



مزیت های اقتصادی استفاده از موتورهای گازسوز

نسبت به موتورهای الکتریکی به عنوان محرک کمپرسور در ایستگاه های عرضه CNG

| | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|--|
| حشمت الله اکبری | مصطفی مدیری دلشاد | سید محمد رضا نوحی | مهدی کرمی |
| وزارت نیرو - معاونت برق | وزارت نیرو - معاونت برق | برق منطقه ای اصفهان | شرکت طراحی و مهندسی صنایع انرژی (EIED) |

۱. چکیده:

در سال های اخیر توسعه استفاده از سوخت گاز طبیعی فشرده (CNG) در خودروها، در اولویت برنامه های کشور برای کاهش مصرف فرآورده های نفتی در بخش حمل و نقل قرار گرفته است. یکی از عوامل مؤثر در پیشبرد این برنامه، توسعه جایگاه های عرضه CNG است. در ایستگاه های عرضه CNG گاز طبیعی موجود در شبکه گاز، توسط کمپرسور متراکم شده و به صورت گاز طبیعی فشرده (CNG) به خودروهای گازسوز عرضه شود. نیروی محرکه مورد نیاز برای عملیات تراکم گاز در کمپرسورها، توسط موتورهای احتراق داخلی گاز سوز (Gas Engine) و یا موتورهای الکتریکی (Electrical Motors) تأمین می گردد.

مقاله حاضر به بررسی و مقایسه استفاده از موتورهای گازسوز و موتورهای الکتریکی در مجموعه کمپرسور ایستگاه های عرضه CNG از دیدگاه ملی می پردازد. نتایج بررسی ها در این مقاله حاکی از آن است که استفاده از موتور گازسوز نسبت به موتور الکتریکی باعث کاهش هزینه های بهره برداری به میزان قابل توجه شده و صرفه جویی مؤثری را در مصرف سوخت ایجاد خواهد نمود.

۲. مقدمه

امروزه در کشور ایران، طرح تبدیل سوخت خودروها به گاز طبیعی یک طرح ملی به شمار می‌رود و بر این اساس سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، طرح CNG سوز کردن خودروهای کشور را جهت کاهش فرآورده‌های نفتی در سرلوحه امور خود قرار داده است. از دیدگاه ملی نیز با توجه به رشد روز افزون مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش حمل‌ونقل و لزوم افزایش کارایی مصرف سوخت در بخش مذکور و همچنین ملاحظات زیست محیطی لازم است جایگزین‌های مناسبی از جمله CNG برای سوخت خودروها در نظر گرفته شود.

در حال حاضر استفاده از موتورهای الکتریکی جهت متراکم سازی گاز در کمپرسور ایستگاه‌های عرضه CNG مرسوم می‌باشد و با افزایش کاربرد سوخت گاز طبیعی در جامعه، هزینه‌های هنگفتی صرف توسعه این ایستگاه‌ها می‌شود. در مقاله حاضر بخش‌های مختلف این ارقام هزینه‌ای مورد بررسی قرار گرفته و در هر مورد مقایسه هزینه‌ای استفاده از موتورهای الکتریکی و همچنین موتورهای گازسوز ارائه شده و در نهایت ویژگی‌های استفاده از این دو گزینه جهت متراکم سازی گاز در ایستگاه‌های عرضه CNG به صورت اقتصادی شرح داده شده است. در ادامه جهت مقایسه دو گزینه مورد بحث، چهار عامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری،

هزینه‌های بهره‌برداری، بازده نهایی و هزینه‌های تأمین انرژی مورد نیاز بررسی شده است.

