرپود برخورد صرف‌نظر می‌شود.
د- برخورد کننده جسم صلب می‌باشد.

نیروی تماس مهمترین چیز در تحلیل ضربه می‌باشد. نیروی تماس P_c ، برای حالت داشتن بار و بدون بار محاسبه می‌شود. برای حالت داشتن بار از قانون تماس هرتزین و برای حالت بدون بار از عبارتی که توسط تان^۱ و سان^۲ بدست آمده [۷]، استفاده می‌شود. پس خواهیم داشت:

در حالت داشتن بار

$$P_c = n\alpha^{3/2} \quad (۱)$$

در حالت بدون بار

$$P_c = P_m \left(\frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_m - \alpha_0} \right)^{2.5} \quad (۲)$$

که در اینجا α ، اختلاف تغییر شکل بین سازه کامپوزیتی $w_s(t)$ و برخورد کننده $w_i(t)$ محاسبه می‌شود [۸].

$$\alpha = w_i(t) - w_s(t) \quad (۳)$$

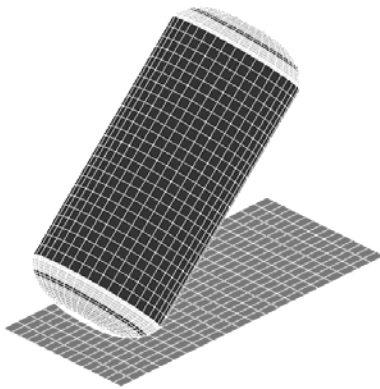
و n ، ضریب سختی اصلاح شده تماس هرتزین می‌باشد. که برای لایه های پوسته های کامپوزیتی استوانه ای با شعاع r_{cyl} و پوسته های کروی با شعاع r_{sph} به ترتیب برابر است با:

$$n_{cyl} = \frac{4}{3} \frac{[1/r_i + 1/2r_{cyl}]^{0.5}}{[(1 - \nu_i^2)/E_i + 1/E_2]} \quad (۴)$$

$$n_{sph} = \frac{4}{3} \frac{[1/r_i + 1/r_{sph}]^{0.5}}{[(1 - \nu_i^2)/E_i + 1/E_2]} \quad (۵)$$

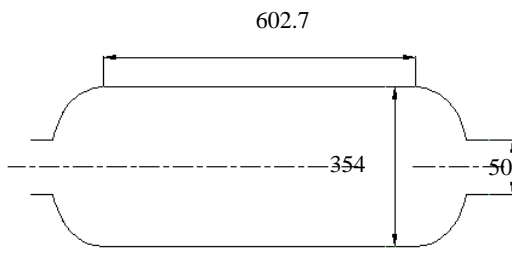
که E_2 مدول الاستیک عمود در راستای الیاف و E_i, ν_i, r_i به ترتیب شعاع، ضریب پواسون و مدول الاستیک برخورد کننده می‌باشد. در حالت بدون بار، P_m ماکزیمم نیروی تماس طی ضربه، α_m ماکزیمم تورفتگی مربوط به P_m و α_0 تورفتگی اولیه در حالت بدون بار و با بار می‌باشد. تورفتگی اولیه برابر است با [۹]:

بارگذاری ضربه‌ای، انفجاری و مدلسازی فرآیند نفوذ پرتابه‌ها در اهداف می‌باشد که معادلات حاکم را با روش صریح حل می‌کند. به کمک این نرم‌افزار مدلسازی سه بعدی فرآیند برخورد استوانه کامپوزیتی به یک سطح صلب انجام گرفته است. با توجه به مدل تحلیلی ارائه شده، پرتابه به صورت استوانه و هدف به صورت یک سطح صلب انتخاب شده است. در شکل (۱) مدل اجزاء محدود مخزن کامپوزیتی را در حال سقوط با زاویه ۴۵ درجه نشان داده است.



