

## 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](mailto: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 - 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، گاز طبیعی به عنوان جایگزین مناسب نفت گاز برای توسعه و بهسازی ناوگان اتوبوسرانی تهران قابل استفاده است.

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

#### ۱. مقدمه

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

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

اتانول و الکتروسیته است، به طوری که هم اکنون بیش از ۱٪ از ناوگان حمل و نقل جهان از سوخت گاز طبیعی 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 گاز طبیعی فشرده داشته است. به همین جهت، شورای جهانی انرژی در سال ۱۹۹۵ در توکیو رسماً گاز طبیعی را به عنوان سوخت جایگزین در حمل و نقل 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 ۱۹۹۶ 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 گاز طبیعی 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 ۶۰۰۰ دستگاه اتوبوس از انواع مختلف مشغول ارائه خدمات است. در این مطالعه دو طرح مختلف جهت توسعه و نوسازی ناوگان حمل و نقل عمومی شهر تهران مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در گزینه اول خرید ۴۰۰۰ 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

تا حدودی رو به بهبود خواهد رفت. هزینه‌های سوخت یکی از مؤلفه‌های 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 گاز طبیعی فشرده (CNG)<sup>۱</sup> 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 قابل قبول 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 حمل و نقل در جهان

فرآورده‌های نفتی از بدو اختراع موتورهای احتراقی به عنوان منبع اصلی تحرک و جایجایی شناخته شده‌اند. به هر حال، 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 گاز طبیعی سوق یافته است.

هر چند استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت خودرو از سال ۱۹۲۰ آغاز شد، ولی در ابتدا این روند بسیار کند و خزانده بود. در پی شوک‌های نفتی سال‌های ۱۹۷۴ و ۱۹۷۹، زمینه مساعد برای توسعه خودروهای گازسوز فراهم شد. امروزه تلاش‌های فراوانی برای توسعه و تولید خودروهای الکتریکی صورت می‌گیرد. استفاده از گاز طبیعی 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 گاز طبیعی از سایر سوخت‌های جایگزین به استثنای LPG<sup>۲</sup> پیشی گرفته است و روز به روز در حال افزایش سهم خود در بازار مصرف سوخت‌های جایگزین نظیر متانول،

۳. مصرف سوخت به واحد کیلومتر در طول عمر مفید برای هر دو گروه از وسایل نقلیه اعم از گازسوز و دیزل ثابت است.

۴. قیمت جهانی انرژی و سوخت در طول عمر مفید پروژه‌ها ثابت می‌ماند.

۵. تغییرات فن‌آوری در طول عمر پروژه‌ها ناچیز است.

۶. نرخ تنزیل در هر دو پروژه یکسان و برابر با ۱۶٪ 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 [۷].

تعداد دستگاه اتوبوس با سوخت گاز طبیعی فشرده مورد توجه قرار می‌گیرد [۶] 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 گزینه مطلوب می‌بایست از کمترین ارزش فعلی هزینه‌ها برخوردار باشد، چنانچه 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.

جدول ۱. وضعیت استفاده از اتومبیل‌های گازسوز در کشورهای منتخب (۲۰۰۴)

تعداد جایگاه سوختگیری	تعداد خودرو	نام کشور	تعداد جایگاه سوختگیری	تعداد خودرو	نام کشور
۲۲۲	۲۰۵۰۵	کانادا	۱۱۰۵	۱۲۴۳۰۲۴	آرژانتین
۳۳۷	۱۹۴۰۰	آلمان	۸۶۰	۸۵۰۰۰۰	برزیل
۳۷	۱۵۴۸۶	بولیوی	۶۲۰	۶۰۰۰۰	پاکستان
۳۸	۱۲۰۰۰	مالزی	۴۶۳	۴۰۰۸۰۰	ایتالیا
۱۰	۹۷۸۰	ایرلند	۱۹۸	۲۰۴۰۰۰	هند
۱۰۲	۷۱۰۰	فرانسه	۱۳۰۰	۱۳۰۰۰۰	آمریکا
۱۵۸	۵۵۸۵	کره جنوبی	۲۷۰	۶۹۳۰۰	چین
۲۴	۵۵۰۰	بلاروس	۷۹	۵۲۰۰۰	مصر
۱۲	۴۹۰۰	شیلی	۱۴۰	۵۰۰۰۰	ونزوئلا
۲۸	۴۶۶۰	اندونزی	۱۳۰	۴۵۰۰۰	اوکراین
۲۸	۴۵۰۰	تایلند	۷۸	۴۳۳۸۰	کلمبیا
۴۴	۴۲۶۰	سوئد	۲۱۸	۳۶۰۰۰	روسیه
۱۲۷	۲۱۰۴	استرالیا	۷۹	۳۱۹۸۸	بنگلادش
۲۷۵	۱۳۴۳۹	۳۷ کشور دیگر	۴۰	۲۲۰۵۸	ایران
۷۲۹۳	۳۹۲۷۳۶۹	کل کشورها	۲۷۱	۲۰۶۰۰	ژاپن

