Archive of SID

ارزیابی اقتصادی توسعه بکارگیری سوخت گاز طبیعی فشرده (CNG) در ناوگان اتوبوسرانی تهران

داود منظور، استادیار، دانشکده اقتصاد، دانشگاه امام صادق (ع)، تهران، ایران
محمود صفارزاده، استاد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
سید مهدی میرفتاح، دستیار علمی گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
E-mail: manzour@isu.ac.ir

چکیده

تراکم شدید جمعیت، ازدحام آمد و شد، آلودگی هوا و اختصاص سالانه میلیون‌ها دلار یارانه سوخت به بخش حمل‌ونقل درون شهری از جمله مشکلات کلان شهر تهران است. با برنامه‌ریزی و توسعه مناسب ناوگان حمل‌ونقل عمومی و صرفه‌جویی در مصارف انرژی حمل‌ونقل درون شهری می‌توان بر بخشی از این مشکلات غلبه کرد. اتوبوس با توجه به سرانه فضا و مساحتی که اشغال می‌کند، گزینه مناسبی برای توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی در کوتاه مدت و میان مدت محسوب می‌شود. نفت گاز و گاز طبیعی فشرده، سوخت‌های اصلی این وسیله نقلیه هستند که با در نظر گرفتن سهم اندک ناوگان اتوبوسرانی در آلودگی هوای شهر تهران (۳ الی ۵ درصد) و با عنایت به تجربه سایر کشورها، بهتر است ناوگان حمل‌ونقل سبک در اولویت اول استفاده از گاز طبیعی فشرده (CNG) قرار گیرد. تحلیل‌های هزینه ـ فایده با استفاده از روش ارزش فعلی خالص در خصوص استفاده از گاز طبیعی و گازوئیل به عنوان سوخت در ناوگان اتوبوسرانی تهران نشانگر آن است که در صورت افزایش قیمت نفت به بشکه‌ای بیش از پنجاه دلار، کاهش قیمت وسایل نقلیه گاز سوز و در نهایت بکارگیری درآمد ناشی از صادرات گازوئیل مازاد جهت توسعه ناوگان اتوبوسرانی تهران، گازطبیعی به عنوان جایگزین مناسب نفت گاز برای توسعه و بهسازی ناوگان اتوبوسرانی تهران قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل عمومی، تحلیل هزینه ـ فایده، سوخت، گاز طبیعی فشرده

۱. مقدمه

وسعت کلان شهر تهران و آهنگ سریع شهرنشینی، مشکلات متعددی در کنار سایر معضلات برای این شهر ایجاد کرده است. به هر حال، سایر کشورها حتی با تراکم جمعیتی بیشتر در مواجهه با چنین معضلاتی توانسته‌اند با شناخت صحیح از مشکلات و اولویت‌بندی آنها و اتخاذ تدابیر صحیح بر آنها غلبه کنند. ارائه خدمات مناسب و بهنگام توسط ناوگان حمل‌ونقل عمومی عامل مؤثری در کاهش انگیزه استفاده از وسایل نقلیه شخصی و تحمیل هزینه سنگین آلودگی زیست محیطی و سوخت بر کشور خواهد بود. در میان گزینه‌های مختلف ناوگان حمل‌ونقل عمومی، اتوبوسرانی به عنوان گزینه بسیار مناسب و کم هزینه برای گسترش خدمات حمل‌ونقل عمومی در کوتاه مدت و میان مدت محسوب می‌شود [1]. این ناوگان با داشتن ۴۰ درصد سهم جابجایی مسافر در شهر تهران تنها عامل ۳ الی ۵ درصد آلودگی شهر است و بنابراین نقش توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی در کاهش آلودگی شهر تهران کاملاً آشکار است.[۲]

هر گونه تصمیم صحیح و اقتصادی در جهت توسعه ناوگان اتوبوسرانی باعث صرفه‌جویی در کاهش هزینه‌ها می‌شود، و کندی ترافیک و آلودگی زیست محیطی به عنوان دو معضل اصلی

*تاریخ دریافت: ۸۵/٤/۱ - تاریخ پذیرش: ۸۷/٦/۱۳

www.SID.ir

Archive of SID

تا حدودی رو به بهبود خواهد رفت. هزینه‌های سوخت یکی از مؤلفه های هزینه در ناوگان اتوبوسرانی است. در این مقاله سعی بر آن است که با انجام یک تحلیل هزینه – فایده بر روی دو گزینه سوخت دیزل و گازطبیعی فشرده (CNG)[1] بهترین و اقتصادی‌ترین سوخت در جهت توسعه ناوگان اتوبوسرانی تهران انتخاب شود.

در بخش اول، رویکرد مورد استفاده کشورهای مختلف جهت توسعه خودروهای گازسوز مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه ضمن محاسبه هزینه‌های لازم برای ناوگان با سوخت دیزل یا گاز طبیعی فشرده، سناریوها و قیمتهای مختلف حامل‌های انرژی و تأثیر آنها بر هزینه کل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در پایان حدود قیمت‌های قابل‌قبول برای اتوبوس‌های گازسوز به گونه‌ای که بتوانند با اتوبوس‌های دیزلی رقابت کنند، استخراج می‌شود. این قیمتها می‌توانند در قیمت‌گذاری خودروهای سنگین مورد استفاده قرار گیرند.

۲. توسعه بکارگیری سوخت‌های جایگزین در بخش حمل‌ونقل در جهان

فرآورده‌های نفتی از بدو اختراع موتورهای احتراقی به عنوان منبع اصلی تحرک و جابجایی شناخته شده‌اند. به هرحال، به دنبال وقوع بحران‌های نفتی و با توجه به پیش‌بینی اتمام ذخایر نفتی در آینده‌ای نه چندان دور و تشدید مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از مصارف سوخت‌های مایع، جهان امروز به سمت سوخت‌های جایگزین، منابع انرژی جدید و تجدیدپذیر و استفاده بیشتر از سوخت گازطبیعی سوق یافته است.

هر چند استفاده از گازطبیعی به عنوان سوخت خودرو از سال ۱۹۲۰ آغاز شد، ولی در ابتدا این روند بسیار کند و خزنده بود. در پی شوک‌های نفتی سال‌های ۱۹۷٤ و ۱۹۷۹ ، زمینه مساعد برای توسعه خودروهای گازسوز فراهم شد. امروزه تلاش‌های فراوانی برای توسعه و تولید خودروهای الکتریکی صورت می‌گیرد. استفاده از گازطبیعی فشرده به عنوان سوخت پاک و ارزان، از روند رشد روزافزون و سریعی نسبت به سایر سوخت‌های جایگزین برخوردار بوده است. به این ترتیب، مصرف سوخت گازطبیعی از سایر سوخت‌های جایگزین به استثنای LPG[2] پیشی گرفته است و روز به روز در حال افزایش سهم خود در بازار مصرف سوخت‌های جایگزین نظیر متانول، اتانول و الکتریسیته است، به طوری که هم اکنون بیش از ۱٪ از ناوگان حمل‌ونقل جهان از سوخت گازطبیعی فشرده استفاده می‌کنند.[۳]

کاهش هزینه سوخت و کاهش آلودگی محیط‌زیست در شهرها مهم‌ترین دلایل استفاده از خودروهای گازسوز است. تاکید جامعه جهانی بر حفاظت از محیط‌زیست تأثیر عمده‌ای در حرکت به سمت گازطبیعی فشرده داشته است. به همین جهت، شورای جهانی انرژی در سال ۱۹۹۵ در توکیو رسماً گازطبیعی را به عنوان سوخت جایگزین در حمل‌ونقل معرفی کرد. امروزه حدود چهار میلیون خودروی گازسوز در بیش از شصت کشور جهان تردد می‌کنند، این در حالی است که این رقم در سال ۱۹۹٦ تنها حدود یک میلیون خودرو بوده است. کشورهایی نظیر آرژانتین، ایتالیا، مصر، نیوزیلند، چین، روسیه، ژاپن و نروژ از پیشگامان این حرکت محسوب می‌شوند. جدول ۱ تعداد اتومبیل‌های گازسوز و جایگاه‌های سوختگیری گازطبیعی فشرده را به تفکیک کشورهای مختلف در سطح جهان نشان می‌دهد.[۳]

