

بررسی اقتصادی هزینه‌ی آلودگی ناشی از سوخت خودروها در طرح ملی CNG با استفاده از نظریه‌ی کنترل بهینه

ارسلان حاجی نبلی

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش سیستم‌های اقتصادی -

اجتماعی، دانشگاه تربیت مدرس arsalanhn@gmail.com

پرستو محمدی*

استادیار دانشگاه تربیت مدرس - گروه مهندسی سیستم‌های اقتصادی - اجتماعی

p.mohammadi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۱

چکیده

این مقاله به دنبال درک نقش و جایگاه هزینه‌ی آلودگی ناشی از مصرف سوخت خودروها در توجیه اقتصادی طرح ملی CNG می‌باشد. به عبارت دیگر در نظر گرفتن هدف کاهش آلودگی هوا برای اجرای طرح ملی CNG تا چه حد می‌تواند توجیه اقتصادی داشته باشد. به این منظور با استفاده از نظریه‌ی کنترل بهینه تلاش شده با ایجاد دو تابع هدف، یکی بدون هزینه‌ی آلودگی و دیگری با احتساب هزینه‌ی آلودگی، به مقایسه‌ی نتایج مدل پرداخته شود. نتایج مدل حکایت از اهمیت بالای هزینه‌ی آلودگی در توجیه اقتصادی اجرای طرح دارد. به طوری که در نظر نگرفتن هدف کاهش آلودگی، توجیه اقتصادی طرح را زیر سؤال می‌برد. از سویی به منظور درک میزان حساسیت مدل به هزینه‌ی آلودگی، به تحلیل حساسیت برنامه‌ی بهینه به درصد کاهش هزینه‌ی آلودگی بنزین پرداخته می‌شود. نتیجه نشان می‌دهد که اگر بتوان از طریق بهبود کیفیت بنزین و یا افزایش راندمان موتور خودروها، میزان آلودگی ناشی از مصرف بنزین را تا ۶۰٪ کاهش داد، دیگر نیازی به اجرای طرح ملی CNG نیست.

طبقه‌بندی JEL : Q38, P28

کلید واژه: طرح ملی گازسوز کردن خودروها، هزینه‌ی آلودگی، نظریه‌ی کنترل بهینه، CNG،

ارزیابی اقتصادی

۱- مقدمه

فراتر رفتن مصرف بنزین از توان تولید داخلی کشور و در نتیجه تحمیل هزینه‌های واردات این ماده بر کشور می‌شود و از سوی دیگر انتشار مقادیر هنگفتی از آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تحمیل هزینه‌های اجتماعی فراوان بر کشور را به دنبال دارد. به همین دلیل همواره جایگزینی بنزین با سوختی ارزان‌تر و با آلودگی کم‌تر در بخش حمل‌ونقل مدنظر سیاست‌گذاران بوده است.

با توجه به این‌که از یک سو ایران دارای منابع فراوان گاز طبیعی بوده و در نتیجه هزینه‌ی تمام شده‌ی آن برای این کشور در مقایسه با بنزین کم است و از سوی دیگر آلاینده‌های ناشی از احتراق سوخت در خودروهای گازسوز کم‌تر از خودروهای بنزینی می‌باشد، همواره این سوخت به عنوان جایگزینی مناسب برای بنزین در حمل و نقل مورد توجه بوده است.

روند روبه افزایش قیمت جهانی بنزین سبب شده است که سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، در سال ۱۳۸۰ پروژه‌ای با عنوان "طرح جامع خودروهای گاز طبیعی فشرده‌ی ایران" را با هدف امکان‌سنجی گازسوز کردن ناوگان خودروهای کشور و تعیین سناریوی مناسب برای اجرا، اجرا نماید. (سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۲) بر پایه‌ی نتایج این مطالعه، طی تصمیمات نمایندگان ویژه‌ی رئیس‌جمهور برای اجرای تبصره‌ی ۱۳ قانون بودجه‌ی سال ۱۳۸۵ کل کشور که در تاریخ ۸۵/۴/۷ توسط معاون اول رئیس‌جمهور ابلاغ شده دولت برنامه‌ای ۵ ساله را برای گازسوز کردن خودروهای کشور مدنظر قرار داده است و طی آن می‌بایست تمامی خودروهای موجود در کشور به خودروهای دوگانه‌سوز تبدیل می‌شدند.

اگرچه اجرای طرح ملی CNG منافی مانند کاهش هزینه‌های آلودگی و کاهش بار هزینه‌ای مربوط به یارانه‌های سوخت را به دنبال دارد، توجه به هزینه‌های ناشی از اجرای این طرح نیز حائز اهمیت است. می‌توان این هزینه‌ها را به دو دسته تقسیم کرد. هزینه‌های اجرای طرح و هزینه‌ی فرصت صادرات گاز.

هزینه‌هایی از قبیل احداث جایگاه سوخت‌رسانی، هزینه‌ی تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه‌سوز و هزینه‌ی ایجاد کارگاه‌های تبدیل، مواردی هستند که اجرای طرح ملی CNG بر کشور تحمیل می‌کند. بزرگ بودن اندازه‌ی طرح در حد یک طرح ملی، موجب می‌شود که هزینه‌های مذکور در نهایت رقم بزرگی را در میان سایر هزینه‌های کشور به خود اختصاص دهند، این در حالی است که بررسی‌ها نشان داده‌اند که توجیه اقتصادی

تقبل این هزینه‌ها، به قیمت‌های نسبی جهانی سوخت حساس می‌باشد (حاجی نیلی، ۱۳۸۸)، بنابراین در شرایط بازار جهانی سوخت که قیمت‌ها در آن غیرقابل پیش‌بینی هستند، گازسوز کردن حجم بالای ناوگان خودروهای کشور می‌تواند ریسک زیادی را متوجه کشور کند.

