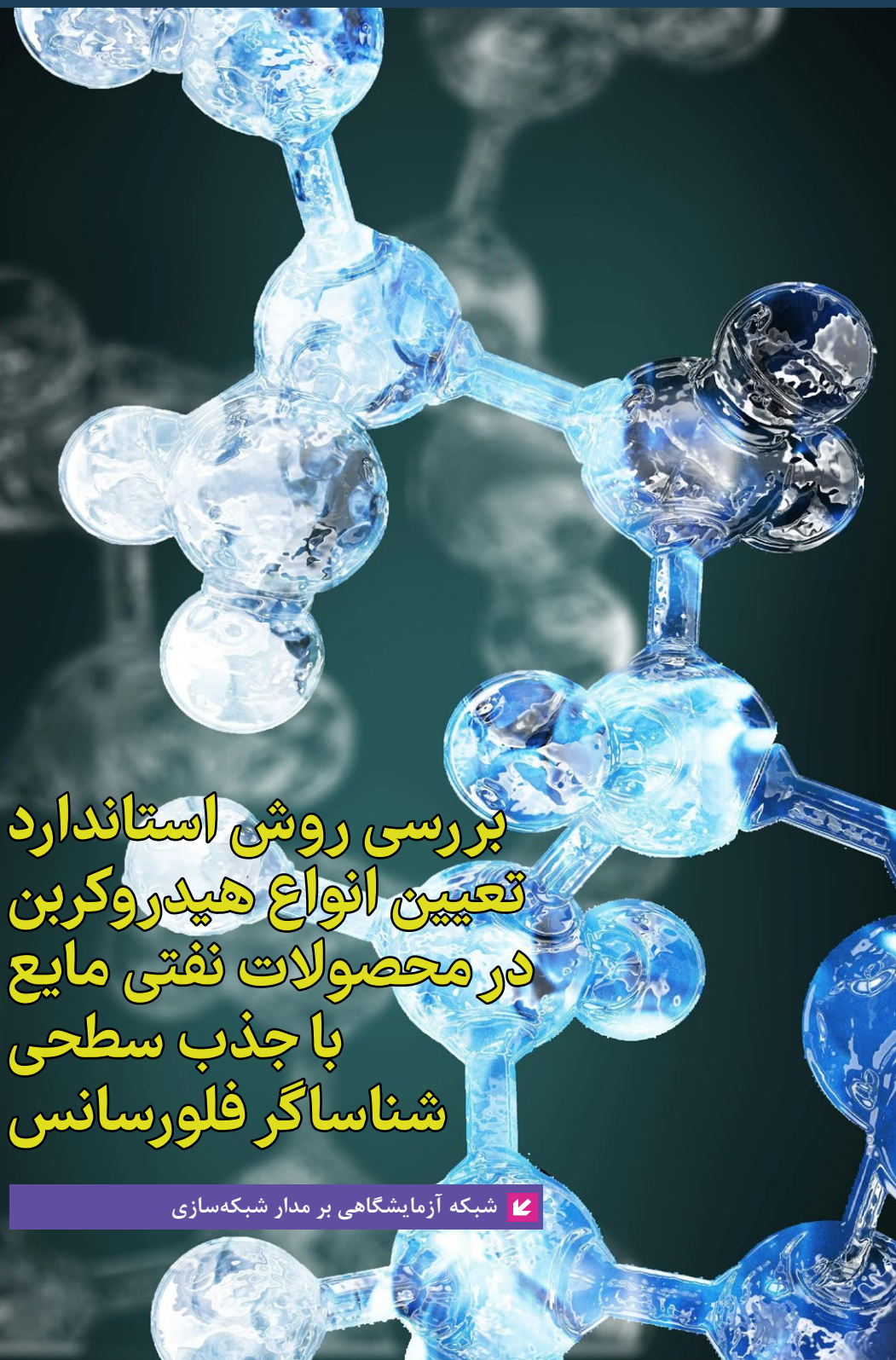


# دانش آزمایشگاهی ایران

سال دهم ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۱ ■ شماره پیاپی ۴۰

ISSN 2538-3450

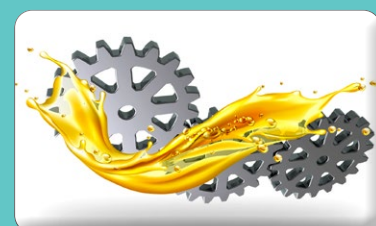


بررسی روش استاندارد  
تعیین انواع هیدروکربن  
در محصولات نفتی مایع  
با جذب سطحی  
شناساگر فلورسانس

شبکه آزمایشگاهی بر مدار شبکه‌سازی



طیف رامان، اثر انگشت مواد

کاربرد روش امواج فراصوت در صنعت  
فرآوری مواد غذایینقش آزمایشگاه در کنترل کیفیت مخازن  
تحت فشار بدون درز(بخش اول)کنترل کیفی عوامل موثر بر آزمون دانسیته  
به روش غوطه‌وری در الکل  
و تحلیل نتایج آنسنجش میزان تولید کف در روغن‌ها و تاثیر  
افزودنی‌های ضد کف

نویسنده

امیر ادریسی<sup>۱</sup>

\*edrisi.amir@gmail.com

بخش اول

## نقش آزمایشگاه در کنترل کیفیت مخازن تحت فشار بدون درز



### واژه‌های کلیدی

آزمایشگاه، مخازن گاز بدون درز، مخازن گاز طبیعی فشرده، آزمون‌های مواد، آزمون‌های مخرب، آزمون‌های غیرمخرب.

### چکیده

هدف از این مقاله، بررسی نقش آزمایشگاه در کنترل کیفیت مخازن تحت فشار بدون درز است. ابتدا، ویژگی‌ها، کاربردها و انواع مخازن ذخیره گاز طبیعی مطرح و سپس روش‌ها و فرآیندهای ساخت و تولید این مخازن بیان می‌شود. در ادامه به استانداردهای ملی و بین‌المللی و آزمون‌های انجام شده روی مخازن گاز اشاره و آزمون‌های مواد، آزمون‌های خواص مکانیکی و سایر آزمون‌های مخرب و غیر مخرب مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت می‌توان کیفیت مطلوب و قابلیت اطمینان مخازن تحت فشار بدون درز را به‌منظور کاربردهای مورد نظر تضمین نمود.

### مقدمه

از دیرباز انرژی همواره به‌عنوان یکی از مهمترین نیازهای بشری مورد توجه بوده است. انسان‌های اولیه با استفاده از انرژی‌های باد و آب، نیازهای خود را برآورده می‌کردند. بعدها با اکتشاف چاه‌های نفت به تدریج انرژی جدیدی پا به عرصه جهان گذاشت. با رشد روزافزون صنایع در کشورهای صنعتی جهان و نیاز شدیدشان به انرژی، آنان درصدد جایگزینی گاز طبیعی با نفت برآمدند. امروزه کارشناسان با مطرح شدن گاز به‌عنوان یکی از مهمترین و حیاتی‌ترین منابع انرژی در جهان، آینده انرژی را متعلق به گاز طبیعی می‌دانند [۱]؛ به‌طوری‌که تا قبل از سال ۲۰۳۰ از سایر سوخت‌های فسیلی پیشی خواهد گرفت و در سال ۲۰۳۵ یک چهارم کل تقاضای انرژی را پوشش خواهد داد. پیش‌بینی گزارش‌ها از نیازهای انرژی آینده نشان می‌دهد که مصرف گاز بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ دو برابر خواهد شد که این امر منجر به افزایش علاقه به استفاده از گاز طبیعی به‌عنوان سوخت حمل و نقل شده‌است. همچنین ذخایر نفت با سرعت نگران‌کننده‌ای در حال کاهش است. علاوه بر این، افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن منجر به رشد خارق‌العاده در تقاضای حمل و نقل در سراسر جهان شده‌است. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده‌است، سوزاندن این سوخت‌های فسیلی، به میزان زیادی باعث آلودگی جوی خواهد شد که بقای حیات در این سیاره را نیز تهدید می‌کند [۲ و ۳].



شکل (۱): زمین و آلودگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی [۳].



شکل (۲): خودرو با سوخت پاک [۷].

بیشتر وسایل نقلیه، خودروها و نیروگاه‌ها از سوخت‌هایی استفاده می‌کنند که عامل اصلی آلودگی و کاهش کیفیت هوا در این جو است. از آنجایی که گاز طبیعی یکی از سوخت‌های ایمن، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست است، می‌تواند به کاهش این علل مخرب کمک کند [۴]. هیدروژن<sup>۲</sup> و گاز طبیعی فشرده<sup>۳</sup> سوخت‌های جایگزین امیدوارکننده‌ای هستند که می‌توانند برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش هزینه‌های سوخت و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی مورد استفاده قرار گیرند [۵].

وسایل نقلیه با سوخت جایگزین مانند گاز طبیعی فشرده، گاز مایع، هیدروژن، مخلوط هیدروژن-گاز طبیعی فشرده و خودروهای گاز طبیعی مایع چند نمونه از بهترین راه‌ها برای به حداقل رساندن وابستگی به فسیل هستند [۶]. از بین این سوخت‌های جایگزین، گاز طبیعی فشرده گازی است که بیشتر نیاز کشورهای می‌خواهند از سوخت‌های جایگزین استفاده کنند، برآورده می‌کند. CNG به دلیل ماهیت پاک احتراق ذاتی آن به‌عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی در نظر گرفته شده‌است که اکنون در سراسر جهان به‌عنوان سوخت سازگار با محیط‌زیست شناخته می‌شود. در شکل (۲) تصویری از خودرو با سوخت پاک نمایش داده شده‌است [۷].

تعداد وسایل نقلیه گاز طبیعی در سراسر جهان به سرعت در حال افزایش است که بیشتر خودروهای CNG، خودروهای سبک و خودروهای تجاری هستند [۲]. ایران نیز به دلیل دارا بودن ذخایر عظیم گازی و تولید بومی مخازن نگهداری آن، از مزیت نسبی بالایی در این زمینه برخوردار است که با ایجاد بسترهای مناسب می‌توان از این نعمت خدادادی بهترین استفاده را کرد. با توجه به اعداد و ارقامی که از سوی سازمان‌های مربوط در رابطه با نیاز سالانه کشور به مخازن CNG وجود دارد، ایران به بزرگترین بازار مصرف این مخازن در جهان تبدیل شده‌است و با توجه به نیاز کشورهای همسایه نیز می‌توان بازار مناسبی در سطح منطقه ایجاد کرد [۸]. جدول (۱)، ویژگی‌های سه سوخت مرسوم مورد استفاده در حمل و نقل اشاره شده‌است.

