

## چالش‌های بازرسی دوره‌های کپسول‌های CNG فولادی در کشور و عیوب محتمل در کپسول‌ها

مهدی اسکندرزاده اصل<sup>۱\*</sup>، علی کلاکی<sup>۲</sup>، حامد ملازاده<sup>۳</sup>

۱. دپارتمان مدیریت خوردگی و حفاظت فنی، شرکت بازرسی فنی اس جی اس، تهران، ایران

۲. رئیس خوردگی و حفاظت فنی، شرکت نفت مناطق مرکزی، تهران، ایران

۳. دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشکین شهر، ایران

\* m.eskandarzade@ut.ac.ir

## چکیده

با افزایش قیمت بنزین رغبت به استفاده از ماشین‌های دوگانه سوز در کشور روز به روز افزایش می‌یابد. در ایران برای ذخیره گاز طبیعی در ماشین‌های دوگانه سوز از کپسول‌های CNG فولادی استفاده می‌شود. در حال حاضر میلیون‌ها ماشین سواری در کشور از کپسول‌هایی استفاده می‌کنند که بیش از ۱۰ سال از عمر آن‌ها گذشته است. اخیراً سازمان ملی استاندارد بازرسی دوره‌های کپسول‌های CNG را برای ناوگان تاکسیرانی اجباری نموده است. در دستورالعمل این سازمان آزمون‌های چشمی، در موارد بحرانی آزمون فراصوتی پیش بینی شده است. با توجه به اهمیت موضوع در این مقاله به بررسی وضعیت کپسول‌های CNG کشور پرداخته شده و عیوب محتمل در کپسول‌های CNG مستعمل بررسی شده است. همچنین بازرسی دوره‌های مرسوم برای کپسول‌های CNG در داخل و خارج کشور با هم مقایسه گردیده‌اند. نتایج بیانگر این است که آزمون‌های پیشنهادی سازمان ملی استاندارد برای برآورد الزامات ایمنی کپسول‌ها کافی است. ولی از آنجایی که نزدیک به ۲۵٪ کپسول‌های مورد استفاده در کشور را مخازن غیر استاندارد تشکیل می‌دهند پیشنهاد می‌شود دوره بازرسی از ۳۶ ماه کاهش یابد.

**کلمات کلیدی:** کپسول‌های CNG، بازرسی فنی مخازن تحت فشار، آزمون فراصوتی، آزمون هیدرواستاتیک

## ۱- مقدمه

مخزن ذخیره گاز طبیعی (CNG) استاندارد بایستی به گونه ای طراحی شده باشد که در صورتیکه فشار داخل مخزن بیش از حد بالا برود، به امن ترین صورت ممکن منهدم شود. همچنین مخزنهای استاندارد مجهز به سنسوری هستند که در صورت افزایش دمای مخزن، باعث می شود گاز از مخزن آزاد شود. مطابق گزارش مرکز داده سوختهای جایگزین ایالات متحده، این کشور در حدود ۱۵۰ هزار خودروی گاز سوز دارد [۱] که تعداد آنها از سال ۲۰۰۷ تغییر قابل توجهی نداشته است. بین سالهای ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۱، در حدود ۸ مخزن دچار آسیب خطرناک در این کشور شده اند. که بیانگر آماری در حدود یک خرابی در سال به ازای هر ۵۶ هزار مخزن CNG می باشد. علت اکثر این خرابی ها استفاده نادرست و غیر استاندارد از مخزن بوده است. در ایران نیز در سالهای اخیر گزارشهای متعددی از حوادث مخازن گاز ماشینهای سواری منتشر شده است. بررسی های دانشمندان [۲] نشان می دهد که به دلیل وجود سولفور در گاز طبیعی احتمال بروز ترکهای خوردگی تحت تنش (SCC) در ماده فولادی معمولی وجود دارد ولی در صورتیکه از فولاد