بررسی ابعاد و عوامل مختلف تأثیرگذار بر طرح ملی CNG نشان داده است که با توجه به محدودیت توان تولید گاز در کشور، گازسوز کردن خودروها منجر به کم شدن فرصت صادرات گاز می‌شود (حاجی نیلی، ۱۳۸۸)، بنابراین در صورتی که ارزیابی طرح ملی CNG بدون توجه به این عامل انجام گیرد، می‌تواند مانع کسب منافع حاصل از صادرات گاز برای کشور شود.

در این مقاله با تمرکز بر هزینه‌های آلودگی تلاش می‌شود تا با استفاده از یک مدل مناسب به این سؤال پاسخ داده شود که آیا کاهش هزینه‌های آلودگی حاصل از سوخت خودروها با اجرای طرح ملی CNG، می‌تواند توجیه‌کننده‌ی هزینه‌های زیاد اجرای طرح باشد؟

۲- مروری بر مطالعات انجام شده پیرامون هزینه‌ی آلودگی و طرح ملی CNG کشور

مروری بر سابقه‌ی بررسی‌های انجام شده در رابطه با هزینه‌ی آلودگی و طرح ملی CNG نشان می‌دهد که به صورت کمی و در قالب یک مدل، هزینه‌های آلودگی در ارزیابی هزینه‌ی فایده‌ی طرح ملی CNG در نظر گرفته نشده‌اند. مطالعات انجام شده در این زمینه را می‌توان به دو دسته‌ی کلی تقسیم کرد، دسته‌ی اول به طور مستقیم مزیت اجرای طرح در کاهش هزینه‌های آلودگی را نشان می‌دهند. دسته‌ی دوم، دارای عنوان کلی ارزیابی طرح ملی CNG هستند و هزینه‌های آلودگی را به صورت یک عامل جنبی در کنار سایر عوامل مانند کاهش یارانه‌های سوخت، بررسی می‌کنند.

در مطالعه‌ی امکان‌سنجی طرح ملی CNG انجام شده توسط سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور (۱۳۸۰)، بدون در نظر گرفتن هزینه‌ی آلودگی، به توجیه اقتصادی طرح به کمک آنالیز ارزش خالص فعلی پرداخته شده است. در انتها، با عنوان بررسی منافع جانبی اجرای طرح ملی CNG، با ارائه‌ی تخمینی از کاهش هزینه‌های آلودگی بر اثر اجرای طرح ملی CNG، کاهش آلودگی یکی از مزایای اجرای طرح معرفی شده است.

از نظر بررسی هزینه‌های آلودگی دو نکته حائز اهمیت است: اول این که هزینه‌های آلودگی در ارزیابی توجیه اقتصادی طرح ملی CNG مدنظر قرار نگرفته است و دوم این که تخمین میزان کاهش آلودگی بر اثر گازسوز کردن خودروهای کشور، بر پایه‌ی هزینه‌های آلودگی محاسبه شده برای کشور سوئد انجام گرفته است. این در حالی است که اطلاعات مربوط به هزینه‌های آلودگی در کشور هر ساله در ترازنامه‌ی انرژی توسط دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو منتشر می‌شود.

به‌طور کلی وجه مشترک مطالعات بررسی شده در زمینه‌ی هزینه‌ی آلودگی و طرح ملی CNG، این است که هیچ کدام هزینه‌های آلودگی را در قالب یک مدل ارزیابی هزینه‌ی فایده‌ی طرح ملی CNG در نظر نگرفته‌اند. علاوه‌براین در این مطالعات حتی برای تخمین میزان کاهش یافته بر اثر گازسوز کردن خودروهای کشور از آمار رسمی کشور که در ترازنامه‌ی انرژی منتشر می‌شوند، استفاده نشده است.

۳- نظریه‌ی کنترل بهینه

مدل نظریه‌ی کنترل بهینه، مدلی است که در نظر می‌گیرد تمام عوامل یک مسئله را به‌طور مستقیم نمی‌توان کنترل کرد. (Athans and Peter L. Falb, 1966) در نتیجه دو دسته‌ی متغیر وضعیت و متغیر کنترل را در مسئله تعریف می‌کند. متغیرهای وضعیت در هر لحظه نشان دهنده‌ی وضعیت سیستم یا مسئله هستند و تغییر در آن‌ها به‌طور مستقیم توسط برنامه‌ریز امکان‌پذیر نیست. متغیرهای کنترل ابزارهایی هستند که برنامه‌ریز برای تغییر در وضعیت سیستم در اختیار دارد. با انتخاب مقادیر مناسب متغیرهای کنترل در طول زمان، روند تاریخی متفاوتی برای وضعیت دستگاه مورد مطالعه حاصل می‌شود. روندهای مذکور از طریق اندازه‌گیری تابع مطلوبیت قابل مقایسه خواهند. (Thompson, 2006 Sethi and) در نتیجه مسئله‌ی بهینه‌سازی به انتخاب متغیرهای ابزاری به صورتی که تابع مطلوبیت با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و مقادیر اولیه‌ی متغیرهای وضعیت، به حداکثر برسد، مبدل می‌شود.