شکل (۱): مدل اجزاء محدود مخزن کامپوزیتی

در این تحلیل، مخزن کامپوزیتی مورد استفاده در خودروهای داخلی، جهت مدلسازی انتخاب شده است. قطر داخلی استوانه ۳۲۰ میلیمتر، قطر خارجی ۳۵۴ میلیمتر و طول آن ۶۰۲/۷ میلیمتر در نظر گرفته شده است. تعداد کل لایه‌ها ۱۶ با چیدمان مشخص و ضخامت لایه‌ها ۱ میلیمتر است. شکل عدسی مورد نظر ژئودزیک و زاویه پیچش الیاف در قسمت عدسی از زاویه ۹ درجه شروع و به زاویه ۹۰ درجه در دهانه مخزن خاتمه می‌یابد. بنابراین، قطر دهانه مخزن برابر با ۵۰ میلیمتر خواهد شد. ضخامت قسمت‌های عدسی نسبت به ضخامت قسمت استوانه‌ای به تدریج از طرف استوانه افزایش می‌یابد. بنابراین در هر نقطه از قسمت عدسی مقدار زاویه پیچش، ضخامت لایه‌ها، و انحناء سطح متغیر است. ابعاد مخزن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): ابعاد مخزن نوع چهارم برحسب میلیمتر

$$\alpha_m < \alpha_{cr} \quad \alpha_0 = 0 \quad (۶)$$

$$\alpha_m \geq \alpha_{cr} \quad \alpha_0 = \alpha_m \left[1 - \left(\frac{\alpha_{cr}}{\alpha_m} \right)^{2.5} \right]$$

که α_{cr} ، تورفتگی بحرانی می‌باشد که برای لایه‌های کامپوزیتی گرافیت / اپوکسی برابر با ۰/۰۰۸۳ می‌باشد.

۳- معیار شکست

خرابی ناشی از ضربه در سازه‌های کامپوزیتی پیچش الیاف، مانند ترک خوردن ماتریس، لایه لایه شدن و شکستن الیاف، بسیار پیچیده است. تجربه نشان می‌دهد که شکست الیاف، معمولاً در ضربه با سرعت‌های بالا اتفاق می‌افتد. در حالیکه در ضربه با سرعت پائین، ابتدا دو خرابی ترک خوردن ماتریس و لایه لایه شدن الیاف ظاهر می‌شود. بنابراین در اینجا تنها معیار شکست دو خرابی بررسی شده است. معیار شکست به وسیله چانگ^۳ و چانگ پذیرفته شده است، که بین سطح مشترک لایه K ام و لایه K+1 ام بوجود می‌آید [۱۰]. معیار شکستن ماتریس از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\left(\frac{\bar{\sigma}_{yy}^k}{Y^k} \right)^2 + \left(\frac{\bar{\sigma}_{yz}^k}{S_i^k} \right)^2 = e_m^2 \quad (۷)$$

در اینجا S_i^k استحکام برشی بین لایه‌ای، Y_t و Y_c استحکام فشاری و کششی عرضی هر لایه می‌باشد. اگر $e_m \geq 1$ ، ماتریس در حال شکستن می‌باشد و در حالتی که $e_m < 1$ ، هیچ شکستی اتفاق نمی‌افتد. زمانیکه $\bar{\sigma}_{yy}^k \geq 0$ ، $Y^k = Y_t$ و در حالتی که $\bar{\sigma}_{yy}^k < 0$ ، $Y^k = Y_c$ می‌باشد معیار لایه لایه شدن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$D_\alpha \left[\left(\frac{\bar{\sigma}_{yy}^{k+1}}{Y^{k+1}} \right)^2 + \left(\frac{\bar{\sigma}_{xz}^{k+1}}{S_i^{k+1}} \right)^2 + \left(\frac{\bar{\sigma}_{yz}^k}{S_i^k} \right)^2 \right] = e_D^2 \quad (۸)$$

اگر $e_D \geq 1$ ، لایه لایه شدن شروع شده، و در حالتیکه $e_D < 1$ ، هیچ اتفاقی نمی‌افتد. زمانیکه $\bar{\sigma}_{yy}^{k+1} \geq 0$ ، $Y^{k+1} = Y_t^{k+1}$ و در حالتیکه $\bar{\sigma}_{yy}^{k+1} < 0$ ، $Y^{k+1} = Y_c^{k+1}$ می‌باشد. و D_α ثابت تجربی است و بستگی به جنس بین ۱/۲ تا ۱/۸ می‌باشد [۶].

