کد مقاله: CCI2130

دومین کنفرانس احتراق ایران
بهمن ماه 1386 - مشهد- دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

انجمن احتراق ایران

گاز طبیعی جذبی (اِی‌اِن‌جی)؛ فن‌آوری نوین در مدیریت ذخیره‌سازی سوخت

سید مرتضی مرتضایی[1]، حمیدرضا مسّاح[2]، احسان سلکی[3]

شرکت سرمایه‌گذاری نفت و گاز تامین- خ ولی‌عصر، روبروی بیمارستان دی، بن‌بست شمس، پلاک 7، طبقه 4
e.solki@gmail.com

چکیده

گاز طبیعی به عنوان سوخت وسایل نقلیه، غالباً به سه صورت ذخیره می‌گردد: گاز طبیعی متراکم (سی‌اِن‌جی)[4]، گاز طبیعی میعانی (اِل‌اِن‌جی)[5] و گاز طبیعی جذبی (اِی‌اِن‌جی)[6]. ذخیره‌سازی به صورت سی‌اِن‌جی رایج‌ترین این اشکال است. چگالی متانِ ذخیره‌شده (بخش اساسی گاز طبیعی) در مخازن، به بزرگی چگالی دیگر انواع سوخت نیست. به‌طور مثال محتوی انرژی سی‌اِن‌جی تقریباً یک ـ سوم محتوی انرژی بنزین است. در نتیجه مخزن ذخیره سی‌اِن‌جی به‌طور تقریبی، برای طی مسافت برابر با خودروهای بنزینی، سه برابر مخزن ذخیره بنزین است. ذخیره‌سازی در مخازن فشار بالا، وجود قیود هندسی در طراحیِ شکل ظاهری و وزن نسبتاً سنگین مخازن، از جمله عیوب ذخیره‌سازی گاز طبیعی به صورت سی‌اِن‌جی هستند. اِی‌اِن‌جی فن‌آوری جدیدی جهت ذخیره‌سازی گاز طبیعی برای سوخت وسائط نقلیه است. فشار کم انبارش و ایمنی بالاتر از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های مخازن اِی‌اِن‌جی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اِی‌اِن‌جی، گاز طبیعی، مخازن جذبی، جاذب کربنی.

1- مقدمه

امروزه، سی‌اِن‌جی رایج‌ترین صورت مصرف گاز طبیعی به عنوان سوخت وسائط نقلیه می‌باشد. از جمله بزرگترین مشکلات پیش‌روی استفاده از مخازن خودرویی سی‌اِن‌جی عبارتند از:

- بالا بودن حجم و وزن مخازن ذخیرهٔ سی‌اِن‌جی، به‌طور معمول حجم یک مخزن سی‌اِن‌جی خودرویی 2 برابر مخزن بنزینی یا گازوئیلی است.
- فشار بسیار بالای مخازن سی‌اِن‌جی،
- پایین بودن مسافت طی‌شدهٔ یک خودروی سی‌اِن‌جی‌سوز در مقایسه با خودروهای بنزینی، این عامل از محدودیت میزان گاز جای گرفته در یک مخزن سی‌اِن‌جی منتج می‌گردد.
- ضرورت بهره‌گیری از چگالنده‌های (کمپرسورهای) چند مرحله‌ای در فرآیند انبارش[7]،

1- دکترای فیزیک
2- دکترای مکانیک
3- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

[4] CNG; Compress Natural Gas
[5] LNG; Liquefied Natural Gas
[6] ANG; Adsorbed Natural Gas
[7] دست‌یابی به فشار ذخیره‌سازی بیش از 2/7 مگاپاسکال نیازمند بهره‌گیری از چگالنده‌های چندمرحله‌ای است که خود هزینهٔ زیادی را در مقایسه با دیگر سوخت‌ها به همراه دارد [1].

Archive of SID

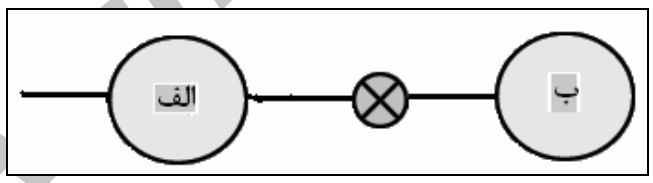
www.SID.ir

نقایص مذکور مخازن سی‌اِن‌جی، مراکز تحقیقاتی- دانشگاهی و چند شرکت خودروسازی در دنیا را بر آن داشت تا به صورت کاملاً پژوهشی و نه در مقیاس صنعتی، در خلال سالیان اخیر به تحقیق و توسعه بر روی طُرُق مختلف ذخیره‌سازی گاز طبیعی روی آورند. از جمله این روش‌ها، ذخیره‌سازی گاز طبیعی به صورت جذبی است.

