

مدلسازی انتقال مخازن CNG برای تامین موقت نیاز گاز طبیعی

رامین روشندل^۱ - سونا ستاری^۲

چکیده

همه ساله بخش عظیمی از بودجه کشور که بایستی صرف ایجاد زیرساختهای صنعتی و اقتصادی کشور شود صرف تامین هزینههای واردات بنزین و پرداخت یارانههای مربوط به آن می شود بنابراین با توجه به افزایش چشمگیر مصرف بنزین و گازوئیل در کشور، لزوم استفاده از سوختی جایگزین در بخش حمل و نقل در سالهای اخیر به خوبی احساس می شود. از سوی دیگر ایران با داشتن دومین رتبه ذخائر گازی جهان و همچنین شبکه گسترده خط لوله گاز زمینه لازم برای استفاده گسترده از گاز طبیعی را داراست. معمولا برای انتقال گاز طبیعی از خطوط لوله استفاده می شود. انتقال گاز طبیعی با استفاده از کشتنده و تریلر یکی از راههای تامین نیاز گاز طبیعی به خصوص در مناطق روستایی که احداث خط لوله مقرون به صرفه نیست می باشد. در این روش مخازن گاز CNG توسط تریلرهای مخصوص به ایستگاههای فرعی که به خطوط لوله متصل نیستند منتقل شده توسط دستگاههای توزیع کننده به خودروها تزریق می شود. در این روش به ایستگاههای اصلی، ایستگاه مادر و به ایستگاههای فرعی که به خطوط لوله متصل نیستند ایستگاه دختر گفته می شود. به دلیل هزینه بالای کشتنده و تریلرهای مورد استفاده،

۱. کارشناس گروه مدیریت انرژی، مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی، Roshandel@iies.net

۲. رئیس پژوهشکده نانوتکنولوژی پژوهشگاه صنعت نفت Sattari@ripi-ir

محاسبه تعداد کشته و تریلر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تعداد تریلر و کشته مورد نیاز به ظرفیت ایستگاه دختر (تقاضای گاز طبیعی) و فاصله ایستگاههای مادر و دختر بستگی دارد. برای این منظور یک مدل ریاضی توسعه داده شد. در این نوشتار هزینه‌های مختلف استفاده از این روش بر حسب ظرفیت ایستگاه دختر و فاصله ایستگاه مادر - دختر از یکدیگر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: گاز طبیعی فشرده، مدل‌سازی، انتقال گاز طبیعی.

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر که موضوع تامین منابع انرژی و مسائل زیست‌محیطی در اولویت بوده، استفاده از گاز طبیعی نیز بیش از پیش مورد توجه کشورهای جهان قرار گرفته است. رشد بی‌رویه مصرف بنزین در سالهای اخیر و عدم توانایی پالایشگاههای کشور در تامین این نیاز موجب شده تا همه ساله هزینه زیادی برای واردات بنزین به کشور صرف شود. در سال گذشته مصرف متوسط بنزین بیش از ۷۳ میلیون لیتر در روز بوده است و در صورتیکه روند فعلی رشد مصرف به این صورت ادامه یابد، مصرف بنزین در کشور تا سال ۱۴۰۳ هجری شمسی به بیش از ۲۱۷ میلیون لیتر در روز خواهد رسید. با توجه به تولید داخلی بنزین در پالایشگاه‌های کشور (حدود ۴۲ میلیون لیتر در روز) بخش عمده‌ای از این نیاز از خارج از کشور تامین شده که تامین آن فشار زیادی بر منابع ارزی کشور وارد ساخته است. کل یارانه انرژی در سال ۱۳۸۴ معادل ۴۶/۲۵ میلیارد دلار بوده است که بیش از ۲۲٪ آن صرف بنزین شده است. به این ترتیب یارانه بنزین از ۷/۶ میلیارد دلار در سال ۸۴ به ۱۰/۲ میلیارد دلار در سال ۸۵ رسیده است. این در حالی است که درآمد نفتی ما در سال ۸۴ معادل ۵۴ میلیارد دلار بوده که به این ترتیب بیش از ۱۰ درصد کل درآمد کشور صرف یارانه بنزین شده است. به این ترتیب و در شرایط حاضر اتخاذ سیاست‌های جایگزینی حاملهای انرژی در بخش انرژی ضروری به نظر می‌رسد. با مقایسه گزینه‌های موجود استفاده از گاز طبیعی می‌تواند اثرات مثبت اقتصادی و زیست‌محیطی چشمگیری را به دنبال داشته باشد. کل ذخائر گاز طبیعی جهان تا سال ۲۰۰۵ حدود ۱۸۰ تریلیون مترمکعب بوده است [۱] که با توجه به روند کنونی مصرف این مقدار تا ۶۶ سال دیگر جوا بگوی نیاز گاز طبیعی جهان می‌باشد [۲]. فواید استفاده از گاز طبیعی فشرده در خودروها در مقایسه با سایر سوخت‌های

جایگزین به طور تفضیلی در مقالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۳] و [۴]. براساس نتایج حاصل و با در نظر گرفتن شرایط مختلف، گاز طبیعی فشرده به عنوان یکی از بهترین راه‌های تامین سوخت خودروهای احتراق داخلی به شمار می‌رود. علاوه بر این تبدیل خودروهای متداول بنزین سوز به دوگانه سوز (گاز طبیعی به عنوان سوخت دوم) به راحتی امکان پذیر است. همچنین استفاده از گاز طبیعی برای تامین سوخت خودروها می‌تواند به عنوان پلی به سوی استفاده از سوخت هیدروژن به عنوان پاک‌ترین سوخت به شمار آید. تبدیل گاز طبیعی به هیدروژن با استفاده از مبدل‌های سوخت با راندمان بالا امکان پذیر است و بنابراین در آینده می‌توان جایگاه‌های CNG را به جایگاه‌های هیدروژن تبدیل نمود.