۳. روش شناسی و فروض اساسی

یکی از مهم‌ترین مستندات و پیش نیازهای تصمیمات سرمایه‌گذاری انجام ارزیابی‌های امکان‌سنجی فنی و اقتصادی است. روش‌های ارزش فعلی، یکنواخت سالیانه، نرخ بازگشت سرمایه و نسبت منافع به مخارج چهار روش عمده در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها هستند که اغلب به نتایج یکسانی نیز منجر می‌شوند. در این میان، روش ارزش فعلی یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های اقتصاد مهندسی است[۵]. در این مقاله نیز از روش ارزش فعلی جهت ارزیابی توسعه ناوگان اتوبوسرانی گازسوز استفاده می‌شود، به طوری که کلیه پرداخت‌ها و دریافت‌ها در طی عمر پروژه به ارزش فعلی در زمان حال یا زمان مبداء طرح تبدیل می‌شود.

ناوگان فعلی اتوبوس شهری تهران در حال حاضر با حدود ٦۰۰۰ دستگاه اتوبوس از انواع مختلف مشغول ارائه خدمات است. در این مطالعه دو طرح مختلف جهت توسعه و نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهر تهران مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در گزینه اول خرید ٤۰۰۰ دستگاه اتوبوس دیزل به همراه تأسیس ۱۰ واحد جایگاه سوخت رسانی در نقاط مختلف تهران و در گزینه دوم تأسیس همین تعداد جایگاه سوخت رسانی و تأمین همین

www.SID.ir

 Archive of SID

تعداد دستگاه اتوبوس با سوخت گازطبیعی فشرده مورد توجه قرار می‌گیرد [٦] از آنجا که هر دو پروژه طی طول عمر خود درآمد یکسانی حاصل می‌کنند، تنها محاسبه ارزش فعلی هزینه‌ها برای مقایسه و ارزیابی آنها کافی است. به این ترتیب، براساس روش ارزش فعلی گزینهٔ مطلوب می‌بایست از کمترین ارزش فعلی هزینه‌ها برخوردار باشد، چنان چه ارزش فعلی هزینه هر دو پروژه یکسان باشد، بین انتخاب هر یک از دو گزینه بی‌تفاوت خواهیم بود. پارامترهای کلیدی مورد استفاده در این تحلیل عبارتند از: میزان مصرف سوخت، هزینه خریداری وسیله نقلیه، هزینه احداث جایگاه، هزینه سوخت، عمر مفید و نرخ تنزیل جهت تسهیل در انجام محاسبات مفروضات ذیل را در نظر گرفته شوند:

۱. هر دو گزینه در شرایط اطمینان طراحی و اجرا می‌شود.
۲. هر دو پروژه از پرداخت مالیات معاف هستند.
۳. مصرف سوخت به واحد کیلومتر در طول عمر مفید برای هر دو گروه از وسایل نقلیه اعم از گازسوز و دیزل ثابت است.
٤. قیمت جهانی انرژی و سوخت در طول عمر مفید پروژه‌ها ثابت می‌ماند.
۵. تغییرات فن‌آوری در طول عمر پروژه‌ها ناچیز است.
٦. نرخ تنزیل در هر دو پروژه یکسان و برابر با ١٦٪ است.

از آنجاکه عمر مفید دو پروژه متفاوت است، برای رفع این مشکل دوره مالی مشترک میان آنها در نظر گرفته می‌شود و ارزش خالص فعلی هزینه‌ها براساس عمر مشترک محاسبه می‌شود. برای مثال اگر عمر مفید پروژه A دو سال و عمر مفید پروژه B سه سال باشد، عمر مشترک یا کوچک‌ترین مضرب مشترک عمرها شش سال خواهد بود یعنی پروژه A سه مرتبه و پروژه B دو مرتبه به‌طور متوالی تکرار خواهد شد [٧].

جدول ۱. وضعیت استفاده از اتومبیل‌های گازسوز در کشورهای منتخب (٢٠٠٤)

نام کشور	تعداد خودرو	تعداد جایگاه سوختگیری	نام کشور	تعداد خودرو	تعداد جایگاه سوختگیری
آرژانتین	١٢٤٣٠٢٤	١١٠٥	کانادا	٢٠٥٠٥	٢٢٢
برزیل	٨٥٠٠٠٠	٨٦٠	آلمان	١٩٤٠٠	٣٣٧
پاکستان	٦٠٠٠٠	٦٢٠	بولیوی	١٥٤٨٦	٣٧
ایتالیا	٤٠٠٨٠٠	٤٦٣	مالزی	١٢٠٠٠	٣٨
هند	٢٠٤٠٠٠	١٩٨	ایرلند	٩٧٨٠	١٠
آمریکا	١٣٠٠٠٠	١٣٠٠	فرانسه	٧١٠٠	١٠٢
چین	٦٩٣٠٠	٢٧٠	کره جنوبی	٥٥٨٥	١٥٨
مصر	٥٢٠٠٠	٧٩	بلاروس	٥٥٠٠	٢٤
ونزوئلا	٥٠٠٠٠	١٤٠	شیلی	٤٩٠٠	١٢
اوکراین	٤٥٠٠٠	١٣٠	اندونزی	٤٦٦٠	٢٨
کلمبیا	٤٣٣٨٠	٧٨	تایلند	٤٥٠٠	٢٨
روسیه	٣٦٠٠٠	٢١٨	سوئد	٤٢٦٠	٤٤
بنگلادش	٣١٩٨٨	٧٩	استرالیا	٢١٠٤	١٢٧
ایران	٢٢٠٥٨	٤٠	٣٧ کشور دیگر	١٣٤٣٩	٢٧٥
ژاپن	٢٠٦٠٠	٢٧١	کل کشورها	٣٩٢٧٣٦٩	٧٢٩٣

منبع: اتحادیه بین‌المللی خودروهای گازسوز www.iangv.com [4]

www.SID.ir

Archive of SID

٤. ترکیب هزینه‌های وسایل نقلیه

هزینه‌های خرید وسایل نقلیه بخشی از هزینه‌های سرمایه‌ای پروژه را تشکیل می‌دهند که باید در ابتدای دوره مالی و یا آغاز طرح پرداخت شود. هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالیانه، عمر مفید و نرخ تنزیل نیز از جمله متغیرهای تعیین‌کننده هزینه سالانه وسیله نقلیه هستند. عمر مفید اتوبوس‌ها در ناوگان اتوبوسرانی تهران غالباً کمتر از سایر شهرها برآورد می‌شود. موقعیت جغرافیایی و تراکم ترافیک شهری تهران از جمله عوامل تأثیرگذار بر کاهش عمر مفید اتوبوس‌ها هستند. قرار داشتن تهران در دامنه کوه و سراشیبی، وسعت شهر و پراکندگی مراکز شهری، حجم بالای ترافیک، توقف‌های مستمر و مکرر هر اتوبوس در سطح شهر، ساعات کار طولانی اتوبوس‌ها، کمبود اتوبوس در ساعات اوج تردد و جابجایی بیش از حد ظرفیت مجاز مسافر، افزایش استهلاک و افزایش هزینه‌های سالیانه را موجب می‌شود [۳].