مخازن اِی‌اِن‌جی در دو شکل کم‌فشار (3/8 تا 4/8 اتمسفر) و پُرفشار (9/7 تا 19/3 اتمسفر) ساخته می‌شوند. رایج‌ترین مخازن اِی‌اِن‌جی مخازنی با فشار 3/5 مگاپاسکال می‌باشند. درون این مخازن حاوی مواد کربنی متخلخل است. متان ذخیره‌شده در حالت جذبی (اِی‌اِن‌جی) و در فشار 3/5 مگاپاسکال، دارای محتوی انرژیِ معادلی با متان ذخیره‌شده به صورت متراکم (سی‌اِن‌جی) و در فشار زیاد 24/8 مگاپاسکال است. فشار کم انبارش، هزینه‌های مربوط به ساخت مخازن تحت فشار را کاهش داده و امکان استفاده از چگالنده‌های تک‌مرحله‌ای را فراهم می‌نماید. بدین ترتیب هزینهٔ تجهیزات و زیرساخت‌های موردنیاز جایگاه‌های سوخت‌رسانی کاهش می‌یابد. در برخی موارد می‌توان مخازن را بدون حضور چگالنده‌ها، مستقیماً از گاز طبیعی موجود در خطوط لولهٔ انتقال، توزیع نمود. هزینهٔ اجرایی مربوط به زیرساخت‌های ایستگاه‌های سوخت‌رسانی مخازن اِی‌اِن‌جی نصف تا ثلث هزینهٔ مشابه مخازن سی‌اِن‌جی می‌باشد [2]. این موضوع می‌تواند سبب از میان رفتن موانع دست و پا گیر بر سر راه ایجاد زیرساخت‌های مطلوب در راستای رشد استفاده از خودروهای گازسوز گردد. هم‌چنین به‌دلیل فشار و وزن پایین‌تر، ایمنی بیشتری را نیز در مقایسه با مخازن سی‌اِن‌جی به همراه خواهد داشت. وزن بالای مخازن خودرویی سی‌اِن‌جی، تعادل گرانیگاهی خودرو را متأثر نموده و سبب عدم کنترل مناسب راننده در سرعت‌های بالا و گاه چرخش 360 درجه‌ای خودرو می‌شود. مخازن اِی‌اِن‌جی با دارا بودن وزن کمتر، این مشکل را مرتفع می‌نمایند. نیز مخازن اِی‌اِن‌جی می‌توانند 3/33 لیتر برکیلوگرم گاز را در فشار 3/5 مگاپاسکال ذخیره نمایند، حال آنکه مخازن سی‌اِن‌جی (نوع 1) 1 لیتر برکیلوگرم و مخازن سی‌اِن‌جی (نوع 2) 4 لیتر برکیلوگرم گاز را، لیکن در فشار 24/8 مگاپاسکال در خود جای می‌دهند. درک ساختار این مخازن مستلزم آشنایی با اساس پدیدهٔ جذب است.

2- پدیدهٔ جذب

مخزن الف به حجم V_A با گازی در فشار P_A پُر شده‌است. مخزن ب به حجم V_B نیز کاملاً خلاء است. شیری بین این دو مخزن قرار داشته و ارتباط بین آن دو را فراهم می‌نماید (شکل 1).



شکل 1 - مطالعهٔ قانون گازها.

در حالتی که شیر بسته است، تعداد کل مول‌های گازی عبارتند از:

$$\text{تعداد کل مول‌های گازی} = P_A \times V_A \qquad (1)$$

حال چنانچه شیر میان دو مخزن باز گردد، تعداد کل مول‌های گازی برابر خواهند شد با:

$$\text{تعداد کل مول‌های گازی} = P_{AB} \times (V_A + V_B) \qquad (2)$$

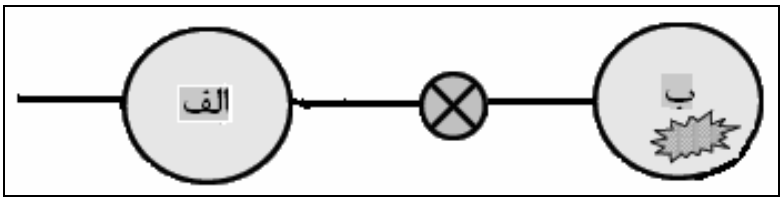
طبق قانون گازها:

$$P_A \times V_A = P_{AB} \times (V_A + V_B) \qquad (3)$$

Archive of SID

www.SID.ir

حال چنانچه مادهٔ جامدی در مخزن ب قرار گیرد (شکل 2)، رابطهٔ فوق به صورت ذیل تغییر می‌کند:



شکل 2 - مطالعهٔ پدیدهٔ جذب.

$$P_A \times V_A > P_{AB} \times (V_A + V_B) \quad (4)$$

در این حالت تعدادی از مولکول‌ها از فاز گازی جداشده و جذب سطح جامد می‌گردند. تعداد مولکول‌های جذب شده در این حالت برابر است با:

$$P_A \times V_A - P_{AB} \times (V_A + V_B) \quad (5)$$

میزان جذب به عوامل ذیل بستگی دارد:

1- دما: هرچه دما پائین‌تر باشد، قابلیت جذب نیز بیشتر خواهد شد. در مطالعات تجربی برای استفاده در وسائط نقلیه، دمای مورد نظر را برابر 25 سلسیوس در نظر می‌گیرند [3].
2- ویژگی‌های جذبی سطح،
3- میزان سطح در دسترس.

