http://mme.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

آذر ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۹ ص‌ص ۱۰۳-۱۱۰

مقاله پژوهشی کامل
تاریخ دریافت ۹۱/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش ۹۲/۱/۲
ارائه در سایت ۹۲/۶/۳۰

بررسی تأثیر ترکیب گاز طبیعی بر فرایند پر شدن مخزن خودرو CNG به‌منظور تعیین شرایط بهینه ایستگاه سوخت رسانی

مسعود مهدیزاده رخی[۱*]، مهدی دیمی دشت بیاض[۲]، محمود فرزانه گرد[۳]، محمد عباسی[۴]

۱- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود
۴،۲- مربی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود
۳- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
* شاهرود، صندوق پستی ۳۶۱۹۹۴۳۱۸۹، m.mahdizadeh@shahroodut.ac.ir

چکیده- فرایند سوخت‌گیری CNG در ایستگاه‌های سوخت‌گیری سریع صورت می‌پذیرد که در این ایستگاه‌ها، گاز با فشارهای مختلف در ۳ ردیف مخزن، که به مخازن ذخیره آبشاری مشهور است، نگهداری می شود. مدل‌سازی دقیق فرایند سوخت‌گیری در این ایستگاه‌ها می‌تواند کمک شایانی در استفاده از این سوخت به همراه داشته باشد. از این‌رو، در این تحقیق با بررسی قوانین اول و دوم ترمودینامیک، مؤلفه‌های مؤثر در فرایند پر شدن مخزن خودرو بررسی خواهد شد. با بررسی این قوانین، می‌توان تأثیر شرایط ترمودینامیکی مخازن ذخیره، مانند دما و فشار را بر پارامترهای مختلف سوخت‌گیری، اعم از جرم و دمای نهایی سوخت، زمان سوخت‌گیری و همچنین تولید انتروپی بررسی کرد. همچنین برای بررسی تأثیر ترکیبات متفاوت گاز طبیعی بر فرایند سوخت‌گیری CNG از استاندارد AGA8 استفاده شده است که با استفاده از آن می‌توان ضریب تراکم‌پذیری گاز طبیعی را بر حسب ترکیبات مختلف محاسبه نمود. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب گاز طبیعی، تأثیر به‌سزایی بر فرایند سوخت-گیری و پارامترهای مهم آن دارد. همچنین با محاسبه انتروپی تولیدی، می‌توان به فشارهای بهینه برای مخازن میانی (مخازن فشار پایین و فشار متوسط) با هدف کاهش مصرف انرژی کمپرسورها دست یافت.

کلیدواژگان: گاز طبیعی فشرده (CNG)، مخزن خودرو، ایستگاه CNG سریع، مخازن ذخیره آبشاری، آنالیز ترمودینامیکی.

Investigating the natural gas composition effect on the filling processes of an automobile CNG cylinder to define the optimized conditions

M. Mahdizadeh Rokhi[1*], M. Deimi Dashtbayaz[2], M. Farzaneh Gord [3], M. Abbasi[4]

1- Assist. Prof., Mech. Eng., Shahrood Branch, Islamic Azad Univ., Shahrood, Iran
2,4- Lecturer, Mech. Eng., Shahrood Branch, Islamic Azad Univ., Shahrood, Iran
3- Assoc. Prof., Mech. Eng., Shahrood Univ. of Tech., Shahrood Iran.
* P.O.B. 3619943189 Shahrood, Iran. m.mahdizadeh@shahroodut.ac.ir

Abstract- At a Compressed Natural Gas (CNG) filling station, natural gas is stored in the high pressure reservoirs. The pressures within these reservoirs have huge effects on fast filling process of a natural gas vehicle's (NGV) cylinder and the difficulties associated with the filling process. The accurate modeling of the fast-fill process is a complex procedure which should be thoroughly studied to optimize the filling process. Here, a theoretical analysis has been developed to study the effects of various parameters on the CNG filling process and the conditions. The analysis is based on the first and second laws of thermodynamics, conservation of mass and the AGA8 equation of state. The required properties of natural gas mixtures have been calculated making use of the AGA8 equation of state (EOS) and thermodynamics relationships. It is found that, the composition of natural gas is very effective on the CNG filling process and final in-cylinder values. For various Iranian natural gas compositions, the optimized filling stations' reservoirs pressure has been found.

Keywords: Compressed Natural Gas, CNG Cylinder, Fast-Filling Process, Cascade Reservoirs, Thermodynamic Analysis.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]

۱- مقدمه

چندین دهه است که از بنزین و گازوئیل به عنوان سوخت اصلی وسایل نقلیه استفاده می شود. در سال‌های اخیر مشکلات فراوانی در استفاده از بنزین و گازوئیل به عنوان سوخت وسایل نقلیه بوجود آمده است، به‌طوریکه دولت‌ها و نهادهای تصمیم گیرنده را ترغیب به جایگزینی سوخت‌های دیگر با بنزین و گازوئیل کرده است. از مهمترین گزینه‌های جایگزینی سوختهای حاصل از نفت خام، استفاده از گاز طبیعی فشرده (CNG) می‌باشد. دلایل این انتخاب را میتوان به ۲ بخش اصلی تقسیم کرد. [۱]

۱) مشکلات بازار نفت خام

۲) آلودگی هوا

فرایند سوخت‌گیری خودروهای سواری در ایستگاههای CNG انجام می‌شود. در مخازن سوخت‌گیری سریع، مخازن ذخیره آبشاری وجود دارد [۲] که وظیفه انها ذخیره گاز با فشارهای مختلف می‌باشد.