۴- آنالیز ضربه در مخزن

نرم‌افزار LS-Dyna یک کد کامپیوتری بسیار قدرتمند در تحلیل

۷- چیدمان لایه‌ها و ضخامت آنها

چیدمان لایه‌های مدلی که در این قسمت به کار برده می‌شود، مطابق ساخت شرکت فرانسوی ULLIT می‌باشد. ترتیب چیدمان زاویه لایه‌ها (برحسب درجه) و ضخامت لایه‌ها (برحسب میلیمتر) در قسمت استوانه‌ای مدل به ترتیب به صورت زیر در نظر گرفته شده است. (تعداد کل لایه‌ها ۱۶ لایه که ضخامت هر لایه ۱ میلیمتر می‌باشد)

$$[9,-9,90,90,90,9,-9,9,-9,9,90,90,90,90,90]$$

$$[1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1]$$

لایه اول از سمت چپ، داخلی‌ترین و لایه آخر خارجی‌ترین لایه در پوسته کامپوزیتی است. این مشخصات در قسمت‌های مختلف این تحقیق ثابت در نظر گرفته می‌شود، تا بتوان اثر پارامترهای مختلف را در عملکرد مخزن مطالعه کرد. شکل عدسی مخزن به صورت ژئودزیک در نظر گرفته می‌شود. مختصات نقاط تشکیل دهنده پروفیل این عدسی را با استفاده از یک کد کامپیوتری می‌توان به راحتی حساب کرد. این کد معادله زیر را حل می‌کند.

$$z = -\rho_0 \int_1^{\rho_0} \frac{(\cos \alpha_0) r^3 dr}{\sqrt{(1-r^2)[(\cos^2 \alpha_0) r^2 (1+r^2) - \sin^2 \alpha_0]}} \quad (9)$$

همچنین بر اساس ابعاد هندسی تعریف شده، در تعداد نقاط دلخواه روی پروفیل علاوه بر مختصات نقاط، زاویه الیاف و ضخامت کامپوزیت را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد. مشخصات این عدسی برای زاویه پیچش الیاف ۹ درجه در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول (۱): مختصات نقاط تشکیل دهنده پروفیل عدسی ژئودزیک برای زاویه پیچش الیاف ۹ درجه

نقطه	مختصه طولی (برحسب میلیمتر)	مختصه شعاعی (بر حسب میلیمتر)
۱	۰	۱۶۵
۲	۳۵/۸۵	۱۵۶/۹۸
۳	۴۲/۰۲	۱۵۳/۷۲
۴	۵۱/۳۶	۱۴۶/۶۶
۵	۶۱/۵۳	۱۳۷/۶۹
۶	۷۱/۰۴	۱۲۶/۶۳
۷	۷۹/۷۳	۱۱۳/۰۸
۸	۸۷/۴۳	۹۶/۳۳
۹	۹۳/۹۰	۷۴/۵۸
۱۰	۹۸/۸۸	۴۶/۱۵

به خاطر تمرکز تنش در محل اتصال استوانه و عدسی، از المان‌های ریزتری نسبت به سایر نقاط استوانه در نظر گرفته می‌شود. چون نسبت ضخامت مخزن به شعاع کم می‌باشد، در مدلسازی از المان‌های پوسته‌ای استفاده شده و پوسته به صورت منظم المان بندی شده است. برای جنس مخزن، از پنجاه و چهارمین ماده نرم افزار تحت عنوان Enhanced Composite Damage برای پوسته‌های نازک استفاده شده است.