۳. مقایسه هزینه سرمایه‌گذاری

اگرچه هزینه سرمایه‌گذاری برای خرید یک مجموعه کمپرسور CNG با ظرفیت ۲۰۰ فوت مکعب در دقیقه مجهز به موتور گازسوز با قدرت ۳۱۰۰hp اسب بخار، حدود ۲۲۰۰۰ دلار بیشتر از مجموعه کمپرسور مشابه مجهز به موتور الکتریکی است، ولیکن هزینه کل سرمایه‌گذاری برای هر یک از دو ایستگاه عرضه CNG (مجهز به موتور گازسوز و یا موتور الکتریکی) تقریباً یکسان است. این امر به علت وجود هزینه‌های اضافی مربوط به نصب تجهیزات الکتریکی جانبی مورد نیاز برای موتور الکتریکی ۱۰۰hp (شامل تابلوی برق، ترانسفورماتور، تصحیح کننده ضریب توان، سیستم کنترل موتور و...) می‌باشد. به عبارت دیگر هزینه کل سرمایه‌گذاری برای هر دو نوع ایستگاه عرضه CNG مجهز به موتور گازسوز و یا موتور الکتریکی تقریباً یکسان است [۱۰].

۴. مقایسه هزینه‌های بهره‌برداری

هزینه‌های بهره‌برداری، از مجموع هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های مصرف انرژی (گاز طبیعی در موتور گازسوز و یا برق در موتور الکتریکی) تشکیل شده است.



۴-۱- هزینه تعمیر و نگهداری

الف- هزینه تعمیر و نگهداری موتور گازسوز:

هزینه‌های تعمیر و نگهداری برای موتور گازسوز با توان ۱۰۰ اسب بخار ۰/۰۲ دلار بر اسب بخار - ساعت است [۱۰]. بنابراین هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه یک موتور گازسوز با توان ۱۰۰hp برای ۵۰۰۰ ساعت کارکرد سالیانه، به طور متوسط برابر با ۹۳ میلیون ریال است.

ب- هزینه‌های تعمیر و نگهداری موتور الکتریکی

هزینه‌های تعمیر و نگهداری یک موتور الکتریکی حدود ۱/۱ هزینه خرید آن در نظر گرفته شده است. بنابراین هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه یک موتور الکتریکی با توان ۱۰۰hp حدود ۲۰۰۰۰۰۰۰ ریال است.

۴-۲- هزینه‌های مصرف انرژی

برای مقایسه عملکرد موتور گازسوز و موتور الکتریکی، ضروری است مقایسه هزینه واقعی مصرف انرژی سالیانه آن‌ها از دیدگاه ملی صورت پذیرد.

الف- هزینه‌های مصرف انرژی در موتور گازسوز:

میزان انرژی مصرفی سالیانه موتور گازسوز با توان ۱۰۰hp به صورت زیر است.

سوخت مصرفی سالیانه موتور گازسوز ۱۰۰ hp =

$$= 100 \text{ hp} * \frac{736 \text{ j/sec}}{1 \text{ hp}} * \frac{3600 \text{ sec}}{1 \text{ hr}} * \frac{5000 \text{ hr}}{\text{year}} * \frac{1 \text{ Mj}}{10^6 \text{ j}} * \frac{1}{0.32} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ NG}}{40 \text{ Mj}}$$

در رابطه فوق ضریب ۰/۳۲ متوسط بازده موتور گازسوز است [۱،۳،۴].

سوخت مصرفی سالیانه موتور گازسوز ۱۰۰ hp =

$$103500 \text{ M}^3 \text{ NG}$$

بر اساس قانون بودجه سال ۱۳۸۶، قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی ۶۹۰ ریال است. به این ترتیب هزینه سالیانه مصرف

سوخت در جایگاه عرضه گاز طبیعی فشرده (CNG) با موتور گازسوز ۱۰۰hp عبارت است از:

هزینه اقتصادی گاز مصرفی سالیانه موتور گازسوز با توان ۱۰۰hp =

$$= 103500 \times 690 = 71.415 \times 10^6 \frac{\text{Rials}}{\text{year}} \equiv 71.415 \frac{\text{MRials}}{\text{Year}}$$

بنابراین هزینه سالیانه سوخت گاز طبیعی در موتور گازسوز مورد استفاده در ایستگاه عرضه گاز طبیعی فشرده (CNG) برابر ۷۷۴۱۵ میلیون ریال است.