جدول (۱)، ویژگی‌های سه سوخت مرسوم مورد استفاده در حمل و نقل

ویژگی	CNG	بنزین	گازوئیل
دمای جوش °C	-۱۶۱	۲۷ - ۲۱۵	۱۶۰ - ۳۸۰
چگالی Kg/m <sup>۳</sup>	۱۳۰	۶۹۰ - ۷۸۵	۷۸۵ - ۸۸۰
محتوای انرژی MJ/Kg	۵۵/۲	۲۲/۷ - ۴۹/۸	۴۳/۸۵
دمای احتراق °C	۷۳۰	۲۳۰ - ۴۸۰	۲۰۰ - ۲۶
عدد اکتان	۱۳۰	۸۷ - ۹۳	-
مقدار گوگرد (درصد وزنی)	ناچیز	۰/۰۲۰ - ۰/۰۴۵	۰/۰۲۰ - ۰/۰۲۵
سرعت آتش‌گیری m/s	۰/۳۴	۰/۴۰	۰/۴۰

همچنین با توجه به افزایش بیماری‌های گوناگون و اپیدمی‌های تنفسی مانند کرونا، استفاده از این مخازن در صنایع پزشکی افزایش چشمگیری پیدا کرده‌است. همان‌طور که در شکل (۳)، به آن اشاره شده‌است، این مخازن در صنایع هوا و فضا، حمل و نقل و خودروسازی، پزشکی، پتروشیمی، هواپیمایی، بازی‌های ورزشی و غیره کاربردهای ویژه‌ای دارند. طرح‌هایی نیز به‌منظور دوگانه سوز کردن خودروهای دیزلی، لوکوموتیو و سایر وسایل حمل و نقل شهری و بین شهری در دستور کار تولیدکنندگان داخلی قرار دارد که برخی از این طرح‌ها نیز به ثمر رسیده‌است.



شکل (۳): کاربردهای مخازن تحت فشار بدون درز [۹].

### ■ سیلندره‌های نوع I - تمام فلزی

مخازن نوع (۱) به‌طور کامل از فلز (آلومینیوم یا فولاد) ساخته شده‌اند. مقرون به صرفه اما سنگین‌تر است و همچنین هیچ پوشش دیگری جز رنگ روی سطح بیرونی مخزن ندارد [۴]. از دهه ۱۹۴۰، سیلندره‌های فولادی بدون درز (سیلندره‌های نوع (۱)) بیشترین استفاده را برای ذخیره‌سازی CNG در وسایل نقلیه داشته‌اند. معرفی سیلندره‌های سبک وزن ایتالیایی با استحکام بالا در اواخر دهه ۱۹۷۰ گام بسیار مهمی در توسعه صنعت سیلندر گاز بود و از آن زمان، این نوع محصول در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفت. سیلندره‌های آلومینیومی نیز برای ذخیره‌سازی CNG در داخل هواپیما مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۴ و ۶]. بیشتر گازهای مورد استفاده در کاربردهای صنعتی به‌طور سنتی در مخازن استوانه‌ای نوع (۱) ذخیره می‌شود؛ زیرا آن‌ها کم‌هزینه‌ترین نوع مخازن هستند [۵].

### ■ سیلندره‌های گاز نوع II - لاینر فلزی با کامپوزیت پیچیده روی بخش استوانه‌ای آن

سیلندره‌های گاز نوع (۲) یک لاینر فلزی با پوشش کامپوزیتی تقویت شده دارد که روی بخش استوانه‌ای، پیچیده شده‌است تا حدی که پوشش به‌طور مساوی روی مخزن اعمال می‌شود. محصولات موجود در بازار با آسترهای فولادی یا آلومینیومی و تقویت‌کننده شیشه، آرامید یا فیبر کربن هستند. سیلندره‌های نوع (۲) به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که دارای لاینر فلزی با ضخامت و استحکام کافی برای مهار فشار سرویس، حتی بدون پوشش کامپوزیت باشند. از مزایای اصلی این مخازن، وزن کم آن است اما در مقایسه با مخازن نوع (۱) هزینه بالاتری دارد [۴ و ۶]. در این نوع سیلندرها، آستر فلزی ۵۵ درصد فشار داخلی را

### ■ انواع مخازن تحت فشار بدون درز

گاز طبیعی که بیشتر از متان تشکیل شده‌است به دلیل چگالی انرژی حجمی کم، به‌طور معمول در حالت فشرده در مخازن ذخیره‌سازی تحت فشار بالا (شکل (۴)) ذخیره می‌شود [۵]. مخازن تحت فشار برای ذخیره‌سازی گازها یا مایعات در فشاری متفاوت از فشار محیط طراحی شده‌است. این مخازن مقاومتی بالاتر از فشار کاری خود دارند و با ضوابط ایمنی بسیار سخت تولید می‌شوند و مورد آزمایش‌هایی قرار می‌گیرند که فشارهای بسیار بیشتری از فشارهای کاری را بدون نشتی، ترکیدن و خستگی در تناوب‌های بسیار بالاتر از عمر خود تحمل می‌کنند. فشار نگهدارنده ظرفیت مخازن ذخیره CNG از  $15 \text{ N/mm}^2$  تا بیشینه مقدار  $300 \text{ N/mm}^2$  متغیر است. در استانداردها برای ذخیره‌سازی گاز طبیعی فشرده، چهار نوع مخزن ذخیره‌سازی تعریف می‌شود [۴].



شکل (۴): انواع مخازن تحت فشار بدون درز [۱۰].

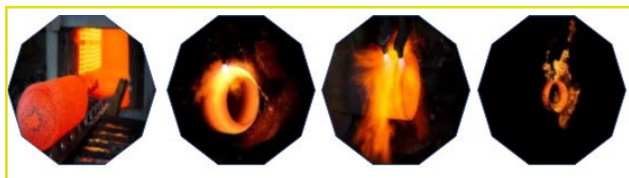
جدول (۲): نسبت وزن به قیمت انواع مخازن CNG [۶]

مخزن	عنوان	وزن	قیمت
نوع (۱)	تمام فلزی	۱۰۰ درصد	۴۰ درصد
نوع (۲)	لایبر فلزی با کامپوزیت پیچیده روی بخش استوانه‌ای	۶۵ تا ۵۵ درصد	۸۰ تا ۹۵ درصد
نوع (۳)	لایبر فلزی با کامپوزیت به‌طور کامل پیچیده روی آن	۲۵ تا ۴۵ درصد	۹۰ تا ۱۰۰ درصد
نوع (۴)	لایبر غیر فلزی با کامپوزیت به‌طور کامل پیچیده	۳۰ درصد	۹۰ درصد

برای ساخت مخازن تحت فشار فولادی براساس نوع ماده اولیه، روش‌های متفاوتی وجود دارد که در زیر به آن‌ها اشاره خواهیم کرد.

### روش‌های ساخت و تولید مخازن گاز بدون درز

به‌طور کلی، سه روش اساسی برای تولید مخازن تحت فشار بدون درز به‌کار گرفته می‌شود. در این بخش به مراحل اصلی فرآیند تولید مخازن اشاره می‌شود. در این روش‌ها، از فرآیندهایی چون شکل‌دهی چرخشی گرم<sup>۴</sup> یا اسپینینگ داغ (شکل (۶))،<sup>۵</sup> حدیده کاری غلطکی یا فلوفرمینگ، کشش عمیق<sup>۶</sup> و سنبه کاری<sup>۷</sup>، عملیات حرارتی اسفرودایزینگ<sup>۸</sup> و کوینچ و تمپر<sup>۹</sup>، به‌طور جداگانه یا تلفیقی برای ساخت مخازن فولادی استفاده می‌شود و سایر مراحل تولیدی به‌صورت یکسان است.



شکل (۶): نمایی از دستگاه شکل‌دهی چرخشی گرم و عملیات حرارتی مخازن تحت فشار [۹].

در اشکال زیر، مراحل فرآیند ساخت مخزن فولادی از ورق به روش کشش عمیق (شکل (۷))، مراحل ساخت مخزن از لوله فولادی بدن درز به روش شکل‌دهی (شکل (۸))، مراحل ساخت مخزن از شمش‌های فولادی به روش شکل‌دهی (شکل (۹))، مراحل ساخت مخازن کامپوزیتی با لایبر فلزی (شکل (۱۰)) و مراحل ساخت مخازن کامپوزیتی با لایبر پلاستیکی (شکل (۱۱)) و عملیات‌ها و آزمون‌های مرتبط با هر کدام نشان داده شده‌است.

پشتیبانی می‌کند [۵]. در شکل (۵)، نمایی از دستگاه ایاف پیچ و تولید مخازن کامپوزیتی قابل مشاهده است.



شکل (۵): نمایی از دستگاه ایاف پیچ مخازن کامپوزیتی [۹].

### سیلندرهای گاز نوع III - لایبر فلزی با کامپوزیت به‌طور پیچیده روی آن

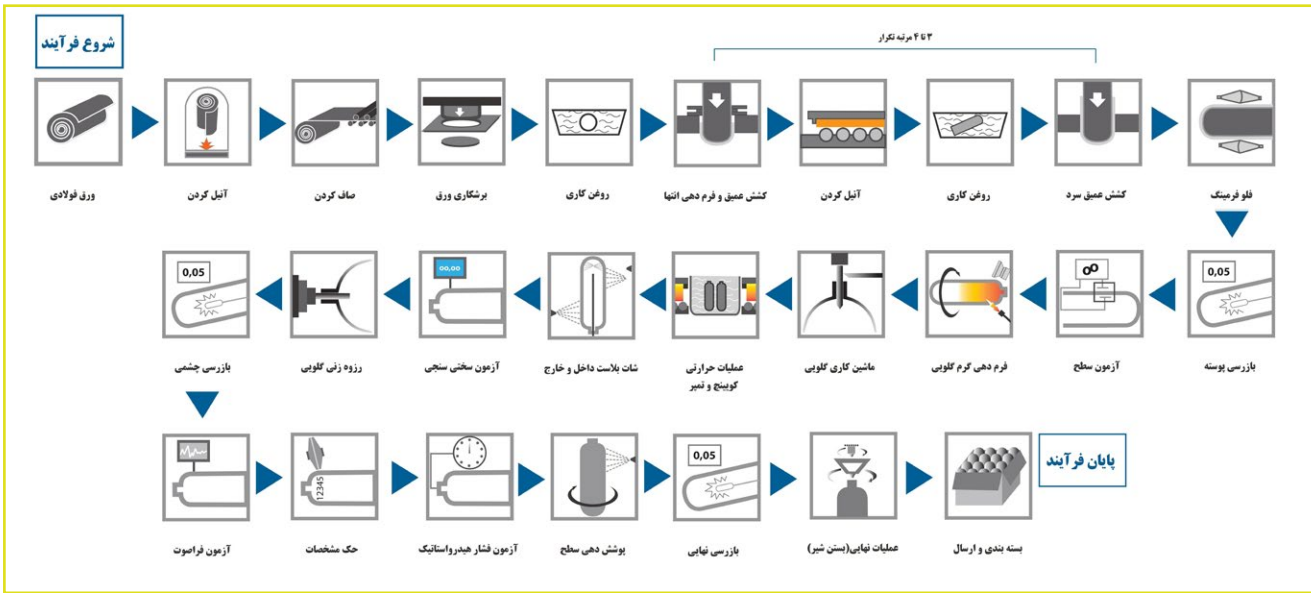
سیلندرهای گاز نوع (۳) دارای یک لایبر فلزی بدون درز هستند که روی تمام سطوح با یک پوشش کامپوزیتی، تقویت شده‌است. کامپوزیتی که بین ۷۵ تا ۹۰ درصد استحکام سیلندر و لایبر نیز مقدار کمی از تنش را تحمل می‌کند. این مخازن نسبت به نوع (۲) وزن سبکی دارد، اما گران‌تر هستند و در طیف گسترده‌ای از کاربردها استفاده می‌شود. بیشتر این مخازن در کاربردهای قابل حمل مانند دستگاه‌های تنفس، ذخیره‌سازی اکسیژن پزشکی و صنعت هواپیمایی استفاده می‌شود [۴ و ۶].