در دهه‌های اخیر که موضوع تامین منابع انرژی و مسائل زیست محیطی در اولویت قرار گرفته است، استفاده از گاز طبیعی نیز بیش از پیش مورد توجه کشورهای جهان قرار گرفته است. اولین فعالیت مهم برای گازسوز کردن موتورهای درون سوز در سال ۱۹۳۰ در آمریکا انجام شد و از اوایل دهه ۵۰ میلادی تمایل به استفاده از خودروهای گاز سوز افزایش یافت. کشور کانادا در سال ۱۹۸۲ برنامه گازسوز کردن خودروها NGV را آغاز کرد و در سال ۱۹۸۶ نخستین انجمن بین‌المللی خودروهای گاز طبیعی با نام IANGV در این کشور تشکیل شد. پس از آن به تدریج انجمن‌های ملی و منطقه‌ای خودروهای گازسوز شکل گرفتند. مجمع NGV در ژاپن در سال ۱۹۹۱، انجمن خودروهای گاز طبیعی اروپا در سال ۱۹۹۴ و انجمن ANGVA آسیا و اقیانوسیه در سال ۲۰۰۲، از جمله این تشکلهای می‌باشند. گاز طبیعی به صورت گاز و یا مایعات گازی از چاه‌ها استخراج می‌شود. گاز طبیعی به طور عمده از متان تشکیل شده (بیش از ۹۲٪) و مابقی آن از اتان، پروپان، بوتان و پنتان است. متان بی‌رنگ و بی‌بوست. دمای احتراق گاز طبیعی ۶۴۹ درجه سانتی‌گراد است که ۳۱۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای اشتعال بنزین می‌باشد.

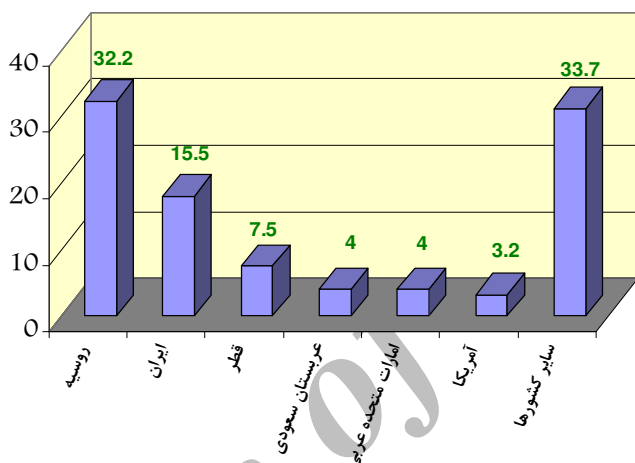
هم‌اکنون بیش از ۶/۳ میلیون خودروی گازسوز در جاده‌های کشورهای مختلف تردد می‌کنند. آرژانتین با بیش از یک میلیون و ششصد هزار، برزیل و پاکستان با بیش از یک میلیون و سیصد هزار و ایتالیا با بیش از چهارصد هزار خودروی گاز سوز بالاترین آمار را در این زمینه دارا می‌باشند. ایران نیز با بیش از دویست و نود هزار خودرو جایگاه ششم جهان را در اختیار دارد.

۲. مزایای استفاده از CNG برای ایران

ایران با داشتن بیش از ۲۶/۷۴ تریلیون متر مکعب ذخائر گاز طبیعی رتبه دوم جهان را در

این بخش در اختیار دارد. شکل زیر جایگاه ایران در میان کشور های دارای ذخائر گاز طبیعی در جهان را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود ایران بیش از ۱۵ درصد کل ذخائر گاز طبیعی جهان را در اختیار دارد.

شکل ۱. درصد ذخائر اثبات شده گاز طبیعی کشورهای مختلف



شبكة گسترده خط لوله گاز طبیعی در کشور نیز یکی از مسائلی است که سیاست گذاران بخش انرژی را به استفاده از این منبع انرژی تشویق می کند. حدود ۵۲۰ شهر و ۲۰۲۰ روستا دارای خط لوله گاز طبیعی می باشند. به این ترتیب در شرایط حاضر اتخاذ سیاست های جایگزینی حامل های انرژی در بخش انرژی ضروری به نظر می رسد و با مقایسه گزینه های موجود استفاده از گاز طبیعی می تواند اثرات مثبت اقتصادی و زیست محیطی چشمگیری را به دنبال داشته باشد.

۳. استفاده از CNG در ایران

در ایران طرح گازسوز کردن خودروها برای اولین بار در سال ۱۳۵۶ در شهر شیراز با تبدیل ۱۲۰۰ دستگاه سواری اجرا گردید و دو ایستگاه سوختگیری CNG برای این منظور در این شهر تاسیس شد. در سال ۱۳۶۶ بیش از ۱۲۰۰ خودرو در شهر مشهد گازسوز شدند و دو جایگاه سوختگیری در سالهای ۱۳۶۷ و ۱۳۷۴ در این شهر احداث گردید. شرکت واحد اتوبوسرانی تهران نیز از سال ۱۳۷۱ فعالیت خود را در زمینه استفاده از اتوبوس های گازسوز آغاز کرد. در حال حاضر بیش از ۲۴۰۰ اتوبوس گازسوز و هفت ایستگاه سوختگیری برای اتوبوسها در شهر تهران فعالیت می کنند. در سال ۱۳۸۱ سه جایگاه نمونه

با ظرفیت ۸۰ متر مکعب در ساعت در تهران راه‌اندازی شد و در سال ۱۳۸۲ عملیات آغاز ساخت بیش از ۳۰۰ جایگاه سوخت CNG در ۴۰ شهر کشور آغاز و در حال حاضر به مرحله بهره برداری رسیده است. با توجه به تبصره ۱۱ قانون بودجه سال ۱۳۸۴ کل کشور و آیین نامه اجرایی مصوب هیئت وزیران در سال جاری، خودروسازان در قبال کمک‌های دریافتی از وزارت نفت مکلف به تولید بیش از ۲۰ درصد از محصولات خود به صورت دوگانه‌سوز یا گازسوز هستند که به این ترتیب شاهد رشد چشمگیر استفاده از خودروهای گازسوز در کشور خواهیم بود. در حال حاضر کشور ما با دارا بودن بیش از ۱۲۵ کارگاه تبدیل ۱۵۰ هزار خودروی CNG و احداث بیش از ۳۰۰ جایگاه سوختگیری در کشور یکی از کشورهای پیشرو در صنعت CNG جهان به شمار می‌رود [۷].