ب- هزینه‌های مصرف انرژی در موتور الکتریکی

میزان انرژی مصرفی سالیانه موتور الکتریکی با توان ۱۰۰hp به صورت زیر خواهد بود.

انرژی مصرفی سالیانه موتور الکتریکی ۱۰۰hp =

$$100 \text{ hp} * \frac{1}{0.8} * \frac{0.736 \text{ KWh}}{1 \text{ hp}} * \frac{5000 \text{ hr}}{1 \text{ year}} = 460,000 \frac{\text{kwh}}{\text{year}}$$

در رابطه فوق ضریب ۰/۸ راندمان موتور الکتریکی است. انرژی مصرفی سالیانه موتور الکتریکی ۱۰۰hp برابر $460,000 \frac{\text{kwh}}{\text{year}}$ بر اساس قانون بودجه سال ۱۳۸۶، قیمت هر کیلووات ساعت برق ۶۴۲ ریال است. به این ترتیب هزینه سالیانه مصرفی جایگاه عرضه گاز طبیعی فشرده (CNG) با موتور الکتریکی ۱۰۰hp عبارت است از: هزینه اقتصادی سالیانه مصرفی سالیانه موتور الکتریکی ۱۰۰hp =

$$= 295.32 \times 10^6 \frac{\text{Rials}}{\text{year}} \equiv 295.32 \frac{\text{MRials}}{\text{year}}$$

به این ترتیب هزینه اقتصادی سالیانه مصرف برق موتور الکتریکی مورد استفاده در ایستگاه عرضه CNG برابر ۲۹۵۳۲ میلیون ریال است. باتوجه به موارد مطرح شده در بند (۱-۴) و (۲-۴)، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و مصرف انرژی و کل هزینه‌های بهره‌برداری از موتور گازسوز و موتور الکتریکی در ایستگاه‌های عرضه گاز طبیعی فشرده (CNG)، به صورت جدول زیر خواهد بود.

جدول ۱- مقایسه هزینه‌های بهره‌برداری از موتور گازسوز و موتور الکتریکی مشابه در ایستگاه‌های عرضه گاز طبیعی فشرده

| نسبت هزینه‌های بهره‌برداری موتور گازسوز به موتور الکتریکی | موتور الکتریکی ۱۰۰hp | موتور گازسوز ۱۰۰hp | |
|---|-------------------------|-----------------------|---|
| ۴۶،۵ | ۲ | ۹۳ | هزینه تعمیر و نگهداری (میلیون ریال) |
| ۰،۲۴ | ۲۹۵،۳۲ | ۷۱،۴۱۵ | هزینه انرژی مصرفی سالیانه (میلیون ریال) |
| ۰،۵۵۳ | ۲۹۷،۳۲ | ۱۶۴،۴۱۵ | کل هزینه‌های بهره‌برداری (مجموع هزینه‌های تعمیر و نگهداری مصرف انرژی) (میلیون ریال) |



با توجه به جدول فوق مشاهده می شود که کل هزینه های بهره برداری موتور گاز سوز ۱۰۰hp به عنوان محرک کمپرسور با احتساب هزینه های واقعی برق و گاز طبیعی و هزینه های تعمیر و نگهداری، حدود ۵/۵٪ هزینه های بهره برداری از موتور الکتریکی مشابه است. بنابراین استفاده از موتور گازسوز برای محرک کمپرسور، از دیدگاه ملی، منجر به حدود ۴۵ درصد صرفه جویی اقتصادی در هزینه های بهره برداری خواهد شد.

۵. مقایسه بازده کل

منظور از بازده کل، بازده تبدیل انرژی اولیه (گاز طبیعی) به انرژی نهایی (نیروی محرکه کمپرسور) است. بنابراین بازده کل استفاده از موتور گازسوز برابر با نسبت نیروی محرکه تولید شده در موتور

گازسوز به انرژی گاز مصرفی ورودی می باشد. در حالی که بازده کل استفاده از موتور الکتریکی برابر با حاصلضرب بازده تبدیل انرژی گاز طبیعی به برق در نیروگاه های حرارتی کشور، بازده شبکه انتقال و توزیع برق تا محل مصرف کننده و بازده تبدیل انرژی برق به نیروی محرکه در موتور الکتریکی می باشد.