مواد کربنی با ساختار نامنظم (بر خلاف الماس و گرافیت که دارای ساختار کربنی منظمی هستند)، شبیه به تراشه‌ی سیب‌زمینی هستند. هرکدام از این تراشه‌ها دارای ساختاری شبیه به گرافیت می‌باشد. لیکن در مجموع، ساختاری نامنظم را تشکیل می‌دهند. فضای بین این ساختارهای تراشه‌ای، خَلّ[1] نامیده می‌شود. خَلّ‌ها بر حسب اندازه‌شان به سه دسته تقسیم می‌گردند:

أ. ریزخَلّ[2] 2-20 آنگستروم[3]
ب. میان‌خَلّ[4] 20-50 آنگستروم
ج. درشت‌خَلّ[5] بیشتر از 50 آنگستروم

دیواره‌های متخلخل اتم‌های کربن نیروی جاذبه‌ای را برای مولکول‌های جذب‌شده ایجاد می‌نماید. در منافذ بسیار کوچک تاثیر دو دیواره، سبب افزایش قابلیت جذب می‌شود. ثابت شده‌است که مواد جاذب ریزخَلّ برای جذب گازها و مولکول‌های کوچک و جاذب‌های درشت‌خَلّ برای جذب مایعات و مولکول‌های بزرگ‌تر مناسب هستند [3]. مطالعات تجربی و شبیه‌سازی نشان داده‌است که جهت افزایش ظرفیت جذب مخازن اِی‌اِن‌جی می‌بایست توزیع اندازه خلّ‌ها را به سوی افزایش حجم ریزخلّ‌هایی به اندازهٔ 11 آنگستروم هدایت نمود. نتایج این مطالعات، ثابت نموده که ساختارهای جذبی کربن با حجم زیاد ریزخلّ، بهینه‌ترین حالت

[1] Pore
[2] Micro pore
[3] هر آنگستروم برابر 10^{-9} متر است.
[4] Meso pore
[5] Macro pore

Archive of SID
www.SID.ir

جذب و ذخیره‌سازی متان را فراهم می‌آورند [4]. هر چه اندازهٔ این ریزخلّ‌ها افزایش یابد، میزان ذخیره‌سازی متان نیز افزایش خواهد یافت. ایجاد چنین ساختار جذبی‌ایی در مرحله ساخت جاذب انجام می‌پذیرد.

3- مخازن جذبی اِی‌اِن‌جی

از یک دهه پیش تاکنون، برخی شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی در دنیا بر روی مخازن اِی‌اِن‌جی، مطالعاتی را صورت داده‌اند. جدول 1 توزیع تعداد مهم‌ترین مراکز تحقیقاتی دنیا در این زمینه را نشان می‌دهد.

جدول 1 - توزیع تعداد مراکز تحقیقاتی اِی‌اِن‌جی در دنیا.

کشور	آمریکا	ژاپن	چین	برزیل	اسپانیا	اتحادیه اروپا
تعداد مراکز تحقیقاتی فعال در زمینه اِی‌اِن‌جی	3	2	1	1	1	1

مخازن اِی‌اِن‌جی با تکیه بر قابلیت جذب‌پذیری مناسبِ کربن‌های فعال ساخته می‌شوند. این فکر هم می‌تواند برای مخازن روی خودرو و هم بیرون از خودرو[1] به کار رود. اِی‌اِن‌جی فن‌آوری است که در آن گاز طبیعی به وسیلهٔ مادهٔ جاذب متخلخل، در فشار نسبتاً پایینی ـ 3/5 تا 5 مگاپاسکال ـ جذب می‌شود. جنس مخازن جذبی از آلومینیم اکسترودشده می‌باشد که توسط تک‌سنگ‌های[2] کربنی، مانند شکل 3 پُر شده‌است.

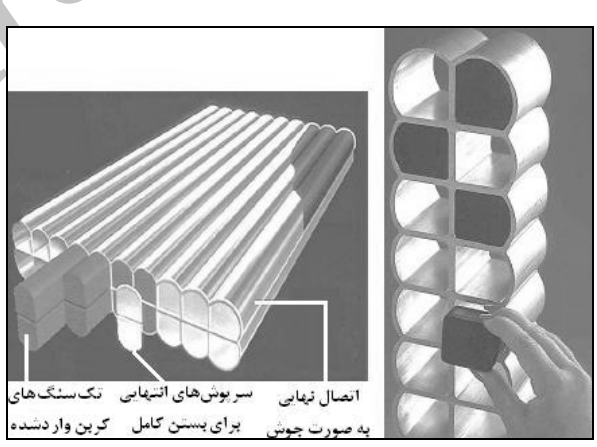
مواد جاذب، رکن کلیدی در دانش اِی‌اِن‌جی هستند. هم‌چنین این مواد سهم زیادی از سرمایه‌گذاری بر روی فن‌آوری اِی‌اِن‌جی را به خود اختصاص داده‌اند. جاذب‌های آرمانی مخازن گاز طبیعی بایست نتایج زیر را در بَر داشته‌باشند [5]:

أ. جاذب می‌بایست دارای مساحت سطحی زیاد و ساختار ریزخَلّی مناسبی باشد. به‌طور معمول جاذب می‌بایست دارای سطحی بین 2000 تا 3000 مترمربع بر گرم و قطر خَلّی بین 1 تا 2 نانومتر باشد. هم‌چنین حجم ریزخَلّ بایست تا حد ممکن بزرگ بوده و به منظور عملکرد مناسب در فرآیند جذب گاز طبیعی، دارای حجمی برابر 90٪ حجم خَلّ باشد.

ب. جاذب می‌بایست میزان گاز طبیعی خروجی را در فشار پائین، تا حد ممکن بالا ببرد،

ج. فرآیند آماده‌سازی جاذب، ساده و هزینه‌اش پائین باشد،

د. طول عمرِ جاذب تا حد ممکن زیاد باشد.



شکل 2 - ساز و کار جذبی یک مخزن اِی‌اِن‌جی [6].