### سیلندرهای گاز نوع IV - لایبر غیر فلزی با کامپوزیت به‌طور کامل پیچیده

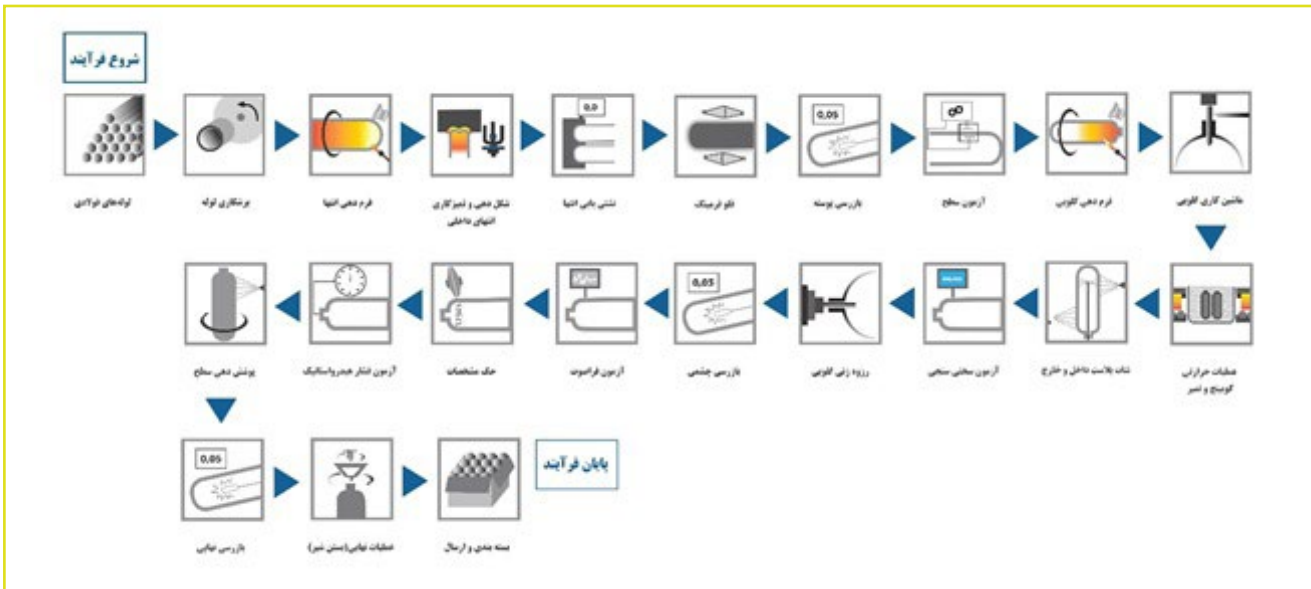
سیلندرهای گاز نوع (۴) دارای لایبر پلاستیکی و پوشش کاملی از ایاف کربن یا سایر ایاف‌ها هستند. لایبرهای سیلندرهای نوع (۴) هیچ استحکام ساختاری برای محصول ایجاد نمی‌کنند و فقط به‌عنوان یک مانع نفوذ عمل می‌کنند. تمام استحکام مخزن توسط تقویت کننده کامپوزیت تأمین می‌شود [۴ و ۶]. روکش‌های کامپوزیتی این ظروف به‌صورت عمومی از ایاف شیشه، آرامید یا کربن تشکیل شده‌است. مخازن نوع IV و V به دلیل فقدان لایبرهای فلزی، سبک‌ترین انواع هستند. با این حال، به دلیل استفاده بیشتر از مواد کامپوزیت گران‌تر هستند [۵]. سیلندر کامپوزیت نوع (۴) برجسته‌ترین گزینه برای گاز طبیعی فشرده، خودروهای هیدروژن خالص، خودروهای پیل سوختی هیدروژنی و خودروهای سبک وزن است، زیرا سیلندرهای نوع (۴) کاهش وزن قابل توجهی را در مقایسه با نوع (۱)، نوع (۲) و سیلندرهای نوع (۳) ارائه می‌دهند [۴ و ۶].

### سیلندرهای گاز نوع V

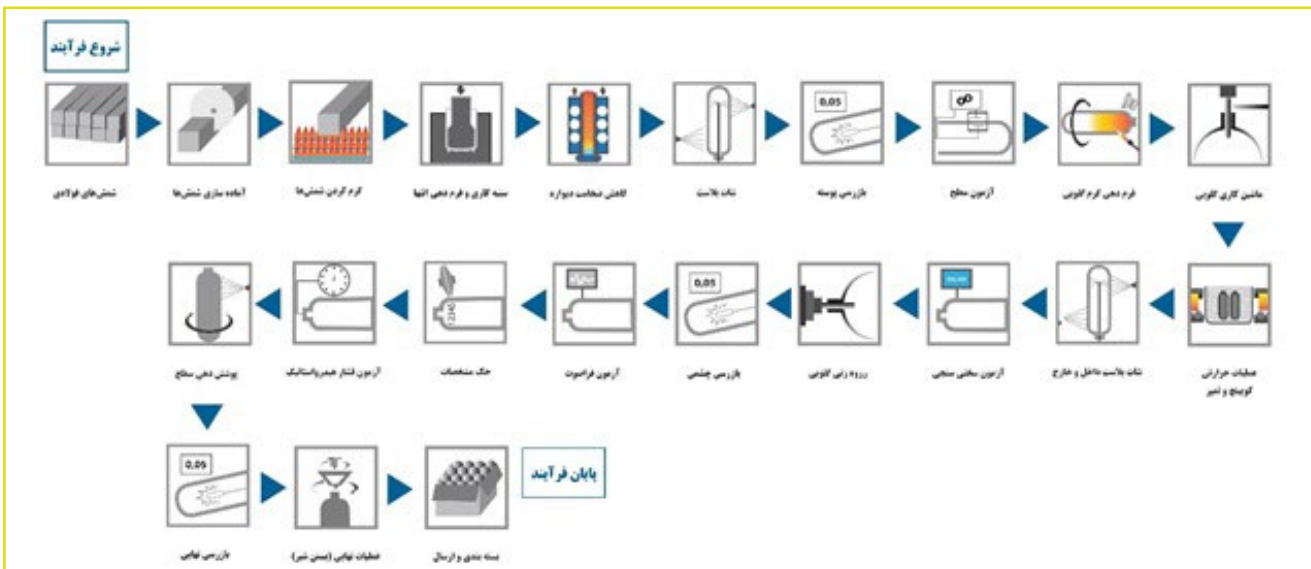
سیلندرهای نوع (V) هم اکنون وجود دارند که بدون لایبر با پوسته کامل کامپوزیت هستند. اما هنوز تحت پوشش استاندارد یا کدی قرار نگرفته‌اند [۵]. بنابراین، در دسته‌بندی چهارگانه مخازن استاندارد قرار نمی‌گیرند. در جدول (۲)، عناوین مخازن CNG و نسبت وزن به قیمت آن آورده شده‌است [۶].



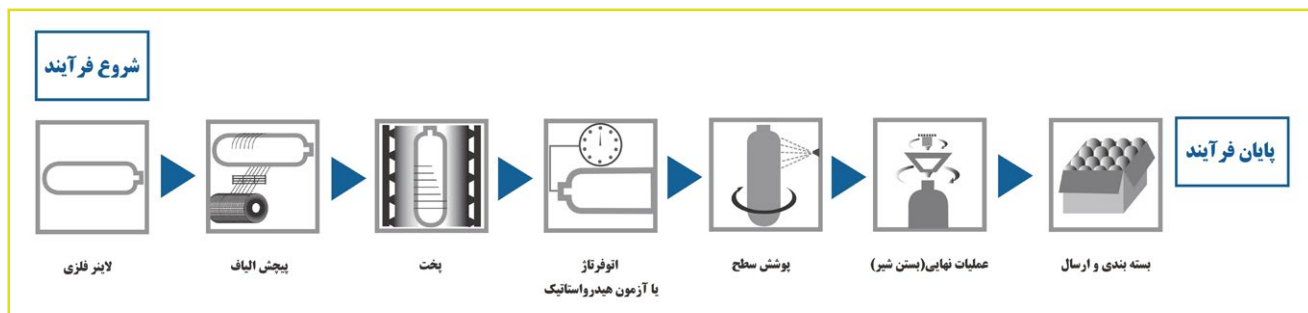
شکل (۷): مراحل ساخت مخزن فولادی از ورق به روش کشش عمیق [۱۱].



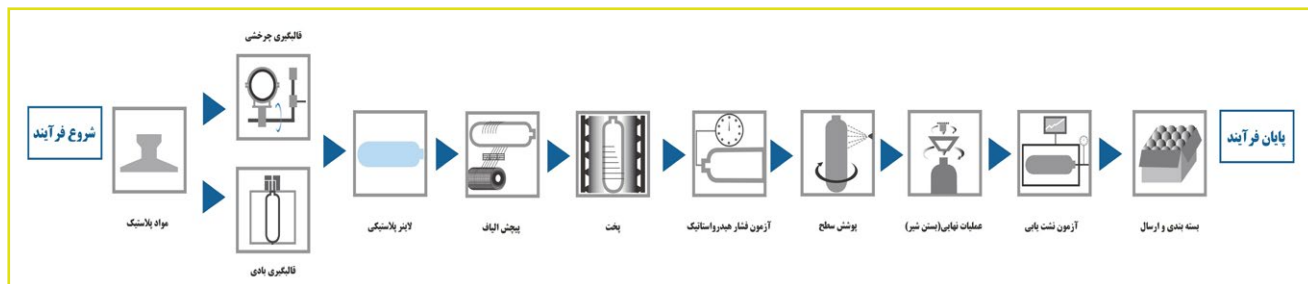
شکل (۸): مراحل ساخت مخزن از لوله فولادی بدن درز به روش شکل‌دهی [۱۱].



شکل (۹): مراحل ساخت مخزن از شمش‌های فولادی به روش شکل‌دهی [۱۱].



شکل (۱۰): مراحل ساخت مخازن کامپوزیتی با لاینر فلزی [۱۱].



شکل (۱۱): مراحل ساخت مخازن کامپوزیتی با لاینر پلاستیکی [۱۱].



شکل (۱۲): نشان ملی استاندارد [۱۲].

## □ استانداردهای بین‌المللی و ملی سیلندرهای بدون درز

از استانداردهای بین‌المللی تولید سیلندرهای گاز بدون درز می‌توان به استانداردهای ISO 11439, ECE R110 و ISO 9809 و استانداردهای ملی ایران به شماره‌های ۷۵۹۸ و ۷۹۰۹ اشاره کرد.