ترکیب فعلی ناوگان اتوبوسرانی تهران از بنز ۳۰۲، بنز ۳۵۵، ولوو، بنز ٤٥٧، ایکاروس، شهاب و مگاترانس تشکیل می‌شود [۸]. بنابر مصوبات هیأت دولت و وزارت کشور تنها گزینه‌های شرکت واحد جهت توسعه ناوگان خریداری اتوبوس‌های تولیدی کارخانجات ایران خودرو دیزل و شهاب خودرو یعنی به ترتیب بنز ٤٥٧ و اتوبوس شهاب است [٦]. با ملاحظه عوامل تأثیرگذار بر عمر مفید و با توجه به کیفیت تولیدات فعلی، عمر مفید هر دستگاه اتوبوس دیزل به طور متوسط شش سال برآورد می‌شود [۹].

جدول ۲. قیمت فعلی اتوبوس‌های شهری دیزلی

نوع اتوبوس	کارخانه سازنده	قیمت (میلیون تومان)
رنو	شهاب خودرو	٦٩
بنز ٤٥٧	ایران خودرو دیزل	٧٤

منبع: گزارش شرکت واحد اتوبوسرانی، معاونت فنی، دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی، ١٣٨٤[١٠]

هزینه خرید هر دستگاه اتوبوس دیزل را با علامت VCd [۳] نشان می‌دهیم. برای هر دستگاه اتوبوس به غیر از هزینه خرید، هزینه‌های دیگر از جمله لوازم یدکی، باتری، لاستیک، ملزومات، روغن موتور و ... را نیز باید در نظر گرفت که مجموعه آنها به استثنای هزینه سوخت مصرفی با متغیر mcd [٤] نشان داده می‌شدند. براساس برآوردهای موجود، هزینه‌های تعمیر و نگهداری در سال اول حدود ۷٪ هزینه خرید هر دستگاه اتوبوس هستند و در سال‌های بعدی با نرخ ١٦٪ افزایش می‌یابند [۱۰]. به این ترتیب،

$$mcd = ۰/۰۷\ VCd \qquad (۱)$$

$$mcdt = mcd_1\ (۱ + j)\ t - ۱ \qquad (۲)$$

که در آن:

mcdt [٥]: هزینه تعمیر و نگهداری در سال t ام،

$t = 1,2,\ldots$: مدت زمانی است که از شروع به کار وسیله نقلیه گذشته است.

j : نرخ افزایش هزینه سالیانه نسبت به سال قبل (١٦٪).

به این ترتیب، هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه یک سری هندسی خواهد بود که با ثابت ماندن نرخ تنزیل و درصد افزایش هزینه‌های سالیانه، ارزش فعلی هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالانه را به صورت زیر می‌توان نشان داد [۷]:

$$P = mcd_1\ (p / mcd1\ \ i\ \ j\ \ n) \qquad (۳)$$

که در آن:

i : نرخ تنزیل

j : نرخ افزایش هزینه‌های سالیانه

n : عمر مفید وسیله نقلیه (سال)

ارزش اسقاطی [٦]، پارامتر دیگری است که باید در محاسبات در نظر گرفت. این پارامتر ارزش هر دستگاه اتوبوس را در پایان عمر مفید آن نشان می‌دهد. ارزش فعلی اتوبوس اسقاطی هر دستگاه اتوبوس را به صورت زیر نشان می‌دهیم:

(٤)

$$P = s.vd\ [\frac{1}{(1+i)^n}] = s.v\ (p/sv\ \ ٪١٦\ \ ٦) \tilde{=}\ \tilde{}i \qquad s.vd$$

که در آن:

s.vd : ارزش اسقاط وسیله نقلیه در سال n

p : ارزش فعلی دستگاه اسقاط

در ناوگان اتوبوسرانی تهران ارزش اسقاطی (s.v) هر دستگاه اتوبوس دیزل در پایان عمر مفید آن ٦ سال، معادل $\frac{1}{6}$ قیمت خرید برآورد می‌شود [۸]:

$$s.vd = \frac{1}{6} VCd \qquad (۵)$$

www.SID.ir

 Archive of SID

با احتساب هزینه‌های خرید و تعمیرات و نگهداری ارزش خالص فعلی هزینه‌های یک اتوبوس دیزل برابر است با:

(٦)

$$NVC_{d0} = VC_{d0} + \frac{0/42VC_d}{1/16} - \frac{0/41}{6}VC_d$$
$$= VC_d + 0/36VC_d - 0/07VC_d = 1/29VC_d$$

به عبارت دیگر، ارزش فعلی مجموع هزینه‌های تعمیرات و نگهداری یک دستگاه اتوبوس دیزل پس از کسر ارزش اسقاطی معادل ۲۹ درصد قیمت خرید آن است. از آنجا که کل اتوبوس‌هایی که به ناوگان افزوده می‌شوند ٤۰۰۰ دستگاه فرض شده است، هزینه کل خرید و تعمیرات و نگهداری در طول عمر مفید برابر است با:

$$TVCd0 = ٤۰۰۰\ NVCd0 = ٥١٦۰\ VCd \qquad (٧)$$

حیطه تحلیل و محاسبات با توجه به لزوم رعایت قانون و الزامات وزارت کشور بر اساس قیمت اتوبوس‌های داخلی بود. اما واقعیت مشهود حاکی از تفاوت فاحش میان اتوبوس‌های شهری دیزل ساخت خارج و داخل است. دوام، کیفیت،هزینه تعمیر و نگهداری کمتر، از جمله شاخص‌های برتر اتوبوس‌های ساخت خارج نسبت به تولیدات داخل است. نمونه بارز و موجود، اتوبوس‌های ایکاروس تک‌کابینه و دوکابینه است که علیرغم گذشت بیش از یک دهه بکارگیری هنوز با کارآیی بیشتر و هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتر از اتوبوس‌های داخلی قابل استفاده است [۱۰].

مضاف بر اینکه، مطالعات آژانس بین‌المللی انرژی در مورد اتوبوسرانی شهری و کارخانجات تولید اتوبوس شهری کشورهای درحال توسعه حاکی از قیمت ۳۰ تا ۷۵ هزار دلار برای هر دستگاه اتوبوس دیزل نوع جدید است[۱۱]. بنابراین قیمت‌های فعلی خودرو سازان داخلی (جدول ۲) بی‌تأثیر از بازار انحصاری فروش اتوبوس شهری ساخت داخل یا عدم بهره‌وری و کارایی این صنعت نیست.

در هر حال به لحاظ الزامات قانونی که با هدف حمایت از تولید داخلی و اشتغالزایی اعمال می‌شود، خرید اتوبوس تنها در چارچوب جدول مذکور امکان‌پذیر است.

گزینه دوم در توسعه و نوسازی ناوگان اتوبوسرانی تهران استفاده از اتوبوس‌های گازسوز با سوخت گازطبیعی فشرده است. سیستم احتراق و تأمین سوخت اتوبوس گازسوز کاملاً متفاوت از دیزل است و به همین جهت اتوبوس‌های گازسوز با قیمت بالاتر به بازار عرضه می‌شوند.