۴. روش مادر - دختر

برای سوخت‌گیری خودروهای گازسوز دو روش کلی وجود دارد: سوخت‌گیری تند و سوخت‌گیری کند. در سوخت‌گیری تند گاز طبیعی فشرده شده در مخازن ذخیره می‌شود و پس از آن از طریق توزیع‌کننده‌ها (Dispenser) به خودرو تزریق می‌شود. به این ترتیب در این روش ترتیب پر شدن مخازن ذخیره جایگاه و مخزن خودروها به گونه‌ای انجام می‌شود که زمان سوخت‌گیری خودرو حدود ۵-۳ دقیقه باشد. در بسیاری از جایگاه‌های CNG در کشور از این روش استفاده می‌شود. اما در روش سوخت‌گیری کند، گاز طبیعی فشرده به صورت مستقیم از کمپرسور وارد مخزن CNG خودرو می‌شود. از این روش معمولاً برای سوخت‌گیری خودروهای عمومی سنگین و یا پارکینگ‌های خصوصی استفاده می‌شود. زمان سوخت‌گیری برای این خودروها حدود ۵ تا ۹ ساعت می‌باشد. در این سال‌های اخیر سیستم سوخت‌گیری گاز طبیعی خانگی نیز طراحی و تأیید شده است. در این سیستم، مخازن خودروها در طول شب و در حالیکه در پارکینگ قرار دارند، پر می‌شوند. بدون در نظر گرفتن این نکته که جایگاه CNG از روش سوخت‌گیری تند استفاده می‌کند یا کند، سه نوع کلی جایگاه‌های CNG وجود دارد:

- جایگاه‌های متداول متصل به خطوط لوله گاز سراسری
- جایگاه‌های مادر
- جایگاه‌های دختر

ایستگاه‌های مادر یا اصلی، جایگاه‌هایی هستند که به خط لوله سراسری گاز متصل می‌باشند. در واقع هر ایستگاه معمولی CNG که در شبانه روز ظرفیت خالی داشته باشد

می تواند به عنوان یک جایگاه مادر مورد استفاده قرار گیرد. گاز طبیعی سپس توسط مخازن خاصی بارگیری شده و توسط تریلر به جایگاههای فرعی یا دختر ارسال می شود. در ایستگاههای دختر نیز توسط توزیع کننده ها گاز طبیعی به مصرف کننده های نهایی تحویل می شود.

۵. مدلسازی ریاضی

در این قسمت برای بررسی فنی - اقتصادی استفاده از روش مادر - دختر یک مدل ریاضی توسعه داده شده است. مدل ارائه شده از سه بخش تشکیل می شود:

- سیستم حمل و نقل مخازن CNG
- ارزیابی فنی - اقتصادی جایگاههای مادر
- ارزیابی فنی - اقتصادی جایگاههای دختر

۵-۱. سیستم انتقال مخازن CNG

همانطور که پیشتر بدان اشاره شد برای انتقال مخازن CNG از کشنده و تریلرهای ویژه ای استفاده می شود. به دلیل هزینه بالای کشنده و تریلرهای مورد استفاده، محاسبه تعداد کشنده و تریلر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. تعداد تریلر و کشنده مورد نیاز به ظرفیت ایستگاه دختر (تقاضای گاز طبیعی) و فاصله ایستگاههای مادر و دختر بستگی دارد.

۵-۱-۱. فرضیات مدل

- انتقال مخازن CNG توسط کشنده و تریلرها انجام می شود.
- هر تریلر ظرفیت حمل ۵۰۰۰ متر مکعب گاز طبیعی را دارد.
- هر کشنده در روز تا دو بار می تواند بین ایستگاه مادر و دختر حرکت کند (دو سرویس در روز).
- حداکثر مسافت پیموده شده برای هر کشنده در روز ۳۰۰ کیلومتر می باشد.

۵-۱-۲. تاثیر فاصله بین ایستگاه مادر و دختر بر تعداد کشنده و تریلر مورد نیاز

با توجه به فرضیات مطرح شده سه مدل حمل و نقل بر اساس فاصله بین ایستگاه مادر و دختر در نظر گرفته شده است:

- مدل ۱: وقتی که فاصله بین ایستگاه مادر و دختر کمتر از یک چهارم حداکثر

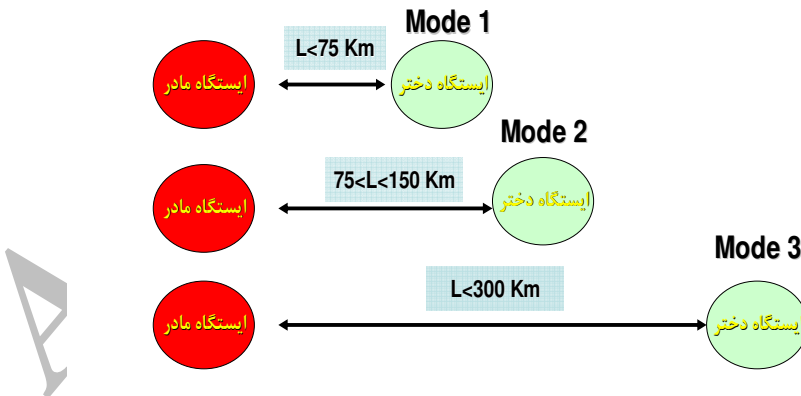
مسافت پیموده شده توسط کشنده باشد.

- مد ۲: وقتی که فاصله بین ایستگاه مادر و دختر کمتر از نصف حداکثر مسافت پیموده شده توسط کشنده و بیش از یک چهارم این مقدار باشد.
- مد ۳: وقتی که فاصله بین ایستگاه مادر و دختر کمتر از حداکثر مسافت پیموده شده و بیش از نصف این مقدار باشد.

حداکثر پیمایش متوسط مجاز هر کشنده در روز ۳۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. به این ترتیب تا زمانی که فاصله حداکثر یک چهارم این مقدار (۷۵ کیلومتر) باشد. الگوی حرکت کشنده ها مطابق مد اول، زمانی که فاصله حداکثر نصف حداکثر پیمایش متوسط مجاز هر کشنده باشد مطابق مد دوم و زمانی که فاصله بیش از نصف حداکثر پیمایش متوسط مجاز باشد مطابق مد چهارم الگوی حرکت کشنده ها و تعداد تریلر مطابق مد سه خواهد بود. با فرض در نظر گرفتن ۳۰۰ کیلومتر به عنوان حداکثر مسافت پیموده شده توسط هر کشنده فواصل تغییر مد از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_n = \frac{S_{Max}}{4} \times 2^{n-1}$$