استفاده از سوخت CNG دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که مهمترین انها به شرح زیر می‌باشد:

۱) پیمایش کم یک مخزن سوخت CNG نسبت به یک باک سوخت بنزین که ناشی از پایین بودن جرم گاز می‌باشد

۲) زمان سوخت‌گیری CNG که با توجه به کمبود جایگاه‌های این سوخت باید بررسی شود.

۳) میزان مصرف انرژی توسط کمپرسورها برای بالا بردن فشار گاز در ایستگاههایCNG بسیار بالا می‌باشد.

بررسی هر یک از محدودیت‌های فوق، تاثیرات متقابل انها بر یکدیگر و همچنین یافتن شرایط بهینه برای کاهش این محدودیت‌ها می‌تواند کمک شایانی در استقبال مصرف‌کنندگان از سوخت CNG به‌همراه داشته باشد.

در بررسی ایستگاه‌های CNG و فرایند پر شدن سریع، تحقیقات زیادی صورت نگرفته است. کونتز و همکاران [۳] جزو اولین محققانی هستند که فرایند پر شدن سریع مخزن خودرو را بر اساس قانون اول ترمودینامیک مدل‌سازی نموده اند. آنها در بررسی خود یک برنامه کامپیوتری را برای فرایند پر شدن سریع با استفاده از یک مخزن ذخیره توسعه دادند. همچنین کونتز و همکاران [۴] یک برنامه کنترلی را برای توزیع کننده توسعه دادند که در این برنامه از انجام فرایند پر شدن مخزن به‌طور کامل اطمینان حاصل می‌شد. در مورد فرایند پر شدن مخازن خودرو با استفاده از سوخت هیدروژن نیز تحقیقاتی صورت پذیرفته است. رفتار گاز هیدروژن به‌عنوان سوخت، بسیار شبیه سوخت CNG می‌باشد.

نیوهوس و همکاران [۵] مطالعات تجربی بر روی فرایند پر شدن مخزن خودرو با استفاده از سوخت هیدروژن انجام داده‌اند. با انجام آزمایشات، آنها متوجه شدند که دمای سوخت در مخزن خودرو در طی سوخت‌گیری افزایش می‌یابد. در مورد آزمایش‌های تجربی در فرایند سوخت گیری با گاز CNG نیز مطالعاتی انجام شده است. شیرپلی [۶] با انجام آزمایش‌هایی دریافت که دمای محیط تأثیر زیادی بر فرایند سوخت‌گیری، به ویژه جرم سوخت دارد.

فرزانه و همکاران [۷-۹] تحقیقاتی بر روی فرایند پر شدن مخازن خودرو با استفاده از ایستگاه با مخازن آبشاری انجام داده‌اند. آنها در تحقیقات خود تأثیر دمای محیط و شرایط اولیه مخزن خودرو را بر فرایند پر شدن با فرض در نظر گرفتن متان به عنوان گاز طبیعی بررسی نموده‌اند. در مرجع ۷ به بررسی فرایند پر شدن مخزن خودرو با فرض گاز طبیعی به‌صورت متان و بر حسب قانون اول ترمودینامیک پرداخته شده است. همچنین در این تحقیق قانون دوم و تولید انتروپی و تعیین فشار بهینه مخازن میانی انجام نشده است. در مرجع ۸ به مقایسه ۲ نوع ذخیره سازی بافری و آبشاری سوخت CNG در ایستگاه های سوخت‌گیری پرداخته شده است. در مرجع ۹ فرایند پر شدن سیلندر خودرو با فرض گاز طبیعی به‌عنوان گاز ایده‌ال بررسی شده است. در فرایندهای مربوط به گاز طبیعی همواره ترکیب آن یکی از پارامترهای مهم است که باید مورد توجه قرار گیرد [۱۰].

در این تحقیق سوخت CNG به عنوان گاز واقعی و بر اساس ترکیب موجود در مناطق مختلف بررسی می‌شود، همچنین با کمک قوانین اول و دوم ترمودینامیک فرایند پر شدن سریع مخزن خودرو بررسی خواهد شد. در ادامه تأثیر پارامتر مهم دمای محیط بر شرایط نهایی سوخت و میزان جرم ذخیره شده در سیلندر خودرو برررسی خواهد شد. در نهایت، با بررسی قانون دوم، میزان تولید انتروپی نیز با توجه به شرایط مختلف بررسی شده و پیشنهادهایی برای فشار مخازن میانی با هدف کاهش مصرف برق در کمپرسورها ارائه خواهد شد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]