برای محرک کمپرسور CNG بجای استفاده از موتور الکتریکی، بازده کل استفاده از انرژی سوخت بیش از ۲ برابر خواهد شد. میزان صرفه جویی سوخت حاصل از این اقدام بصورت زیر خواهد بود. میزان برق مصرفی سالیانه موتور الکتریکی ۱۰۰hp (با توجه به محاسبات بند ۲ گزارش) = $460,000 \frac{kwh}{year}$ میزان گاز طبیعی مورد نیاز برای تأمین برق مصرفی معادل =

$$460,000 \frac{kwh}{year} \times \frac{1}{0.156} * \frac{1m^3 N.G}{11.11Kwh} = 265,411 m^3 N.G$$

انرژی مصرفی سالیانه موتور گازسوز (با توجه به محاسبات بند ۲ گزارش) = $103500 \frac{m^3 N.G}{year} = 100 hp$ میزان صرفه جویی سالیانه سوخت در اثر استفاده از موتور گازسوز =

$$(265411 - 103500) = 161,911 \frac{m^3 N.G}{year}$$

۱۰۰hp بجای موتور الکتریکی مشابه

با توجه به محاسبات فوق، در صورت استفاده از موتور گازسوز ۱۰۰hp بجای موتور الکتریکی مشابه، از دیدگاه ملی سالیانه بیش از ۱۶۱۹۰۰ مترمکعب گاز طبیعی صرفه جویی خواهد شد.

۶. مقایسه هزینه لازم برای تأمین انرژی مورد نیاز

با توجه به این که وزارت نیرو با مشکل تأمین تقاضای برق مواجه است بنابراین هرگونه افزایش تقاضای برق نیازمند سرمایه گذاری

۵-۱- بازده کل استفاده از موتور گازسوز:

با توجه به موارد فوق، بازده کل استفاده از موتور گازسوز به عنوان محرک کمپرسور مطابق با اطلاعات سازندگان، به طور متوسط ۳۲٪ است. زیرا بازده تبدیل انرژی گاز مصرفی به نیروی محرکه مفید در موتور گازسوز به طور متوسط ۳۲٪ است. [۴، ۳، ۱] قابل ذکر است در مرجع ۱، بازده موتور گازسوز ۳۶-۲۸٪ ذکر شده و در مرجع ۳، ۳۵٪ و در مرجع ۴، ۳۲٪ ارائه شده است.

۵-۲- بازده کل استفاده از موتور الکتریکی:

مطابق اطلاعات ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۴، بازده سیستم تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در کشور برابر با ۱۹/۵ درصد است. [۲] با احتساب بازده موتور الکتریکی برابر ۸۰٪، بازده کل برابر ۱۵/۶ درصد می شود. به عبارت دیگر از یک واحد انرژی گاز مصرفی در نیروگاه های تولید برق، تنها ۱۵/۶٪ آن به صورت انرژی مفید در کمپرسور CNG مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به مطالب فوق، در صورت استفاده از موتور گازسوز

به جای موتور الکتریکی مشابه، علیرغم نیاز به سرمایه گذاری اولیه یکسان، از دیدگاه ملی منتج به کاهش حدود ۴۵ درصد هزینه های بهره برداری شده و همچنین بیش از ۲ برابر (معادل ۱۶۱۹۰۰ مترمکعب گاز طبیعی) صرفه جوئی در مصرف سوخت ایجاد خواهد نمود. ضمن این که این جایگزینی از سرمایه گذاری جدید در صنعت برق جلوگیری کرده و استفاده از این سرمایه گذاری را در سایر بخش های زیربنائی کشور میسر می نماید. بنابراین پیشنهاد می گردد در احداث ایستگاه های عرضه گاز طبیعی فشرده از موتورهای گازسوز به جای موتورهای الکتریکی استفاده گردد. این امر از دیدگاه ملی تصمیم با اهمیتی خواهد بود.