شکل ۲. مدهای مختلف انتقال مخازن گاز طبیعی بر حسب فاصله جایگاه مادر - دختر

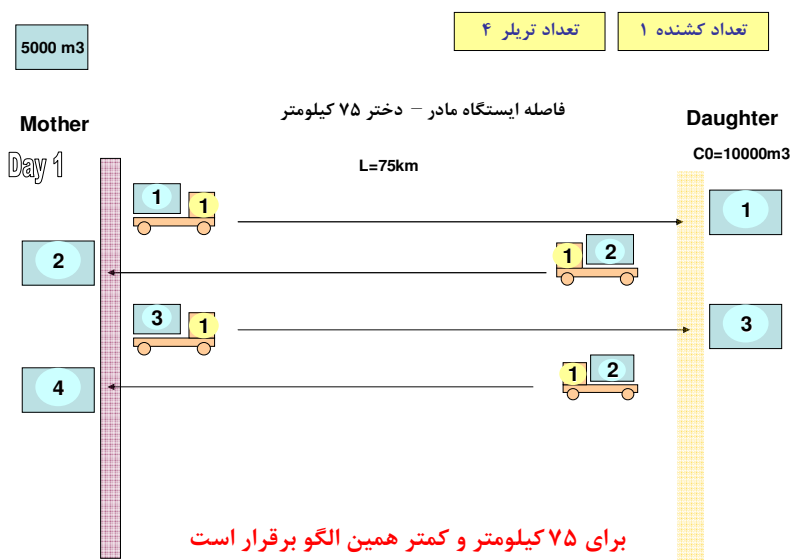


۳-۱-۵. تاثیر ظرفیت ایستگاه دختر بر تعداد کشنده و تریلر مورد نیاز

با توجه به فرضیات مدل، هر تریلر در هر سرویس ۵۰۰۰ متر مکعب گاز طبیعی را منتقل می کند. به این ترتیب تعداد کشنده و تریلر مورد نیاز در روش مادر - دختر به ظرفیت

ایستگاه دختر و فاصله بین دو جایگاه بستگی دارد. در شکل زیر الگوی تامین گاز طبیعی با استفاده از کشنده و تریلر برای جایگاه دختر با ظرفیت ۱۰۰۰۰ متر مکعب گاز طبیعی در روز هنگامی که فاصله بین ایستگاه مادر و دختر کمتر از ۷۵ کیلومتر باشد (مد ۱) نشان داده شده است.

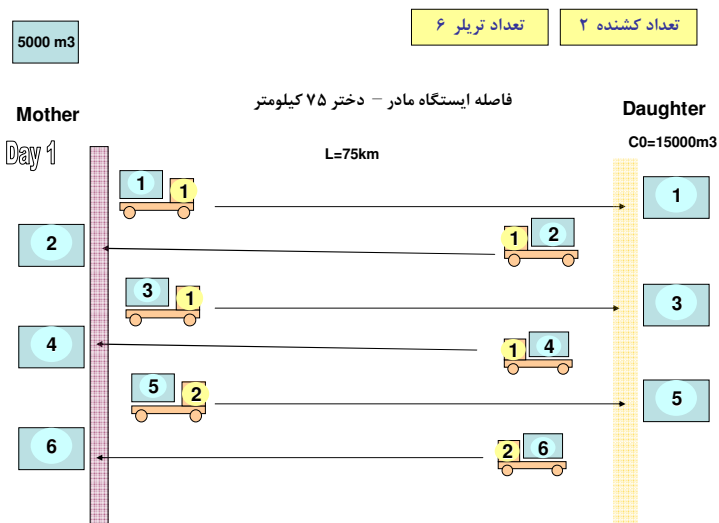
شکل ۳. الگوی تامین گاز طبیعی با استفاده از کشنده و تریلر برای جایگاه دختر با ظرفیت ۱۰۰۰۰ متر مکعب و فاصله ۷۵ کیلومتر بین دو جایگاه



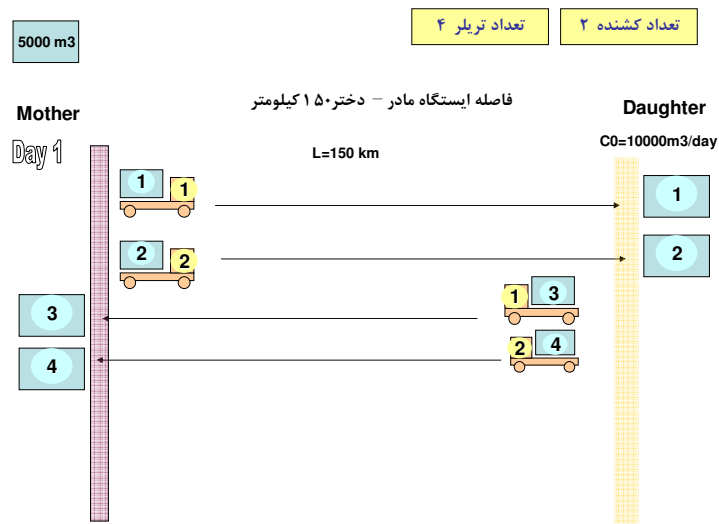
در صورتیکه ظرفیت ایستگاه دختر افزایش یابد تعداد تریلر و کشنده مورد نیاز هم افزایش می یابد. در حالتیکه ظرفیت ایستگاه دختر به ۱۵۰۰۰ متر مکعب در روز افزایش یابد تعداد کشنده ها به دو دستگاه افزایش می یابد اما کشنده دومی فقط یک بار در روز بین جایگاه مادر و دختر حرکت می کند و به این ترتیب سیستم دارای یک ظرفیت خالی و بدون استفاده می باشد. در شکل ۴ الگوی این حالت نشان داده شده است.

در مد ۲ فاصله بین جایگاه مادر و دختر بین ۷۵ و ۱۵۰ کیلومتر می باشد در این حالت در صورتیکه ظرفیت ایستگاه دختر ۱۰۰۰۰ متر مکعب در روز باشد تعداد کشنده و تریلر مورد نیاز با استفاده از الگوی ۵ به دست می آید.

شکل ۴. الگوی تامین گاز طبیعی با استفاده از کشنده و تریلر برای جایگاه دختر با ظرفیت ۱۵۰۰۰ متر مکعب و فاصله ۷۵ کیلومتر بین دو جایگاه



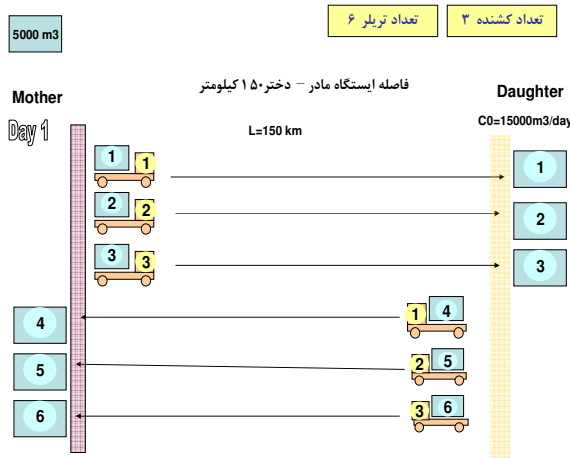
شکل ۵. الگوی تامین گاز طبیعی با استفاده از کشنده و تریلر برای جایگاه دختر با ظرفیت ۱۰۰۰۰ متر مکعب و فاصله ۱۵۰ کیلومتر بین دو جایگاه