ایران با بیش از چهار میلیون خودروی گاز سوز در ناوگان حمل و نقل خود بیشترین تعداد خودروهای گازسوز دنیا را دارد مخزن ذخیره گاز مورد استفاده در اکثر قریب به اتفاق وسائط نقلیه کشور از نوع تمام فولادی و یا همان مخزن تیپ ۱ می باشد که از نظر هزینه تمام شده ارزان ترین نوع بوده ولی به لحاظ وزن، سنگین تر از سایر انواع (کامپوزیتی، کامپوزیتی-فولادی و...) می باشد. عمر مخزنهای تیپ یک ۲۰ سال پیش بینی شده است که البته مطابق استاندارد های بین المللی بایستی در دوره های پیش بینی شده مورد بازرسی دوره ای قرار گیرند. آسیبهای محتمل در مخازن ذخیره گاز ماشین های سواری بیشتر به خاطر دماهای پایین و بالای زیاد، ترکهای خستگی ناشی از پر و خالی شدنهای زیاد مخازن در حین سرویس دهی روزمره، نوسانات داخل ماشین، قرار گرفتن مخزن در معرض مواد خوردنده و نیز در نتیجه حوادثی مانند آتش سوزی و یا آسیب های مکانیکی در حین بروز تصادفات رانندگی می باشند. یک

گوشتی دیواره مخزن طبق محاسبات سرانگشتی بر مبنای تنش وون-میسز بایستی حدود ۱۷ میلیمتر بشود. علاوه بر مقاومت در مقابل فشار داخلی گاز، کپسول همچنین بایستی در مقابل خستگی تنشی نیز مقاوم باشد و بتواند حداقل ۱۰۰۰ بار پر و خالی شدن تا فشار ۲۰۰ بار را در سال و در دمای ۱۵ درجه سلیسیوس تحمل نماید. مخزنها طوری طراحی می شوند که دمای مخزن می تواند بین ۴۰- و ۶۵ درجه سلیسیوس تغییر کند.

برای اینکه کپسولهای مورد استفاده در وسائط نقلیه ویژگیهای مذکور را داشته باشند آزمونهای مختلفی حین ساخت روی آنها صورت می پذیرد. بدین منظور استانداردهای مختلفی برای ساخت مخازن تحت فشار تبیین شده است و در سطح دنیا مورد استفاده قرار می گیرد. در آمریکا ساخت مخازن CNG بایستی مطابق استاندارد ANSI/CSA NGV2 صورت پذیرد. برخی از این آزمونهای اشاره شده در این استانداردها موارد زیر می باشند.

#### ۲-۱- آزمون هیدرواستاتیک

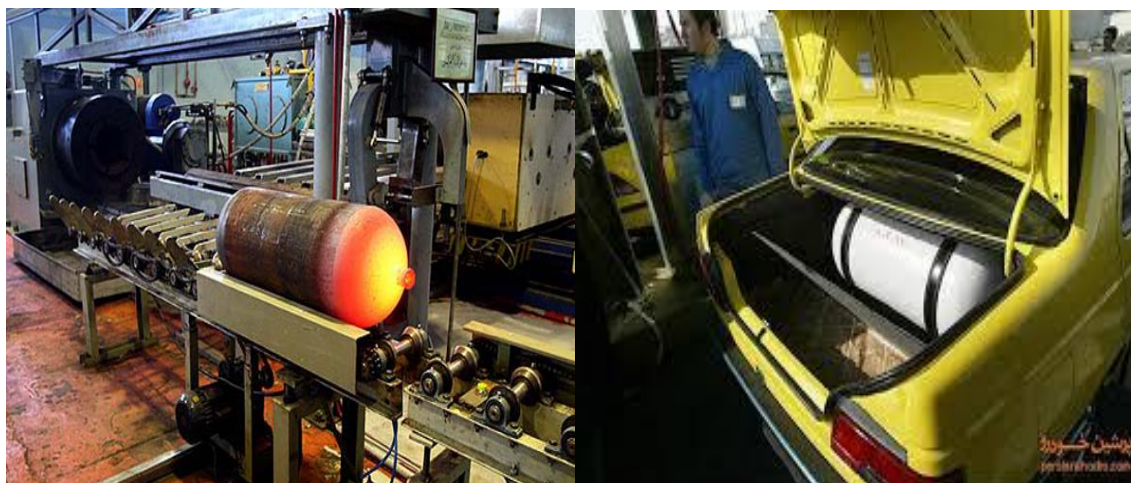
این تست معمولا با استفاده از سیال آب صورت می پذیرد. در مورد مخازن کامپوزیتی تخریب مخزن در فشار بالا بایستی بصورت نشی (شکل ۲-الف) باشد و انهدام در مخزن رخ ندهد. در مورد مخازن فولادی انهدام مخزن بایستی از امن ترین نقطه مخزن رخ دهد. همچنین مخزن هم تحت آزمون آب معمولی قرار می گیرد و هم تحت آزمون آب نوسانی (فشار متغیر) قرار می گیرد.