منبع: اتحادیه بین‌المللی خودروهای گازسوز [www.iangv.com](http://www.iangv.com) [4]

#### ۴. 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 سرایشی، 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 ۴۵۷، 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 ۴۵۷ و اتوبوس شهاب است [۶]. 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	۶۹
بنز ۴۵۷	ایران خودرو دیزل	۷۴

منبع: گزارش شرکت واحد اتوبوسرانی، معاونت فنی، دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۴ [۱۰]

هزینه خرید هر دستگاه اتوبوس دیزل را با علامت  $VCd$  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  $mcd$  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 ۱۶٪ افزایش می‌یابند [۱۰]. به این ترتیب،

$$mcd = 0.07 VCd \quad (1)$$

$$mcdt = mcd_1 (1 + j) t - 1 \quad (2)$$

که در آن:

$mcdt$ : هزینه تعمیر و نگهداری در سال  $t$  ام،

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

$j$ : نرخ افزایش هزینه سالیانه نسبت به سال قبل (۱۶٪).

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]:

$$P = mcd_1 (p / mcd_1 i j n) \quad (3)$$

که در آن:

$i$ : نرخ تنزیل

$j$ : نرخ افزایش هزینه‌های سالیانه

$n$ : عمر مفید وسیله نقلیه (سال)

ارزش اسقاطی<sup>۱</sup>، 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:

$$(4)$$

$$P = s.vd \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] = s.v (p/sv \quad 16 \quad 6) \approx \tilde{1} \quad s.vd$$

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 ۶ سال، معادل  $\frac{1}{6}$  قیمت خرید برآورد می‌شود [۸]:

$$s.vd = \frac{1}{6} VCd \quad (5)$$

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

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:

$$VCd/1/20 \leq VCg \leq VCd/1/15$$

در حالت کلی می‌توان VCg را برحسب VCd نوشت:

$$VCg = VCd$$

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

جدول ۳. قیمت اتوبوس‌های گاز سوز

قیمت (میلیون تومان)	کارخانه سازنده	نوع اتوبوس
۸۹	شهاب خودرو	رنو
۹۷/۴	ایران خودرو دیزل	مان (بنز ۴۵۷)

منبع: [۳]

به این ترتیب قیمت اتوبوس‌های گازسوز داخلی بین ۱/۲۹ تا ۱/۳۲ برابر اتوبوس‌های دیزلی است ( $1/32 < 1/29 \leq$ ). بنا براین ضریب  $\alpha$  اتوبوس‌های گازسوز داخلی بیش از استاندارد متعارف جهانی است و به یقین عدم بهره‌وری و کارایی صنعت و بازار انحصاری این اتوبوس‌ها بر این واقعیت تأثیرگذار است. بر اساس گزارش شرکت واحد اتوبوسرانی (۱۳۸۴) [۴] عمر مفید اتوبوس گازسوز ۵ سال، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ۶٪ درصد قیمت خرید و ارزش اسقاط ۲۰ درصد قیمت اولیه فرض می‌شود، به طوری که:

(۸)

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

$$NVC_g = VC_g + 0/25VC_g - 0/09VC_g = 1/16VC_g$$

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

(۶)