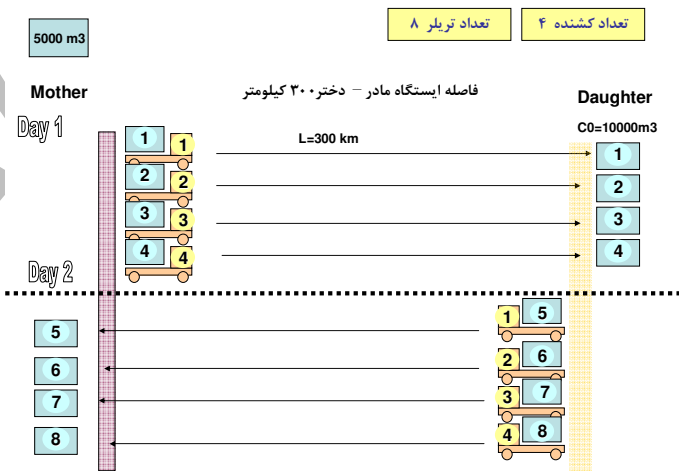
در صورتیکه در این مد، ظرفیت ایستگاه دختر به ۱۵۰۰۰ متر مکعب در روز افزایش یابد الگوی تامین گاز طبیعی به شکل ۶ در خواهد آمد.

در این مد فاصله بین دو جایگاه بین ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلومتر می باشد. در این حالت برای تامین گاز طبیعی جایگاههای دختر با دختر با توجه به بعد مسافت هر کشنده به دو روز زمان نیز دارد. با در نظر گرفتن ظرفیت ۱۰۰۰۰ متر مکعب در روز و ۱۵۰۰۰ متر مکعب در روز برای جایگاه دختر، تامین الگوی گاز طبیعی مطابق شکل ۷ و ۸ خواهد بود.

شکل ۶. الگوی تامین گاز طبیعی با استفاده از کشنده و تریلر برای جایگاه دختر با ظرفیت ۱۰۰۰۰ متر مکعب و فاصله ۱۵۰ کیلومتر بین دو جایگاه



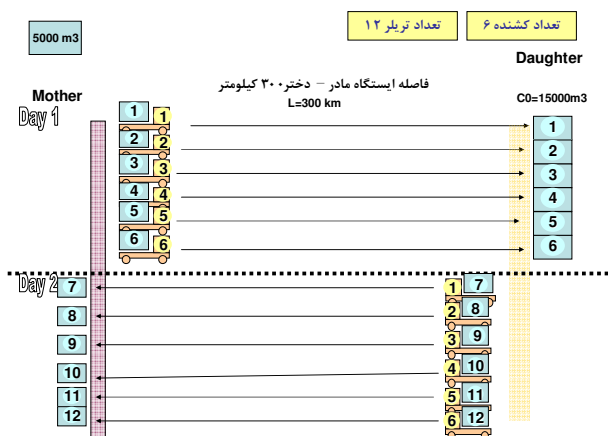
شکل ۷. الگوی تامین گاز طبیعی با استفاده از کشنده و تریلر برای جایگاه دختر با ظرفیت ۱۰۰۰۰ متر مکعب و فاصله ۳۰۰ کیلومتر بین دو جایگاه



فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی

به این ترتیب با توجه به الگوهای ارائه شده تعداد کشنده و تریلرهای مورد نیاز در مدهای مختلف از جدول ۱ به دست می‌آید.

شکل ۸. الگوی تامین گاز طبیعی با استفاده از کشنده و تریلر برای جایگاه دختر با ظرفیت ۱۵۰۰۰ متر مکعب و فاصله ۳۰۰ کیلومتر بین دو جایگاه



جدول ۱. تعداد تریلر و کشنده مورد نیاز در هر مد بر حسب ظرفیت گازرسانی

مد ۳		مد ۲		مد ۱			ظرفیت متر مکعب در روز
تعداد تریلر	تعداد کشنده	تعداد تریلر	تعداد کشنده	تعداد سرویس	تعداد تریلر	تعداد کشنده	
۸	۴	۴	۲	۲	۴	۱	۱۰۰۰۰
۱۲	۶	۶	۳	۱ و ۲	۶	۲	۱۵۰۰۰
۱۶	۸	۸	۴	۲ و ۲	۸	۳	۲۰۰۰۰
۲۰	۱۰	۱۰	۵	۱ و ۲ و ۲	۱۰	۳	۲۵۰۰۰
۲۴	۱۲	۱۲	۶	۲ و ۲ و ۲	۱۲	۳	۳۰۰۰۰

۱-۴-۵. هزینه سیستم انتقال مخازن CNG

هزینه‌های سیستم انتقال گاز طبیعی با استفاده از روش مادر-دختر شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه سوخت و هزینه پرسنلی می‌باشد. که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$I_c = n_{Truck} I_{Truck} + n_{Trailer} I_{Trailer} + n_{Package} I_{Package} \quad (1)$$

$$a_n = I_0 \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (2)$$

در معادله (۱)، n_{truck} ، $n_{trailer}$ و $n_{package}$ تعداد کشنده، تعداد تریلر و مخازن CNG مورد نیاز می‌باشند که با استفاده از مدل ارائه شده محاسبه می‌شوند. I_0 کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه می‌باشد. نرخ تنزیل در معادله (۲) ۱۰٪ فرض شده است. در جدول زیر هزینه در نظر گرفته شده برای خرید کشنده، تریلر و مخازن گاز طبیعی فشرده آورده شده است:

جدول ۲. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای خرید کشنده، تریلر و پکیج‌های مخازن گاز طبیعی فشرده

I_{Truck}	1,000,000,000 Rial	قیمت کشنده
$I_{Trailer}$	135,000,000 Rial	قیمت تریلر
$I_{Package}$	218,145,000 Rial	قیمت پکیج

هزینه تعمیر و نگهداری کشنده و تریلر

هزینه تعمیر و نگهداری سالانه ۳٪ هزینه کل سرمایه‌گذاری تجهیزات در نظر گرفته شده است و از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$M = 3\% I_0 \times D_{Factor} - S \times 3\% (I_{Truck} + 2I_{Trailer} + 4I_{Package}) \times 0.5 \times D_{Factor} \quad (3)$$

$$D_{Factor} = \begin{cases} \frac{L}{75} & \text{Mode 1} \\ \frac{L}{150} & \text{Mode 2} \\ \frac{L}{300} & \text{Mode 3} \end{cases} \quad (4)$$