## □ تاییدیه سیلندر گاز

امروزه موانع نظارتی عمده‌ای برای تجارت بین‌المللی با سیلندرهای گاز وجود دارد. رویه استاندارد به این صورت است که برای تولید یک نوع سیلندر، ابتدا باید طرح، مورد تایید مقامات کشوری که قرار است سیلندر در آنجا استفاده شود، باشد. پس از تولید، سیلندرها باید توسط یک بازرسی مجاز در کشور مورد استفاده، بازرسی و آزمایش شوند. این سیلندر به‌طور معمول در هیچ کشور دیگری قابل استفاده نیست، مگر اینکه دوباره بازرسی و آزمایش شده باشد یا براساس بازرسی و آزمایش قبلی معافیت داده شده باشد. این بدان معنی است که سیلندرها در اصل، محدود به کشوری هستند که برای آن ساخته شده‌اند [۶]. در ایران این مخازن تحت نظارت سازمان ملی استاندارد ایران تولید و عرضه می‌شوند. در شکل (۱۲) نشان ملی استاندارد نمایش داده شده‌است.

## □ انواع آزمون‌های مخازن تحت فشار بدون درز

انجام آزمایش‌های کنترل برای رسیدن به خواص مورد نظر یک محصول و نیز انتخاب محصولی متناسب با شرایط کاربری، از جمله روش‌هایی است که در هر صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳]. در اینجا سعی شده‌است شرح آزمون‌هایی که در تمامی مخازن استفاده می‌شود، آورده شود؛ ولی ممکن است به دلایلی، به یک یا چند آزمون اشاره نشده باشد که در این زمینه به استاندارد محصول رجوع می‌کنیم.

### □ آزمون‌های مواد

در این بخش، آزمون‌هایی انجام گرفته که به بررسی آنالیز و ترکیب شیمیایی مواد و خواص آنها پرداخته می‌شود. مواد مورد استفاده در این سیلندرها، فولادی، آلومینیومی، پلاستیکی و مواد مرکب هستند. این مواد باید برای شرایط کاربرد مشخص شده در استانداردهای مربوط مناسب باشند. در سیلندر نباید موادی وجود داشته باشد که در تماس با هم ناسازگار هستند [۱۴].

## ■ آزمون‌های مواد فولادی

**کنترل ترکیب شیمیایی فولاد:** مواد به کار رفته برای ساخت سیلندرهای گاز باید از جنس فولاد، غیر از فولادهای نا آرام و بدون خواص پیرسختی باشد و همچنین باید با آلومینیوم و یا سیلیکون به طور کامل کشته<sup>۱</sup> شده باشد. در ترکیب شیمیایی تمامی فولادها باید میزان کربن، منگنز و سیلیس، میزان کرم، نیکل و مولیبدن یا سایر عناصر آلیاژی (شکل (۱۳))، که به صورت عمدی به فولاد اضافه می‌شوند، مشخص شده و بیشینه مقدار فسفر و گوگرد در تمام موارد معین شده باشد. فولاد کرم مولیبدن (آبدیده و برگشت داده شده) و فولاد کربن منگنز (آبدیده و برگشت داده شده)، دو نمونه فولاد شناخته شده بین‌المللی هستند که سالیان متمادی به طور ایمن در این مخازن استفاده می‌شوند [۱۵]. برای کنترل ترکیب شیمیایی فولاد، از آزمون اسپکتومتری نشری<sup>۱۰</sup> می‌توان استفاده کرد. گوگرد و فسفر در آنالیز مذاب ماده به کار رفته برای ساخت سیلندرهای گاز به دلایلی که در زیر برای هر یک از این عناصر اشاره می‌کنیم، نباید در حالت تکی بیش از ۰/۰۲۰ درصد و در مجموع ۰/۰۲۵ درصد جرمی فولاد باشد [۱۵].



شکل (۱۳): نمایی از عناصر آلیاژی و شیمیایی مورد استفاده در فولاد [۱۶].

از آنجا که فسفر در حین سرد شدن ماده مذاب، باعث جدانشینی اولیه می‌شود و به واسطه باریک‌تر شدن حوزة (Y)، امکان جدانشینی ثانویه را در حالت جامد فراهم می‌کند، بیشتر به‌عنوان یکی از عناصر زیان‌آور فولاد به‌شمار می‌رود. به دلیل سرعت نفوذی به نسبت کم، هم در حوزة بلورهای مخلوط (α) و هم (Y)، جدانشینی حاصل شده به سختی یکنواخت می‌شود؛ زیرا توزیع یکنواخت فسفر در فولاد به سختی قابل دستیابی است؛ سعی می‌شود که درصد فسفر را در حد پایین حفظ و متناسب با آن، درصد فسفر را در فولادهای با ارزش در مرز بالای ۰/۰۵ تا ۰/۰۳ درصد نگه داشت. مقدار جدانشینی را نمی‌توان با اطمینان کامل مشخص کرد.

همچنین از بین همه عناصر همراه فولاد، گوگرد بیشترین درجه افزایش جدانشینی روی فولاد را داراست. سولفید آهن به‌طور معمول به شکنندگی داغ یا ترک گرم فولاد می‌انجامد، چون سولفیدهای اوتکتیک با نقطه ذوب پایین، دانه‌های فلزی را چون شبکه‌ای احاطه می‌کند، به‌گونه‌ای که بین آنها پیوندی ضعیف ایجاد می‌شود و در شکل دادن گرم مرز دانه‌ها تمایل

به شکست پیدا می‌کنند؛ شکستن مرز دانه‌ها با اکسیژن تقویت می‌شود. همچنین میل ترکیبی زیاد گوگرد به عنصر منگنز، آن را به‌صورت ناخالصی سولفید منگنز جدا می‌کند. چقرمگی فولاد نیز با افزودن گوگرد به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد [۱۷].

## ■ آزمون مقاومت در برابر ترک خوردن ناشی از تنش در محیط سولفیدی<sup>۱۱</sup>: ترک خوردن آلیاژ تحت تنش در محیط

سولفیدی مرطوب نوعی از خوردگی و خسارت هیدروژنی است که هیدروژن اتمی در آن از واکنش سولفید هیدروژن (H<sub>2</sub>S) با آلیاژ فراهم می‌شود. به این خوردگی، ترک خوردگی تنشی سولفیدی گفته می‌شود. هیدروژن می‌تواند در مراحل مختلف ساخت قطعات، تجهیزات و یا حین سرویس وارد شود. ورود هیدروژن به داخل فلزات و آلیاژها باعث خوردگی و تخریب و انهدام‌های ناشی از آن می‌شود. در صورتی که وقوع خسارت هیدروژنی از نفوذ هیدروژن به داخل آلیاژ پر استحکام و با سختی بالا در محیط حاوی سولفید هیدروژن و انجام واکنش خوردگی سولفیدی حاصل شود و قطعه هم در معرض تنش باشد، با پدیده ترک خوردگی تنشی سولفیدی مواجه خواهیم بود. این پدیده بیشتر در فولادهای با استحکام بالا اتفاق می‌افتد [۱۸]. بنابراین در صورتی که حد بالای استحکام کششی مشخص شده برای فولاد، از ۹۵۰ مگاپاسکال فراتر رود، باید فولاد مربوط به سیلندر تکمیل شده مورد آزمون قرار گیرد. برای انجام این آزمون، مطابق روش A شرح داده شده در استاندارد NACE TM0177 بیان می‌شود. ابتدا باید نمونه‌های کششی به قطر گیج  $3/81 \pm 0/05$  میلی‌متر از دیواره سیلندر تکمیل شده، ماشین کاری شوند. سپس باید تحت یک بار کششی ثابت به اندازه ۶۰ درصد کمینه استحکام تسلیم فولاد قرار گیرند و در محلولی با مشخصات زیر غوطه‌ور می‌شوند: محلول باید آب مقطر باشد که با اضافه نمودن ۰/۵ درصد جرمی تری هیدرات استات سدیم<sup>۱۲</sup> به آن بافر<sup>۱۳</sup> شده و با استفاده از اسید استیک، Ph آن در حد چهار تنظیم شده باشد. سپس محلول باید به‌طور مداوم با استفاده از سولفید هیدروژن با دمای اتاق و فشار ۰/۴۱۴ کیلوپاسکال اشباع نگه داشته شود (توازن نیتروژن). نمونه مورد آزمون باید دست کم به مدت ۱۴۴ ساعت بتواند در شرایط بالا بدون خراب شدن باقی بماند [۱۴].

## ■ آزمون‌های مواد آلومینیومی

در صورتی که آلیاژهای آلومینیوم به‌عنوان ماده اصلی مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۶۶۵ باشند. مقدار ناخالصی سرب و بیسموت در تمام آلیاژهای آلومینیوم نباید از ۰/۰۰۳ درصد فراتر رود. آزمون‌های خوردگی آلیاژهای آلومینیوم<sup>۱۴</sup> و نیز آزمون‌های ترک خوردگی ناشی از بار پایدار<sup>۱۵</sup> برای آلومینیوم باید طبق استاندارد ISO 7866 انجام و الزامات بیان شده در آن برآورده شوند [۱۴].



شده در استاندارد ASTM D2344 روی نمونه برش یافته‌ای از پوشش کامپوزیت خارجی سیلندر، جنس رزین مورد آزمون قرار می‌گیرد. پس از ۲۴ ساعت جوشاندن در آب، استحکام برشی بخش کامپوزیت باید حداقل ۱۳/۸ مگاپاسکال باشد [۱۴].

این آزمون به منظور بررسی میزان چسبندگی رزین به الیاف و همچنین بررسی فصل مشترک بین اجزای کامپوزیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این میزان چسبندگی بین الیاف و رزین تابع ماهیت رزین، الیاف، آهار اعمال شده بر سطح الیاف، ضخامت و انعطاف‌پذیری فصل مشترک، میزان ترشوندگی الیاف با رزین و در نهایت، میزان فشار اعمال شده به کامپوزیت با استفاده از الیاف در هنگام فرآیند الیاف‌پیچی بستگی دارد.

**دمای انتقال شیشه‌ای شدن رزین<sup>۲۳</sup>:** دمای انتقال شیشه‌ای ( $T_g$ )، به آغاز حرکت مولکولی هماهنگ و بزرگ دامنه در مقیاس زمانی آزمون اطلاق می‌شود. در این محدوده دمایی، ده تا پنجاه اتم استخوان‌بندی اصلی زنجیر انرژی حرارتی کافی برای حرکت هماهنگ چرخشی در مقیاس زمانی آزمون را دارا هستند. برای تعیین تعداد اتم‌های زنجیر مشارکت‌کننده در این پدیده، دمای انتقال شیشه‌ای پلیمر شبکه‌ای به صورت تابعی از وزن مولکولی بین نقاط شبکه، اندازه‌گیری می‌شود. با کاهش وزن مولکولی در اثر افزایش مقدار عامل شبکه‌ای‌کننده، در نهایت، تعداد منومرهای بین دو گره شیمیایی متوالی به حداقل منومرهای لازم برای مشاهده دمای انتقال شیشه‌ای می‌رسد. در این نقطه، حرکت اتم‌های بین گره‌های شیمیایی برای وقوع انتقال شیشه‌ای، دیگر کافی نخواهد بود. انتقال شیشه‌ای در پلیمرها را می‌توان با اندازه‌گیری خواص ترمودینامیکی، فیزیکی، مکانیکی یا الکتریکی به صورت تابعی از دما تعیین نمود. دمای انتقال شیشه‌ای شدن را می‌توان با چند روش از جمله دیلاتومتری<sup>۲۴</sup>، گرماسنجی روبشی<sup>۲۵</sup>، دیفرانسیلی<sup>۲۶</sup>، روش طیف‌سنجی دینامیکی مکانیکی، دی الکتریک و مغناطیسی و گرانیوی مذاب به دست آورد.