نرمالایزه شده استفاده شود این مشکل به مقدار قابل توجهی ترفیع می گردد. البته به هر حال ترکیب شیمیایی خود گاز مورد استفاده بسیار مهم است و تحقیقات نشان داده است که ترکیب شیمیایی گاز در میزان خوردگی و نیز تولید مواد آلاینده نقش بسزایی بازی می کند [۳]. در این مطالعه موضوع آسیبهای محتمل در کپسولهای CNG تپ ۱ مورد بررسی قرار می گیرد و استانداردهای مورد استفاده در سطح جهان معرفی می گردند.

#### ۲- مخازن CNG تپ یک، ویژگی ها و استاندارد

##### ساخت

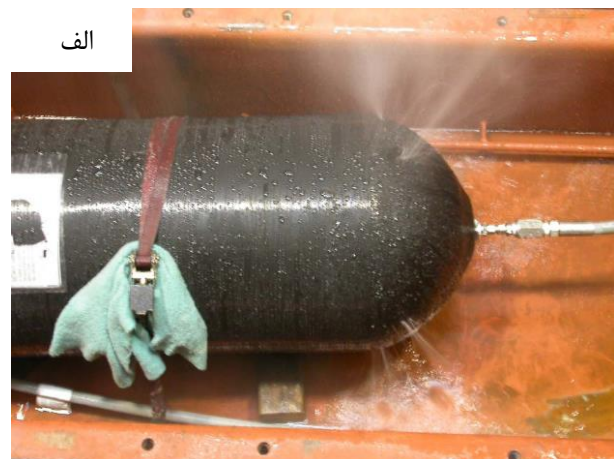
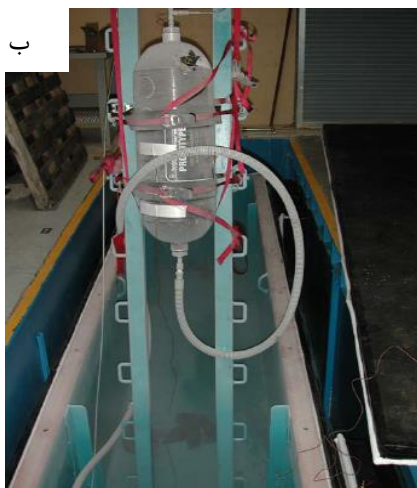
در ایران مخازن CNG به شکل استوانه با استفاده از فولاد و به روش خاصی از آهنگری ساخته می شود شکل (۱). در ساخت این مخازن کارخانجات بایستی از استاندارد ساخت ISO 11439 تبعیت نمایند. این مخزنها ممکن است در ابعاد و نیز ظرفیت های مختلف ساخته شده باشند ولی به هر حال بایستی حداقل مقاومت لازم برای تحمل فشار کاری ۲۰۰ بار را داشته باشند. مطابق کاتولوگ شرکتهای سازنده مخزنهای مورد استفاده در ایران طوری طراحی شده اند که قابلیت تحمل حداقل فشار ۴۵۰ بار را دارند. ولی مطابق استانداردها نباید فشار مخزن در هر شرایطی بالاتر از ۲۶۰ بار بالا برود. ماده مورد استفاده برای ساخت کپسولها معمولا آلیاژ کروم مولیبدن (34CrMo4) بوده و ضریب اطمینان طراحی ۲/۲۵ در نظر گرفته می شود [۴]. با فرض اینکه شعاع خارجی ۱۸ سانتیمتر باشد، برای تحمل مقدار فشار استاندارد حداقل



شکل (۱): روش ساخت کپسولهای CNG و محل نصب آنها در ماشینهای سواری

### ۳- بازرسی حین کار- تجارب اتفاقات و عیوب مرسوم در مخازن

همانطوریکه اشاره گردید ایران بالاترین میزان ماشین های دوگانه سوز را در سطح دنیا دارد و مطابق گفته رئیس انجمن صنفی CNG ایران، نزدیک به ۲۵٪ کپسولهای CNG مورد استفاده در کشور غیر استاندارد بوده و توسط مالکین خودرو در کارگاههای غیر استاندارد نصب گردیده اند. با توجه به گذشت بیش از ۱۰ سال از عمر بیشتر کپسولهای مورد استفاده در وسائط نقلیه کشور در صورت عدم بازرسی صحیح این کپسولها توسط متخصصین مربوطه، با توجه به اینکه اینگونه وسایل نقلیه در داخل شهر و محل های پرتراکم شهری در رفت و آمد هستند بروز فاجعه های انسانی گریز ناپذیر خواهد بود. مثالهایی از اینگونه فجایع در شهرهای مختلف کشور مانند شیراز (۱۳۹۴)، خوراسگان (۱۳۹۴)، ساری (۱۳۸۹)، از این نوع هستند.