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

$$= VC_d + 0/36VC_d - 0/07VC_d = 1/29VC_d$$

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 ۴۰۰۰ دستگاه فرض شده است، هزینه کل خرید و تعمیرات و نگهداری در طول عمر مفید برابر است با:

$$TVCd0 = 4000 NVCd0 = 5160 VCd \quad (۷)$$

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 کارایی 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 گاز طبیعی فشرده است. سیستم

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  $\alpha$  اتوبوس‌های خارجی ( $0/91 \leq \alpha \leq 0/85$ ) در مقایسه با ضریب  $\alpha$  اتوبوس‌های داخلی ( $1/32 \leq \alpha \leq 1/25$ ) هزینه کل خرید و تعمیر و نگهداری اتوبوس‌های گازسوز خارجی حداقل  $0/41$  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  $41\%$  صرفه‌جویی هزینه هستیم.

### ۵. هزینه احداث جایگاه‌های سوختگیری<sup>۷</sup>

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.

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

$$TVCg = 4640 \times \alpha \times VCd \quad (9)$$

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 ۴۵ صندلی و استاندارد کامل زیست محیطی برای تحویل در ایران حداکثر ۷۰ هزار دلار یا معادل ۶۳ میلیون تومان برآورد می‌شود [۱۴].

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

با یک نگاه بسیار بدبینانه به اتوبوس‌های خارجی همه پارامترها و

جدول ۴. 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	۴۷٪ هزینه کل	۰/۰۱۴۱ هزینه کل	۱۵ سال	۲۰ درصد قیمت خرید
مخازن	۳٪ هزینه کل	--	۳۰ سال	۰

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

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

شرکت واحد وجود دارد لذا باید از جایگاه سوختگیری سریع استفاده نمود. بخش ساختمانی جایگاه گاز طبیعی عمر طولانی در حدود ۳۰ سال دارد، ولی سایر بخش‌ها که حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد از هزینه احداث را تشکیل می‌دهند حدود ۱۰ سال عمر می‌کنند. کل هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بازرسی هر جایگاه ۵ درصد هزینه خرید تجهیزات فرض می‌شود که با نرخ ۱۶٪ در سال افزایش می‌یابد [۱۷]. تجهیزات هر جایگاه یکسال ضمانت دارند و پس از پایان عمر مفید (۱۰ سال) دارای یک ارزش اسقاطی هستند که  $\frac{1}{10}$  قیمت اولیه تخمین زده می‌شود.

به این ترتیب:

هزینه احداث ساختمان یک جایگاه CNG (تومان):

$$FSCg = 120000000$$

هزینه کل تجهیزات:

$$DCg = 0.75 FSCg$$

هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه:

$$mCFg = 0.05 DCg = 0.0375 FSCg$$

ارزش اسقاط:

$$SVg = \frac{1}{10} DCg = 0.075 FSCg$$

هزینه‌های سالیانه در سه دوره متوالی ده ساله تکرار می‌شود که متغیرهای NPV0، NPV10، NPV20 برای معرفی ارزش فعلی هر دوره در ابتدای هر دوره به کار می‌رود و پس از آن مجدداً ارزش فعلی NPV10 و NPV20 در ابتدای سال اول محاسبه می‌شود:

(۱۴)

$$NPV0 = (0.8620 \times \frac{0.375 FSCg}{1/16}) - (0.2266 \times 0.75) FSCg$$

$$NPV0 = 0.278 FSCg - 0.16 FSCg = 0.118 FSCg$$

$$NPV_{10} = 0.26 FSCg + DCg \\ = 0.26 FSCg + 0.75 FSCg = 1.01 FSCg$$

$$NPV_{20} = 0.26 FSCg + DCg = 1.01 FSCg$$

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

(۱۵)

$$= FSCg + NPV0 + 0.2266 NPV_{10} + 0.45138 NPV_{20} \\ NFSCg$$

$$NFSCg = FSCg + 0.26 FSCg \\ + 0.22 FSCg + 0.51 FSCg = 2 FSCg$$

کل هزینه احداث یک جایگاه سوخت دیزل (تومان)

$$FSCd = 120000000$$

$$DCd = 0.47 FSCd \quad \text{هزینه دیسپنسرها}$$

$$mCFd = 0.0141 FSCd \quad \text{هزینه تعمیر و نگهداری}$$

$$SVDd = \frac{1}{15} DCd = 0.031 FSCd \quad \text{ارزش اسقاط دیسپنسرها}$$

به این ترتیب، ارزش فعلی هزینه‌های جایگاه سوخت رسانی ناوگان دیزل در دوره پانزده سال اول عبارتست از:

(۱۰)

$$NPV0 = (0.8620 \times \frac{14 \times 0.0141 FSCd}{1/16})$$

$$- (0.107927 \times 0.31) FSCd = 0.14 FSCd$$

به طوری که، ارزش فعلی فرآیند مالی دوره پانزده ساله اول برابر با ۱۴٪ هزینه احداث یک جایگاه سوخت نفت گاز است. ارزش فعلی دوره پانزده ساله دوم نیز در ابتدای سال پانزدهم (NPV15) به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۶]:

(۱۱)

$$NPV_{15} = 0.14 FSCd + 0.47 FSCd = 0.61 FSCd$$

در نهایت، هزینه‌های خالص احداث یک جایگاه، شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های عملیاتی در طول دوره بهره‌برداری بصورت زیر به دست می‌آید:

(۱۲)

$$NFSCd = FSCd + NPV0 + 0.107927 NPV_{15} \\ = FSCd + 0.14 FSCd + 0.065 FSCd$$

$$NFSCd = 1.2 FSCd$$

به عبارت دیگر ارزش فعلی کلیه هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نوسازی یک جایگاه سوخت نفت گاز معادل ۲۰٪ هزینه احداث آن خواهد بود. با توجه به نیاز به ۱۰ جایگاه سوخت‌گیری، کل هزینه جایگاههای نفت گاز برابر است با:

(۱۳)

$$TFSCd = 12 FSCd = 144 \times 10^7 \quad \text{(تومان)}$$

نوع دیگر جایگاههایی که باید مورد بررسی قرار گیرند، جایگاه سوخت CNG است. این نوع جایگاهها برخلاف جایگاه سوخت دیزل بسیار پیچیده و پر تجهیزات هستند. هزینه این جایگاهها در بخش ساختمانی، کمپرسورها، مخازن، دیسپنسرها<sup>۱</sup>، خشک‌کن<sup>۱۱</sup>، کولر<sup>۱۲</sup>، تابلو اولویت‌بندی<sup>۱۳</sup> و سایر اقلام صرف می‌شود. چون محدودیت زمان برای سوختگیری اتوبوس‌های

چون تعداد اتوبوس ۴۰۰۰ دستگاه است، بنابراین ارزش فعلی کل برابر است با:

$$TFCd = ۱۵۱۷۸۴۸۹۸۴۰۰ \quad TFCg = ۰ \quad (۱۸)$$

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

### ۷. هزینه‌های اجتماعی<sup>۱۵</sup>

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
NO <sub>x</sub>	۱۴۶۰/۷
Sox	۱۸۰۶۷/۵
PM	۱۶۷۵۲/۹

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 ۴۶۷۵۰۰۰ تومان می‌باشد [۱۹].

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

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:

$$TFSCg = ۲۰ FSCg = ۲۴ \times ۱۰۹ \quad (۱۶)$$

### ۶. هزینه سوخت<sup>۱۴</sup>

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. گاز طبیعی 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 گاز طبیعی در شرایط استاندارد است، یک لیتر گازوئیل برابر با ۶ 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 ۴۵۷ روزانه ۶۶ 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 گاز طبیعی 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 ۶۶ 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 ۶۱۴۲۹۵۰ تومان است. (FCd = ۶۱۴۲۹۵۰)

ارزش فعلی سری یکنواخت اختلاف هزینه سوخت عبارتست از:

$$P = FC_1 \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] = FC_1 (P / FC_1 \quad \%۱۶ \quad n)$$

$$P = ۳۷۹۴۶۲۲۴/۶ \quad (\text{تومان})$$



قبیل سوخت، جایگاه و آلاینده‌گی که در یک افق ۳۰ ساله ارزیابی شده‌اند، با این هزینه جمع می‌شوند تا هزینه کل به دست آید:

$$TCd = TVCd + TFScd + TFCd + TSCd \quad (23)$$

$${}^{17} TCd = 8617/2 VCd + 2677 \times 10^9 \quad (24)$$

محاسبه هزینه کل در طرح اتوبوس گازسوز نیز کاملاً مشابه اتوبوس دیزل است، با این تفاوت که دوره هزینه عملیاتی ۵ 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.