در روش دیلاتومتری، افزایش حجم مخصوص پلیمر به صورت تابعی از درجه حرارت در یک لوله موئین اندازه‌گیری می‌شود. در درجه حرارت انتقال شیشه‌ای، شیب تغییر حجم مخصوص با دما تغییر می‌کند که به این منحنی تعادلی<sup>۲۶</sup> PVT در فشار اتمسفری اطلاق می‌شود.

در گرماسنجی روبشی دیفرانسیلی، دمای نمونه و مرجع (آلیاژ فلزی) مساوی با یکدیگر افزایش یافته و تفاوت جریان گرمای ضروری ( $\Delta Q$ )، بر حسب درجه حرارت گزارش می‌شود. عکس‌العمل مشاهده شده از تفاوت گرمای ویژه نمونه و مرجع و تغییر آن با افزایش دما سرچشمه می‌گیرد. بنابراین، در دمای انتقال شیشه‌ای به دلیل تغییر (C) پلیمر، تفاوت آن با مرجع قابل ردیابی خواهد بود [۱۹]. در شکل (۱۵)، محور عمودی بیانگر جریان حرارتی بر حسب میلی‌وات بر میلی‌گرم و محور افقی بیانگر دما بر حسب درجه سانتیگراد است.

## ■ آزمون‌های مواد پلاستیکی پوسته داخلی

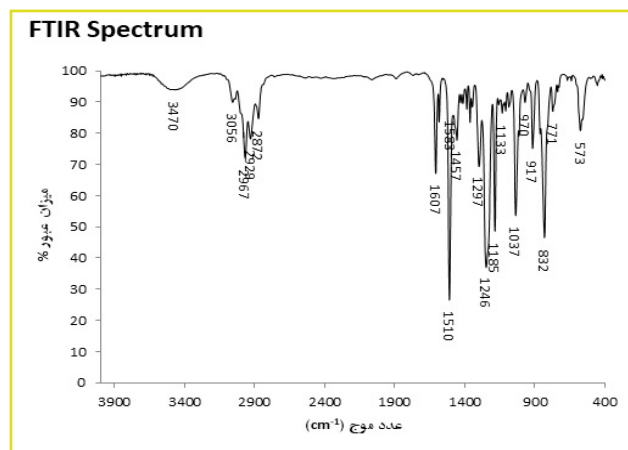
**آزمون خواص کششی پلاستیک‌ها<sup>۱۶</sup>:** هدف از انجام این آزمون، تعیین استحکام کششی تسلیم و اندازه‌گیری ازدیاد طول نهایی مربوط به مواد پوسته داخلی پلاستیکی در دمای منهای ۵۰ درجه سلسیوس است. این آزمون باید براساس استاندارد ISO 3628 انجام شود. در این آزمون مشخصات و رفتار تدریجی پوسته داخلی پلاستیکی در دمای منهای ۵۰ درجه سلسیوس یا کمتر تعیین شده و انطباق با مقادیر مشخص شده توسط سازنده مورد بررسی قرار می‌گیرد. ماده پلیمری مورد استفاده در ساخت پوسته داخلی پلاستیکی باید برای شرایط کاربرد مشخص شده در استاندارد مناسب باشد [۱۴].

**آزمون دمای ذوب شدن پلاستیک‌ها<sup>۱۷</sup>:** مواد پلیمری برداشته شده از پوسته‌های داخلی تکمیل شده باید براساس دستورالعمل شرح داده شده در استاندارد ISO 306 مورد آزمون قرار گیرند. همچنین دمای نرم شدن این ماده (جنس) باید حداقل ۹۰ درجه سلسیوس و دمای ذوب شدن آن باید دست‌کم ۱۰۰ درجه سلسیوس باشد [۱۴].

## ■ آزمون‌های رزین

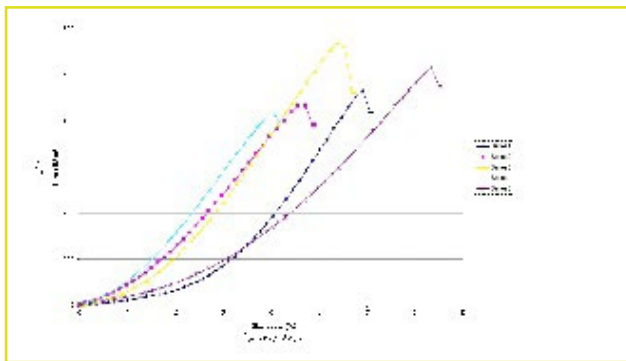
**جنس رزین:** ماده لازم برای آغشته نمودن رشته‌های تقویت‌کننده (ماده ماتریس) را می‌توان از رزین‌های گرماسخت (ترموست) یا گرمانرم (ترموپلاستیک) انتخاب نمود. از جمله مواد مناسب برای ماتریس عبارتند از: اپوکسی بهبود یافته، پلاستیک‌های ترموستینگ پولی استر و وینیلیستر و پلی اتیلن و مواد ترموپلاستیک پلی آمید [۱۴].

برای سنجش جنس رزین، از آزمون‌های طیف‌سنجی و آزمون‌های حرارتی استفاده می‌شود. آزمون‌های طیف‌سنجی با روش‌های طیف‌سنجی مادون قرمز<sup>۱۸</sup> (شکل (۱۴)) و آنالیز تشدید مغناطیسی هسته‌ای<sup>۱۹</sup> و آزمون‌های حرارتی با روش‌های گرما وزن‌سنجی<sup>۲۰</sup> و گرماسنجی دقیق جزئی<sup>۲۱</sup> قابل انجام است.



شکل (۱۴): طیف‌سنجی FTIR رزین LY556.

**آزمون استحکام برشی رزین<sup>۲۲</sup>:** با انجام آزمون شرح داده



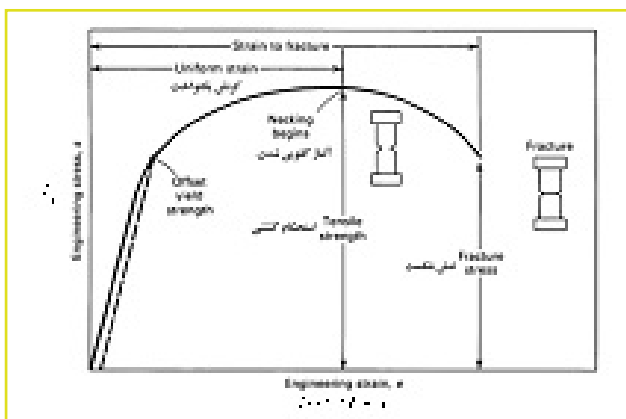
شکل (۱۶): آزمون کشش ۵ نمونه الیاف شیشه.

## ■ آزمون‌های خواص مکانیکی

### ■ آزمون کشش<sup>۳۰</sup>

آزمون کشش مهندسی برای نشان دادن اطلاعات اساسی درباره استحکام مواد [۲۱] و به منظور دستیابی به رفتار ماده که در آن یک یا چند کمیت مقاومتی و تغییر شکل مشخص می‌شوند، به کار گرفته می‌شود. در این آزمایش، در اثر اعمال نیروی کششی، ازدیاد طول نسبی تدریجی و افزایش در نمونه، کشش ایجاد و تا مرحله شکست ادامه پیدا کرده و مقدار نیروی کشش لازم اندازه‌گیری می‌شود [۱۷].

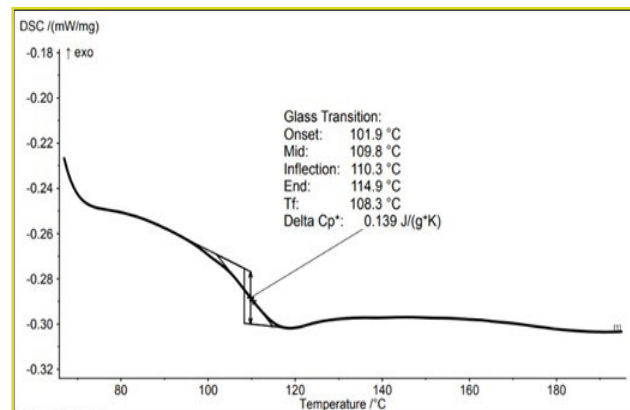
شکل و دامنه منحنی تنش-کرنش یک فلز (شکل (۱۷))، به ترکیب شیمیایی، عملیات حرارتی، سابقه تغییر شکل پلاستیک، سرعت کرنش، دما و حالت تنش‌ی که جسم در حین آزمایش در معرض آن قرار می‌گیرد، بستگی دارد. عواملی که برای تشریح منحنی تنش-کرنش یک فلز استفاده می‌شوند عبارت است از: استحکام تسلیم ( $\delta_{Yield}$ )، استحکام کششی ( $\delta_{UTS}$ )، درصد ازدیاد طول (El.%) و کاهش سطح مقطع. دو عامل اول، عوامل استحکام و مقاومت جسم و دو عامل بعدی، معیاری از چکش‌خواری جسم هستند [۲۳].



شکل (۱۷): منحنی تنش-کرنش مهندسی براساس مقادیر بار-ازدیاد طول [۲۲].

در شکل (۱۸)، نمایی از نمونه و آزمون تست کشش نشان داده شده‌است.

در استاندارد مخازن، دمای گذار شیشه‌ای شدن مواد رزین باید براساس استاندارد ASTM D3418 تعیین شود [۱۴].



شکل (۱۵): نمودار DSC نمونه رزین پخت شده LY556 به منظور تعیین دمای انتقال شیشه‌ای [۱۴].

### ■ آزمون‌های فیبر و الیاف

**جنس الیاف:** جنس الیاف تقویت کننده باید از فیبر شیشه، فیبر آرامید یا فیبر کربن باشد. در صورت استفاده از فیبر کربن، طراحی سیلندر باید به گونه‌ای باشد که از خوردگی گالوانیکی اجزای فلزی آن جلوگیری به عمل آید [۱۴].

به منظور تعیین ماهیت و همچنین آهار اعمال شده بر سطح الیاف می‌توان از آنالیزهای طیف‌سنجی همانند FTIR، پراش اشعه ایکس<sup>۲۷</sup> و رامان<sup>۲۸</sup> استفاده شود. از طرفی با انجام آزمون‌های مکانیکی همانند آزمون کشش نیز می‌توان الیاف‌های گوناگون را براساس خواص مکانیکی که تابع جنس و ماهیت الیاف است، طبقه‌بندی کرد. با انجام آزمون‌های حرارتی مانند TGA نیز می‌توان ماهیت و خلوص مواد به کار رفته در الیاف را تعیین نمود.