۲- ایستگاه‌های سوخت رسانی سریع

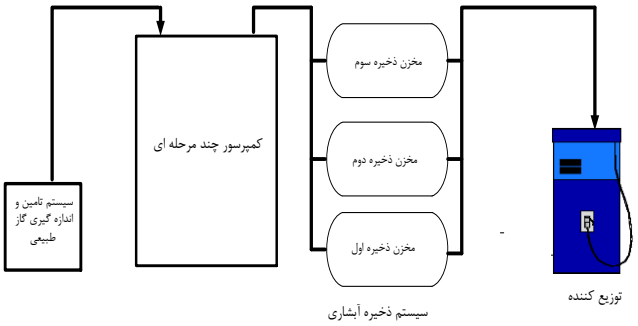
ایستگاه‌های سوخت CNG معمولاً گاز مورد نیاز خود را از خطوط گازرسانی شهری تأمین می‌کنند. معمولاً گاز در ورودی این ایستگاه‌ها دارای فشار 0.4MPa می باشد. فرایند افزایش فشار گاز در ایستگاه، توسط کمپرسورهای چند مرحله‌ای صورت می‌پذیرد. به طور معمول، کمپرسورهای مورد استفاده در ایستگاه‌ها از نوع سه مرحله ای است که این کمپرسورها گاز را به ۳ فشار متفاوت رسانده تا گاز با فشار مختلف در ۳ ردیف مخزن آبشاری ذخیره شود. لازم به ذکر است که فشار مخزن ذخیره بالایی باید بین 20.5MPa تا 25MPa باشد تا بتواند فشار مخزن خودرو را به مقدار مطلوب که 20MPa است برساند. در شکل ۱ شماتیکی از یک ایستگاه CNG نمایش داده شده است.

۲-۱- مخازن ذخیره آبشاری ایستگاه CNG

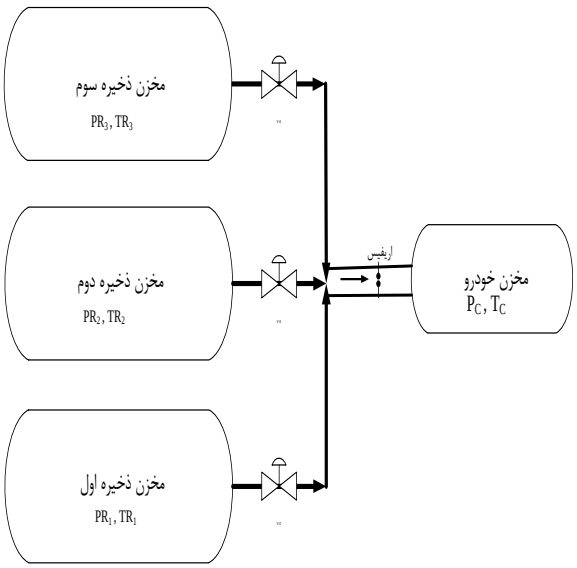
هر یک از مخازن ذخیره موجود در سیستم آبشاری، گاز را با فشار معینی در خود جای می‌دهند. در سیستم‌های معمول که هم اکنون بکار می‌رود، گاز در ردیف‌های اول تا سوم به‌ترتیب با فشار 5.5MPa، 10.5MPa و 20.5MPa ذخیره می‌شود. در شکل ۲ نمای کاملی از مخازن ذخیره و نحوه پر شدن مخزن خودرو نمایش داده شده است. معمولاً در ایستگاههای CNG فشار مخزن سوم بین 20.5MPa تا 25MPa در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق، با توجه به این مهم که فشار 20.5MPa حداقل فشار مخزن سوم می باشد و در نتیجه کار کمپرسور کمتری (تولید انتروپی) نسبت به فشارهای بالاتر نیاز دارد، این مقدار انتخاب شده است.

۳- ترکیب گاز مناطق مختلف ایران

گاز طبیعی مناطق مختلف ایران دارای ترکیبات متفاوتی است که این تفاوت بر بخش‌های مختلف فرایند سوخت‌گیری CNG اعم از شرایط ایستگاه و همچنین سوخت در مخزن خودرو تاثیرگذار می‌باشد. در جدول ۱، ترکیب گاز مناطق مختلف ایران نمایش داده شده است. همان‌طور که در جدول نیز مشهود است، قسمت عمده تشکیل دهنده گاز طبیعی، متان می‌باشد که در هر منطقه دارای درصد متفاوتی است.



شکل ۱ شماتیک یک ایستگاه سوخت CNG



شکل۲ شماتیک مخازن ذخیره آبشاری و مخزن خودرو

جدول ۱ ترکیب گاز مناطق مختلف ایران [۱۱]

ترکیب	درصد مولی (٪)			
	خانگیران	کنگان	ترکمن گاز	پارس
CH_4	۹۸/۶	۹۰/۰۴	۹۴/۲۱	۸۷
C_2H_6	۰/۵۹	۳/۶۹	۲/۲۵	۵/۴
C_3H_8	۰/۰۹	۰/۹۳	۰/۵۳	۱/۷
iso-C_4H_{10}	۰/۰۲	۰/۲	۰/۳۶	۰/۳
n-C_4H_{10}	۰/۰۴	۰/۲۹	۰	۰/۴۵
iso-C_5H_{12}	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۱۳
n-C_5H_{12}	۰/۰۲	۰/۰۸	۰	۰/۱۱
n-C_6H_{14}	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۷
C_7^+	۰	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۰۳
N_2	۰/۵۶	۴/۴۸	۱/۹	۳/۱
CO_2	۰	۰	۰/۱۴	۱/۸۵

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]

۴- نحوه شبیه‌سازی

هدف این بخش، بررسی نحوه مدل‌سازی فرایند سوخت‌گیری سوخت CNG در مخزن خودرو و همچنین تأثیر پارامترهای مختلف بر نحوه کارکرد ایستگاه سوخت‌گیری می‌باشد.