(25)

$$NVCg = NVCg_0 + 0.476113 NVCg_1 + 0.22684 NVCg_{10} + 0.107927 NVCg_2 + 0.051385 NVCg_{10} + 0.024465 NVCg_{20} = 1/88 NVCg_0$$

در اجرای طرح خرید ۴۰۰۰ دستگاه اتوبوس مورد نیاز است با توجه به ارتباطی که بین قیمت اتوبوس دیزل و گاز سوز موجود است (ضریب  $\alpha$ ) داریم:

$$TVCg = 4000 NVCg = 8723/2 \alpha VCd \quad (26)$$

$$TCg = TVCg + TFScg + TFCg + TSCg \quad (27)$$

$$TCg = 8723/2 \alpha VCd + 24 \times 10^9 \quad (28)$$

## ۹. قیمت سر به سری اتوبوس‌های گازسوز و

### دیزلی

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

$$TCg = TCd \quad (29)$$

$$8723/2 \alpha VCd + 24 \times 10^9 = 8617/2 VCd + 2677 \times 10^9 \quad (30)$$

برای  $VCd$  دو مقدار را در نظر می‌گیریم: قیمت اتوبوس رنو و بنز ۴۵۷. اگر قیمت رنو را در رابطه فوق قرار دهیم ضریب  $\alpha$  برابر با ۱/۳۹ است. بنابراین، اگر اتوبوس گازسوز شهاب خودرو نسبت به مشابه دیزل خود ۳۹ درصد بیشتر نیز قیمت‌گذاری شود، خرید آن توجیه اقتصادی خواهد داشت. همچنین، اگر قیمت اتوبوس بنز ۴۵۷ دیزل را در رابطه قرار دهیم ضریب  $\alpha$  برابر با ۱/۳۶ به دست می‌آید، به این

۴۶۷۵۰۰۰ تومان است، ارزش فعلی این اختلاف هزینه برابر است با:

(19)

$$p = SCd (p/SCd / 1.16^{30}) = 4765000 \times 6/177 = 28877475$$

چنانچه عبارت فوق که ارزش فعلی هزینه آلاینده‌گی برای یک اتوبوس دیزل را نشان می‌دهد در عدد ۴۰۰۰، تعداد اتوبوس‌هایی که به ناوگان افزوده خواهند شد ضرب شود، هزینه کل آلاینده‌گی به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$TSCd = 4000 \times 28877475 = 115/5 \times 10^9 \quad (20)$$

بنابراین، در صورت استفاده از اتوبوس‌های دیزل در طرح توسعه ناوگان، ۱۱۵ 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.

## ۸. هزینه کل

برای هر یک از دو طرح توسعه ناوگان حمل و نقل 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 ۶ سال است و هر ۶ سال یکبار باید ناوگان تعویض و نوسازی شود [۹].

(21)

$$NVCd = NVCd_0 + 0.41044 NVCd_1 + 0.1684 NVCd_{12} + 0.0691 NVCd_{18} + 0.02838 NVCd_{24} = 1/77 NVCd_0$$

با توجه به بکارگیری ۴۰۰۰ دستگاه اتوبوس و با استفاده از رابطه (۶) هزینه کل خرید و تعمیر و نگهداری اتوبوس‌ها برابر است با:

(22)

$$TVCd = 4000 NVCd = 6680 VCd_0 = 8617/2 VCd$$

طبق این رابطه برای پوشش کل هزینه‌های ۴۰۰۰ دستگاه اتوبوس دیزل به غیر از هزینه‌های سوخت و آلاینده‌گی باید ۸۶۱۷/۲ برابر قیمت یک دستگاه اتوبوس دیزل پرداخت شود. سایر هزینه‌ها از

گازسوز افزایش خواهد یافت و صرفه‌جویی هزینه ناشی از اجرای پروژه اتوبوس گازسوز افزایش می‌یابد.