مطالعه قیمت اتوبوس‌های گازسوز در نقاط مختلف جهان و خصوصاً کشورهایی که درصدر تولید خودروهای سنگین گازسوز هستند، حاکی از آن است که اتوبوس گازسوز نسبت به مشابه دیزلی خود ۱۵ تا ۲۰ درصد گران‌تر است [۱۲]. به‌طوریکه اگر قیمت وسیله نقلیه دیزل را با VCd و قیمت وسیله نقلیه گازسوز را با VCg نشان دهیم می‌توان نوشت:

$VCd\ ۱/۲۰ \le VCg \le VCd ۱/۱۵$

در حالت کلی می‌توان VCg را برحسب VCd نوشت:

$\alpha > ۱$

$VCg = \alpha VCd$

چنان که شرکت واحد اتوبوسرانی تهران بخواهد ناوگان خود را با استفاده از توبوس‌های گازسوز تولید داخل توسعه دهد، دو گزینه در پیش رو خواهد داشت:

جدول ۳. قیمت اتوبوس‌های گاز سوز

نوع اتوبوس	کارخانه سازنده	قیمت (میلیون تومان)
رنو	شهاب خودرو	۸۹
مان (بنز ٤٥٧)	ایران خودرو دیزل	۹۷/٤

منبع: [۳]

به این ترتیب قیمت اتوبوس‌های گازسوز داخلی بین ۱/۲۹ تا ۱/۳۲ برابر اتوبوس‌های دیزلی است ($۱/۳۲ > \alpha \ge ۱/۲۹$). بنا براین ضریب α اتوبوس‌های گازسوز داخلی بیش از استاندارد متعارف جهانی است و به یقین عدم بهره‌وری و کارآیی صنعت و بازار انحصاری این اتوبوس‌ها بر این واقعیت تأثیرگذار است.

بر اساس گزارش شرکت واحد اتوبوسرانی (۱۳۸٤) [٤] عمر مفید اتوبوس گازسوز ۵ سال، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ٦٪ درصد قیمت خرید و ارزش اسقاط ۲۰ درصد قیمت اولیه فرض می‌شود، به طوری که:

(٨)

$$NVC_g = VC_g + \frac{0/3}{1/16}VC_g - \frac{0/4724}{5}VC_g$$
$$NVC_g = VC_g + 0/25VC_g - 0/09VC_g = 1/16VC_g$$

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اینکه در طرح توسعه ناوگان اتوبوسرانی باید ۴۰۰۰ دستگاه اتوبوس گازسوز به سیستم وارد شود، هزینه کل خرید وتعمیر و نگهداری ناوگان اتوبوس‌های گازسوز در طول عمر مفید برابر است با:

$$TVCg = ٤٦٤٠\times \quad \times VCd \qquad (٩)$$

با توجه به نوپایی صنعت خودروهای سنگین گازسوز در ایران و عدم بلوغ بازار و تکنولوژی می‌بایست قبل از توسعه طرح تولید خودروهای سنگین گازسوز داخلی با قیمت‌های جدول (۳) استفاده از اتوبوس‌های شهری گازسوز خارجی نیز به عنوان یک گزینه مدنظر قرار گیرد. تجربه تحمیل هزینه‌های سنگین کاربرد اتوبوس‌های دیزل داخلی تأکیدی بر این ضرورت است. هرچند قطعات اصلی اتوبوس‌های گازسوز داخلی نیز از خارج کشور تأمین می‌شود و فقط به علت ایجاد ظرفیت اشتغال داخل کشور مونتاژ می‌شود. در هر صورت نباید امکان استفاده اتوبوس‌های گاز سوز خارجی در مدل و محاسبات این طرح توسعه نادیده گرفته شود.

بازار اتوبوس‌های گاز سوز خارجی در دهه گذشته به علت عدم بلوغ و نبود تولید تجاری، قیمت‌های بسیار بالایی را تجربه کرد به طوری که اختلاف قیمت با مشابه دیزلی در برخی از موارد به ۵۰ هزار دلار می‌رسید [۱۳].

به مرور زمان و با بلوغ بازار و تکنولوژی، و افزایش تولید تجاری، افت شدید قیمت خصوصاً در کشورهایی مانند چین اتفاق افتاده است. طبق آخرین اطلاعات بازار، قیمت هر دستگاه اتوبوس گاز سوز با گنجایش ٤٥ صندلی و استاندار کامل زیست‌محیطی برای تحویل در ایران حداکثر ۷۰ هزار دلار یا معادل ٦٣ میلیون تومان برآورد می‌شود [١٤].

بر این اساس ضریب α برای اتوبوس خارجی بین ۰/۹۱ و ۰/۸۵ است. ($0/85 < \alpha < 0/91$)

با یک نگاه بسیار بدبینانه به اتوبوس‌های خارجی همه پارامترها و متغیرهای آنها برابر اتوبوس‌های گاز سوز داخلی تخمین زده می‌شود.

به این ترتیب معادله هزینه کل بکارگیری این اتوبوس‌ها نیز برابر است با:

$$TVCg = 4640 \times \alpha \times VCd$$

به علت کوچک بودن ضریب α اتوبوس‌های خارجی($0/85 \le \alpha \le 0/91$) در مقایسه باضریب α اتوبوس‌های داخلی($1/25 \le \alpha \le 1/32$) هزینه کل خرید و تعمیر و نگهداری اتوبوس‌های گازسوز خارجی حداقل ۰/٤١ کمتر از اتوبوس‌های داخلی است. واضح و آشکار است که با منظور نمودن کیفیت واقعی اتوبوس‌های خارجی – یعنی عمر مفید بیشتر، مصرف سوخت، آلایندگی و هزینه تعمیر و نگهداری کمتر – در مقایسه با اتوبوس‌های داخلی، هزینه کل اتوبوس‌های خارجی پایین‌تر از برآورد فعلی خواهد بود. اما علیرغم فرض تساوی کیفیت، در صورت استفاده از آنها شاهد حدود ٤١٪ صرفه‌جویی هزینه هستیم.

۵. هزینه احداث جایگاه‌های سوختگیری[۷]

جایگاههای سوخت گازوئیل بر خلاف جایگاه‌های سوخت CNG از لوازم و تجهیزات نسبتاً اندک تشکیل شده است. سه بخش مهم و عمده هر جایگاه شامل ابنیه و بخش ساختمانی، دیسپنسرها و مخازن می‌شود.

هزینه احداث این جایگاهها با تمام تجهیزات مورد نیاز و رعایت استانداردهای لازم در قالب چهار سکوی سوختگیری (هر سکو شامل دو دیسپنسر) حدود ۱۲۰ میلیون تومان برآورد می‌شود [۱۵]. تجهیزات توزیع سوخت در سال اول ضمانت شده هستند و تامین قطعات و سرویس‌های تعمیر و نگهداری به عهده شرکت سازنده است. بنابر این جایگاه در سال اول هزینه تعمیر و نگهداری نخواهیم داشت و این هزینه‌ها از سال دوم آغاز می‌شود.

جدول ٤. اجزاء هزینه جایگاه دیزل

اجزای تشکیل دهنده	هزینه خرید، احداث و راه‌اندازی	هزینه تعمیر و نگهداری	عمر مفید	ارزش اسقاط
ابنیه و بخش ساختمانی	۵۰ ٪ هزینه کل	--	۳۰ سال	۰
دیسپنسرها	٤٧٪ هزینه کل	۰/۰۱٤۱ هزینه کل	۱۵ سال	۲۰ درصد قیمت خرید
مخازن	۳ ٪ هزینه کل	--	۳۰ سال	۰

منبع: گزارش احداث و بهره‌برداری جایگاههای سوختگیری، [۱۵]

www.SID.ir

Archive of SID

کـل هزینـه احـداث یـک جایگـاه سـوخت دیـزل (تومـان)

$FSCd = ۱۲۰ ۰۰۰ ۰۰۰$

هزینه دیسپنسرها $DCd = ۰/ ٤٧ FSCd$

هزینه تعمیر و نگهداری $mcFd = ۰/۰۱٤۱ FSCd$

ارزش اسقاط دیسپنسرها $SVDd = \frac{1}{15} DCd = ۰/۰۳۱ FSCd$

به این ترتیب، ارزش فعلی هزینه‌هـای جایگـاه سـوخت رسـانی ناوگان دیزل در دوره پانزده سال اول عبارتست از:

(۱۰)

$$NPV\ 0 = (۰/۸٦۲۰ \frac{14\times 0/0141 FSC_d}{1/16}) - (۰/۱۰۷۹۲۷ \times ۰/۰۳۱) FSCd = ۰/۱٤ FSCd$$

به طوری که، ارزش فعلی فرآیند مالی دوره پانزده ساله اول برابـر با ۱٤٪ هزینه احداث یک جایگاه سوخت نفت گاز اسـت. ارزش فعلی دوره پانزده ساله دوم نیز در ابتدای سال پانزدهم (NPV۱۵) به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱٦]:

(۱۱)

$$NPV۱۵= ۰/۱٤\ FSCd+ ۰/٤٧ FSCd = ۰/٦۱ FSCd$$

در نهایـت، هزینـه‌هـای خـالص احـداث یـک جایگـاه، شـامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های عملیاتی در طول دوره بهره‌برداری بصورت زیر به دست می‌آید:

(۱۲)

$$NFSC_d = FSC_d + NPV_{\cdot} + ۰/۱۰۷۹۲۷ NPV_{۱۵}$$
$$= FSC_d + ۰/۱٤ FSC_d + ۰/۰٦۵ FSC_d$$
$$NFSC_d = ۱/۲ FSC_d$$

به عبارت دیگـر ارزش فعلـی کلیـه هزینـه‌هـای تعمیـر و نگهـداری و نوسازی یک جایگاه سوخت نفت گـاز معـادل ۲۰٪ هزینـه احـداث آن خواهد بود. با توجه به نیاز بـه ۱۰ جایگـاه سـوخت‌گیـری، کـل هزینـه جایگاههای نفت گاز برابر است با :

$TFSCd = ۱۲ FSCd = ۱٤٤ \times ۱۰ ۷$ (تومان) (۱۳)

نوع دیگر جایگاههایی که باید مورد بررسی قرار گیرنـد، جایگـاه سوخت CNG است. این نوع جایگاهها برخلاف جایگاه سوخت دیزل بسیار پیچیده و پر تجهیزات هستند. هزینه این جایگاهها در بخـش سـاختمانی، کمپرسـورها[۸]، مخـازن[۹]، دیسپنـسرها[۱۰]، خشک‌کن[۱۱]، کولر[۱۲]، تابلو اولویت‌بنـدی[۱۳] و سـایر اقـلام صـرف می‌شود. چون محدودیت زمان بـرای سـوختگیری اتوبـوس‌هـای شرکت واحد وجود دارد لذا باید از جایگـاه سـوختگیری سـریع استفاده نمود. بخش ساختمانی جایگاه گازطبیعی عمر طـولانی در حدود ۳۰ سال دارد، ولی سـایر بخـش‌هـا کـه حـدود ۷۵ تـا ۸۰ درصد از هزینه احداث را تشکیل می‌دهند حدود ۱۰ سـال عمـر می‌کنند. کل هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بازرسی هر جایگاه ۵ درصد هزینه خرید تجهیزات فرض می‌شود کـه بـا نـرخ ۱٦٪ در سال افزایش می‌یابد [۱۷]. تجهیزات هر جایگاه یکـسال ضـمانت دارند و پـس از پایـان عمـر مفیـد (۱۰ سـال) دارای یـک ارزش اسـقاطی هـستند کـه $\frac{1}{10}$ قیمـت اولیـه تخمـین زده مـی‌شـود. به این ترتیب:

هزینـــه احـــداث ســـاختمان یـــک جایگـــاه CNG (تومـــان):

$FSCg = ۱ ۲۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰$

هزینه کل تجهیزات:

$DCg = ۰/۷۵ FSCg$

هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه:

$mCFg = ۰/۰۵ DCg = ۰/۰۳۷۵ FSCg$

ارزش اسقاط:

$SVg = \frac{1}{10} DCg = ۰/۰۷۵ FSCg$

هزینه‌های سالیانه در سه دوره متوالی ده ساله تکرار می‌شـود کـه متغیرهای NPV0 ، NPV10، NPV20 برای معرفی ارزش فعلی هر دوره در ابتدای هر دوره به کار مـی‌رود و پـس از آن مجـدداً ارزش فعلـــی NPV10 و NPV20 در ابتـــدای ســـال اول محاسبه می‌شود:

(۱٤)

$$NPV0 = (۰/۸٦۲۰ \times \frac{0/375 FSC_g}{1/16}) - (۰/۲۲٦٦ \times ۰/۰۷۵) FSCg$$
$$NPV0 = ۰/۲۷۸ FSCg - ۰/۰۱٦ FSCg = ۰/۲٦ FSCg$$
$$NPV_{10} = ۰/۲٦ FSC_g + DC_g$$
$$= ۰/۲٦ FSC_g + ۰/۷۵ FSC_g = ۱/۰۱ FSC_g$$
$$NPV20 = ۰/۲٦ FSCg + DCg = ۱/۰۱ FSCg$$

برای محاسبه کل هزینه خالص احداث و بهره‌برداری جایگـاه بـا طول عمر ۳۰ ساله و سه مرحله هزینه عملیاتی داریم.

(۱۵)

$$= FSCg + NPV0 + ۰/۲۲٦٦ NPV10 + ۰/٤۵۱۳۸ NPV20$$
$$NFSCg$$
$$NFSC_g = FSC_g + ۰/۲٦ FSC_g$$
$$+ ۰/۲۲ FSC_g + ۰/۵۱ FSC_g = ۲ FSC_g$$

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین کل هزینه‌های احداث و بهره‌برداری هر جایگاه در طول یک دوره ۳۰ ساله دو برابر هزینه احداث آن در سال اول است. برای تأمین سوخت، ده جایگاه مورد نیاز است و بنابراین هزینه کل عبارتست از:

TFSCg = ۲۰ FSCg = ۲٤ × ۱۰ ۹ (تومان) (۱٦)

٦. هزینه سوخت[۱٤]

در هر دو طرح استفاده از سوخت جهت تأمین انرژی مورد نیاز حرکت امری اجتناب ناپذیر است و تفاوت قیمت و هزینه سوخت مصرفی به عنوان بخشی از هزینه‌های یکی از طرحها باید محاسبه شود. گازطبیعی باید با فشار ۲۰۰ تا ۲۵۰ بار در مخازن سوخت ذخیره شود که در اینجا فشار ۲۰۰ بار فرض می‌شود. با توجه به اینکه یک لیتر گازوئیل از نظر ارزش حرارتی معادل ۱/۲ متر مکعب گازطبیعی در شرایط استاندارد است، یک لیتر گازوئیل برابر با ٦ لیتر گاز طبیعی با فشار ۲۰۰ بار برای طی مسافت یکسان است. برای جبران کاهش راندمان و تضمین کارکرد صحیح موتور، تقریباً ۸ لیتر گاز با فشار ۲۰۰ بار برابر یک لیتر نفت گاز برای طی مسافت یکسان است [۱۸]. هر دو نوع اتوبوس دیزلی شهاب و بنز ٤۵۷ روزانه ٦٦ لیتر گازوئیل مصرف دارند که معادل آن ۵۲۸ لیتر گاز در فشار ۲۰۰ بار است، قیمت هر لیتر نفت گاز با لحاظ هر بشکه نفت خام ۵۰ دلار، معادل ۳۸ سنت در نظر گرفته می‌شود و قیمت جهانی یک لیتر گازطبیعی هم یک سنت است [۳]. بنابراین، در صورت استفاده از موتور گازسوز و به ازای عدم مصرف هر لیتر گازوئیل، ۳۰ سنت صرفه‌جویی می‌شود. با مصرف روزانه ٦٦ لیتر گازوئیل توسط هر اتوبوس دیزل ۱۹/۸ دلار هزینه سوخت بیشتر در روز تحمیل می‌شود که اگر هزینه سوخت را سالیانه منظور کنیم، تفاوت هزینه مصرف سوخت سالیانه اتوبوس دیزل نسبت به مشابه گازسوز ۷۲۲۷ دلار خواهد بود. با فرض هر دلار ۸۵۰ تومان اختلاف هزینه سالیانه سوخت هر اتوبوس دیزل نسبت به مشابه گازسوز ٦۱٤۲۹۵۰ تومان است. (FCd = ٦۱٤۲۹۵۰)

ارزش فعلی سری یکنواخت اختلاف هزینه سوخت عبارتست از: (۱۷)

$$P = FC_1 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = FC_1 \ (P / FC_1 \quad \%16 \quad n) \right]$$

P = ۳۷۹٤٦۲۲٤/٦ (تومان)

چون تعداد اتوبوس ٤۰۰۰ دستگاه است، بنابراین ارزش فعلی کل برابر است با:

TFCd = ۱۵۱۷۸٤۸۹۸٤۰۰ TFCg = ۰ (۱۸)

بنابراین با اجرای طرح اتوبوس گازسوز بیش از ۱۵۱ میلیارد تومان صرفه‌جویی در هزینه سوخت خواهیم داشت.