۴-۱- تحلیل قانون اول و دوم ترمودینامیک در طی فرایند پر شدن

در این بخش به بررسی قانون اول و دوم ترمودینامیک در طی فرایند پر شدن مخزن CNG خودرو با استفاده از ایستگاه با مخازن ذخیره آبشاری پرداخته می‌شود.

در ابتدا، قانون انتقال جرم برای مخزن خودرو بصورت رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$\frac{\mathrm{d}m_{\mathrm{c}}}{\mathrm{d}t}=\dot{m}_i \qquad (۱)$$

که در آن m_{c} و $\dot{m}_i$ به ترتیب جرم لحظه‌ای گاز درون مخزن و نرخ جرم ورودی به مخزن می‌باشند.

نرخ جرم ورودی به مخزن بر حسب فشار مخزن خودرو از یکی از روابط (۲) یا (۳) تبعیت می‌نماید:

$$m_i=C_{\mathrm{d}}\rho_{\mathrm{r}}A_{\mathrm{orifice}}\left(\frac{P_{\mathrm{c}}}{P_{\mathrm{r}}}\right)^{\frac{1}{\gamma}}\left\{\left(\frac{2\gamma}{\gamma-1}\right)\left(\frac{P_{\mathrm{r}}}{\rho_{\mathrm{r}}}\right)\times\left[1-\left(\frac{P_{\mathrm{c}}}{P_{\mathrm{r}}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{P_{\mathrm{c}}}{P_{\mathrm{r}}}\le\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \qquad (۲)$$

$$\dot{m}_i=C_{\mathrm{d}}\sqrt{\gamma P_{\mathrm{r}}\rho_{\mathrm{r}}}A_{\mathrm{orifice}}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

$$\frac{P_{\mathrm{c}}}{P_{\mathrm{r}}}\ge\left(\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}\right) \qquad (۳)$$

این معادلات، مربوط به فرایند دینامیک گازها بوده و میزان انتقال جریان را از اریفیس محاسبه می‌کنند. این معادلات در کتب و منابع دینامیک گاز به‌طور مفصل ارائه شده است. در رابطه فوق P_{r} و ρ_{r} به ترتیب بیانگر فشار و چگالی مخزن ذخیره می باشند. همچنین C_{d} ضریب تخلیه می‌باشد که این ضریب با هدف در نظر گرفتن بازگشت ناپذیری اریفیس موجود در مسیر انتقال سوخت از مخازن ذخیره به سیلندر خودرو تعریف شده است. این مقدار در شرایط ایزنتروپیک برابر یک می‌باشد که بر همین اساس در این تحقیق نیز مقدار آن ۱ فرض شده است.

قانون اول ترمودینامیک به‌طور کلی به‌صورت رابطه (۴) است.

$$\dot{Q}_i+\sum\dot{m}_i\left(h_i+V_i^2/2+gz_i\right)=\sum\dot{m}_e\left(h_e+V_e^2/2+gz_e\right)+\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left[m(u+V^2/2+gz)\right]_{\mathrm{cv}}+\dot{W}_{\mathrm{cv}} \qquad (۴)$$

با ساده‌سازی رابطه فوق و فرض عایق بودن مخزن ذخیره خودرو، در نهایت قانون اول ترمودینامیک به‌صورت رابطه (۵) تغییر می‌کند:

$$u_{\mathrm{C}}=h_{\mathrm{R}}+\frac{m_{\mathrm{Cs}}}{m_{\mathrm{C}}}\left(u_{\mathrm{Cs}}-h_{\mathrm{R}}\right) \qquad (۵)$$

که در معادله فوق، u_C، h_R، m_{Cs}، u_{Cs} و m_C به ترتیب انرژی داخلی مخزن خودرو، انتالپی مخزن ذخیره ایستگاه، جرم و انرژی داخلی اولیه و در نهایت جرم کنونی سوخت در مخزن خودرو می‌باشند.

قانون دوم ترمودینامیک نیز به‌صورت کلی از رابطه (۶) تبعیت خواهد کرد:

$$\dot{S}_{\mathrm{gen}}=\mathrm{d}S_{\mathrm{C}}/\mathrm{d}t-\dot{Q}/T_{\infty}-m_i s_i\ge 0 \qquad (۶)$$

با ساده‌سازی این معادله در فرایند سوخت‌گیری قانون دوم به‌صورت رابطه (۷) تغییر می‌کند:

$$S_{\mathrm{gen}}=m_{\mathrm{C}}(s_{\mathrm{C}}-s_{\mathrm{R}})-m_{Cs}(s_{\mathrm{Cs}}-s_{\mathrm{R}}) \qquad (۷)$$

همچنین مقدار انتروپی ماکزیم تولیدی در این فرایند از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$S_{\mathrm{gen,max}}=m_{\mathrm{C}}(s_{\mathrm{C}}-s_{\mathrm{R}}) \qquad (۸)$$

لازم به ذکر است که برای محاسبه انتروپی تولید شده به این صورت عمل می‌شود که قانون دوم ترمودینامیک برای هر مخزن یک بار تحلیل می‌شود. به این ترتیب ۳ مقدار انتروپی تولیدی برای هر یک از مخازن فشار پایین، متوسط و بالا بدست می آید که در نهایت انتروپی تولیدی کل، از مجموع این ۳ مقدار حاصل می‌شود. این در حالی است که برای محاسبه انتروپی تولیدی ماکزیمم فرض می‌شود که فرایند سوخت‌گیری از یک مخزن با فشار بالا انجام شده که در این حالت مخازن میانی با فشار پایین و متوسط حذف شده و تمام سوخت از مخزن فشار بالا تامین می‌شود.