[1] بیرون از خودرو (Off-board) به طور مثال در جایگاه‌های سوخت‌گیری (Refilling station).

[2] Monolithes

Archive of SID

تک‌سنگ‌های انبارشی گاز از تار کربن محلول در صمغ فنولیک پودری[1] ساخته می‌شوند. شکل 4 فرآیند تولید تک‌سنگ‌ها را نشان می‌دهد.

شکل 4 - فرآیند تولید تک‌سنگ‌ها.

تار کربنِ همگن با صمغ فنولیک پودری در قالبی در حالت خلاء مخلوط شده و سپس در دمای 50 سلسیوس خشک می‌گردد. از آن‌جایی که جاذب‌ها در ابتدا به‌صورت پودر یا ریزدانه[2] می‌باشند، می‌بایست فشرده گردند. ظرفیت جذبیِ هر واحد حجمی جاذب می‌تواند به طریق ذیل محاسبه گردد:

$$V_v = V_w \times d \qquad (6)$$

عبارات مذکور در رابطهٔ بالا عبارتند از:
V_v: ظرفیتِ جذبی هر واحد حجمی جاذب،
V_w: ظرفیتِ جذبی هر واحد جرمی جاذب،
d: چگالی جاذب.

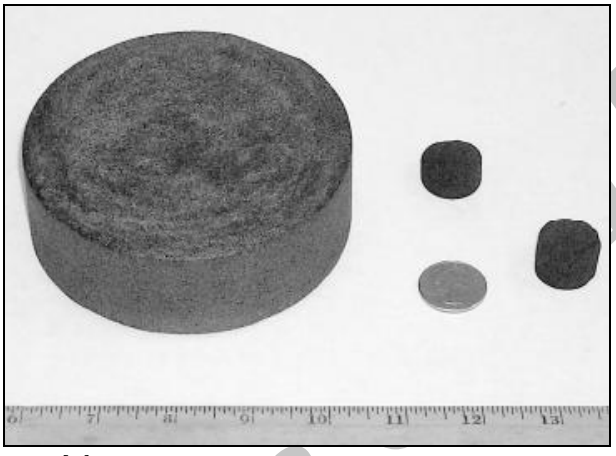
فشرده‌سازی، چگالی جاذب را افزایش داده و بر طبق رابطهٔ (6)، ظرفیتِ جذبی هر واحد حجمی را افزایش خواهد داد. فشرده‌سازی مستقیم کربنِ جاذبِ درون مخزن، فرآیند بسیار دشواری است. بنابراین بهتر آن‌است که کربن را به شکل قالبی از پیش تهیه نمود و در سلول‌ها جای داد. هر یک از سلول‌ها نقش یک مخزن ذخیرهٔ گاز را ایفا می‌کنند. این طرح، نیازمند

[1] Powdered Phenolic Resin
[2] Granule

Archive of SID

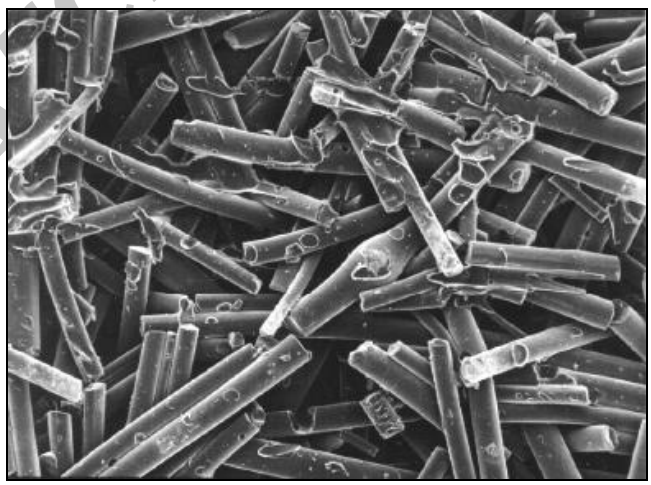
www.SID.ir

مقاومت مکانیکی بالایی برای جاذب‌های قالبی است. مقاومت مکانیکی بالا به‌واسطهٔ مادهٔ چسباننده‌ای که ذرات پودری را به یکدیگر پیوند می‌دهد، فراهم می‌شود. از سوی دیگر، مادهٔ چسباننده دسترسی متان را به ریزخلّ‌های کربنی کاهش داده و قابلیت انبارش گاز را نیز کاهش می‌دهد. این موضوع یک روند تکراری را ایجاد می‌نماید. از یک سو افزایش ماده چسباننده، مقاومت مکانیکی را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر این عمل سبب کاهش قابلیت انبارش گاز می‌گردد. بنابراین ضروری است به نقطهٔ بهینه‌ای در طراحی دست یافت. این موضوع یکی از اصلی‌ترین مسائل مطروحه در طراحی مخازن اِی‌اِن‌جی است. تک‌سنگ‌ها تحت پرسِ گرم در دمای 300 سلسیوس قرار گرفته و چگالی آن‌ها تا 0/92- 0/7 گرم بر سانتی‌مترمکعب کاهش می‌یابد. سپس در دمای 600 سلسیوس به آن کربن اضافه نموده و در دمای 800 تا 900 سلسیوس به‌وسیله دی‌اکسیدکربن فعال می‌سازند. در نهایت آن را مطابق شکل 5 در شکل‌های مورد نظر ماشین‌کاری می‌نمایند.