۷. هزینه‌های اجتماعی[۱۵]

مصرف سوخت‌های فسیلی تولید یکسری آلاینده را به همراه خواهد داشت که آثار و تبعات بسیار منفی بر سلامت جسمی و روحی افراد بشر دارند و در دراز مدت خسارات جبران ناپذیری بر موجودات بی‌جان و جاندار وارد می‌سازد. متخصصین محیط‌زیست، شاخص‌هایی برای سنجش این هزینه‌ها که تاکنون از بعد کیفی به آنها نگاه می‌شد، ابداع کرده‌اند که به کمک آنها می‌توان هزینه آلودگی ناشی از مصرف واحد معین یک سوخت فسیلی را برآورد کرد. اگرچه خسارات ناشی از آلاینده‌ها قابلیت محاسبه دقیق را ندارند ولی مؤسسه ژاپنی به نام جایکا خسارات آلودگی اتوبوس‌های دیزلی تهران را براساس جدول زیر محاسبه کرده است.

جدول ۵. هزینه‌های ناشی از آلاینده‌ها (دلار)

آلاینده‌ها	هزینه در نظر گرفته شده برای هر تن در سال
HC	۲۹۲/۱
NOx	۱٤٦۰/۷
Sox	۱۸۰٦۷/۵
PM	۱٦۷۵۲/۹

منبع: گزارش گروه حمل‌ونقل سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت [۱۹]

براساس محاسبات این مؤسسه، اختلاف هزینه اجتماعی ناشی از خسارت آلاینده‌های هر دستگاه اتوبوس دیزلی ۵۵۰۰ دلار خواهد بود که با فرض هر دلار ۸۵۰ تومان معادل ٤٦۷۵۰۰۰ تومان می‌باشد [۱۹].

برای سهولت محاسبات هزینه اجتماعی اتوبوس دیزل را با SCd و هزینه اجتماعی اتوبوس گازسوز با SCg نشان داده می‌شود. باتوجه به اینکه اختلاف هزینه آلایندگی دو اتوبوس برای هر سال

www.SID.ir

 Archive of SID

٤٦٧٥٠٠٠ تومان است، ارزش فعلی این اختلاف هزینه برابر است با:

(١٩)

$$p = SCd\,(p/SCd\ \%١٦\ \ ٣٠) = ٤٧٦٥٠٠٠ \times ٦/١٧٧ = ٢٨٨٧٧٤٧٥$$

چنانچه عبارت فوق که ارزش فعلی هزینه آلایندگی برای یک اتوبوس دیزل را نشان می‌دهد در عدد ٤٠٠٠، تعداد اتوبوس‌هایی که به ناوگان افزوده خواهند شد ضرب شود، هزینه کل آلایندگی به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$TSCd = ٤٠٠٠ \times ٢٨٨٧٧٤٧٥ = ١١٥/٥ \times ١٠٩ \qquad (٢٠)$$

بنابراین، در صورت استفاده از اتوبوس‌های دیزل در طرح توسعه ناوگان، ١١٥ میلیارد تومان هزینه اضافی در قالب هزینه‌های اجتماعی و به صورت غیرمستقیم به جامعه تحمیل می‌شود که با استفاده از اتوبوس‌های گازسوز این میزان هزینه صرفه‌جویی خواهد شد.

٨. هزینه کل

برای هر یک از دو طرح توسعه ناوگان حمل‌ونقل اتوبوسرانی شهری تهران چهار گروه هزینه تحت عناوین هزینه وسیله نقلیه، هزینه احداث جایگاه، هزینه سوخت و هزینه اجتماعی محاسبه شد و هر کدام به صورت جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این قسمت هزینه کل توسعه ناوگان اتوبوس دیزل و گازسوز شهری به تفکیک بررسی خواهد شد.

در مورد اتوبوس‌های دیزلی عمر مفید هر دستگاه ٦ سال است و هر ٦ سال یکبار باید ناوگان تعویض و نوسازی شود[٩].

(٢١)

$$NVC_d = NVC_{d.} + ٠/٤١٠٤٤\ NVC_{d٦} + ٠/١٦٨٤\ NVC_{d١٢} + ٠/٠٦٩١\ NVC_{d١٨} + ٠/٠٢٨٣٨\ NVC_{d٢٤} = ١/٦٧\ NVC_{d.}$$

با توجه به بکارگیری ٤٠٠٠ دستگاه اتوبوس و با استفاده از رابطه (٦) هزینه کل خرید و تعمیر و نگهداری اتوبوس‌ها برابر است با:

(٢٢)

$$TVCd = ٤٠٠٠\ NVCd = ٦٦٨٠\ VCd \cdot = ٨٦١٧/٢\ VCd$$

طبق این رابطه برای پوشش کل هزینه‌های ٤٠٠٠ دستگاه اتوبوس دیزل به غیر از هزینه‌های سوخت و آلایندگی باید ٨٦١٧/٢ برابر قیمت یک دستگاه اتوبوس دیزل پرداخت شود. سایر هزینه‌ها از قبیل سوخت، جایگاه و آلایندگی که در یک افق ٣٠ ساله ارزیابی شده‌اند، با این هزینه جمع می‌شوند تا هزینه کل به دست آید:

$$TCd = TVCd + TFSCd + TFCd + TSCd \qquad (٢٣)$$

$$TCd = ٨٦١٧/٢\ VCd + ٢٦٨/٧ \times ١٠٩ \qquad (٢٤)$$

محاسبه هزینه کل در طرح اتوبوس گازسوز نیز کاملاً مشابه اتوبوس دیزل است، با این تفاوت که دوره هزینه عملیاتی ٥ ساله است.

برای محاسبه ارزش فعلی این فرآیند باید ارزش فعلی هر کدام از NVCg ها را که همه مساوی هم هستند در ابتدای سال اول محاسبه و با هم جمع شوند.