۵- بارگذاری و شرایط مرزی

در این مسئله، به علت اینکه مخزن به صورت کامل مدل شده است نیاز به شرایط مرزی ندارد. و فقط سرعت برخورد آن باید لحاظ شود. در این تحقیق آزمون سقوط طبق استاندارد در مخزن‌های CNG، از استاندارد ISO 11439 [۱۱] استفاده شده است. طبق روابط دینامیکی، سرعت مخزن در لحظه برخورد برابر ۶۰۰۰ میلیمتر بر ثانیه و عمود بر صفحه صلب می‌باشد. صفحه صلب نسبت به تغییر مکان و چرخش از همه طرف مقید شده است.

۶- مشخصات جنس مخزن

در تحلیل اجزاء محدود از مشخصات مخزن تمام کامپوزیتی ساخت شرکت فرانسوی ULLIT استفاده شده است، ولی به خاطر اینکه مقادیر استحکام در جهات مختلف برای ماده به کار رفته، موجود نبود، از یک نوع کامپوزیت کربن/اپوکسی که خواص آن به شرح زیر آمده استفاده شده است [۱۲]. مدوله‌های الاستیک در جهات مختلف:

$$E_{xx} = 110.3GPa, \quad E_{yy} = 15.2GPa, \quad E_{zz} = 8.97GPa$$

$$G_{xy} = G_{xz} = 4.9GPa, \quad G_{yz} = 3.28GPa$$

استحکام نهائی در جهات مختلف:

$$\sigma_{xt}^f = 1918MPa, \quad \sigma_{xc}^f = -1569MPa, \quad \sigma_{yt}^f = \sigma_{zt}^f = 274MPa,$$

$$\sigma_{yc}^f = \sigma_{zc}^f = -1245MPa, \quad \sigma_{xy} = 68.9MPa, \quad \sigma_{yz} = \sigma_{xz} = 34.5MPa$$

ضرائب پواسون و چگالی:

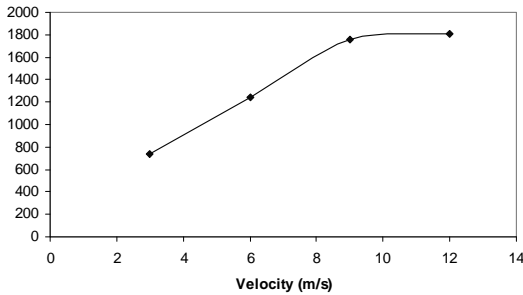
$$\nu_{xy} = \nu_{xz} = 0.25, \quad \nu_{yz} = 0.365$$

$$\rho = 1565Kg / m^3$$

که X راستای الیاف و Y و Z دو راستای عمود بر راستای X به ترتیب داخل و خارج صفحه چند لایه کامپوزیتی هستند.

۸- نتایج

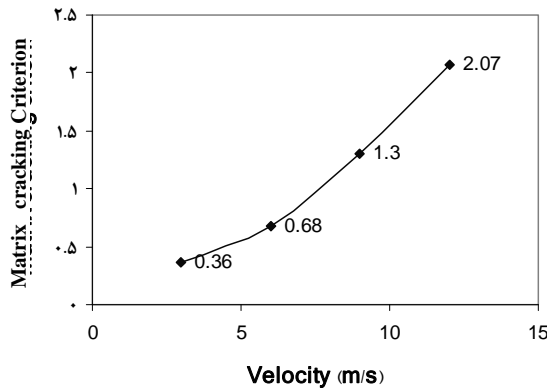
مقدار سرعت برخورد در رفتار مخزن یکی از پارامترهای بسیار پر اهمیت می باشد. در آزمون تست سقوط یا ضربه، مخزن بدون بار با سرعت حدودا 6 m/s با زاویه 45° درجه بر صفحه صلب برخورد می کند. در اینجا به بررسی رفتار مخزن تحت ضربه با سرعت های مختلف و با ثابت بودن سایر پارامترها پرداخته شده است. نتایج در نمودارهایی ارائه می شوند که محور افقی آن نمایشگر فاصله از وسط مخزن در طول یک یال آن است (شکل ۳).