شکل 5 - نمونه‌ای از تک‌سنگ‌های ماشین‌کاری‌شده [7].

تک‌سنگ‌ها به‌دلیل خاصیت ذاتی‌شان، موادی مقاوم در برابر سایش محسوب می‌شوند. ساختار اسکلتیِ پیوسته کربنی[1]، سبب می‌گردد تا بتوان به‌واسطه تحریک الکتریکی‌ای با ولتاژ پایین، همهٔ گاز جذب شده را از مخزن خارج نمود. شکل 6 تصویری ریزساختاری از ساختار اسکلتیِ پیوسته کربنی را نشان می‌دهد.



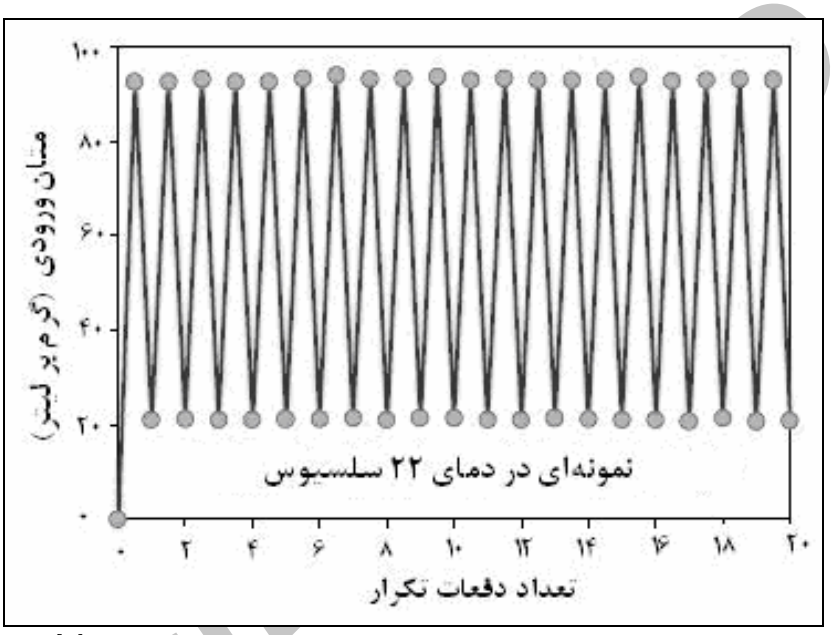
شکل 6 - تصویری ریزساختاری از ساختار اسکلتیِ پیوسته کربنی [8].

[1] Continuous Carbon Skeleton

Archive of SID

عموماً، 10٪ تا 20٪ گاز جذب‌شده در تک‌سنگ‌ها، حین خالی‌شدن مخزن در آن باقی می‌ماند. شکل 7 این نکته را به خوبی بیان می‌دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود، در دفعات متعدد پُر و خالی‌شدن مخزن، مقداری از گاز به طور ثابت در مخزن باقی می‌ماند. در ابتدا، سیلندر کاملاً خالی (خلاء) تا فشار 3/5 مگاپاسکال در شرایط هم‌دما پُر می‌شود. پس از آن که گاز از مخزن خارج گردید و فشار تا 0/1 مگاپاسکال (هوای خارج از سیلندر) کاهش یافت، هنوز مقداری از گاز در مخزن باقی می‌ماند. بنابراین همواره میزان گاز خروجی کمتر از کل گاز ذخیره‌شده در مخزن است.

تحریک الکتریکی این امکان را فراهم می‌آورد تا همهٔ گاز ذخیره‌شده در مخزن را خالی نموده و بدین ترتیب مسافت طی‌شده توسط خودرو در مقایسه با مخازن اِی‌اِن‌جی بدون قابلیت تحریک الکتریکی، افزایش یابد. هم‌چنین وجود ساختار اسکلتیِ پیوسته کربنی ، در تک‌سنگ‌ها باعث بیشتر شدن هدایت گرمایی آن می‌گردد. به تعبیر دیگر، شیب (گرادیان) دمایی در حالت پُرشدن و خالی شدن کاهش می‌یابد.