**استحکام کششی الیاف<sup>۲۹</sup>:** آزمون استحکام کششی الیاف مطابق با چندین استاندارد ملی و بین‌المللی از جمله ASTM D2343 و ISO10618، INSO7444 قابل انجام است. در این آزمون به منظور تهیه نمونه‌ها، نمونه‌های نخ به‌طور یکنواخت با رزین آغشته و مطابق با دستورالعمل پخت می‌شوند. نمونه‌ها در دستگاه آزمون مناسب در معرض کشش با سرعت ثابت تا لحظه پارگی قرار می‌گیرند. پس از ساخت نمونه، هر آزمون باید از نظر نبود انحنا در آن کنترل شود. آزمون‌ها باید دارای ظاهری یکسان و فاقد عیوبی همچون شکستگی الیاف، وجود قطرات رزین و وجود الیاف نامنظم باشند.

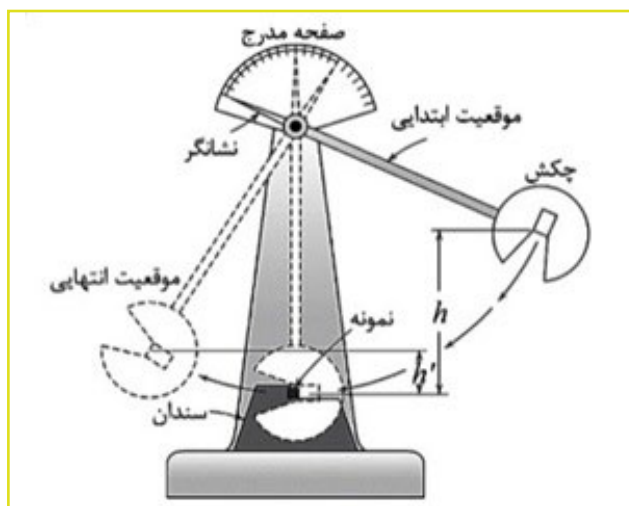
در نهایت، استحکام کششی، مدول الاستیسیته کششی و کرنش یا درصد ازدیاد طول را به دست می‌آوریم که بدین منظور باید ویژگی‌هایی همچون جرم مخصوص خطی نخ و الیاف کربن و جرم مخصوص خطی آزمون نخ آغشته شده به رزین تعیین شود [۲۰]. شکل (۱۶)، نمودار تنش-کرنش آزمون کشش الیاف شیشه مورد استفاده در فرآیند الیاف پیچی مخازن کامپوزیتی ارائه شده‌است.

توجه به این واقعیت شد که فولادی که به صورت معمول نرم است در شرایط ویژه‌ای ترد می‌شود. این تنها موردی نبود که شکست ترد، مشکل ایجاد می‌کرد. در سال ۱۸۸۶ از شکست‌های ترد در مخازن، مخازن تحت فشار، خطوط لوله و پل‌ها گزارش داده شد.

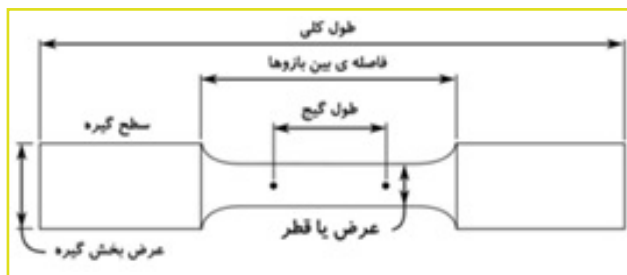
در شکست از نوع ترد رخ‌برگی<sup>۳۲</sup> سه عامل عمده شرکت دارند. این سه عامل عبارتند از: (۱) حالت تنش سه بعدی، (۲) دمای کم و (۳) آهنگ کرنش زیاد یا آهنگ بارگذاری زیاد. برای ایجاد شکست ترد لزومی ندارد که هر سه عامل به طور هم‌زمان حضور داشته باشند. تنش سه بعدی مانند حالت موجود در شیار و دمای کم، دلیل بیشتر شکست‌های ترد در حین کار است. اما چون این آثار در آهنگ بارگذاری زیاد مطرح می‌شوند، به منظور مستعد بودن مواد برای شکست ترد، انواع آزمون‌های ضربه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای آزمون ضربه با شیار، دو دسته نمونه استاندارد وجود دارد.

در ایالات متحده آمریکا نمونه‌های آزمون شاری<sup>۳۳</sup> متداول‌تر است، در صورتی که در انگلستان نمونه ایزود به کار می‌رود. در آزمون ضربه شاری، انرژی کل جذب شده در حین شکست نمونه اندازه‌گیری می‌شود [۲۱]، که این انرژی، مقدار استحکام ضربه‌ای ماده است [۲۵]. در این آزمون مطابق با شکل‌های (۲۰) و (۲۱)، آزمون روی دو تکیه‌گاه قرار گرفته و با چکش آزاد مورد ضربه (یک ضربه) قرار می‌گیرد. در اثر این ضربه، نمونه با شیار V یا U شکل، شکسته و یا انرژی ضربه با تکیه‌گاه دستگاه جذب می‌شود. در این آزمایش، مقدار کار ضربه مصرف شده اندازه‌گیری می‌شود. مقدار به دست آمده برای قضاوت در مورد خواص چقرمگی مواد به کار می‌رود.

**انرژی مصرف شده ضربه:** مقدار انرژی مصرف شده (KV) با واحد ژول (J) بیان می‌شود. این انرژی بستگی به دما دارد. **چقرمگی ضربه ( $U_k$ ):** عبارتست از نسبت تقسیم انرژی مصرف شده (K) به سطح مقطع نمونه آزمون. چقرمگی ضربه با واحد  $J/Cm^2$  بیان می‌شود [۱۷].



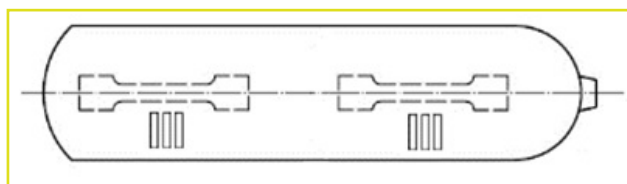
شکل (۲۰): نمایی از دستگاه آزمون ضربه [۲۶].



شکل (۱۸): نمایی از نمونه و آزمون تست کشش [۲۴].

استحکام کششی فلزات شکل‌پذیر، بیشینه مقدار باری است که هر فلز می‌تواند در شرایط بسیار محدود بارگذاری یک بعدی در برابر آن پایداری کند [۲۱]. استحکام تسلیم عبارتست از تنشی که در آن همراه با ازدیاد طول، برای اولین مرتبه مقدار نیروی کششی ثابت مانده و یا اینکه کاهش می‌یابد و ازدیاد طول نسبی شکست نیز عبارتست از نسبت تغییر طول پس از شکست نمونه آزمون به طول اندازه‌گیری اولیه [۱۷].

در مخازن آزمون، کشش باید روی یک آزمون مستطیل از بخش استوانه‌ای سیلندر تکمیل شده یا پوسته داخلی در جهت طولی مخازن مطابق با شکل (۱۹) انجام شود. استحکام کششی نهایی فولاد مربوط به سیلندر تکمیل شده نباید از ۱۲۰۰ مگاپاسکال بیشتر و استحکام کششی و تسلیم فولاد نیز نباید از مقدار تعیین شده در طراحی محصول کمتر و درصد ازدیاد طول نسبی آن نیز باید حداقل ۱۴ درصد باشد [۱۴ و ۱۵].



شکل (۱۹): موقعیت نمونه‌های آزمون کشش و ضربه روی سیلندر [۱۵].

آزمون کشش در مخازن، مطابق با استانداردهای بین‌المللی ISO 6892-1 و استاندارد ملی ISO 10272-1 و در سایر موارد مطابق با استانداردهای بین‌المللی ASTM A370 و ASTM E8 نیز انجام می‌شود.

### ■ آزمون ضربه<sup>۳۱</sup>

در جنگ جهانی دوم توجه زیادی به شکست ترد تانکرهای T-2 و کشتی‌های لیبرتی جوشکاری شده معطوف شد. بعضی از این کشتی‌ها به طور کامل دو نیمه شده بود، در صورتی که در مواردی دیگر، شکست، کشتی را به طور کامل تخریب نمی‌کرد. بیشتر شکست‌ها در فصل زمستان رخ می‌داد. شکست‌ها هم در زمانی که کشتی‌ها در دریا بودند و هم وقتی در بندر لنگر انداخته بودند، رخ می‌داد. وقوع این حوادث خطیر باعث

آزمون ضربه در مخازن، مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO 148-1 و استاندارد ملی ISO 796-1 و در سایر موارد مطابق با استاندارد بین‌المللی ASTM E23 در دماهای مختلف انجام می‌شود.

### ■ آزمون سختی<sup>۳۵</sup>

به‌طور کلی، سختی حاکی از مقاومت در برابر تغییر شکل است و این خاصیت در فلزات، معیاری از مقاومت آنها در برابر تغییر شکل مومسان یا دائم است [۲۱]. در این آزمون، مقاومت نمونه در برابر فرورفتگی و تغییر شکل پلاستیک اندازه‌گیری می‌شود. ابزار فرو رونده در این آزمون ممکن است به‌صورت ساچمه، مخروط و هرمی شکل باشد که به‌طور معمول از فولاد سخت یا الماس ساخته شده‌است و تحت یک نیروی الاستیکی به‌کار برده می‌شود.

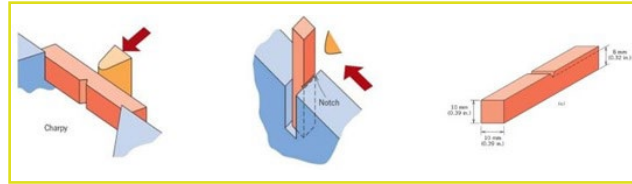
آزمون سختی‌سنجی فلزات با روش‌های برینل<sup>۳۶</sup>، راکولسی<sup>۳۷</sup> و ویکرز<sup>۳۸</sup> قابل انجام است که برای مخازن، از سختی‌سنجی برینل که به نوعی آزمونی غیرمخرب است برای کلیه مخازن تولیدی استفاده می‌شود (شکل (۲۳)).



شکل (۲۳): نمایی از دستگاه آزمون سختی‌سنجی مخازن [۲۹].

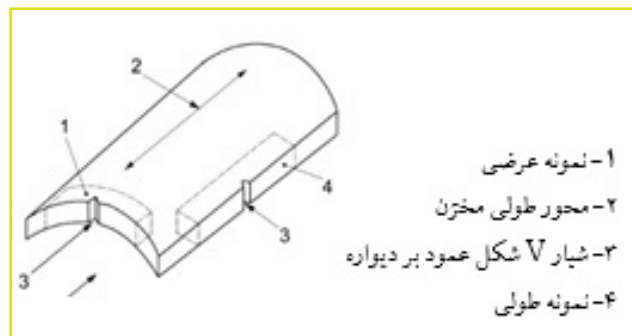
آزمون سختی برینل در سال ۱۹۰۰ توسط ج. ا. برینل ارائه شد [۲۱]. این آزمون، یک آزمون فرورفتگی یا دندانانای است که در آن ساچمه‌ای از جنس فلز سخت با فشار به داخل سطح نمونه آزمون فرو رفته و قطر میانگین فرو رفتگی به جا مانده در سطح، بعد از برداشتن نیروی آزمون، اندازه گرفته می‌شود. سختی برینل از تقسیم نیروی آزمون بر سطح منحنی فرورفتگی به‌دست می‌آید (شکل (۲۳)). این مقدار را می‌توان با رابطه زیر محاسبه نمود [۲۵]:

$$\text{رابطه (۱)} \quad 0.102 \times \frac{2 \times F}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \text{مقدار سختی برینل}$$



شکل (۲۱): نمایی از نمونه‌های آزمون ضربه آیزود و شارپی [۲۷].