اگر در مد ۱، یکی از کشنده‌ها یک سرویس در روز داشته باشد، مقدار $S=1$ و در صورت استفاده از کشنده با ظرفیت کامل $S=0$ فرض می‌شود. در سایر مدها $S=0$ فرض می‌شود. D_{Factor} فاکتور فاصله می‌باشد که از معادله (۴) به دست می‌آید. هزینه سوخت برای کشنده‌ها از معادلات زیر به دست می‌آید. مصرف سوخت کشنده‌ها ۴۰ لیتر گازوئیل به ازاء هر ۱۰۰ کیلومتر پیمایش در نظر گرفته شده است.

$$F = L_{Total} \times \left(\frac{40 \text{ lit}}{100 \text{ Km}} \right) \times 165 \times 365 \quad (5)$$

$$L_{Total} = \begin{cases} n_{Truck} \times 4L \\ (n_{Truck} - 1) \times 4L + 2L \end{cases} \quad (6)$$

$$L'_{Total} = n_{Truck} \times 2L \quad (7)$$

$$L''_{Total} = n_{Truck} \times L \quad (8)$$

به این ترتیب هزینه کل سیستم انتقال مخازن گاز طبیعی فشرده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I_{total} = I + M + F + p \quad (10)$$

۲-۵. هزینه جایگاههای مادر

برای مقایسه هزینه هر متر مکعب گاز طبیعی، هزینه‌های مربوط به تجهیزات جایگاه، ساخت و ساز، هزینه انشعاب آب، برق و گاز و زمین در نظر گرفته شده است. فشار گاز ورودی در جایگاه‌های نوع ۱، ۹۰۰ PSI، نوع ۲ و ۳، ۲۵۰ PSI، و نوع ۴ برابر ۶۰ PSI می‌باشد. در این محاسبات قیمت هر متر مربع زمین ۳ میلیون و دویست هزار ریال به طور متوسط در نظر گرفته شده است. در جدول زیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث چهار نوع جایگاه اصلی با ظرفیتهای مختلف نشان داده شده است.

جدول ۳. هزینه کل و هزینه هر مترمکعب گاز طبیعی در جایگاههای CNG با ظرفیتهای مختلف

ردیف	ظرفیت روزانه m3/Day	هزینه تجهیزات \$	هزینه کل جایگاه با احتساب زمین (میلیون ریال)	Rial/m3	هزینه کل جایگاه بدون احتساب زمین (میلیون ریال)	Rial/m3
۱	۴۰۰۰۰	۴۱۸۰۰۰	۱۳۹۸۴	۴۷/۹	۷۵۶۰	۲۶
۲	۳۲۰۰۰	۴۱۰۰۰۰	۱۳۹۱۰	۵۹/۵	۷۵۲۶	۳۲/۲
۳	۱۶۰۰۰	۳۰۶۰۰۰	۱۰۸۰۴	۹۷/۲	۶۰۱۵	۵۶/۲
۴	۱۶۰۰۰	۳۴۰۰۰۰	۱۱۱۱۶	۹۹/۹	۶۳۲۸	۵۸/۹

۳-۵. هزینه جایگاه های دختر

جهت گاز رسانی سیار CNG، می توان از دو روش استفاده کرد:

- استفاده از تریلرهایی با سبد متحرک

در این روش سبدهای گاز توسط تریلر از ایستگاه مادر بار گیری شده و در ایستگاه دختر روی سکوهایی خاصی قرار می‌گیرد. تجهیزات لازم در این روش شامل سبدها، سکو و

تجهیزات تقلیل فشار می باشد.

• استفاده از تریلهایی با سبد ثابت

در این روش سبدها در روی تریلرها ثابت شده‌اند و در ایستگاه دختر از کشنده جدا شده و در ایستگاه دختر قرار می‌گیرند به این ترتیب در این روش نیازی به سکو نمی‌باشد. در جدول زیر هزینه احداث و تجهیزات لازم برای ایستگاههای دختر در ظرفیت‌های مختلف آورده شده است:

جدول ۴. هزینه احداث و تجهیزات لازم برای ایستگاههای فرعی (دختر) در ظرفیت‌های مختلف

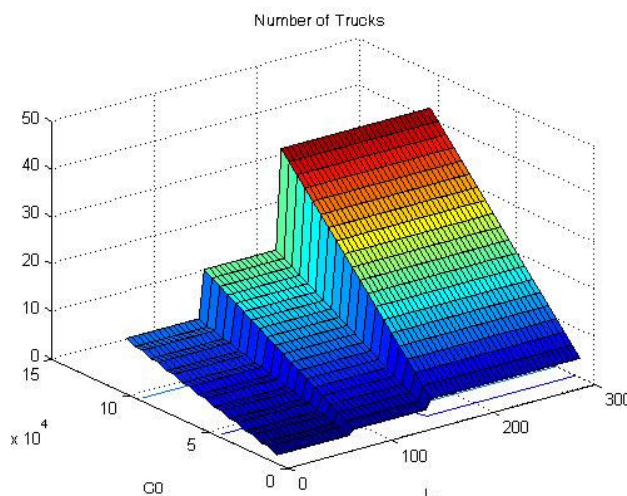
ردیف	ظرفیت عملیاتی بر اساس پیک مصرف m ³ /Day	هزینه روش سبد متحرک (میلیون ریال)	هزینه روش سبد ثابت (میلیون ریال)
۱	۱۰۱,۹۹۵	۲۹۰۸/۸	۱۲۰۰
۲	۵۳,۷۷۵	۲۲۳۹/۲	۱۱۰۰
۳	۴۲,۱۰۵	۱۸۵۴/۴	۱۰۰۰
۴	۲۱,۸۷۰	۱۲۲۷/۲	۸۰۰
۵	۱۴,۱۶۷	۱۰۲۴	۷۰۰