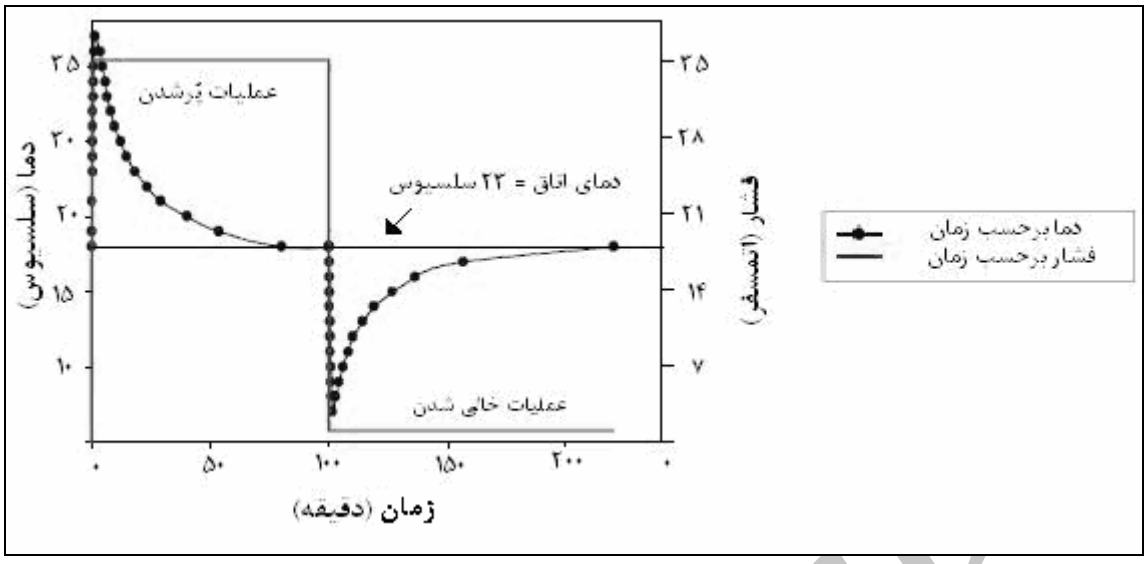


شکل 7 - میزان متان موجود در مخزن در خلال دفعات متعدد پُر و خالی‌شدن [7].

این خاصیت سبب برطرف شدن اثرات نامناسب ناشی از پُرشدن و یا خالی‌شدن سریع مخزن می‌گردد. مرحلهٔ ورود گاز متان به درون مخزن (پُرشدن مخزن)، فرآیندی گرمازاست و سبب بالا رفتن دمای جاذب در خلال عملیات جذب می‌گردد. در نتیجه، میزان متان جذب‌شده توسط جاذب کاهش خواهد یافت. کاهش دما در خلال فرآیند جذب می‌تواند زمان پُرشدن مخزن را کاهش داده و محتوی کربن ورودی به مخزن را افزایش دهد. متقابلاً، مرحلهٔ خروج گاز متان از مخزن (خالی‌شدن آن)، فرآیندی گرماگیر بوده و سبب افت دما در حین خالی‌شدن مخزن می‌گردد.

شکل 8، تغییرات دما و فشار مخزن را بر حسب زمان، حین عملیات پُرشدن و خالی‌شدن مخزن نشان می‌دهد. در بدو ورود گاز به داخل مخزن (دقیقه صفرم)، دما و فشار به‌صورت آنی به ترتیب تا بالاتر از 35 سلسیوس و 3/5 مگاپاسکال افزایش می‌یابد. اما پس از خنک‌شدن جاذب (تا دقیقه 100) در حالی‌که فشار ثابت مانده‌است، دما به‌صورت لگاریتمی تا دمای اتاق کاهش می‌یابد. در حین عملیات خالی‌شدن مخزن (دقیقه 100) به‌صورت آنی کاهش دما و فشار به‌وجود خواهد آمد. و پس از آن فشار ثابت مانده و دما به‌دلیل گرماگیر بودن عملیات خالی‌شدن افزایش می‌یابد. این نتایج برای یک نمونهٔ تک‌سنگ استاندارد (115 میلی‌متر قطر و 38 میلی‌متر ضخامت) به‌دست آمده‌است [7].

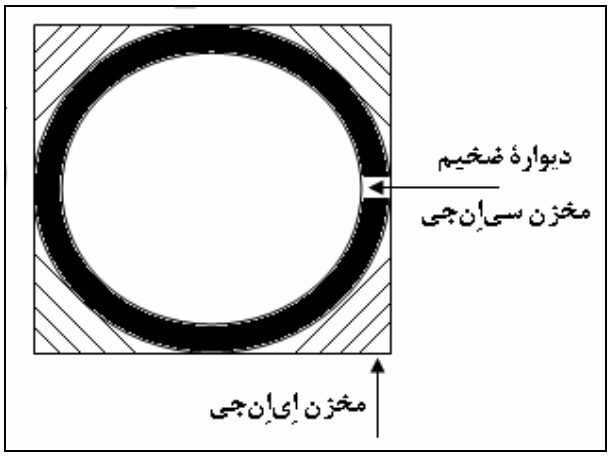
www.SID.ir



شکل 8 - تغییرات دما و فشار در خلال پُرشدن و خالی‌شدن سریع [8].

این تغییرات دمایی، مستلزم نوعی خاص از طراحی برای مخازن است و همواره کمینهٔ تغییرات دمایی مورد نظر می‌باشد. افزایش دما سبب کاهش میزان جذب می‌گردد. بنابراین حین عملیات پُرشدن مخزن (که دما افزایش می‌یابد)، ظرفیت انبارش مخزن کاهش یافته و ضروری است تا مخزن در فشار بالاتری از فشار کاری پُر گردد. بدین ترتیب اثرات نامطلوب ناشی از کاهش جذب در اثر افزایش دما، از بین خواهد رفت. حین خالی‌شدن مخزن نیز به‌دلیل کاهش آنی دما، گاز به طور لحظه‌ای از مخزن خارج نمی‌شود. بنابراین فشار گاز در مخزن کاهش یافته و ممکن است برای چند لحظه گاز وارد موتور نگردد (به‌اصطلاح موتور ریپ بزند). ویژگی هدایت حرارتی در تک‌سنگ می‌تواند سبب از بین رفتن اثرات تغییرات دمایی و تبعات ناشی از آن‌ها گردد. قابلیت تخلیه گاز از طریق تحریک الکتریکی می تواند سبب از بین بردن اثرات ناشی از کاهش فشار حین خروج گاز و در نتیجه مرتفع کردن نقص ریپ زدن خودرو گردد.