شکل (۵): تنش در راستای الیاف برای سرعت های مختلف تحت زاویه 45° درجه

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود، در مخزن مذکور با افزایش مقدار سرعت، مقدار معیار شکست ماتریس چانگ-چانگ افزایش نیز می یابد و در سرعت های بالاتر از 6 m/s معیار شکست بیشتر از یک شده و شکست ماتریس به علت تنش حاصل از نیروی تماس اتفاق می افتد. اگر شکست ماتریس را در لایه های بیرونی و درونی بررسی شود، می توان دریافت که شکست ماتریس از لایه بیرونی شروع می شود.

$\sigma_x \text{ (Mpa)}$

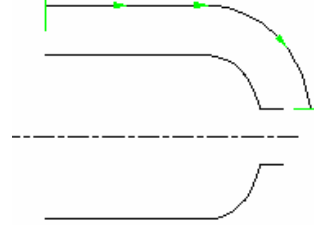


شکل (۶): مقدار معیار شکست ماتریس چانگ-چانگ برای سرعت های مختلف

۱۰- اثر تغییر زاویه برخورد در رفتار مخزن

در اینجا به بررسی تنش در راستای الیاف برای المان بحرانی در زاویه های مختلف پرداخته شده است. همانگونه که در شکل (۷) مشاهده می شود، با افزایش زاویه برخورد یا ضربه تا زاویه 45° درجه مقدار تنش در راستای الیاف افزایش پیدا می کند. در تمام موارد، بیشترین تنش مربوط به لحظه برخورد و در نقطه تماس برخورد می باشد. و در حالت زاویه برخورد بیشتر از 45° درجه تنش کاهش پیدا می کند.

Longitudinal Distance (s)



شکل (۳): فاصله طولی روی یک یال مخزن

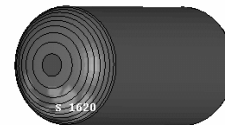
۹- اثر تغییر سرعت های برخورد در رفتار مخزن

برای بررسی تنش در سازه کامپوزیتی، مولفه های تنش زیادی وجود دارد، که در اینجا به بررسی تنش در راستای الیاف برای المان بحرانی، و سرعت های مختلف پرداخته شده است. علت بررسی این مولفه تنش اینست که تنش در راستای الیاف نقش مهمی در تحمل بار وارده دارد. همچنین با توجه به استفاده از معیار شکست چانگ-چانگ نیاز به بررسی تمام این تنش ها وجود ندارد. توزیع تنش در مخزن هنگام برخورد در شکل (۴) نشان داده شده است.

LS-DYNA user input
Time = 0.0064996
Contours of X-stress
max ip1. value
min=-240.243, at elem# 1201
max=1241.68, at elem# 1620

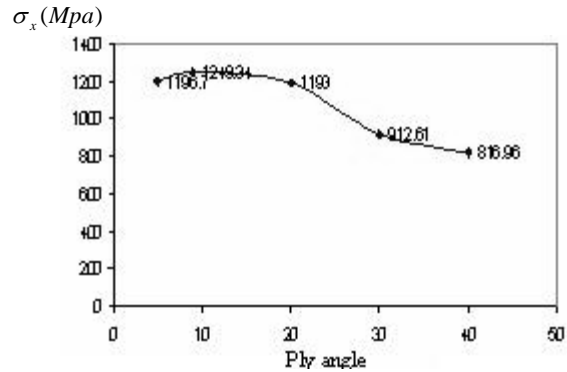
Fringe Levels

1.242e+003
1.093e+003
9.453e+002
7.971e+002
6.489e+002
5.007e+002
3.525e+002
2.043e+002
5.614e+001
-9.205e+001
-2.402e+002