در این مقاله استفاده از نظریه‌ی کنترل بهینه از دو جنبه قابل بررسی است. اولاً با توجه به این که که طرح ملی CNG می‌تواند بر ترکیب سبد سوختی کشور تأثیر بگذارد، استفاده از آن، به عنوان مدلی که برای برنامه‌ریزی منابع استفاده می‌شود، مفید می‌باشد.

دوم این که قابلیت بالای نظریه‌ی کنترل بهینه در مسائل و تصمیم‌گیری‌های کلان اقتصادی در این مقاله مدنظر قرار گرفته است. به‌طور کلی در مسائل اقتصاد کلان که متغیرهای سری زمانی وابسته به هم مانند، مصرف، سرمایه‌گذاری، هزینه‌های دولت، درآمد و ... وجوددارند، استفاده از مدل نظریه‌ی کنترل بهینه توصیه می‌شود (Dorfman, 1969).

از سوی دیگر مبنای اصلی این مدل که عدم وجود کنترل بر تمام متغیرهای مسئله است، کاملاً مطابق شرایط طرح ملی CNG می‌باشد. در طرح ملی گازسوز کردن خودروهای کشور به‌طور مستقیم، نمی‌توان عواملی مانند میزان مصرف سوخت، میزان آلودگی انتشار یافته در بخش حمل‌ونقل، تعداد خودروهای گازسوز و یا بنزینی را برای برنامه‌ریزی تغییر داد. این عوامل وضعیت سیستم حمل‌ونقل کشور را نشان می‌دهند. برای ایجاد تغییر در این وضعیت از عواملی مانند میزان تبدیلات کارگاهی و میزان تولیدات کارخانه‌ای خودروها می‌توان استفاده کرد. با تعیین مقادیر این متغیرها در طول زمان اجرای طرح، می‌توان مقادیر متغیرهای وضعیت را مشخص کرد. از این رو در این مقاله به منظور بررسی نقش هزینه‌ی آلودگی در توجیه اقتصادی طرح ملی CNG، از مدل نظریه‌ی کنترل بهینه استفاده می‌شود.

۴- تشریح مدل

به عنوان یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی منابع، در طرح ملی CNG منبع اصلی بنزین است که در ناوگان حمل‌ونقل کشور مصرف می‌شود و قسمتی از آن از طریق تولید داخلی و قسمت دیگر از طریق واردات تأمین می‌شود. گاز طبیعی در بخش حمل‌ونقل، منبع جایگزین برای بنزین محسوب می‌شود و مازاد و یا کمبود آن از طریق صادرات و یا واردات برطرف می‌شود. در این طرح، هدف، برنامه‌ریزی برای استفاده‌ی مقدار مشخصی از دو منبع بنزین و گاز در بخش حمل‌ونقل کشور است.

۵- فرض مدل

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که در این مدل فرض می‌شود عواملی مانند راندمان خودروها و یا کیفیت سوخت ثابت هستند. در نتیجه در طول زمان برنامه‌ریزی، عواملی مانند میزان آلودگی ناشی از مصرف واحد سوخت ثابت خواهند بود.

برای تعیین میزان مصرف بنزین در بخش حمل و نقل کشور، از تابع تقاضای محاسبه شده توسط کیلاشکی و عمیدپور (۱۳۸۸) استفاده خواهد شد. ساختار این مدل در ادامه توضیح داده می‌شود.

در این مقاله برنامه‌ریزی و حل مدل تنها برای خودروهای شخصی انجام می‌شود. هم‌چنین در این مقاله مدت ۱۵ سال، مطابق مدت زمان پیشنهادی در مصوبه‌ی سال ۸۱ دولت، برای برنامه‌ریزی استفاده می‌شود.

علاوه بر این در این مقاله سال مبنا برای آغاز اجرای طرح، سال ۱۳۸۵ در نظر گرفته شده است. در نهایت، مدل ایجاد شده برنامه‌ی بهینه را برای استفاده از دو منبع در بخش حمل‌ونقل، به گونه‌ای که تابع هدف بهینه شود، ارائه خواهد کرد.

۵-۱- متغیرها

۴ دسته متغیر در مدل طراحی شده در این مقاله وجود دارند. متغیرهای کنترل، وضعیت، درونی و بیرونی.

متغیر درونی متغیری است که مقدار آن در داخل مدل و با توجه به مقدار متغیرهای کنترل مشخص شده و یا تغییر می‌کند. تفکیک این متغیرها به این دلیل است که تأثیر مستقیم در تابع هدف ندارند و تنها برای ارتباط میان متغیرهای حالت و متغیرهای کنترل در معادلات مدل استفاده می‌شوند. در جدول زیر متغیرهای مدل به تفکیک نوع متغیر ذکر شده‌اند.