۴-۲- معرفی اعداد بی بعد مورد استفاده

در ادامه برای بررسی هرچه بهتر ایستگاه، چند عدد بی‌بعد تعریف می شود.

اولین عدد بی‌بعد NP_1 است که نشان‌دهنده تناسب بین

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]

فشار مخزن اول و فشار مخزن نهایی در سیستم ذخیره آبشاری می‌باشد.

$$NP_1 = PR_1/PR_3 \quad (۹)$$

لازم به ذکر است که فشار مخزن سوم، P_{R3}، همواره مقدار 20.5MPa در نظر گرفته می‌شود.

عدد بی‌بعد دوم NP_2 است که از تقسیم فشار مخزن آبشاری دوم بر مخزن سوم به صورت رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$NP_2 = PR_2/PR_3 \quad (۱۰)$$

همچنین با توجه به انتروپی تولیدی و انتروپی تولیدی بیشینه می‌توان ضریب بی بعد (۱۱) را تعریف کرد.

$$NS = S_{\text{gen}}/S_{\text{gen,max}} \quad (۱۱)$$

با توجه به ضریب فوق می‌توان نسبت تولید انتروپی را نسبت به شرایط ماکزیمم آن به‌دست آورد که می‌تواند به عنوان عامل نابودی اگزرژی در نظر گرفته شود. در ایستگاه‌های CNG مبنای عامل اگزرژی را می‌توان مرتبط به کار کمپرسور و میزان توان (برق) مصرفی آن دانست.

۴-۳- نحوه محاسبه ضریب تراکم‌پذیری گاز طبیعی

یکی از مهمترین خواص ترمودینامیکی که برای شبیه‌سازی دقیق هر سیستم مورد نیاز است ضریب تراکم پذیری می باشد. با استفاده از این ضریب و همچنین اطلاع از ۲ پارامتر ترمودینامیکی، می‌توان بقیه خواص ترمودینامیکی سیال مورد نظر را محاسبه کرد. با توجه به این مهم که گاز طبیعی ترکیبی از ۲۱ ماده است، یافتن روشی برای تعیین ضریب تراکم پذیری گاز طبیعی بر حسب این ترکیب دغدغه مهمی به‌شمار می‌آید. انجمن مهندسان گاز آمریکا (AGA) پس از بررسی‌های فراوان، موفق به ارائه استانداردی شد که در آن نحوه محاسبه ضریب تراکم‌پذیری گاز طبیعی با توجه به درصد ترکیبات مختلف قابل محاسبه است. معادله محاسبه ضریب تراکم‌پذیری در این استاندارد به‌صورت رابطه (۱۲) می‌باشد [۱۲]:

$$Z = 1 + B\rho_{\text{m}} - \rho_r \sum_{n=13}^{18} C_n^* + \sum_{n=13}^{18} C_n^* D_n^* \quad (۱۲)$$

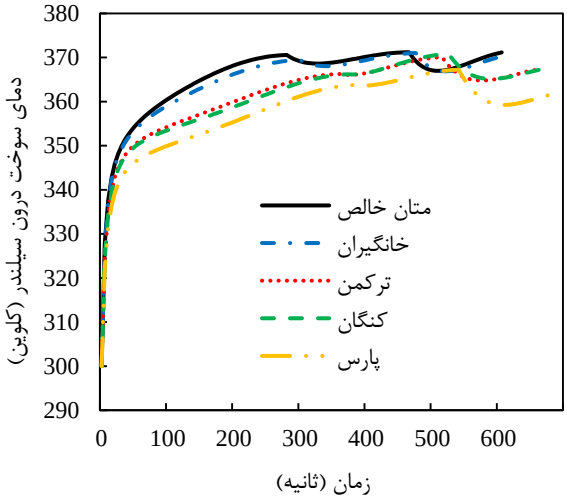
لازم به ذکر است که ثوابت و پارامترهای موجود در این معادله بر حسب درصد ترکیب گاز طبیعی در استاندارد آمده است.

۵- نتایج

در این تحقیق، نتایج بر اساس حجم سیلندر خودرو ۶۷ لیتر و همچنین قطر اریفیس ۱ میلی‌متر ارائه شده است. همچنین، نتایج بر اساس مخزن با شرایط آدیاباتیک به‌دست آمده است. در شکل ۳ نحوه تغییرات دمای سوخت ورودی به مخزن خودرو نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشهود است با تغییر سوخت‌گیری از مخازن ذخیره به ردیف بعدی یک پرش در روند تغییرات دما رخ می‌دهد. این پرش به این دلیل است که با تغییر سوخت‌گیری به مخزن بالاتر، شرایط دما و فشار این مخازن تغییر می‌کند. این به آن معناست که شرایط ترمودینامیکی ورودی به سیلندر خودرو تغییر کرده که این امر موجب تغییر در روند دما و فشار سیلندر خودرو خواهد شد. از سوی دیگر، همان‌طور که در شکل نیز مشهود است سوخت CNG با درصد متان بالاتر (خانگیران) دارای دمای بالاتری در انتهای فرایند سوخت گیری نسبت به ترکیبات دیگر می باشد.