در مخازن آزمون، ضربه باید بر سه آزمون انجام شود. این آزمون‌ها باید مطابق با شکل (۲۲)، از ماده برداشته شده از بخش استوانه‌ای سیلندر در جهت عرضی از دیواره به‌طوری که شکاف آزمون نیز عمود بر صفحه دیواره سیلندر باشد، تهیه شود [۱۴ و ۱۵].

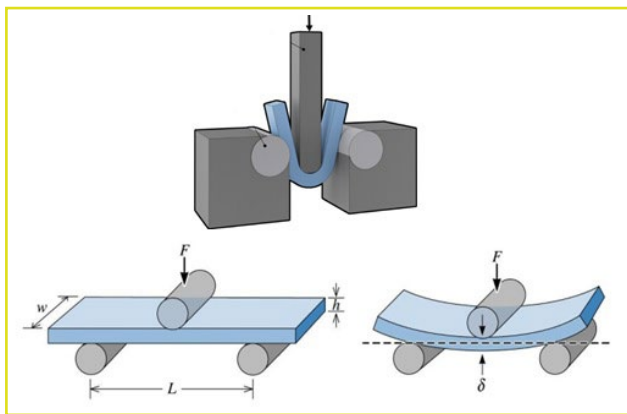


شکل (۲۲): نمایی از نمونه آزمون ضربه و موقعیت قرارگیری در مخزن به‌طور طولی و عرضی [۱۵].

از آنجایی که مقادیر انرژی ضربه بسیاری از مواد فلزی با دما تغییر می‌کند، آزمون‌ها باید در دمای مشخصی انجام شود. اگر این دما، به جز دمای محیط باشد ( $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ )، قطعه آزمون باید تا دمای مورد نظر در شرایط کنترل شده، گرم یا سرد شود. نمونه‌های ساخته شده از مخزن، به مدت ۵ دقیقه در محیط‌های خنک کننده<sup>۳۴</sup> به دمای منهای ۵۰ درجه سانتیگراد رسیده و بلافاصله مورد آزمون قرار می‌گیرند [۲۸]. مقدار استحکام ضربه نباید کمتر از مقادیر بیان شده در جدول (۳) باشد [۱۴ و ۱۵]:

جدول (۳): مقادیر پذیرش آزمون ضربه [۶].

کوچکتر یا مساوی ۱۴۰	بزرگتر از ۱۴۰		قطر سیلندر بر حسب میلی‌متر	
طول	عرضی		راستای انجام آزمون	
۳ تا ۵	< ۷-۱۰/۵	< ۷/۵-۵	۵-۳	عرض نمونه آزمون بر حسب میلی‌متر
-۵۰	-۵۰			دمای آزمون بر حسب درجه سلسیوس
۶۰	۴۰	۳۵	۳۰	میانگین سه نمونه
۴۸	۳۲	۲۸	۲۴	هر کدام از نمونه‌ها
				استحکام ضربه بر حسب ژول بر سانتیمتر مربع



شکل (۲۵): نمایی از چگونگی آزمون خمش سه نقطه‌ای [۳۰].

آزمون خمش به‌منظور دریافت تایید نوعی برای مخازن صنعتی تولید شده با استاندارد ISO 9809 است که باید روی دو نمونه آزمون که با استفاده از برش یک یا دو حلقه به پهنای ۲۵ میلی‌متر یا ۴ برابر ضخامت (هر کدام که بزرگتر باشد) انجام شود. وقتی فاصله دو سطح داخلی نمونه آزمون خم شده در دو طرف سمبه، بیشتر از قطر سمبه نباشد، نباید هیچگونه اثری از ترک روی نمونه آزمون مشاهده شود. فاصله فک‌ها مطابق با جدول شماره (۴) قابل محاسبه است [۱۵]. آزمون خمش مطابق با استانداردهای بین‌المللی ISO 7438 ASTM E290، و استاندارد ملی INSO 1016 قابل انجام است.

جدول (۴): الزامات آزمون خمش و آزمون تختکاری [۱۵].

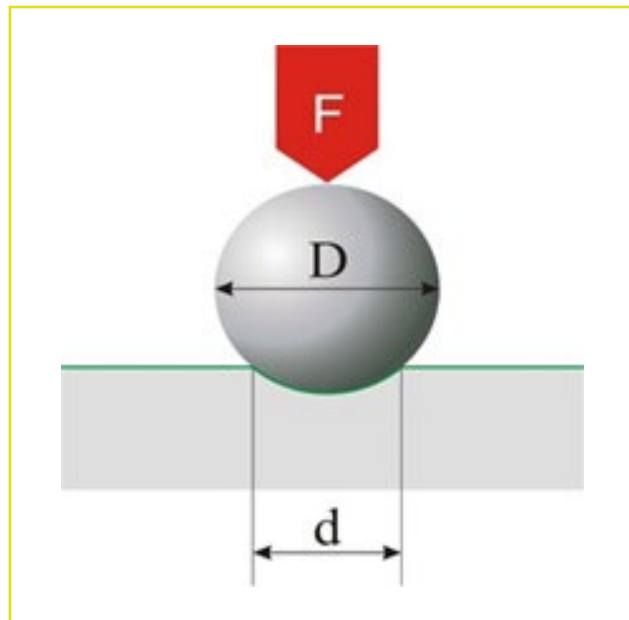
آزمون تخت کاری (سیلندر یا حلقه) میزان $u^a$	آزمون خمش میزان n	استحکام کششی واقعی $R_{ma}$ (Mpa)
۶	۴	$R_{ma} \leq 800$
۷	۵	$800 < R_{ma} \leq 880$
۸	۶	$880 < R_{ma} \leq 950$
۹	۷	$950 < R_{ma} \leq 1100$

a فاصله بین لبه تیغه یا فک‌ها برابر با  $u \times t_m$  بوده که  $t_m$  میانگین ضخامت دیواره سیلندرها در نقطه آزمون است.

#### ■ آزمون تخت کاری و تخت کاری حلقه ۴۰

آزمون فشردگی، یک آزمون شکل‌پذیری است که به‌منظور ارزیابی توانایی لوله‌های فلزی در تحمل تغییر شکل پلاستیک حاصل از عملیات فشردگی به‌کار برده می‌شود. همچنین ممکن است از این آزمون برای آشکار ساختن عیوب موجود در لوله‌ها مورد استفاده شود. این آزمون شامل فشردن یک نمونه آزمون و تهیه شده از طول معینی از یک لوله تا وقتی است که فاصله میان نگهدارنده‌های نمونه به مقدار مشخصی برسد (شکل (۲۶)). بعد از انجام آزمون به‌منظور رد یا پذیرش نمونه مطابق با معیار مشخص شده، آن را با چشم غیر مسلح بازرسی می‌نماییم و عدم وجود ترک نشانه موفقیت‌آمیز بودن آزمون است [۲۵].

در رابطه (۱) و شکل (۲۴)،  $(F)$  = نیروی آزمون،  $(D)$  = قطر ساچمه (mm) و  $(d)$  = قطر متوسط فرورفتگی (mm) است.



شکل (۲۴): نیرو و قطر اثر در آزمون سختی سنجی [۱۸].

در مخازن، این آزمون باید روی بخش استوانه‌ای مرکزی و بخش انتهایی عدسی مربوط به هر سیلندر یا پوسته داخلی و پس از عملیات حرارتی نهایی انجام شود [۱۴].

اندازه‌های سختی که بدین طریق تعیین شده‌اند باید در محدوده معین شده توسط سازنده سیلندر باشد که به‌طور معمول در محدوده ۲۷۰ تا ۳۳۰ برینل بسته به طراحی محصول است. این محدوده‌ها با توجه به مواد و عملیات حرارتی به‌کار رفته برای تولید سیلندر و نوع گاز (به‌عنوان مثال: گازهای ترد کننده) مورد استفاده، تعیین می‌شود. به ازاء هر یک متر طول سیلندر باید یک نقطه مورد آزمون سختی‌سنجی قرار گیرد.

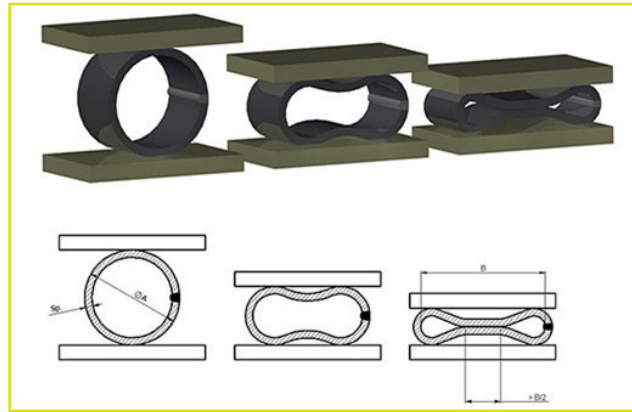
آزمون سختی‌سنجی مخازن براساس استاندارد ISO 6506 و استاندارد ملی INSO7809-1 قابل انجام است [۱۵].

#### ■ آزمون خمش ۳۹

این آزمون یک آزمون شکل‌پذیری است که به‌منظور سنجش توانایی مواد فلزی در تحمل تغییر شکل پلاستیکی ناشی از فرآیند خمش انجام می‌شود. این آزمون شامل تغییر شکل پلاستیک یک نمونه با مقطع دایره، مربع، مستطیل یا چند ضلعی در اثر خمش، بدون تغییر جهت بارگزاری تا رسیدن به یک زاویه خمش معین است [۲۵]. در شکل (۲۵)، تصویری از چگونگی قرارگیری نمونه آزمون و فک‌های دستگاه آزمون خمش سه نقطه نشان داده شده‌است.

باید بین تیغه‌های گوه‌ای شکل با زاویه  $60^\circ$  و لبه‌های گرد شده با شعاع اسمی ۱۳ میلی‌متر، تخت شود. طول گوه‌ها نباید کمتر از پهنای سیلندر تخت شده باشد. محور طولی سیلندر باید در یک زاویه به‌طور تقریبی  $90^\circ$  نسبت به لبه‌های تیغه باشد. حلقه یا سیلندر آزمون باید بین لبه‌های تیغه تا فاصله محاسبه شده در جدول شماره (۴) تخت‌کاری شود. بعد از تخت‌کاری نباید ترک قابل مشاهده‌ای در سیلندر دیده شود. در تخت‌کاری حلقه، آزمون باید روی حلقه‌ای به پهنای ۲۵ میلی‌متر یا ۴ برابر ضخامت (هرکدام که بیشتر است)، از بدنه سیلندر انجام شود [۱۵].

آزمون تخت‌کاری برای مخازن، مطابق با استانداردهای بین‌المللی ISO 9809 و استاندارد ملی INSO 7909 و برای لوله‌ها مطابق با استانداردهای بین‌المللی ISO 8492 و ISO 2328 IS قابل انجام است.