جدول ۱- متغیرهای مدل به تفکیک نوع

نوع	تعریف متغیر	نماد متغیر
بیرونی	خالص صادرات گاز در دوره‌ی t	EG_t
	مصرف گاز در بخش حمل‌ونقل در دوره‌ی t	GD_t
	مصرف بنزین در بخش حمل‌ونقل در دوره‌ی t	BD_t
	واردات بنزین در دوره‌ی t	IB_t
	تعداد جایگاه‌های گاز در دوره‌ی t	St_t
	واردات تجهیزات دوگانه‌سوز کردن در دوره‌ی t	IT_t
درونی	تعداد خودروهای دوگانه‌سوز در دوره‌ی t	VG_t
	تعداد خودروهای بنزینی در دوره‌ی t	VB_t
	تولید خودروی بنزینی در دوره‌ی t	PB_t
کنترل	تعداد خودروهای تبدیل شده در دوره‌ی t	C_t
	تولید کارخانه‌ای خودروهای دوگانه‌سوز در دوره‌ی t	PG_t

۵-۲- متغیرهای بیرونی

متغیرهای بیرونی مورد استفاده در این مدل، در دو دسته‌ی کلی جای می‌گیرند، دسته‌ی اول مواردی هستند که مقدار آن‌ها در خارج از مدل تعیین شده ولی طی دوره‌ی مورد بررسی مقدار آن‌ها تغییر می‌کند. (جدول ۲)

جدول ۲- متغیرهای بیرونی سری زمانی، به همراه منبع مورد استفاده

منبع	نماد متغیر	تعریف متغیر
(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)	BP_t	تولید داخلی بنزین در دوره‌ی t
(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)	GP_t	عرضه‌ی گاز در کشور در دوره‌ی t
(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)	OB_t	مصرف بنزین در سایر بخش‌ها در دوره‌ی t
(مؤسسه‌ی مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۷۶)	OG_t	مصرف گاز در سایر بخش‌ها در دوره‌ی t
(شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، ۱۳۸۸)	VI_t	واردات خودرو در دوره‌ی t
(معاونت تبدیل ناوگان، ۱۳۸۵)	VN_t	تعداد خودروهای بنزینی غیر قابل تبدیل
(بیطرفان و رسول زاده، ۱۳۸۶)	UP_t	تولید داخلی تجهیزات دوگانه‌سوز کردن در دوره‌ی t
پورتال جامع خودروی کشور	VPL_t	توان تولید خودرو در کشور در دوره‌ی t

دسته‌ی دوم متغیرهای بیرونی هستند که در طول زمان مقدار ثابتی دارند. (جدول ۳).

جدول ۳- متغیرهای بیرونی ثابت در طول زمان، به همراه منبع مورد استفاده

منبع	مقدار	شرح متغیر	نماد
(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)	۲۰۰۱	هزینه‌ی استخراج گاز (ریال بر متر مکعب)	GPC
(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)	۳۵۱۹	هزینه‌ی تولید بنزین (ریال بر لیتر)	BPC
(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)	۵۰۰،۰۰۰	هزینه‌ی تبدیل کارگاهی هر خودرو (ریال)	CC
(ناوی، ۱۳۸۳)	۹ میلیارد	هزینه‌ی احداث هر جایگاه (ریال)	StC
(معاونت تبدیل ناوگان، ۱۳۸۵)	۸،۰۰۰،۰۰۰	قیمت جهانی لوازم دوگانه‌سوز کردن (ریال)	UPr
(معاونت تبدیل ناوگان، ۱۳۸۵)	۳۳۰	تعداد روزهای کاری خودروها	
(بیطرفان و رسول زاده، ۱۳۸۶)	۵۰۸۰،۰۰۰	هزینه‌ی تولید داخلی لوازم دوگانه‌سوز کردن (ریال)	UC
(انستیتو تحقیقات تکنولوژی نیرو، ۱۳۸۰)	۱۵۰۰	نسبت استاندارد جایگاه به خودرو	StF

نماد	شرح متغیر	مقدار	منبع
IGP	قیمت جهانی گاز (ریال)	۲۴۶۷	(Olcott, 2004)
TGP	قیمت گاز در بخش حمل و نقل در سال مبنا (ریال)	۶۰	(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)
IBP	قیمت جهانی بنزین (ریال)	۴۴۳۷	(EIA, 2009)
TBP	قیمت بنزین در بخش حمل و نقل در سال مبنا (ریال)	۸۰۰	(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)
VG ₀	تعداد اولیه خودروهای دوگانه سوز در سال مبنا	۸۶۶۰۰	(شرکت گاز خودروی ایران، ۱۳۸۸)
VB ₀	تعداد اولیه خودروهای بنزینی در سال مبنا	۷,۱۶۳,۰۰۰	(گروه بهبود روش‌های حمل و نقل، ۱۳۸۵)
St ₀	تعداد اولیه جایگاه‌ها در سال مبنا	۱۳۲	(شرکت گاز خودروی ایران، ۱۳۸۸)
GC	سرازمی مصرف گاز در خودرو (مترمکعب در سال) *	۲۷۲۴	(گروه بهبود روش‌های حمل و نقل، ۱۳۸۵)
NC	سرازمی مصرف بنزین در خودرو دوگانه سوز (لیتر در سال) *	۵۶۸	(گروه بهبود روش‌های حمل و نقل، ۱۳۸۵)
NG	هزینه‌ی تولید کارخانه‌ی خودروی دوگانه سوز (ریال) *	۳,۰۰۰,۰۰۰	پورتال جامع خودروی کشور
PuB	هزینه‌ی آلودگی هوا به ازای مصرف هر لیتر بنزین (ریال) *	۷۴۵	(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)
PuG	هزینه‌ی آلودگی هوا به ازای مصرف هر مترمکعب گاز (ریال) *	۵۷	(ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)

۵-۳- تابع هدف

در تابع هدف مجموع هزینه‌هایی که اجرای طرح ملی CNG برای کل کشور ایجاد می‌کند، مینیمم می‌شوند. به بیان دیگر هزینه‌ها و منافع اجتماعی که طرح ملی CNG به دنبال دارد، تشکیل دهنده‌ی تابع هدف خواهند بود. هزینه‌ی آلودگی ناشی از مصرف سوخت در بخش حمل و نقل، هزینه‌های تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه‌سوز،

۱- در مواردی که با علامت * مشخص شده‌اند، مقدار متغیر توسط خود محقق محاسبه شده است. برای اطلاع از جزئیات محاسبه به (حاجی نیلی، ۱۳۸۸) رجوع شود.