(٢٥)

$$NVC_g = NVC_{g.} + ٠/٤٧٦١١٣\ NVC_g + ٠/٢٢٦٦٨٤\ NVC_{g٥١٠} + ٠/١٠٧٩٢٧\ NVC_g + ٠/٠٥١٣٨٥\ NVC_{g١٥٢٠} + ٠/٠٢٤٤٦٥\ NVC_{g٢٥} = ١/٨٨\ NVC_{g.}$$

در اجرای طرح خرید ٤٠٠٠ دستگاه اتوبوس مورد نیاز است با توجه به ارتباطی که بین قیمت اتوبوس دیزل و گاز سوز موجود است (ضریب α) داریم:

$$TVC_g = ٤٠٠٠\ NVC_g = ٨٧٢٣/٢\ \alpha VC_d \qquad (٢٦)$$

$$TCg = TVCg + TFSCg + TFCg + TSCg \qquad (٢٧)$$

$$TC_g = ٨٧٢٣/٢\ \alpha\ VC_d + ٢٤ \times ١٠^{٩} \qquad (٢٨)$$

٩. قیمت سر به سری اتوبوس‌های گازسوز و دیزلی

اگر هزینه کل هر دو طرح را مساوی هم قرار دهیم، مقدار قیمت سربه‌سری اتوبوس‌های گازسوز که می‌تواند ما را میان انتخاب هر یک از دو طرح بی‌تفاوت سازد، به دست می‌آید:

$$TCg = TCd \qquad (٢٩)$$

$$٨٧٢٣/٢\ \alpha\ VC_d + ٢٤ \times ١٠^{٩} \qquad (٣٠)$$

$$= ٨٦١٧/٢\ VC_d + ٢٦٨٧٣٤٧٩٨٤٠٠$$

برای VCd دو مقدار را در نظر می‌گیریم: قیمت اتوبوس رنو و بنز ٤٥٧. اگر قیمت رنو را در رابطه فوق قرار دهیم ضریب α برابر با ١/٣٩ است. بنابراین، اگر اتوبوس گازسوز شهاب خودرو نسبت به مشابه دیزل خود ٣٩ درصد بیشتر نیز قیمت‌گذاری شود، خرید آن توجیه اقتصادی خواهد داشت. همچنین، اگر قیمت اتوبوس بنز ٤٥٧ دیزل را در رابطه قرار دهیم ضریب α برابر با ١/٣٦ به دست می‌آید، به این

www.SID.ir

Archive of SID

مفهوم که اگر قیمت اتوبوس گازسوز تولید ایران خودرو نسبت به مشابه دیزلی خود ۳۶ درصد گران تر نیز باشد هزینه اجرای دو پروژه یکسان است. از آنجاکه در حال حاضر ضریب α در کشور بین ۱/۲۹ تا ۱/۳۲ برای اتوبوس‌های بنز و رنو است، می‌توان نتیجه گرفت،طرح گازسوز در توسعه ناوگان حمل‌ونقل شهری تهران با بکار گیری اتوبوس‌های گاز سوز داخلی از توجیه اقتصادی برخوردار است. با توجه به محاسبات، ضریب بی‌تفاوتی α بین ۱/۳۶ تا ۱/۳۹ بر آورد شد و ضریب فعلی اتوبوس‌های گاز سوز داخلی($1/32 > \alpha > 1/29$) حدود ۷٪ کمتر از این ضریب بی‌تفاوتی فعلی است ، در حالی که ضریب اتوبوس‌های خارجی ($91\% > \alpha > 85\%$) حدود ۵۰٪ از ضریب بی‌تفاوتی فعلی کمتر است.علاوه بر این ضریب اتوبوس‌های گاز سوز خارجی در یک تخمین بدبینانه و با فرض کیفیت همسان با مشابه داخلی به دست آمده است. بنا بر این در صورت استفاده از تولیدات وارداتی توجیه اقتصادی طرح گاز سوز بیش از ۷ برابر در مقایسه با مشابه داخلی افزایش می یابد.

۱۰. تحلیل حساسیت

۱۰-۱ قیمت نفت و حامل‌های انرژی

تغییر قیمت جهانی نفت و فراورده‌های نفتی واقعیتی غیر قابل اغماض است، بنابراین اثرات تغییر قیمت جهانی نفت‌خام و فرآورده‌های آن نظیر گازوئیل بر روی ضریب و قیمت بی‌تفاوتی اتوبوس‌های گازسوز در جدول ذیل محاسبه شده است:

جدول ٦. تحلیل حساسیت تغییرات قیمت نفت گاز

قیمت نفت گاز	نوع اتوبوس	ضریب α	قیمت بی‌تفاوتی اتوبوس‌های گازسوز
هر لیتر ۱٦ سنت	رنو	۱/۲۰	۸۲/۸
	مان (بنز ٤٥٧)	۱/۱۹	۸۸/٥٦
هر لیتر ۳۲ سنت	رنو	۱/۳٤	۹۲/٤٦
	مان (بنز ٤٥٧)	۱/۳۱	۹٦/۹٤
هر لیتر ۳۸ سنت	رنو	۱/۳۹	۹٦
	مان (بنز ٤٥٧)	۱/۳٦	۱۰۰

منبع: محاسبات مولفان (با استفاده از قیمت‌های جهانی نفت خام و گازوئیل)

بنابراین با پیش‌بینی رشد قیمت جهانی نفت و به تبع آن فرآورده‌های نفتی حداکثر قیمت بی‌تفاوتی هر دستگاه اتوبوس گازسوز افزایش خواهد یافت و صرفه‌جویی هزینه ناشی از اجرای پروژه اتوبوس گازسوز افزایش می‌یابد.

۱۰-۲ تغییرات فناوری و توسعه بازار خودروهای گازسوز

در خصوص هزینه وسیله نقلیه، قیمت هر اتوبوس گازسوز به مضربی از قیمت مشابه دیزلی آن تعریف شد:

$$VCg = VCd \qquad \alpha > 1 \qquad (31)$$

ضریب α متأثر از عواملی همچون میزان عرضه خودروهای گازسوز در بازار، هزینه تولید خودروهای گازسوز، فناوری، ... است. انتظار می‌رود این ضریب با توجه به روند رو به رشد تولید خودروهای گازسوز و رشد فناوری مربوطه روز به روز کاهش یابد. هر چند برای حالت بی‌تفاوتی ضریب α بین ۱/۲۹ تا ۱/۳۱ برآورد شد، ولی در عمل ضریب α در حال کاهش است. علاوه بر این، رشد فنآوری در خودروهای گازسوز، افزایش عمر مفید و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و مصرف سوخت این خوردوها را به دنبال خواهد داشت.

۱۰-۳- تغییرات نرخ تنزیل

از دیگر فاکتورهایی که می‌تواند هزینه اجرای هر یک از طرح‌ها را به شدت تحت تأثیر قرار دهد نرخ تنزیل است. کاهش نرخ بهره یا تنزیل باعث می‌شود ارزش فعلی هزینه‌های سالیانه افزایش یابد، بنابراین طرحهایی که هزینه سالیانه بیشتری داشته‌اند توجیه اقتصادی خود را از دست می‌دهند. تأثیر تغییرات نرخ بهره بر ضریب α در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۷. تحلیل حساسیت تغییرات نرخ بهره

نرخ بهره (تنزیل)	نوع اتوبوس	ضریب α	قیمت (میلیون تومان)
۱٦ درصد	رنو	۱/۳۹	۹٥/۹۱
	مان (بنز ٤٥٧)	۱/۳٦	۱۰۰/٦٤
۱۰ درصد	رنو	۱/٤٦	۱۰۰/۷٤
	مان (بنز ٤٥٧)	۱/٤۳	۱۰٥/۸۲
٦ درصد	رنو	۱/٥۱	۱۰٤/۱۹
	مان (بنز ٤٥٧)	۱/٤۸	۱۰۹/٥۲

منبع: محاسبات مولفان

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین در صورت کاهش نرخ تنزیل ارزش فعلی کل هزینه‌های طرح استفاده از سوخت دیزل افزایش خواهد یافت و پروژه گازسوز را به صرفه‌تر خواهد کرد.