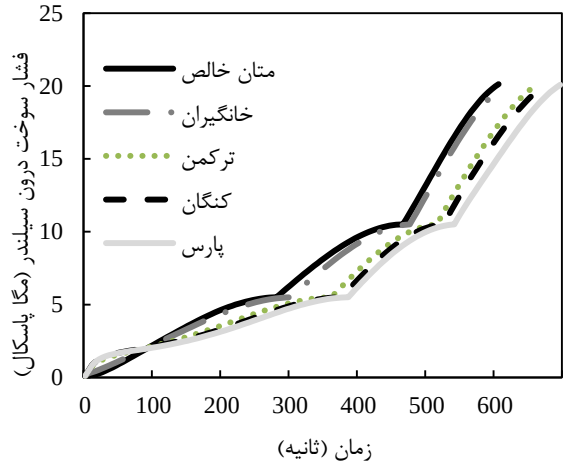
در شکل ۴ فرایند افزایش فشار مخزن خودرو در حین فرایند سوخت‌گیری نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشهود است، هر چند در هر یک از سوخت‌ها با ترکیبات مختلف، فرایند سوخت‌گیری کامل شده و به فشار 20MPa می‌رسد، اما زمان سوخت‌گیری بر حسب ترکیبات مختلف متفاوت می باشد. همچنین با توجه به این شکل، با افزایش درصد ترکیب متان زمان سوخت‌گیری کاهش می‌یابد.

در شکل ۵ می‌توان دبی جرمی ورودی به مخزن خودرو را در طی فرایند سوخت‌گیری مشاهده کرد. همان‌طور که از شکل پیداست، با تغییر مسیر جریان سوخت‌گیری از یک ردیف مخزن ذخیره به ردیف بعدی، روند دبی جرمی نیز تغییر می‌کند.

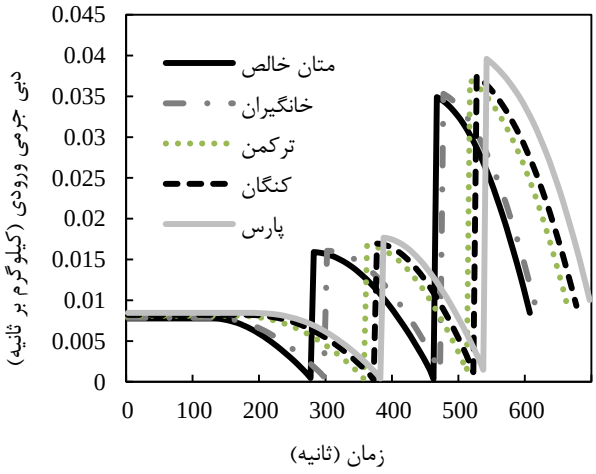


شکل ۳ تغییرات دمای سوخت درون مخزن CNG بر حسب ترکیبات مختلف گاز طبیعی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]



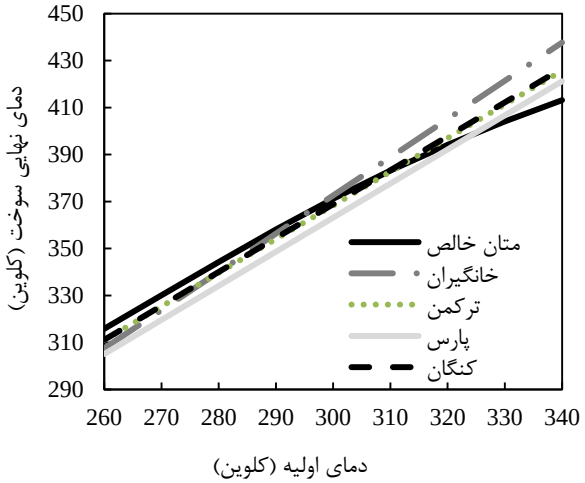
شکل ۴ تغییرات فشار سوخت درون مخزن CNG بر حسب ترکیب‌های مختلف گاز طبیعی



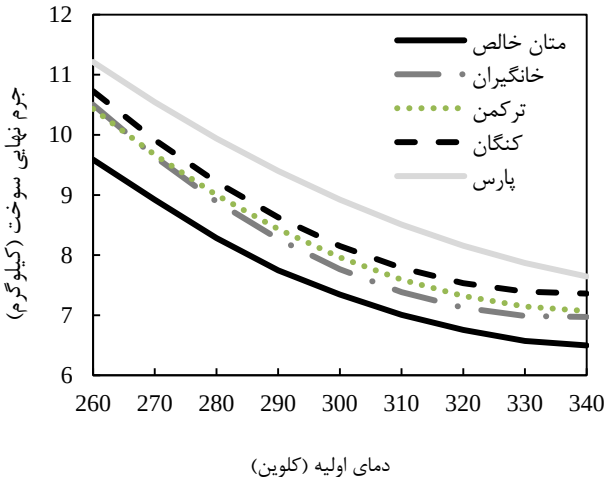
شکل ۵ تغییرات دبی جرمی سوخت درون مخزن CNG بر حسب ترکیبات مختلف گاز طبیعی

در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب به بررسی تأثیر دمای اولیه (محیط) بر دمای نهایی و جرم نهایی سوخت درون مخزن CNG پرداخته شده است. همان‌طور که در این دو شکل مشهود است، دمای محیط تأثیر به‌سزایی بر فرایند سوخت‌گیری CNG از جمله دمای نهایی و جرم سوخت درون سیلندر دارد. این مهم آشکار می‌سازد که اگر بتوان شرایط سوخت‌گیری را در دمای پایین انجام داد می‌تواند به جرم نهایی سوخت بیشتری درون سیلندر خودرو ذخیره کرد که این امر در نهایت منجر به پیمایش بیشتر خودرو بعد از هر بار سوخت‌گیری می‌شود.