هزینه‌ی احداث جایگاه، یارانه‌های سوخت و صادرات و واردات سوخت، مواردی هستند که تابع هدف را تشکیل می‌دهند.

$$z = \sum_{T=1}^{15} (IGP_t \times EG_t - (IBP_t - TBP_t) \times BD_t - (IGP_t - TGP_t) \times GD_t - PuB \times BD_t - PuG \times GD_t - CC \times C_t - NGP \times PGP_t - UC \times UP_t - UPr \times IT_t - StC \times (St_t - St_{t-1}))$$

با توجه به این‌که در این مدل، هم متغیرهای گسسته (تعداد خودروها) و هم متغیرهای پیوسته (مصرف گاز و بنزین) حضور دارند، مدل از نوع MIP می‌باشد.

۵-۴- روابط مدل

روابط این مدل به چند دسته روابط تعریفی، روابط فنی و روابط رفتاری تقسیم می‌شوند. روابط تعریفی، اتحادهایی هستند که میان برخی متغیرهای مدل برقرار می‌باشند. روابط فنی، ارتباط متغیرها را از دیدگاه فنی نشان می‌دهند. روابط رفتاری بیانگر نوعی رفتار است. در ادامه روابط توضیح داده می‌شود.

۶- تعادل عرضه و تقاضای گاز

در یک سوی این تعادل میزان تولید گاز در کشور، که یک متغیر بیرونی است و در سوی دیگر، مصرف گاز در بخش‌های مختلف کشور قرار دارد. به غیر از دو بخش حمل‌ونقل و صادرات، سایر بخش‌ها در محدوده‌ی تصمیم‌گیری مدل قرار ندارند، بنابراین میزان گاز اختصاص یافته به این بخش‌ها به صورت مجموع در قالب یک متغیر بیرونی در نظر گرفته می‌شود. متغیرهای میزان مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل کشور و میزان خالص صادرات گاز، متغیرهای درونی هستند که مقدار آن‌ها توسط مدل مشخص می‌شود.

$$1: \text{رابطه‌ی تعریفی}) \quad GP_t = OG_t + EG_t + GD_t$$

۷- تعادل عرضه و تقاضای بنزین

همانند گاز طبیعی، برای بنزین نیز باید در هر دوره تعادل عرضه و تقاضای بنزین برقرار باشد. طبق این تعادل میزان بنزینی که در کشور عرضه می‌شود، مجموع تولید

داخلی و واردات، باید برابر با میزان بنزین مصرف شده در بخش‌های مختلف حمل‌ونقل، صنعتی و ... باشد.

$$IB_t = OB_t + BD_t - BP_t \quad \text{۲: (رابطه‌ی تعریفی)}$$

۸- مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل

برای محاسبه‌ی میزان مصرف بنزین در بخش حمل‌ونقل کشور از تابع تقاضایی که توسط کیلاشکی و عمیدپور (۱۳۸۸) ارائه شده است، استفاده می‌شود. در این تابع عواملی مانند تولید ناخالص ملی، قیمت بنزین و تعداد خودروها بر میزان مصرف بنزین در بخش حمل‌ونقل تأثیرگذار هستند.

$$\begin{aligned} \text{۳: (رابطه‌ی رفتاری)} \\ \log(BD_t) = 0.481 \times \log(VB_t) - 0.124 \times \log(TBP) + 0.327 \times \\ \log(BD_{t-1}) + 0.448 \times \log(GDP) - 5.774 \end{aligned}$$

از سوی دیگر میزان کل گاز مصرف شده در بخش حمل‌ونقل برابر خواهد بود با حاصل ضرب مقدار سرانه‌ی مصرف گاز هر خودرو در تعداد کل خودروهای گاز سوز.

$$GD_t = VG_t \times GC \quad \text{۴: (رابطه رفتاری)}$$

۹- ترکیب خودروهای بنزینی و دوگانه‌سوز

افزایش خودروهای بنزینی:

$$VB_t = VB_{t-1} + PB_t + VI_t - C_t \quad \text{۵: (رابطه‌ی تعریفی)}$$

$$VG_t = VG_{t-1} + PG_t + C_t \quad \text{۶: (رابطه‌ی تعریفی)}$$

با توجه به غیرقابل کنترل بودن ظرفیت تولید خودرو در مدل، رابطه‌ی میان تولید کارخانه‌ای خودروهای بنزینی و دوگانه‌سوز به صورت زیر خواهد بود. هم‌چنین فرض بر این است که برای تولید خودرو در کشور همواره تقاضا وجود دارد:

$$VPL_t = PG_t + PB_t \quad \text{۷: (رابطه‌ی تعریفی)}$$

۶- امکانات مورد نیاز برای اجرای طرح ملی CNG

تعداد این ایستگاه‌ها باید متناسب با تعداد کل خودروهای دوگانه‌سوز تعیین شود، به گونه‌ای که به ازای هر ۱۵۰۰ خودروی دوگانه‌سوز، حداقل یک جایگاه انتقال گاز وجود داشته باشد. (انستیتو تحقیقات تکنولوژی نروژ، ۱۳۸۰)

$$St_t = VG_t \div StF \quad \text{۸: (رابطه فنی)}$$

کیت دوگانه‌سوز کردن است شامل کیت تبدیل، مخزن گاز و اتصالات مورد نیاز می‌باشند. بخشی از این نیاز در داخل کشور با هزینه‌ی تمام شده‌ی مشخص تولید می‌شود. در صورتی که نیاز هر دوره بیش از توان تولید داخلی باشد، باقی‌مانده باید از طریق واردات تأمین شود. قیمت جهانی این قطعات، متغیر بیرونی است.

$$IT_t = GP_t + C_t - UP_t \quad \text{۹: (رابطه‌ی فنی)}$$

۹- قیود مدل

اولین محدودیت موجود در این مدل مربوط به خودروهای غیر قابل تبدیل است. خودروهای وارداتی، بخشی از خودروهای تولید داخل و خودروهای با سن بالای ۱۰ سال قابلیت گازسوز شدن را ندارند. (معاونت تبدیل ناوگان، ۱۳۸۵) در نتیجه همواره تعدادی خودروی بنزینی غیر قابل تبدیل در هر دوره وجود دارد که حد پایین تعداد خودروهای بنزینی در هر دوره را مشخص می‌کنند.

آمار تبدیل خودروها در سال‌های گذشته نشان می‌دهد که حداکثر تعداد خودروهایی که در یک سال تبدیل به دوگانه‌سوز شده‌اند ۲۷۰ هزار خودرو می‌باشد. (شرکت گاز خودروی ایران، ۱۳۸۸) در نتیجه در مقاله‌ی حاضر ظرفیت تبدیل کارگاهی خودروها را در کشور کمی خوشبینانه و معادل ۳۰۰ هزار خودرو در سال در نظر گرفته می‌شود.

$$C_t \leq VB_t - VN_t \quad \text{قید ۱:}$$

$$C_t \leq \alpha \quad \alpha = 300000 \quad \text{قید ۲:}$$

۱۰- محاسبه‌ی هزینه‌ی آلودگی به ازای مصرف سوخت در خودروها

با تقسیم مقادیر انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای از سوخت‌های مصرفی گاز و بنزین که در ترازنامه‌ی انرژی منتشر شده است، بر میزان کل مصرف بنزین و گاز در کشور،

مقادیر تولید آلاینده‌ها به‌ازای مصرف هر واحد سوخت محاسبه می‌شود. این مقادیر در جدول ۵ درج شده‌اند.

جدول ۴- تولید آلاینده به ازای واحد سوخت (کیلوگرم)

سوخت / گاز	NO _x	SO ₂	CO ₂	CO	CH	SPM
بنزین (لیتر)	۰,۰۱۳۵	۰,۰۰۱۵	۲,۳۲۳۱	۰,۳۵۰۰	۰,۰۶۳۰	۰,۰۰۱۳
گاز (مترمکعب)	۰,۰۰۲۱	۰,۰۰۰۰۱	۱,۶۸۴۶	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰۰۵	۰,۰۰۰۰۲

محاسبه با استفاده از اطلاعات (ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)

با تقسیم هزینه‌ی اجتماعی بر میزان گاز منتشر شده در بخش حمل و نقل کشور، هزینه‌ی اجتماعی هر کیلوگرم گاز آلاینده‌ی منتشر شده در بخش حمل و نقل به‌دست خواهد آمد. (جدول ۶)

جدول ۵- هزینه‌ی اجتماعی واحد گاز آلاینده‌ی منتشر شده در حمل و نقل کشور (ریال بر کیلوگرم)

گاز	NO _x	SO ₂	CO ₂	CO	CH	SPM
هزینه‌ی اجتماعی به ازای هر متر مکعب گاز	۴۷۹۹,۴	۱۴۵۹۹,۸	۲۳,۹	۱۵۰۳,۹	۵۰۳,۹	۳۴۴۰۱,۰

محاسبه با استفاده از اطلاعات (ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۸۶)

با ضرب کردن مقادیر جدول ۶ در سطرهای جدول ۵، هزینه‌ی انتشار گازهای آلاینده‌ی ناشی از مصرف یک واحد سوخت به تفکیک نوع گاز، به‌دست خواهد آمد. در نهایت جمع تمام مقادیر به‌دست آمده‌ی هزینه‌ی اجتماعی آلودگی ناشی از مصرف یک واحد سوخت در بخش حمل و نقل کشور مشخص خواهد شد. (جدول ۷)

جدول ۶- هزینه‌ی اجتماعی آلودگی ناشی از مصرف یک واحد سوخت در حمل و نقل کشور (ریال)