شکل (۲): برخی از آزمون‌هایی که در حین تولید مخازن روی آنها صورت می پذیرد.

۲-۲- آزمون آب نوسانی در دمای پایین  
در این آزمون ابتدا مخزن در دمای پایین ۴۰- درجه سیلیسیوس پر می شود و سپس به آرامی دمای مخزن تا ۶۵ بالا برده می شود. و سپس آزمون آب نوسانی روی مخزن صورت می پذیرد. (شکل (۲-ب)).

۳-۲- آزمون برخورد  
در این آزمون ماده سخت از ارتفاع مناسب با مخزن برخورد می کند تا مقاومت ماده مخزن در مقابل برخورد های احتمالی در آینده بررسی شود (شکل (۲-پ)).

۴-۲- آزمون آتش سوزی  
در این آزمون مخزن پر از گاز در داخل آتش قرار می گیرد تا میزان مقاومت آنها در مقابل آتش سوزی های احتمالی بررسی شود (شکل (۲-ت)).



شکل (۳): انفجارهای متعدد کپسولهای CNG در شهرهای مختلف کشور



شکل (۴): انفجار مخزن گاز سی.ان.جی خودروی سمند، خوراسگان، ۱۳۹۴  
(علت انفجار: استفاده از مخزن غیر استاندارد)

مخازن بایستی در دوره های حداقل ۳۶ ماهه مورد بازرسی قرار گیرند

#### ۴- عیوب محتمل در کپسولهای CNG

تجربه سالهای گذشته در ایران نشان داده است که حوادث مربوط به کپسولهای CNG در بیشتر موارد مربوط به انواع غیر استاندارد آنها بوده است. شکل (۴) نمونه ای از این نوع حوادث را نشان می دهد. در این مورد خاص که در خوراسگان اصفهان رخ داده است، بجای کپسول استاندارد از کپسول درزدار غیر استاندارد استفاده شده بوده است. با این وجود حتی در کپسولهای استاندارد

خوشبختانه وزارت کشور اخیرا بازرسی دوره ای ماشین های سواری را اجباری نموده است. پس از بازرسی کپسولها بایستی نشان تاییدیه بازرسی بر روی دستگاه نصب شود. مطابق استاندارد ارائه شده توسط سازمان ملی استاندارد کشور به شماره ISIRI 9426 آسیبهای رخ داده در مخازن در سه سطح طبقه بندی می شوند؛ سطح آسیب ۱ به معنی آسیب قابل قبول می باشد و سطح آسیب ۲ از آسیبی حکایت دارد که قابل ترمیم می باشد در حالیکه آسیب سطح ۳ باعث رد شدن مخزن می شود و بایستی مخزن تعویض گردد. مطابق استاندارد تمامی

کپسولها با حساسیت ویژه ای مورد توجه قرار گیرد. در تحقیق حاضر مشخص شد که اکثر قریب به اتفاق حوادث مربوط به مخازن ذخیره سوخت در مخزنهای غیر استاندارد رخ می دهد. همانطوریکه در استاندارد ملی نیز آمده است، بازرسی چشمی توسط بازرس مجرب به تنهایی برای حل بسیاری از مشکلات مربوط به مخازن کافی می باشد و بازرسی های انجام شده از داخل هزاران مخزن ذخیره گاز طبیعی نشان داده است که روغن کمپروسور وجود در گاز طبیعی مانع از بروز خوردگی های داخلی در مخزن می شود [۵]. ولی در مواردیکه بازرس مجرب تشخیص میدهد استفاده از آزمون فراصوتی و یا هیدرواستاتیک می تواند مفید باشد. در حالیکه دوره های ۳۶ ماهه برای بازرسی مخازن ذخیره در استاندارد ملی پیش بینی شده است، با توجه به غیر استاندارد بودن فرآیند ساخت تعداد قابل توجهی از کپسولهای مورد استفاده در کشور پیشنهاد می شود دوره بازرسی این کپسولها کاهش یابد.