۶. نتایج

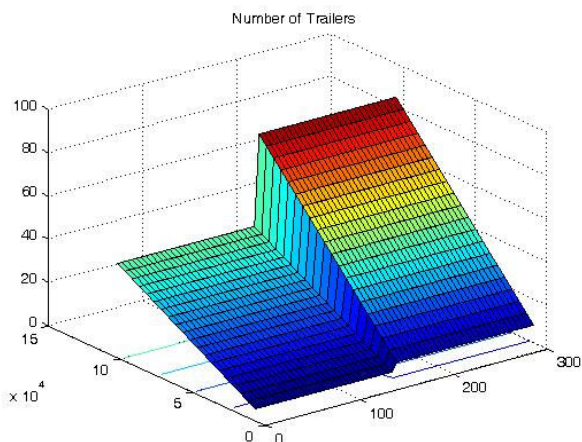
همانگونه که پیشتر اشاره گردید به دلیل هزینه بالای سرمایه گذاری اولیه برای خرید کشنده و تریلرهای مورد نیاز، تعداد تریلر و کشنده که در سیستم مادر و دختر مورد استفاده قرار می‌گیرد نقش موثری در هزینه تمام شده گاز طبیعی در این سیستم دارد. در شکل ۹ تعداد کشنده مورد نیاز بر حسب ظرفیت گاز رسانی و فاصله جایگاه‌های مادر و دختر از یکدیگر نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود دو تغییر ناگهانی در تعداد کشنده مورد نیاز در فواصل ۷۵ و ۱۵۰ کیلومتر وجود دارد. این مسئله به این معنی است که هنگامی که فاصله جایگاه دختر از یک چهارم کل فاصله‌ای که کشنده در یک روز می‌پیماید کمتر باشد تعداد کشنده مورد نیاز به طور ناگهانی افزایش می‌یابد و استفاده از این روش توجیه اقتصادی نخواهد داشت. تعداد تریلرهای مورد نیاز نیز از موارد موثری است که بر اقتصاد سیستم تاثیر می‌گذارد. در شکل ۱۰ تعداد تریلرهای مورد نیاز بر حسب ظرفیت جایگاه دختر و فاصله دو جایگاه نشان داده شده است.

شکل ۹. تعداد کشنده مورد نیاز بر حسب ظرفیت گاز رسانی و فاصله جایگاه های مادر و دختر

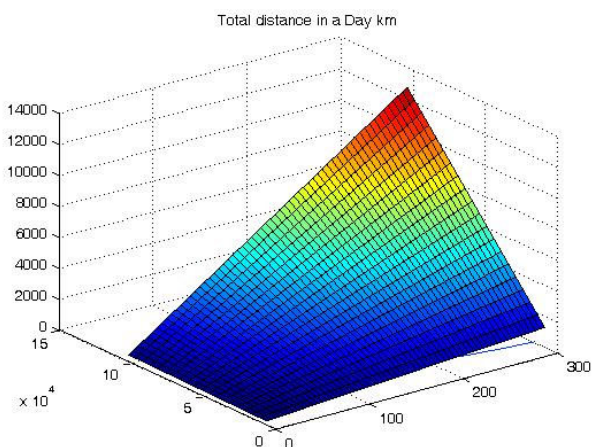


شکل ۱۰. تعداد تریلر مورد نیاز بر حسب ظرفیت گاز رسانی و فاصله جایگاه های مادر و دختر



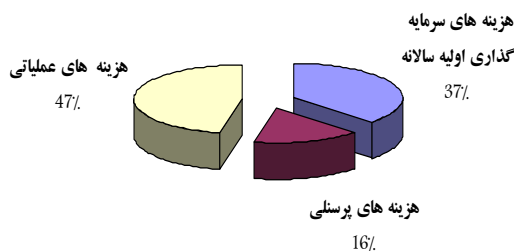
شکل ۱۱ کل مسافت پیموده شده توسط کشنده ها در هر روز، برای تامین نیاز جایگاه دختر را نشان می دهد. هر چه مسافت پیموده شده بیشتر باشد هزینه های جاری نظیر هزینه سوخت، تعمیر و نگهداری و هزینه های پرسنلی افزایش خواهد یافت. همانگونه که مشاهده می شود شیب نمودار در فواصل دور به شدت تغییر می کند و به این ترتیب هزینه های جاری نیز در فواصل بالای جایگاه های مادر و دختر به شدت افزایش می یابد.

شکل ۱۱. کل مسافت پیموده شده توسط کشنده‌ها در هر روز



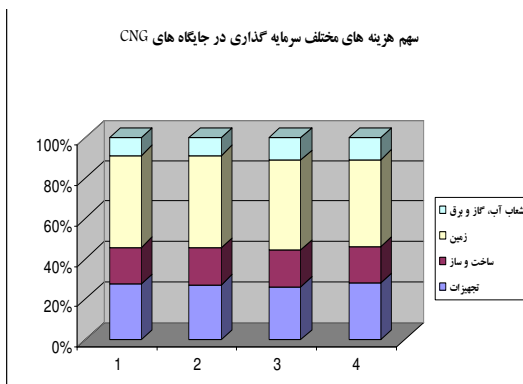
مقایسه انواع هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی و پرسنلی می‌تواند ابزار مناسبی برای بررسی اقتصاد روش مادر - دختر باشد در شکل ۱۲، تاثیر انواع هزینه‌ها در قیمت تمام‌شده یک مترمکعب گاز طبیعی آورده شده است.

شکل ۱۲. مقایسه انواع هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، عملیاتی و پرسنلی در هزینه یک متر مکعب گاز طبیعی در جایگاه‌های دختر



با در نظر گرفتن ترکیب هزینه‌ها در انواع جایگاه‌های اصلی همانطور که در شکل ۱۳ نشان داده شده است ملاحظه می‌شود که سهم هزینه زمین در کل هزینه هر جایگاه بسیار تاثیرگذار است. علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های جاری جایگاه‌های CNG نیز نقش مهمی در هزینه‌های کل دارند. هزینه‌های جاری در جایگاه CNG عبارتند از: هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات، هزینه‌های پرسنلی، هزینه برق و آب و سایر هزینه‌های جانبی شامل مالیات و غیره...

شکل ۱۳. مقایسه سهم هزینه های مختلف سرمایه گذاری در جایگاههای CNG



همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می شود هزینه زمین بیشترین سهم را در هزینه کل جایگاه دارد به این ترتیب در صورتیکه زمین مناسب برای ساخت جایگاه تامین شود هزینه یک متر مکعب گاز طبیعی به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. برای این منظور می توان با فراهم نمودن تسهیلات مناسب انگیزه لازم را برای مشارکت بخش خصوصی در این زمینه فراهم نمود. یکی از راهکارهایی که در این زمینه متصور است اعطای تجهیزات به صورت رایگان یا با هزینه ناچیز به افرادی است که زمین مورد نیاز برای ساخت جایگاه را فراهم نمایند. در جدول زیر اختلاف هزینه یک متر مکعب گاز طبیعی در جایگاههای اصلی با در نظر گرفتن هزینه زمین و بدون در نظر گرفتن هزینه زمین نشان داده شده است.