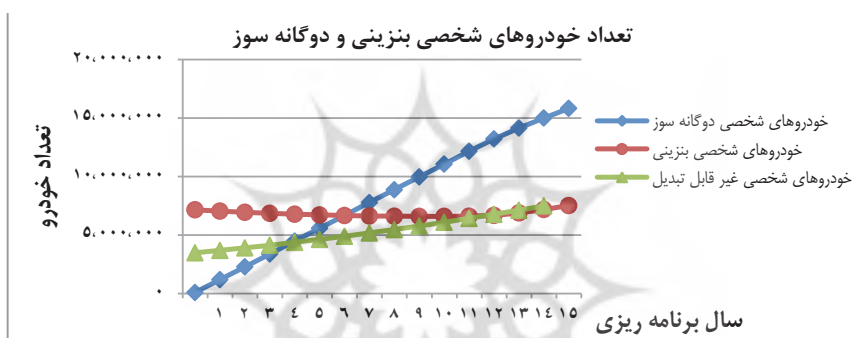
سوخت / گاز	NO _x	SO ₂	CO ₂	CO	CH	SPM	جمع
بنزین (لیتر)	۶۴,۷۲	۲۱,۹	۵۵,۷	۵۲۶,۴	۳۱,۷	۴۴,۷	۷۴۵,۳
گاز (مترمکعب)	۱۰,۲۳	۰,۰۸۱	۴۰,۴۲	۰,۱۶	۰,۰۲	۶,۱	۵۷,۱

محاسبه با استفاده از جدول ۵ و ۶

۱۱- بررسی نتایج مدل

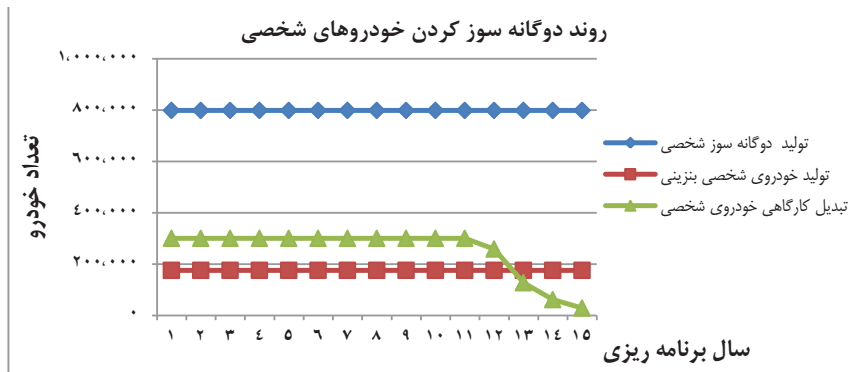
به منظور بررسی رابطه‌ی میان هزینه‌های آلودگی ناشی از مصرف گاز و بنزین در بخش حمل و نقل کشور و توجیه اقتصادی طرح ملی CNG، نتایج به دست آمده از مدل، با استفاده از نرم افزار GAMS، در دو حالت مقایسه می‌شوند. در حالت اول، تابع هدف شامل هزینه‌های آلودگی است و در حالت دوم، هزینه‌ی آلودگی از تابع هدف حذف می‌شود.

حالت اول: برنامه‌ی بهینه برای دوگانه‌سوز کردن خودروها با احتساب هزینه‌های آلودگی در نمودار زیر نشان داده شده است:



نمودار ۱- روند گازسوز کردن خودروها در برنامه‌ی بهینه با احتساب هزینه‌های آلودگی

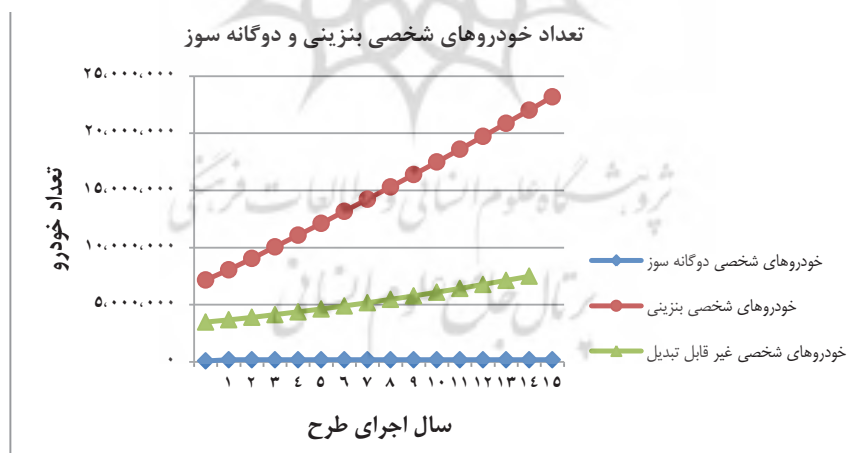
نمودار ۱، نشان می‌دهد که در تمام مدت ۱۵ سال به طور متوسط در هر سال نزدیک به یک میلیون خودروی گازسوز وارد ناوگان حمل و نقل می‌شود و پس از آن این روند متوقف می‌شود. هم‌چنین در این مدت از تعداد خودروهای بنزینی کاسته می‌شود، تا جایی که تعداد آن‌ها برابر با تعداد خودروهای غیرقابل تبدیل شود.