در شکل‌های ۸ و ۹ می‌توان تأثیر دو عدد NP_1 و NP_2 بر زمان سوخت‌گیری را مشاهده کرد.



شکل ۶ تأثیر دمای محیط بر دمای نهایی سوخت CNG برای ترکیب گازهای متفاوت



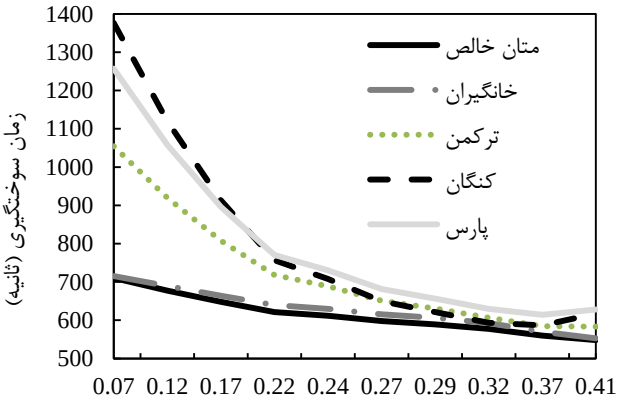
شکل ۷ تأثیر دمای محیط بر جرم نهایی سوخت CNG برای ترکیب گازهای متفاوت

لازم به ذکر است که در کلیه شکل‌هایی که ضرایب بی بعد NP_1 و NP_2 مورد بررسی قرار گرفته است، در صورت متغیر بودن یک ضریب، ضریب دیگر به‌عنوان مقداری ثابت فرض شده است. به‌عنوان مثال در شکل‌های ۸ و ۱۰ مقدار NP_2=۰/۵۳ در نظر گرفته شده است، در حالی‌که در شکل‌های ۹ و ۱۱ مقدار NP_1=۰/۲۷۵ فرض شده است. در تحقیقات قبلی تیم پژوهشی بر روی فشار بهینه مخازن میانی ایستگاه CNG، گاز طبیعی بصورت متان خالص و با فرض شرایط گاز

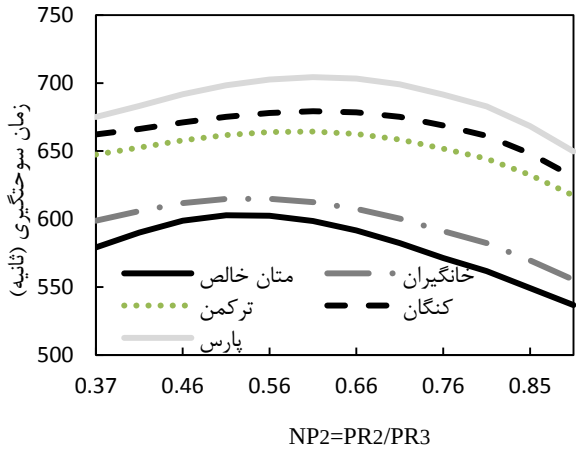
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]

ایده‌ال در نظر گرفته شده بود. در تحلیل با این شرایط تولید انتروپی کمینه در شرایط فشار مخازن پایین و میانی به‌ترتیب 5.6375MPa و 10.865MPa اتفاق می‌افتاد. با توجه به این مقادیر و روابط محاسبه اعداد بی بعد NP_1 و NP_2 مقادیر 0.275 و 0.53 به‌دست می‌آید. به همین دلیل است که این اعداد به‌عنوان مقادیر اولیه NP_1 و NP_2 در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که در دو شکل ۱۰ و ۱۱ مشهود است، با تنظیم کردن دو عدد NP_1 و NP_2 که معرف فشار مخازن میانی (مخازن فشار پایین و فشار متوسط) هستند می‌توان میزان NS را کمینه کرد. عدد NS، بیان کننده تولید انتروپی و یا به عبارت دیگر انرژی مصرفی کمپرسورهای ایستگاه CNG است که کاهش آن می‌توان کمک شایانی در کاهش مصرف انرژی این ایستگاه‌ها نماید.