### ۲-۱۰ 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:

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

ضریب  $\alpha$  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  $\alpha$  بین ۱/۲۹ تا ۱/۳۱ برآورد شد، ولی در عمل ضریب  $\alpha$  در حال کاهش است. علاوه بر این، رشد فناوری در خودروهای گازسوز، افزایش عمر مفید و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و مصرف سوخت این خودروها را به دنبال خواهد داشت.

### ۳-۱۰ 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  $\alpha$  در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۷. تحلیل حساسیت تغییرات نرخ بهره

نرخ بهره (تنزیل)	نوع اتوبوس	ضریب $\alpha$	قیمت (میلیون تومان)
۱۶ درصد	رنو	۱/۳۹	۹۵/۹۱
	مان (بنز ۴۵۷)	۱/۳۶	۱۰۰/۶۴
۱۰ درصد	رنو	۱/۴۶	۱۰۰/۷۴
	مان (بنز ۴۵۷)	۱/۴۳	۱۰۵/۸۲
۶ درصد	رنو	۱/۵۱	۱۰۴/۱۹
	مان (بنز ۴۵۷)	۱/۴۸	۱۰۹/۵۲

منبع: محاسبات مولفان

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  $\alpha$  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 بکارگیری اتوبوس‌های گاز سوز داخلی از توجیه اقتصادی برخوردار است. با توجه به محاسبات، ضریب بی‌تفاوتی  $\alpha$  بین ۱/۳۶ تا ۱/۳۹ برآورد شد و ضریب فعلی اتوبوس‌های گاز سوز داخلی ( $1/29 < \alpha < 1/32$ ) حدود ۷٪ کمتر از این ضریب بی‌تفاوتی فعلی است، در حالی که ضریب اتوبوس‌های خارجی ( $0.91 < \alpha < 0.85$ ) 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 می‌یابد.

## ۱۰. تحلیل حساسیت

### ۱-۱۰ قیمت نفت و حامل‌های انرژی

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

جدول ۶. تحلیل حساسیت تغییرات قیمت نفت گاز

قیمت نفت گاز	نوع اتوبوس	ضریب $\alpha$	قیمت بی‌تفاوتی اتوبوس‌های گازسوز
هر لیتر	رنو	۱/۲۰	۸۲/۸
۱۶ سنت	مان (بنز ۴۵۷)	۱/۱۹	۸۸/۵۶
	رنو	۱/۳۴	۹۲/۴۶
۳۲ سنت	مان (بنز ۴۵۷)	۱/۳۱	۹۶/۹۴
	رنو	۱/۳۹	۹۶
۳۸ سنت	مان (بنز ۴۵۷)	۱/۳۶	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

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 حمل‌ونقل 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 گاز طبیعی 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 گاز طبیعی 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. هم‌اکنون، بیش از ۵۰ کشور جهان ناوگان حمل‌ونقل خود را با گاز طبیعی فشرده تجهیز کرده‌اند. فراوانی ذخایر گاز طبیعی، مخاطرات زیست محیطی و آلودگی، بحران‌های نفتی از جمله علل و عوامل جهت‌گیری کشورهای مختلف به سمت توسعه بکارگیری گاز طبیعی 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 فناوری 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 فناوری 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 فناوری 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 گازسوز با طول عمر و کیفیت بیشتر و هزینه تعمیر و نگهداری و قیمت کمتر، نظیر اتوبوس‌های گازسوز خارجی، به‌طور قطع باعث افزایش متناهی فاصله با ضریب بی تفاوتی و توجیه اقتصادی قوی‌تر نسبت به شرایط فعلی خواهد بود. بنا بر این، در نظر گرفتن 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 گاز طبیعی 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
5. 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

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

۱۰. شرکت واحد اتوبوسرانی (۱۳۸۴) "گزارش هزینه‌های سرویس و نگهداری. دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی" (پلی کی).

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](http://www.informinc.org))

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

۱۵. شرکت تکنوتار (۱۳۸۴) "گزارش احداث و بهره‌برداری جایگاه‌های سوخت‌گیری"، واحد فروش، شرکت تکنوتار.

۱۶. 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 بهینه‌سازی مصرف سوخت

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

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 (۱۳۸۴) "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](http://www.iangv.org)

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

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

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 کی). ج