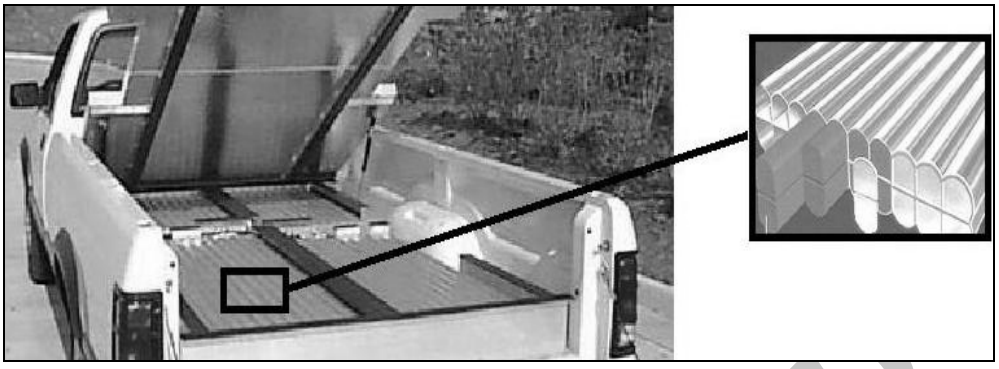
فشار بالا در مخازن سی‌اِن‌جی سبب می‌شود تا قیود هندسی خاصی به این مخازن تحمیل گردد. از جمله آن‌که شکل ظاهری این مخازن تنها می‌تواند استوانه‌ای باشد. لیکن، فشار پایین مخازن اِی‌اِن‌جی، این امکان را فراهم می‌آورد تا مخازنی با اشکال غیر استوانه‌ای نیز ساخته شوند. به‌عنوان مثال یک مخزن پوسته‌ای مستطیلی اِی‌اِن‌جی می‌تواند 25٪ فضای اضافی را در مقایسه با مخزن سی‌اِن‌جی ایجاد نماید (شکل 9). فضای هاشور خورده در شکل 9، میزان حجم اضافی مخزن مستطیلی را نمایش می‌دهد.



شکل 9 - تفاوت حجمی مخزن مستطیلی اِی‌اِن‌جی و مخزن استوانه‌ای سی‌اِن‌جی.

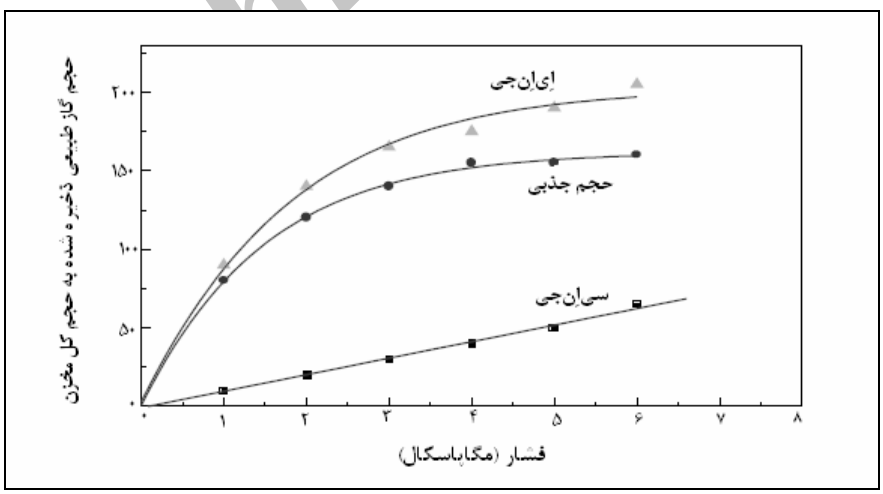
Archive of SID
www.SID.ir

شکل 10 تصویری از یک خودروی اِی‌اِن‌جی‌سوز را نمایش می‌دهد که توسط 4 مخزن اِی‌اِن‌جی آلومینیمی 80 لیتری مستقر در کف ماشین تغذیه می‌گردد.



شکل 10 - نمونه‌ای از مخازن اِی‌اِن‌جی که در نوعی از خودروی داج به کار برده شده‌است [3].

هنگامی‌که یک مخزن گاز طبیعی با یک مادهٔ جاذب مناسب پُر می‌شود، محتوای انرژی[1] آن بیش از زمانی است که بدون مادهٔ جاذب، در همان مخزن و در فشاری معادل پُر شده‌است [5]. به عبارت دیگر اِی‌اِن‌جی در فشاری کم ـ 3/5 تا 5 مگاپاسکال ـ می‌تواند تقریباً به انرژی مشابهی در مقایسه با انرژی حاصل از سی‌اِن‌جی ـ در فشار بالایی چون 24/8 مگاپاسکال ـ دست یابد. بازده حجمی مخازن اِی‌اِن‌جی به‌واسطهٔ نسبت ظرفیتی تعیین می‌گردد. نسبت ظرفیتی، نسبت حجم گاز طبیعی ذخیره شده به حجم کل مخزن (حجم هندسی مخزن) می‌باشد. مخازن اِل‌اِن‌جی، پُربازده‌ترین مخازن گاز طبیعی (از حیث حجمی) به‌شمار می‌روند. نسبت ظرفیتی این مخازن در حدود 615 می‌باشد [9]. بدین معنی که 615 مترمکعب گاز در یک مترمکعب مخزن ذخیره خواهد شد. سی‌اِن‌جی، نسبت ظرفیتی‌ایی برابر 300 دارد. بیشترین ظرفیتی‌ای که تاکنون برای مخازن اِی‌اِن‌جی بدست آمده‌است، در حدود 200 می‌باشد. در فشارهای پایین (تا 6 مگاپاسکال) و برای یک فشار برابر، نسبت ظرفیتی مخازن اِی‌اِن‌جی بسیار بیشتر از سی‌اِن‌جی است (در شکل 10 این تفاوت در نسبت ذکرشده به خوبی بیان شده‌است).