هم احتمال بروز عیوب مختلف وجود دارد. یکی از عیوب محتمل در سیستم ذخیره گاز ماشینهای سواری بروز خوردگی در فلز ماده کپسول می باشد. خوردگی موضعی که معمولا بدلیل قرار گرفتن قسمتی از فلز کپسول در معرض ماده خورنده ای مانند مواد اسیدی و یا نمکی رخ می دهد و باعث کاهش ضخامت دیواره کپسول به صورت موضعی می شود، و نیز خوردگی pitting که در قسمتی از ماده فلزی کپسول رخ دهد که کمتر در معرض هوای آزاد قرار دارد، برخی از انواع این عیوب می باشند. از دیگر عیوب محتمل در مخازن می توان به خراش، تورفتگی در نتیجه ضربه و ترک اشاره نمود. شکل (۵) برخی از این عیوب را نشان می دهد.

#### ۵- نتیجه گیری

در مقاله حاضر با توجه به اهمیت موضوع به بررسی وضعیت کپسولهای ذخیره گاز طبیعی مورد استفاده در وسائط نقلیه کشور پرداخته شده است. با توجه به اینکه کشور ما ایران پیشرو ترین کشور در استفاده از ماشین های گاز سوز در جهان می باشد و بیش از ۱۰ سال از عمر این کپسولها می گذرد بایستی موضوع بازرسی این



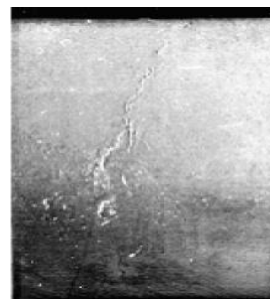
خوردگی pitting مجزا



تورفتگی مخزن



خوردگی عمومی



عیب ترک

شکل (۵): انواع خوردگی های مرسوم در مخازن ذخیره

[3] U.S. Department of Energy Alternative Fuels Data Center  
[http://www.afdc.energy.gov/vehicles/natural\\_gas.html](http://www.afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas.html)

[4] مهدی ظهور، سعید صفار، محمد حسن صدقی طهران، طراحی مخازن گاز طبیعی فشرده (CNG) تمام فلزی برای خودروها، کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید،

[5] ISO 11439:2013 Gas cylinders - High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles.

## ۶- مراجع

[1] Fred F. Lyle, Jr. "Evaluation of the Effects of Natural Gas Contaminants on Corrosion in Compressed Natural Gas Storage Systems-Phase II", Report Prepared by Southwest Research Institute 6220 Culebra Road San Antonio, Texas 78284, 1989.

[2] Hien Ly, "Effects of Natural Gas Composition Variations on the Operation, Performance and Exhaust Emissions of Natural Gas - Powered Vehicles", NGV Conference, 2002.

## Periodic inspection of the CNG vessels; discussion on defects and challenges

Mehdi Eskandarzade<sup>1\*</sup>, Ali Kalaki<sup>2</sup>

Mech. Eng. Group, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.  
 Technical and Corrosion Protection Department, Iranian Central Oil Fields Co., Tehran, Iran.

### Abstract

Considering day to day increase in cost of gasoline for Iranian customers; the interested for using dual fuel automobiles are increasing. It is common to use steel CNG vessels in Iranian dual fuel cars. Nowadays; there are millions of CNG vessels with more than 10 years of commissioning time in Iran. Recently, periodic inspection regulations are issued by the Iranian Standard bureau. In this regulation, visual inspections are considered as the main method of inspection, however, for critical vessels it is strongly recommended to use ultrasonic inspections and/or hydraulic tests. Because of the importance of the topic for the safety of the citizens, this paper dedicated to investigate the statistics of the CNG vessels and their most common defects in country. In addition, the periodic inspection procedure of the Iranian regulations is compared with international counterparts. According to the discussion, inspection measures which considered by the Iranian standard bureau are enough and useful for standard CNG vessels; however, more than 25% of all CNG vessels in Iran are manufactured in nonstandard manners and they need more inspection measures. It seems that reducing of the inspection period from 36 months to 24 months will be of value.

**Key words:** CNG vessels; dual fuel cars; visual Inspection.