شکل (۲۶): نمایی از چگونگی آزمون تخت‌کاری حلقه [۳۱].

آزمون تخت‌کاری باید روی یک سیلندر انتخاب شده از هر بهر تولید بعد از عملیات حرارتی انجام شود. سیلندر آزمون

### نتیجه‌گیری

اهمیت رو به رشد گاز طبیعی به‌عنوان یکی از حامل‌های پاک انرژی و وجود منابع عظیم آن در جهان و ارزش اقتصادی و اهمیت راهبردی آن، مسئولان و متولیان انرژی کشور را با این الزام مواجه می‌کند که به‌سمت برنامه‌ریزی در راستای استفاده بهینه از این مزیت راهبردی، توسعه ظرفیت تولید، انتقال، ذخیره‌سازی و توزیع گاز طبیعی در اقصی نقاط کشور پهناور ایران و جایگزینی آن با سایر فرآورده‌های نفتی گام بردارند تا علاوه بر بهره‌مندی از این سوخت پاک، از افزایش بی‌رویه مصرف فرآورده‌های نفتی نیز جلوگیری شود. همچنین آینده امیدوارکننده‌ای در صنعت و بازار جهانی سیلندرهای گاز، برای سیلندرهایی با وزن کم و تمرکز بیشتر بر عملکرد زیست محیطی و عملکرد سوخت مانند مخازن کامپوزیتی وجود دارد که با تولید این محصولات می‌توان به بازارهای جهانی نیز دست یافت. تولیدکنندگان داخلی باید از این ظرفیت نامحدود در داخل و خارج از کشور بهره لازم را برده و ضمن افزایش کیفیت، عملکرد تولید خود را بهبود دهند.

علاوه بر این، ناوگان حمل و نقل زمینی کشور در حال تبدیل شدن به یکی از بزرگترین ناوگان‌های مصرف کننده سوخت گاز طبیعی فشرده در دنیا است. صرف نظر از آنکه سهم قابل تصور از گاز طبیعی فشرده در سبد سوخت کشور چه باشد و همچنین رویکرد راهبردی انرژی کشور در بخش حمل و نقل چگونه در آینده ترسیم شود، کنترل کیفیت آنچه که اکنون به‌عنوان خودروهایی گازسوز در سطح خیابان‌ها در حال تردد است، از اهمیت بسیار زیادی برای حفظ امنیت مردم برخوردار است. بدون شک ایمنی وسیله نقلیه یکی از مهمترین عواملی است که در طراحی یک وسیله مورد توجه قرار می‌گیرد. در این میان، خودروهایی گازسوز به دلیل استفاده از سیستم پر فشار برای ذخیره‌سازی سوخت همواره از لحاظ ایمنی مورد توجه ویژه بوده‌اند. این مخازن با توجه به انجام تعداد بسیار زیادی از آزمون‌های سختگیرانه و کنترل‌های مداوم کیفیت، دارای سطح بالایی از نظر ایمنی هستند. کاربران این مخازن با انجام بازرسی‌های دوره‌ای مخازن نیز می‌توانند از صحت و سلامت مخزن خود مطلع باشند و با استفاده صحیح و رعایت اصول و نکات ایمنی از خطرات احتمالی مصنون بمانند. تولیدکنندگان نیز با انجام آزمون‌های اجباری که برای این مخازن توسط استانداردهای مربوطه تعیین شده است، کیفیت مورد نیاز مصرف کننده را تضمین می‌نمایند. این آزمون‌ها شامل آزمون‌های خواص مواد همچون تعیین استحکام و خواص مکانیکی و شیمیایی فلزات و مواد غیر فلزی مورد استفاده در مخازن، آزمون‌های عملکردی روی مخازن فلزی و کامپوزیتی همچون آزمون فشار هیدرواستاتیک، ترک‌یابی، نشستی، نفوذ گلوله، آزمون‌های ویژه رنگ و پوشش همچون ضخامت سنجی، چسبندگی و انعطاف پذیری و آزمون‌های شرایط محیطی مختلف همچون قرارگیری در معرض آتش و قرارگیری در محیط اسیدی و مواد شیمیایی و سایر آزمون‌های کیفی است.

۱. کارشناسی ارشد مدیریت بازرگانی و مهندسی متالورژی، مدیر آزمایشگاه توسعه اندیشان اطلس (توانا)

2. H2

3. Compressed natural gas (CNG)

4. Hot Spinning

5. Deep Drawing

6. Cupping & Piercing

7. Spheroidizing

8. Quench & Temper Heat Treatment

۹. فولاد کشته یا آرام شده، فولادی است که اکسیژن محلول در آن به کمک افزودن موادی مثل آلومینیوم، منگنز یا سیلیسیم تقلیل یافته و در نتیجه از واکنش بین اکسیژن و کربن جلوگیری می‌شود.

10. Chemical analysis by Atomic Emission Spectrometry (OES)

11. Sulfide Stress Cracking Test for Steel (SSC)

12. Sodium acetate trihydrate

۱۳. محلول بافر محلولی است که در اثر رقیق یا غلیظ شدن و یا افزودن مقدار کمی اسید یا باز Ph آن تغییر چندانی نکند.

14. Corrosion Tests for Aluminium

15. Sustained Load Cracking (SLC) Tests for Aluminium

16. Tensile properties of plastics

17. Melting temperature of plastics

18. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

19. Nuclear magnetic resonance (NMR)

20. Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

21. Differential Scanning Calorimetry (DSC)

22. Inter Laminar Shear Strength

23. Resin Glass-transition temperature

24. Dilatometry

25. Calorimetry Differential Scanning

26. Pressure-Volume-Temperature (PVT)

27. X Ray Diffraction (XRD)

28. Raman Spectrometry

29. Fiber Tensile Strength

30. Tensile Test

31. Impact Test

32. Cleavage Fracture

۳۳. نمونه شاری (Charpy) مقطعی مربع شکل به ابعاد  $10 \times 10$  mm و شیار V شکل  $45^\circ$  جناغی به عمق ۲ و شعاع راس  $0.25$  mm دارد.

۳۴. یخ خشک با الکل، نیتروژن مایع یا گازهای خنک کننده و فریزرهای صنعتی

35. Hardness Test

36. Brinell Hardness Test (HB)

37. Rockwell C Hardness Test (HRC)

38. Vickers Hardness Test (HV)

39. Bending Test

40. Flattening & Ring Flattening Test

## مراجع

- [۱] شمس، جابر و کرمی، بهمن. (۱۳۹۴). گاز طبیعی و پالایشگاه گاز ایران، نشر شرکت ملی گاز ایران، تهران.
- [2] Muhammad Imran Khan, Tabassum Yasmin, Abdul Shakoor, (2015). Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 51 ,pp 785-797.
- [3] Tweaktown.com
- [4] Gaurav Singh Chauhan, Ankita Awasthi, (2018). Design and Analysis of high pressure composite vessels, International Journal of LaTest Engineering and Management Research (IJLEMR), Volume 03 – Issue 06, pp. 96-102.
- [5] Calum P. Fowler, Adrian C. Orifici, Chun H. Wang, (2016). A review of toroidal composite pressure vessel optimisation and damage tolerant design for high pressure gaseous fuel storage, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 41, Issue 47, pp. 22067-22089.
- [6] Charles Lu; Srikanth Pilla, (2014). Composite Gas Cylinders for Automotive Vehicles Current Status of Adoption of Technology and Way Forward, in Design of Automotive Composites, SAE, pp. 87-98.
- [7] oregonoilsinc.com
- [8] اسکندری جم، جعفر و یعقوبی، محمد صادق. (۱۳۹۲). مقدمه‌ای بر طراحی مخازن CNG II. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.
- [9] tavana-grp.com
- [10] alsafechina.com
- [11] faber-italy.com
- [12] inso.gov.ir
- [۱۳] رجبزاده، حجت و چنگیزیان، سینا. (۱۳۹۷). مبانی علمی و عملی رنگ‌های پودری الکترواستاتیک، چاپ اول، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران.
- [14] ECE R110, (2014), High pressure cylinders for the onboard storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles.
- [15] ISO 9809, (2019), Gas cylinders – Design, construction and Testing of refillable seamless steel gas cylinders and tubes.
- [16] ahanmelal.com
- [۱۷] وگست، ام و وگست، سی. (۲۰۱۳). کلید فولاد، مترجم عبدا... ولی نژاد، چاپ دوم، انتشارات طراح، تهران.
- [18] www.asremavad.com
- [۱۹] محمدی، ناصر. (۱۳۹۷). شیمی فیزیک پلیمرها، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- [20] iISO 10618, (2004). Carbon fibre – Determination of tensile properties of resin-impregnated yarn
- [۲۱] دیتر، جورج ای. (۱۹۸۸). متالورژی مکانیکی، ترجمه شهره شهیدی، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- [22] fooladuniversity.com
- [۲۳] رزاقیان، احمد و صدقی، آرمان. (۱۳۹۷). خواص مکانیکی مواد، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، تهران.
- [24] fa.wikipedia.org
- [۲۵] نایار، آلوک. (۱۳۹۹). راهنمای تست مواد - مکانیکی و متالورژیکی، مترجم امیر خاکزاد، چاپ چهارم، انتشارات طراح، تهران.
- [26] nde-ed.org
- [27] uomustansiriyah.edu.iq
- [28] ISO 148-1, (2016). Metallic materials - Charpy pendulum impact Test - Test method.
- [29] koopaco.com
- [30] chegg.com
- [31] nusatek.com



## Part 1

## Author

Amir Edrisi

Edrisi.amir@gmail.com

Msc Marketing and Metallurgical Engineering, TAVANA Laboratory Manager.

# The Role of the Laboratory in the Quality Control of Seamless Gas Cylinders.



## Abstract

The purpose of this article is to explain the role of the laboratory in the quality control of seamless cylinders. First, in this article, the types, property, applications of compressed natural gas cylinders are discussed. Then the methods and processes of the production of these cylinders are reviewed.

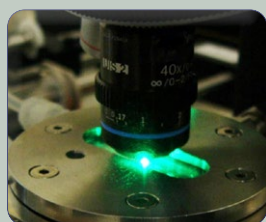
Afterwards, national and international standards, product approvals and tests that performed on gas cylinders are considered. Mechanical properties and Material tests, Destructive and Non-destructive tests are reviewed. At the result, can ensure reliability and desired quality of the CNG cylinders for the defined usage.

## Keywords

Laboratory, Seamless Gas Cylinders, Compressed Natural Gas (CNG), Material tests, Mechanical properties tests, Destructive test, Non-destructive tests.



## Review of standard test method for determination of different types of hydrocarbons in liquid petroleum products by fluorescent indicator adsorption



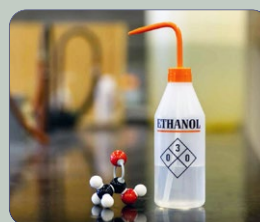
Raman Spectrum, Material's Fingerprint



Application of ultrasound technique in food processing



The Role of the Laboratory in the Quality Control of Seamless Gas Cylinders. (Part 1)



Quality control of factors affecting the density test by immersion in alcohol and results analysis



Measurement of foam production in oils and the impact of anti foam additives