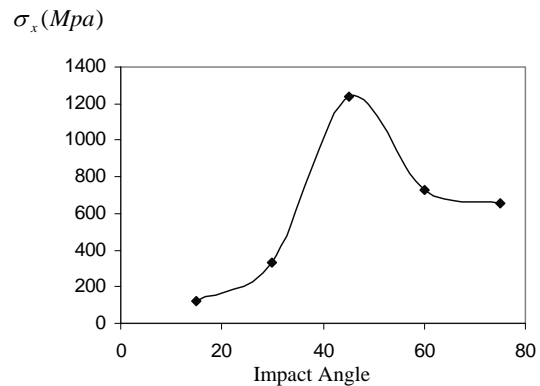


شکل (۴): محل ماکزیمم تنش روی مخزن

همانگونه که در شکل (۵) مشاهده می شود، با افزایش سرعت برخورد یا ضربه مقدار تنش افزایش پیدا می کند. که در تمام موارد، بیشترین تنش مربوط به لحظه برخورد و در نقطه تماس برخورد می باشد. افزایش تنشی که از سرعت های مختلف بوجود می آید. بخاطر افزایش نیروی تماس می باشد.

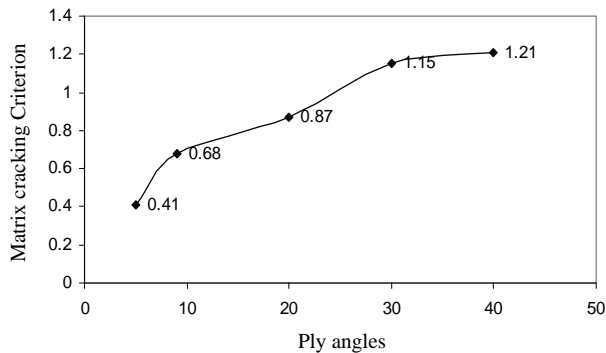


شکل (۹): مقایسه بین تنش در راستای الیاف برای پوسته کامپوزیتی با عدسی‌های ژئودزیک با زوایای پیچش الیاف مختلف



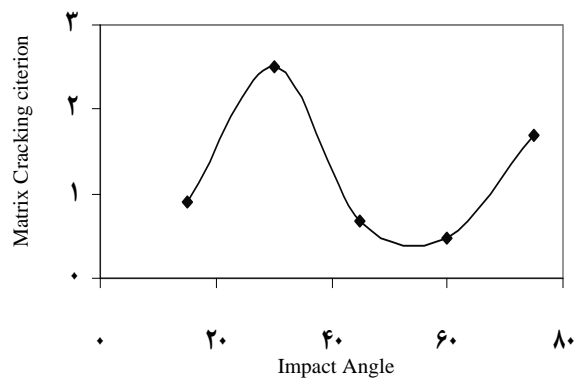
شکل (۷): تنش در راستای الیاف بری زاویه های برخورد مختلف در سرعت ۶ m/s

مقدار معیار شکست ماتریس چانگ-چانگ برای پوسته کامپوزیتی با عدسی‌های ژئودزیک با زوایای پیچش الیاف مختلف برای لایه درونی در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با افزایش مقدار زاویه پیچش مقدار معیار شکست برای لایه درونی افزایش پیدا می‌کند. و در نهایت افزایش زاویه پیچش از ۲۰ درجه باعث شکست در ماتریس لایه درونی می‌شود.