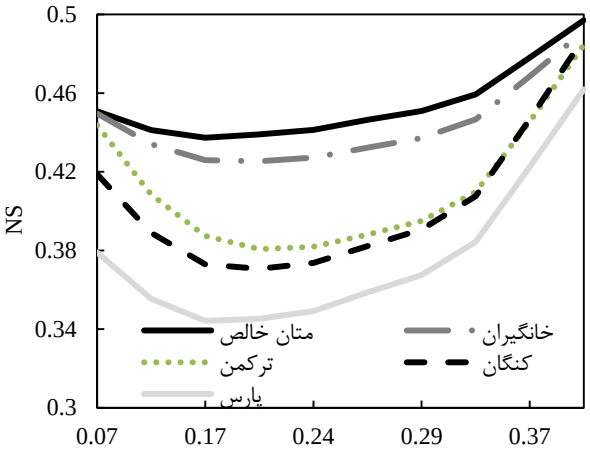
شکل ۸ تأثیر عدد NP_1 بر زمان سوخت‌گیری



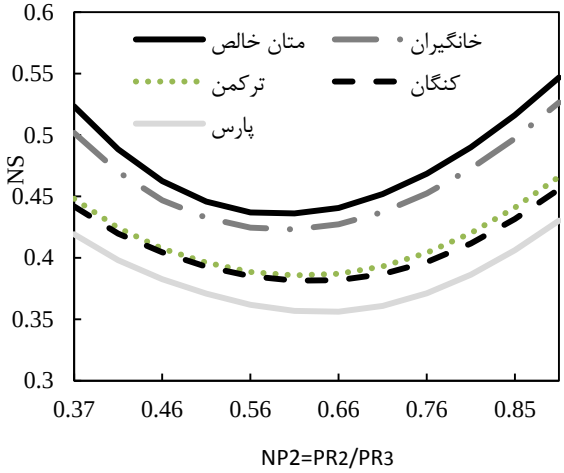
شکل ۹ تأثیر عدد NP_2 بر زمان سوخت‌گیری

۶- نتیجه‌گیری

توسعه سوخت CNG مستلزم از بین بردن مشکلات ایستگاه‌های سوخت‌گیری آن می‌باشد. هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی قوانین اول و دوم ترمودینامیک در یک ایستگاه سوخت CNG با مخزن ابشاری و در حین فرایند سوخت‌گیری است.



شکل ۱۰ تأثیر عدد NP_1 بر NS



شکل ۱۱ تأثیر عدد NP_2 بر NS

در بررسی قانون اول مشخص شد که با افزایش دمای نهایی مخزن، میزان جرم سوخت کاهش می‌یابد. همچنین با بررسی قانون دوم این نتیجه حاصل شد که می‌توان با بهینه نمودن فشار مخازن میانی، تولید انتروپی را کمینه کرد که این کار باعث کاهش انرژی مصرفی کمپرسورها در فرایند فشرده‌سازی گاز طبیعی می‌شود.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]

۷- تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر از خلاصه نتایج طرح تحقیقاتی تحت عنوان "مدل‌سازی ترمودینامیکی انتقال سوخت CNG از مخازن ذخیره ایستگاه به مخزن خودرو با استفاده از استاندارد معتبر AGA8" که با بودجه پژوهشی و حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود به انجام رسیده، استخراج شده است. بدین ترتیب نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را بابت حمایت از این تحقیق اعلام میدارند.

۸- فهرست علایم

A	مساحت سطح (m^2)
C_p	گرمای ویژه در فشار ثابت ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
C_V	گرمای ویژه در فشار ثابت ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
g	شتاب جاذبه (m/s^2)
h	آنتالپی مخصوص (kJ/kg)
$\dot{m}$	نرخ جرمی جریان (kg/s)
P	فشار (MPa)
$\dot{Q}$	نرخ انتقال حرارت (kW)
T	دما (K)
u	انرژی داخلی (kJ/kg)
s	انتروپی (kJ/ K)
t	زمان (s)
v	حجم مخصوص (m^3/kg)
V	حجم (m^3)
$\dot{W}$	نرخ جریان کار (kW)
ρ	چگالی (kg/m^3)

۹- مراجع

[1] Farzaneh, M., Deimi Dasht Bayaz, M., "Study of development global vehicles using CNG fuel and its future prospects", 1st national Conference of CNG, Tehran, 2008.(In persian)

[2] Farzaneh, M., Deimi Dasht Bayaz, M., "study cylinders of CNG, the standards used", 1st national Conference of CNG, Tehran, 2008.(In persian)

[3] Kountz K., "Modeling The Fast Fill Process in Natural Gas Vehicle Storage Cylinders", *American Chemical Society Paper at 207th National ACS Meeting*, March 1994.

[4] Kountz A., Kenneth J., Blaze K., Christopher F. "NGV Fueling Station and Dispenser Control Systems", *report GRI-97/0398*, Gas Research Institute, Chicago, Illinois, November 1997.

[5] Newhouse N.L., Liss W.E., "Fast Filling of NGV Fuel Containers", *SAE paper*, Vol. 1, 1999, pp. 3739.

[6] Shipley E., *Study of Natural Gas Vehicles (NGV) During the Fast Fills Process*, MSc. Thesis,. College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, 2002.

[7] Farzaneh-Gord M., "Thermodynamics Analysis of Cascade Reserviors Filling Process", *World Applied Sciences Journal* Vol. 5, No. 2, 2008, pp. 143-149.

[8] Farzaneh-Gord M., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari HR., "Studying Effects of Storage Types on Performance of CNG Filling Stations", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 3, 2011, pp. 334-340.

[9] Farzaneh-Gord M., Deymi-Dashtebayaz M., "Optimizing Natural Gas Fuelling Station Reservoirs Pressure Based on Ideal Gas Model", *Polish Journal of Chemical Technology*, Vol. 15, 2013, pp. 88-96.

[10] Farzaneh, M., Deimi Dasht Bayaz, M., "Study of Effect of natural gas composition in different regions of Iran on the charge stored in the CNG tanks", Journal of Iranian society of mechanical engineering, No.71, 2010,pp.22-31.(In persian)

[11] *www.nigc.ir*

[12] Arlington, V.A., "Compressibility and Super Compressibility for Natural Gas and Other Hydrocarbon Gases", *Transmission Measurement Committee, AGA8-DC92 EOS*, Report No. 8, 1992, AGA Catalog No. XQ 1285.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-21]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.12.0]