شکل 10 - خواص اِی‌اِن‌جی بر حسب فشار [5].

[1] محتوی انرژی یک سوخت، میزان انرژی حاصل از سوختن آن سوخت است.

www.SID.ir

همان‌گونه که از شکل 10 برمی‌آید، نسبت ظرفیتی مخزن اِی‌اِن‌جی در فشار 3/5 مگاپاسکال نزدیک به 210 است. در نتیجه مخزن اِی‌اِن‌جی در فشاری معادل با یک ـ ششم فشار سی‌اِن‌جی، انرژی‌ایی در حدود دو ـ سوم انرژی سی‌اِن‌جی را داراست.

امروزه، استفادهٔ تجاری گسترده از مخازن اِی‌اِن‌جی به‌دلیل بی‌جواب ماندن برخی مشکلات موجود در پیش‌راه این فن‌آوری، امکان‌پذیر نمی‌باشد. بزرگترین مشکلات پیش‌روی مخازن اِی‌اِن‌جی عبارتند از:

- دست‌یابی به توانایی حجمی کافی جهت ذخیرهٔ گاز طبیعی که با روش‌های ذخیرهٔ رایج گاز طبیعی قابل قیاس باشد،
- عملیات پُرشدن و خالی‌شدن مخازن اِی‌اِن‌جی جهت کاربردهای خودرویی نیازمند کنترل فرآیندهای ترمودینامیکی است،
- هزینهٔ تجهیزات سوخت‌رسانی اِی‌اِن‌جی می‌بایست قابلیت رقابت با تجهیزات رایج را داشته باشد.

4- نتیجه‌گیری

مزیت سامانه اِی‌اِن‌جی نسبت به سامانه سی‌اِن‌جی (در یک فشار معادل)، در چگالی بالا، و میزان بالاتر حجم گاز خروجی در یک نسبت حجم مخزن برابر است. تمایز دیگر، تفاوت در محتوای متان موجود در آن‌ها است. به دلیل فشار نسبتاً کمتر، اِی‌اِن‌جی مزایای قابل‌توجهی از نظر وزن مخازن، شکل مخازن، ایمنی و قیمت دارد.

هدف تولیدکنندگان مخازن اِی‌اِن‌جی، دست‌یابی به نسبت ظرفیتیِ مشابهی با مخازن سی‌اِن‌جی است. ترکیب ساختار جذبی و فشار بالا، می‌تواند سبب افزایش توانایی حجمی مخازن گردیده و بازده عملکرد آن‌ها را در مقایسه با سی‌اِن‌جی بسیار افزایش دهد. اِی‌اِن‌جی، اینک کاربرد تجاری نداشته و صرفاً در مرحلهٔ تحقیق است. جهت استفاده از اِی‌اِن‌جی در مقیاس تجاری و در وسائط نقلیه، فن‌آوری‌های تولید صنعتی و به‌صرفهٔ جاذب، جامدسازی جاذب و مخازن جذبی ذخیره‌سازی می‌باید توسعه یابند. تنها در این صورت سامانه‌های اِی‌اِن‌جی می‌توانند به‌عنوان جایگزینی برای سامانه‌های سی‌اِن‌جی در سوخت وسایل نقلیه محسوب گردند.

مراجع

1- Gambone, Livio, CNG Cylinders 101 Bulletin, Powertech Labs Inc, 2005.
2- Ginzburg, Y, ANG Storage as a Technological Solution for the "Chicken-and-Egg" Problem of NGV Refueling Infrastructure Development, 23rd World Gas Conference, Amsterdam, 2006.
3- Quinn, David, Adsorption Storage A Viable Alternative to Compression for Natural Gas Powered Vehicles?, ALL-CRAFT Columbia, Mo, 2005.
4- هاشمی‌پور، ح.، پیروموسوی، ف.، نخعی‌پور، ف.، بررسی فرآیند ذخیره‌سازی گاز طبیعی با تکنولوژی اِی‌اِن‌جی بر روی جاذب‌های کربنی، اولین همایش ملی تخصصی گاز ایران، 8 و 9 آبان، 1385.
5- Jinfu, Chenv, Wendong, Qu Mei Xu, Shaoxin, Lu, Adsorbent of Storage Natural Gas & its Use in ANGV, Environmental Engineering Research & Development Center;University of Petroleum, Beijing.
6- Ogasa, Hiroshi, Morita, Yoshiyuki, Development of Adsorbent for Natural Gas Storage, NGV2004, Argentina.
7- Burchell, Tim, Rogers, Mike, Low Pressure Storage of Natural Gas for Vehicular Applications, Oak Ridge National Laboratory, 2000.
8- Burchell, Tim, Carbon Fiber Composite Adsorbent Media for Low Pressure Natural Gas Storage, Oak Ridge National Lab, 2000.
9- Ogasa, Hiroshi, Oku, Masaru, Vangundy, Dale, Performance Evaluation of an Automotive Utilizing an Adsorbed Natural Gas Tank, Honda R&D Americas, Inc.

Archive of SID

www.SID.ir