۸. مراجع:

- ۱- گزارش مؤسسه عالی پژوهشی خودرو، محیط زیست و سوخت، «ایستگاه های سوخت رسانی» CNG انتشارات شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۵
- ۲- ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۴
- ۳- مدارک و مستندات شرکت Deutz بر گرفته از وب سایت www.deutz.com شرکت آلمانی معتبر و سازنده موتورهای گازسوز
- ۴- مدارک و مستندات شرکت General Motors بر گرفته از وب سایت www.hindle.co.uk/GMC

جدید برای تولید و انتقال و توزیع برق است. با توجه به اطلاعات موجود برای تأمین تقاضای هر کیلووات توان برق، نیاز به بیش از ۹/۳ میلیون ریال (معادل ۱۰۰۰ دلار) سرمایه گذاری در تولید و انتقال و توزیع برق می باشد. بنابراین برای تأمین تقاضای برق مربوط به موتور الکتریکی ۱۰۰hp مورد استفاده در ایستگاه عرضه CNG وزارت نیرو و به طبع آن دولت نیازمند بیش از ۶۹۷/۵ میلیون ریال (معادل ۷۵۰۰۰ دلار) سرمایه گذاری خواهد بود. این در حالی است که هزینه سرمایه گذاری اضافی برای تأمین انرژی مورد نیاز برای موتور گازسوز مورد استفاده در ایستگاه عرضه CNG قابل صرف نظر است. زیرا برخلاف تولید برق از گاز در این حالت نیازی به تبدیل انرژی نیست. همچنین سرمایه گذاری لازم برای انتقال گاز طبیعی به ایستگاه گاز طبیعی فشرده، جزء لاینفک ایستگاه های عرضه CNG است و افزایش موتور گازسوز تأثیر زیادی بر افزایش آن نخواهد داشت.

۷. نتیجه گیری:

در جدول ۲ خلاصه نتایج مقاله برای مقایسه استفاده از موتور گازسوز و موتور الکتریکی مشابه به عنوان محرک کمپرسور در ایستگاه های عرضه CNG ارائه شده است. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲، استفاده از موتور گازسوز

جدول ۲- مقایسه استفاده از موتور گازسوز و موتور الکتریکی مشابه به عنوان محرک کمپرسور در ایستگاه های عرضه CNG

| ردیف | پارامتر مورد مقایسه | موتور گازسوز ۱۰۰hp | موتور الکتریکی ۱۰۰hp | توضیحات |
|------|--|-----------------------|-------------------------|---|
| ۱ | هزینه سرمایه گذاری | تقریباً یکسان | | هزینه سرمایه گذاری برای استفاده موتور الکتریکی همراه با متعلقات آن و موتور گازسوز مشابه تقریباً یکسان است. |
| ۲ | هزینه های بهره برداری (مصرف انرژی + تعمیر و نگهداری) (میلیون ریال) | ۱۶۴,۴۱۵ | ۲۹۷,۳۲ | هزینه های بهره برداری از موتور گازسوز بیش از ۶۶ درصد کمتر از هزینه های موتور الکتریکی مشابه است. |
| ۳ | بازده کل (%) | ۳۲ % | ۱۵,۶ % | در صورت استفاده از موتور گازسوز ۱۰۰ hp به جای موتور الکتریکی مشابه، از دیدگاه ملی سالیانه بیش از ۱۶۱۹۰۰ مترمکعب گاز طبیعی صرفه جوئی خواهد شد. |
| ۴ | هزینه لازم برای تأمین انرژی مصرفی (میلیون ریال) | ----- | ۶۹۷/۵ | صنعت برق برای تأمین افزایش تقاضای برق ناشی از استفاده از موتور الکتریکی ۱۰۰hp ، نیاز به بیش از ۶۹۷/۵ میلیون ریال سرمایه گذاری خواهد داشت. |