۱۱. خلاصه و نتیجه‌گیری

ترافیک شدید، حجم انبوه مصرف سوخت در حمل‌ونقل شهری، و آلودگی هوا از جمله معضلات عمده مدیریت شهری تهران در دو دهه اخیر بوده است. توسعه و مدیریت صحیح ناوگان حمل‌ونقل عمومی از جمله راهکارهای مؤثر در حل این مشکلات به نظر می‌رسد. در میان وسایل مختلف حمل ونقل درون شهری، اتوبوس با کمترین سرانه آلودگی به عنوان اولویت اول توسعه حمل‌ونقل درون شهری در کوتاه مدت و میان مدت محسوب می‌شود. در حال حاضر با توجه به قیمت‌های جهانی انرژی، تقاضای فزاینده فرآورده‌های نفتی و آلودگی ناشی از مصرف آنها، سوخت گازطبیعی فشرده (CNG) به عنوان سوخت جایگزین مناسب در توسعه ناوگان اتوبوسرانی مطرح است. به هر حال، بالا بودن قیمت اتوبوس‌های گازسوز و تجهیزات جایگاههای سوخت‌گیری گاز مانع از توسعه ناوگان اتوبوسرانی با سوخت گازطبیعی فشرده (CNG) شده است. در این مقاله دو گزینه استفاده از اتوبوس‌های دیزلی و اتوبوس‌های گازسوز با توجه به هزینه‌های خرید و نگهداری وسیله نقلیه، سوخت، احداث جایگاه‌ها و آلودگی با یکدیگر مقایسه شده است.

با نگرشی به بازار خودروهای گازسوز در جهان یک روند رو به رشد استفاده از این خودروها در مقایسه با سایر خودروها مشهود است. هم اکنون، بیش از ۵۰ کشور جهان ناوگان حمل‌ونقل خود را با گازطبیعی فشرده تجهیز کرده‌اند. فراوانی ذخایر گازطبیعی، مخاطرات زیست محیطی و آلودگی، بحران‌های نفتی از جمله علل و عوامل جهت‌گیری کشورهای مختلف به سمت توسعه بکارگیری گازطبیعی بوده است. با توجه به نوظهور بودن خودروهای گازسوز سنگین و با عنایت به وجود موتورهای بادوام دیزل به عنوان یک رقیب جدی، سرمایه‌گذاری کمتری در زمینه تولید خودروهای گازسوز سنگین صورت گرفته است. از طرف دیگر، جدید بودن فنآوری و عدم بلوغ کامل این خودروها و نبود تجربه و کارآیی در مراحل اولیه تولید خودروهای سنگین گازسوز از عوامل تفاوت فاحش میان قیمت این نوع خودروها با انواع مشابه دیزلی است. پیش‌بینی می‌شود با توجه به افزایش شدید قیمت نفت و فرآورده‌های نفتی و لزوم جایگزینی سوخت و توسعه فنآوری و افزایش کارایی صنعت تولید خودروهای سنگین گازسوز، قیمت این خودروها نیز کاهش یافته و همراه با افزایش طول عمر آنها امکان جایگزینی هر چه بیشتر آنها به جای خودروهای سنگین دیزلی فراهم شود. بر اساس نتایج این مطالعه در صورت افزایش قیمت نفت به بشکه‌ای بیش از ۵۰ دلار، رشد فنآوری خودروهای گازسوز و کاهش قیمت آنها، عدم تغییر در فرمولاسیون گازوئیل و کاهش آلودگی آن، استفاده از اتوبوس‌های گازسوز، علیرغم بالاتر بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری، قیمت خرید و هزینه احداث جایگاه و طول عمر کمتر آن در مقایسه با انواع مشابه دیزلی به صرفه خواهد بود. استفاده از اتوبوس‌های گاز سوز با طول عمر و کیفیت بیشتر وهزینه تعمیر ونگهداری و قیمت کمتر،نظیر اتوبوس‌های گاز سوز خارجی،به طور قطع باعث افزایش متنابه فاصله با ضریب بی تفاوتی وتوجیه اقتصادی قوی تر نسبت به شرایط فعلی خواهد بود. بنا بر این، در نظرگرفتن این واقعیت می‌بایست در اولویت برنامه‌های تصمیم‌گیران صنایع خودرو سازی سنگین کشور قرار گیرد. بدیهی است در ناوگان حمل‌ونقل سبک درون شهری که پارامترهای قیمت خرید، هزینه تعمیر و نگهداری و طول عمر، مشابه وسیله نقلیه بنزین سوز است، استفاده از گازطبیعی فشرده قطعاً به صرفه خواهد بود و توجیه اقتصادی لازم را دارد.

۱۲. پانویس‌ها

1. Compressed natural gas
2. Liquefied petroleum gas
3. Vehicle cost of diesel
4. Maintenance cost of diesel

۵. در تمام قسمت‌های مقاله اندیس d برای معرفی متغیرهای مربوط به سوخت دیزل، اندیس g برای متغیرهای مربوط به سوخت گاز و اندیس t برای متغیر زمان (سال) استفاده شده است.

6. Salvage value
7. Filling station costs
8. Compressor
9. Storage
10. Dispenser
11. Dryer

www.SID.ir

Archive of SID

12. Cooler
13. Priority panel
14. Fuel cost
15. Social costs
16. Total social cost
17. Total cost

۱۳. مراجع

1- Johnston, John (1956). "Scale, costs and profitability in passenger transport", Journal of Industrial Economics. Vol. 4.

۲. امامیه، سید مجید(۱۳۸۳) "معاینه فنی خودروها و کاهش مصرف سوخت"، اولین همایش بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل، تهران: سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت.

۳. میرفتاح، سید مهدی (۱۳۸٤) "ارزیابی اقتصادی جایگزینی سوخت در ناوگان حمل‌ونقل عمومی تهران" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امام صادق (ع).

4. International Association for Natural Gas Vehicle (1993) "Transit bus fleets". www. Iangv.org

5.Thuesen, G.J. and Fabryz, B. I. (1993) "Engineering Economy", Prentice Hall.

٦. سازمان بازرسی کل کشور (۱۳۸۳) "گزارش بازرسی شرکت واحد اتوبوسرانی"، محمود اسدیان. تهران: مرکز آموزش و پژوهش (پلی کپی).

۷. اسکو نژاد، مهدی (۱۳۸۰) "اقتصاد مهندسی"، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۸. شرکت واحد اتوبوسرانی (۱۳۸۳) "گزارش میزان مصرف سوخت. دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی"، (پلی کپی). ج

۹. شرکت واحد اتوبوسرانی (۱۳۸۳) " گزارش اتوبوس‌های فرسوده، دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی" (پلی کپی). الف

۱۰. شرکت واحد اتوبوسرانی (۱۳۸٤) " گزارش هزینه‌های سرویس و نگهداری. دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی" (پلی کپی).

11.IEA (2001)" Sustainable transport: new insights from the IEA worldwide transit study". IEA.

۱۲. سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت (۱۳۸۰) " نگاهی به صنعت CNG در جهان"، تهران: نشر ذره.

13.James, S. Canon (2000) "Bus futures :New technologies for cleaner cities", INFORM. Inc. (www.informinc.org)

14. Nanging, Dongyu (2007)، pk 6109 CNG bus, CHINA

۱۵. شرکت تکنوتار (۱۳۸٤) " گزارش احداث و بهره‌برداری جایگاههای سوخت‌گیری"، واحد فروش، شرکت تکنو تار.

۱٦. سید حسینی، سید محمد (۱۳۷۳) " اقتصاد مهندسی و آنالیز تصمیم‌گیری"، تهران: دانشگاه علم و صنعت.

۱۷. سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت (۱۳۸۲) "راهنمای تصمیم‌گیری برای خودروهای گازسوز". تهران: نشر ذره.

۱۸. سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت (۱۳۸۱)" گزارش گازسوز کردن مینی‌بوس کروز "، گروه حمل‌ونقل، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت

۱۹. سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت (۱۳۸۳) "گزارش بهبود وضعیت ناوگان اتوبوسرانی"، گروه حمل‌ونقل.

www.SID.ir