شکل (۱۰): مقدار معیار شکست ماتریس چانگ-چانگ برای پوسته کامپوزیتی با عدسی‌های ژئودزیک با زوایای پیچش الیاف مختلف

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار زاویه برخورد، مقدار معیار شکست ماتریس چانگ-چانگ افزایش می‌یابد. ولی همانطور که ملاحظه می‌کنید در حالت برخورد با زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه این قضیه صادق نیست، و در تمام زاویه‌های برخورد به استثناء ۴۵ و ۶۰ درجه شکست ماتریس برای لایه درونی اتفاق می‌افتد. این امر به دلیل آن است که مقدار تنش در راستای ماتریس (عمود بر راستای الیاف) در حالت ۴۵ و ۶۰ درجه کمتر از استحکام نهائی ماده در راستای مورد نظر می‌باشد.



شکل (۸): مقدار معیار شکست ماتریس چانگ-چانگ

۱۲- اثر فشار بعد از ضربه در رفتار مخزن

در استاندارد ISO-11439، پس از آزمون ضربه، مخزن را در فشار بین ۲۰ تا ۲۶۰ بار قرار داده و مخزن نباید دچار گسیختگی شود. در اینجا پس از اعمال ضربه (در زمان ۰/۰۰۹ ثانیه)، مخزن را تحت فشار بین ۲۰ تا ۲۶۰ بار قرار داده و به تحلیل آن پرداخته شده است. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، تنش در راستای الیاف در حالت با فشار نسبت به حالت بدون فشار افزایش یافته است. مقدار افزایش یافته تنش خیلی کمتر از ماکزیمم تنش در راستای الیاف می‌باشد، تا دچار نشت یا شکستگی شود.

۱۱- اثر زاویه پیچش الیاف بر رفتار مخزن

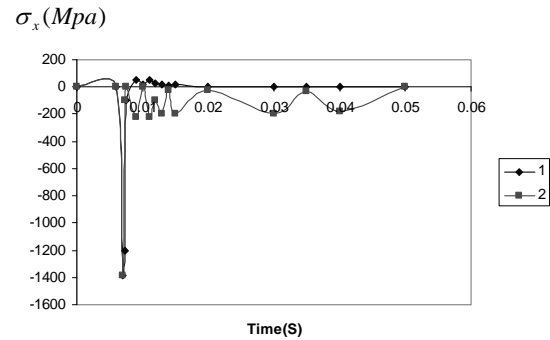
در اینجا به بررسی اثر تغییر زوایای الیاف در طول پروفیل عدسی نسبت به ثابت بودن زاویه الیاف، در طول پروفیل عدسی پرداخته شده است. در این حالت مخزن با زاویه ۴۵ درجه و سرعت ۶m/s به صفحه صلب برخورد می‌کند. همانطور که از شکل (۹) مشخص است، هرچقدر زاویه پیچش بزرگتر باشد تنش در راستای الیاف تقریباً کاهش می‌یابد.

۱۴- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر ضربه بر مخزن کامپوزیتی CNG مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که برای مخزن مورد نظر، ضربات بالای ۶ m/s باعث شکست مخزن شده و باید از محافظ های مناسب برای جلوگیری از این نوع برخورد استفاده کرد. همچنین اثر زاویه برخورد که در طراحی محل مخزن در خودرو مهم می باشد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که اگر ضربه تحت زاویه نزدیک به ۴۵ درجه باشد، بیشترین خطر را برای مخزن دارد. زاویه پیش از یاف نیز اثر بسیار مهمی در رفتار مخزن دارد. زوایای بالاتر از ۲۰ درجه باعث شکست در مخزن می شود. البته زوایای یاف باید با توجه به تحمل فشار داخلی مخزن و مقاومت در برابر ضربه انتخاب گردد. همچنین نتایج نشان داد که وجود فشار در داخل مخزن تاثیر زیادی بر نتایج ضربه ندارد.