جدول ۵. هزینه یک متر مکعب گاز طبیعی در جایگاههای اصلی با در نظر گرفتن هزینه زمین و بدون در نظر گرفتن هزینه زمین

ظرفیت روزانه m ³ /Day	Rial/m ³ با احتساب زمین	Rial/m ³ بدون احتساب زمین	
۴۰۰۰۰	۴۷/۹	۲۶	۱
۳۲۰۰۰	۵۹/۵	۳۲/۲	۲
۱۶۰۰۰	۹۷/۲	۵۶/۲	۳
۱۶۰۰۰	۹۹/۹	۵۸/۹	۴

۷. نتیجه گیری

با توجه به رشد بالای مصرف بنزین در صورت عدم اجرای سیاست های جایگزینی حامل های انرژی در بخش حمل و نقل در سال ۱۴۰۳ کشور به بیش از ۲۱۷ میلیون لیتر بنزین

در روز نیاز خواهد داشت که تامین آن فشار زیادی به ذخائر ارزی کشور وارد می‌سازد، بنابراین با در نظر گرفتن ظرفیت‌های فراوان کشور در بخش گاز طبیعی، آلودگی کم و وجود زیرساخت‌های مناسب در این بخش به نظر می‌رسد گازسوز کردن خودروها نقش عمده‌ای در کاهش واردات بنزین و جلوگیری از به هدر رفتن درآمدهای ارزی کشور خواهد داشت. روش مادر - دختر برای گازرسانی به مناطقی که در مسیر خط لوله قرار ندارند به کار می‌رود. در این روش مخازن گاز CNG توسط تریلرهای مخصوص به ایستگاه‌های فرعی که به خطوط لوله متصل نیستند منتقل شده توسط دستگاه‌های توزیع‌کننده به خودروها تزریق می‌شود. در این روش به ایستگاه‌های اصلی، ایستگاه مادر و به ایستگاه‌های فرعی که به خطوط لوله متصل نیستند ایستگاه دختر گفته می‌شود. روش مادر - دختر می‌تواند برای تامین نیاز گاز طبیعی مصرف‌کنندگان بخش روستایی یا تامین نیازهای مصرف‌کنندگان موقت و یا در مواقعی که خط لوله نیاز به تعمیر دارد و به‌طور کلی مواقع اضطراری به کار رود. همچنین در حالی که احداث خط لوله بنا به دلایل مختلف نظیر زلزله‌خیز بودن منطقه، تغییرات ارتفاع و ناهمواری زمین امکان‌پذیر نباشد و زیرساخت‌های مناسب جاده‌ای در منطقه وجود داشته باشد می‌توان از این روش استفاده نمود. در مقاله حاضر یک مدل ریاضی برای محاسبه هزینه‌های مختلف استفاده از روش مادر - دختر شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث جایگاه‌ها و خرید کشنده و تریلرهای مورد نیاز، هزینه‌های مختلف عملیاتی و پرسنلی بر حسب ظرفیت‌های متفاوت گازرسانی و فاصله بین جایگاه‌های اصلی (مادر) و فرعی (دختر) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده هزینه‌های انتقال مخازن گاز به شدت از فاصله بین دو جایگاه تاثیر می‌گیرد به نحوی که در صورتیکه فاصله بین دو جایگاه از یک چهارم کل مسافتی که یک کشنده در روز می‌تواند طی کند (در این مدل ۳۰۰ کیلومتر فرض شده است) بیشتر شود تعداد کشنده و تریلر مورد نیاز به طور ناگهانی تا دو برابر افزایش می‌یابد. و به این ترتیب استفاده از این روش توجه اقتصادی نخواهد داشت. همچنین با محاسبه هزینه‌های جاری ایستگاه دختر ملاحظه می‌شود که این روش برای کاربردهای طولانی مدت مناسب نیست. همچنین در مقاله حاضر هزینه انواع جایگاه‌های CNG محاسبه شده است و قیمت هر متر مکعب گاز تحویل شده به مصرف‌کننده نهایی محاسبه گردید. هزینه زمین بیشترین سهم را در هزینه کل جایگاه دارد به این ترتیب می‌توان با فراهم نمودن تسهیلات مناسب انگیزه لازم را برای مشارکت بخش خصوصی در این زمینه فراهم نمود. یکی از

راهکارهایی که در این زمینه متصور است اعطای تجهیزات به صورت رایگان یا با هزینه ناچیز به افرادی است که زمین مورد نیاز برای ساخت جایگاه را فراهم نمایند.

۸. منابع

- [1] Institute for International Energy Studies (IIES), Iran's Hydrocarbons Energy Balance 2005, Ministry of oil and gas, 2005
- [2] International Energy Outlook, Energy information administration. Washington, DC: Department of Energy; 2005. EIA-048. pp 38–9
- [3] Nylund NO, Laurikko J, Ikonen M. Pathways for natural gas into advanced vehicles. IANGV (International Association for Natural Gas Vehicle) 2002; Version 30.8 2002
- [4] Aslam MU, Masjuki HH, Maleque MA, Kalam MA, Mahlia TMI, Zainon Z, et al. Introduction of natural gas fueled automotive in Malaysia. Proc. TECHPOS'03 2003;160, UM, Malaysia
- [5] Cleaner Drive (2003) Wie sauber fährt Dein Auto. <http://www.cleaner-drive.ch>, Cleaner Drive, November 2003
- [6] IANGV, 2007, Latest International NGV Statistics. www.iangv.org
- [7] IFCO, 2007, Iranian Fuel Conservation organization, www.IFCO.ir
- [8] Martin Frick, K.W. Axhausen, Gian Carle, Alexander Wokaun, Optimization of the distribution of compressed natural gas (CNG) refueling stations: Swiss case studies, Transportation Research Part D 12 (2007) 10–22
- [9] Sydney Thomas, Richard A. Dawe, Review of ways to transport natural gas energy from countries which do not need the gas for domestic use, Energy 28 (2003) 1461–1477
- [10] Martin Frick a, K.W. Axhausen a, Gian Carle b, Alexander Wokaun, Optimization of the distribution of compressed natural gas (CNG) refueling stations, Transportation Research Part D 12 (2007) 10–22
- [11] Arthur Janssen, Stephan F. Lienin, Fritz Gassmann, Alexander Wokaun, Model aided policy development for the market penetration of natural gas vehicles in Switzerland, Transportation Research Part A 40 (2006) 316–333
- [12] Peter C. Flynn, Commercializing an alternate vehicle fuel: lessons learned from natural gas for vehicles, Energy Policy 30 (2002) 613–619
- [13] S. Anyogita, Amit Prakash, V.K. Jain, A study of noise in CNG driven modes of transport in Delhi, Applied Acoustics 65 (2004) 195–201
- [14] Marko P. Hekkerta, Franka H.J.F. Hendriksa, Andre P.C. Faaij, Maarten L. Neelis, Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development, Energy Policy 33 (2005) 579–594
- [15] Gian Carle, Peter Keller, Alexander Wokaun and K.W. Axhausen, Market potential of compressed natural gas cars in the Swiss passenger car sector, Conference paper STRC 2004, 4th Swiss Transport Research Conference.