۱۵- مراجع

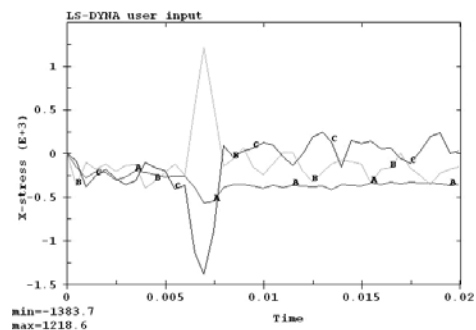
- [۱] سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، "مجموعه مقالات اولین همایش سوخت جایگزین (CNG) و خودروهای گازسوز"، ۱۳۸۲.
- [2] W. E. Bachrach, R. S. Hansen, "Mixed finite- element method for composite cylinder subjected to impact", AIAA J, 27:632-8, 1989.
- [3] S. J. Kim, N. S. Goo and T. w. Kim, "The effect of curvature on the dynamic response and impact-induced damage in composite laminates", Compos Sci Technol, 57, pp. 733-63, 1997.
- [4] E. Fuoss, P. V. Straznicky and C. Poon, "Effects of stacking sequence on the impact resistance in composite laminates", Part1: prediction method. Composite Structure, 41, pp.177-186, 1998.
- [5] S. Her, Y. Liang, "The finite element analysis of composite laminates and shell structures subjected to low velocity impact", Composite Structure, 66, pp. 277-285, 2004.
- [6] Z. Changliang, R. Mingfa, Z. Wei, and Haoran, "Delamination prediction of composite filament wound vessel with metal liner under low velocity impact", Composite Structure, 75, pp.387-392, 2006.
- [7] Tan TM, Sun CT. Use of statical indentation laws in the impact analysis of laminated composite plates. J Appl Mesh, Vol 52, pp.6-12, 1985.
- [8] S. Her, Y. Liang, "The finite element analysis of composite laminates and shell structures subjected to low velocity impact", Composite Structure, Vol 66, pp. 277-285, 2004.
- [9] S. H. Young, C. T. Sun, "Indentation Law for Composite Laminates", NASA CR-165460.
- [10] F. K. Chang, K. Y. Chang, "A progressive damage model for laminated composite containing stress concentrations", J Compose Mater, Vol 21, pp. 835-55, 1987.



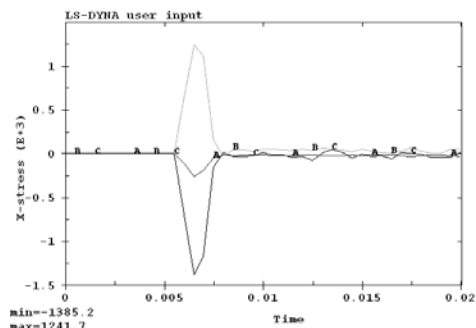
شکل (۱۱): مقایسه تنش در راستای یاف برای حالت بدون فشار (۱) و حالت با فشار بعد از ضربه (۲)

۱۳- اثر فشار داخل مخزن در حالت ضربه

در این قسمت رفتار مخزن تحت ضربه با زاویه ۴۵ درجه و سرعت ۶m/s مورد بررسی قرار می گیرد. با این تفاوت که مخزن مورد نظر تحت فشار ۲۶۰ بار می باشد. شکل (۱۲) تنش در راستای یاف را در ۳ لایه بیرونی، میانی و درونی نشان می دهد. تنش در صفحه بیرونی به صورت فشاری، و تنش در صفحه درونی به صورت کششی می باشد. تنش های ماکزیمم در مقایسه با شکل (۱۲) (حالت بدون فشار) تقریباً برابر هم می باشند، ولی به خاطر فشار داخلی، مخزن قبل و بعد از ضربه دارای تنش است.



شکل (۱۲): تنش در راستای یاف برای سه لایه بیرونی، میانی و درونی برای مخزن تحت فشار تحت ضربه



شکل (۱۳): تنش در راستای یاف برای سه لایه بیرونی، میانی و درونی برای مخزن بدون فشار تحت ضربه

[12] M. W. Hyer, "Stress analysis of fiber reinforced composite", McGraw Hill, 2001.

[11] ISO11439, "Gas cylinders-High pressure cylinders for the on-board storage on natural gas as a fuel for automotive vehicles", 2000.