نمودار ۲- نحوه‌ی دوگانه‌سوز کردن خودروها در برنامه‌ی بهینه با احتساب هزینه‌های آلودگی

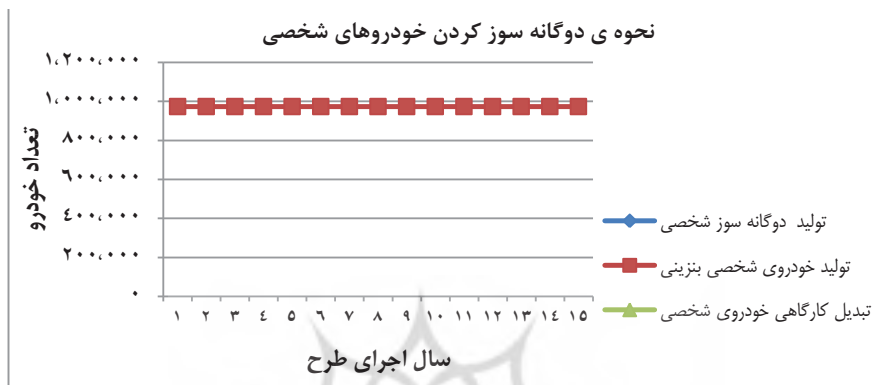
نمودار ۲، نشان می‌دهد که در برنامه‌ی بهینه، تولید کارخانه‌ای خودروهای شخصی تماماً به شکل دوگانه‌سوز انجام می‌گیرد. همچنین در این برنامه تبدیل کارگاهی این خودروها در مدت ۱۵ سال انجام می‌شود. در این مدت خودروهای بنزینی با سرعتی یکنواخت، به خودروهای دوگانه‌سوز تبدیل می‌شوند.

حالت دوم: در نمودارهای زیر برنامه‌ی بهینه برای دوگانه‌سوز کردن خودروها بدون احتساب هزینه‌های آلودگی نشان داده شده است.



نمودار ۳- روند گازسوز کردن خودروها در برنامه‌ی بهینه بدون هزینه‌ی آلودگی

آنچه در نمودار ۳ دیده می‌شود، بیان‌گر آن است که در برنامه‌ی بهینه، بدون احتساب هزینه‌های آلودگی تعداد خودروهای دوگانه‌سوز در کشور افزایش نخواهد داشت. به بیان دیگر طرح ملی CNG انجام نمی‌شود.



نمودار ۳ - نحوه‌ی دوگانه‌سوز کردن خودروها در برنامه‌ی بهینه بدون هزینه‌های آلودگی

در نمودار ۴ نیز مشاهده می‌شود که در برنامه‌ی بهینه بدون در نظر گرفتن هزینه‌های آلودگی، هیچ اقدامی در جهت گازسوز کردن خودروها انجام نمی‌شود.

۱۲- تحلیل حساسیت نسبت به هزینه‌ی آلودگی

در نمودار زیر تعداد کل خودروهایی که در برنامه‌ی بهینه دوگانه‌سوز می‌شوند، برحسب میزان کاهش هزینه‌ی آلودگی بنزین مشاهده می‌شود.



نمودار ۵ - حساسیت مدل به کاهش هزینه‌ی آلودگی بنزین

طبق نمودار ۵ در صورتی که درصد کاهش هزینه‌ی آلودگی کم‌تر از ۶۰٪ باشد، تعداد خودروهای دوگانه‌سوز شده در برنامه‌ی بهینه متناسب با آن کم می‌شود. ولی در صورتی که کاهش هزینه‌ی آلودگی، از ۶۰٪ فراتر رود، دیگر تقبل هزینه برای گازسوز کردن خودروهای کشور با هدف کم کردن از هزینه‌های آلودگی حاصل از مصرف سوخت در خودروها، توجیه‌پذیر نخواهد بود.

۱۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله برای پاسخ به این سؤال که هزینه‌های آلودگی تا چه میزان در توجیه اقتصادی طرح ملی CNG مؤثر است، برنامه‌ی بهینه‌ی اجرای طرح با استفاده از نظریه‌ی کنترل بهینه در دو حالت بررسی شده است. در حالت اول برنامه‌ی بهینه‌ی دوگانه‌سوز کردن خودروها با احتساب هزینه‌های آلودگی در تابع هدف مدل به‌دست آمده است. در این حالت دوگانه‌سوز کردن خودروها در تمام مدت ۱۵ سال انجام می‌شده است. در حالت دوم هزینه‌های آلودگی از تابع هدف مدل حذف شده است. در این حالت در نتیجه به‌دست آمده از مدل هیچ خودرویی دوگانه‌سوز نمی‌شده است.

این امر نشان دهنده‌ی نقش مهم کاهش هزینه‌ی آلودگی در توجیه اقتصادی طرح ملی CNG است، زیرا نشان می‌دهد که منافع ناشی از کاهش هزینه‌های آلودگی در کشور، در اجرای طرح ملی CNG به اندازه‌ی زیاد است که تقبل هزینه‌های اجرای طرح را مانند احداث جایگاه سوخت‌رسانی و یا تبدیل کارگاهی خودروهای بنزینی، توجیه می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اجرای طرح ملی گازسوز کردن خودروهای کشور با هدف کم کردن هزینه‌های آلودگی در کشور امری است که توجیه اقتصادی دارد.

از سویی نتیجه‌ی تحلیل حساسیت مدل به هزینه‌ی آلودگی ناشی از مصرف بنزین نشان می‌دهد که چنانچه بتوان هزینه‌ی آلودگی بنزین را بیش از ۶۰٪ کاهش داد، اجرای طرح ملی CNG اقتصادی نمی‌باشد، از این رو با توجه به هزینه‌های سنگین اجرای طرح نظیر احداث جایگاه سوخت‌رسانی، سرمایه‌گذاری برای تولید خودروهای دوگانه‌سوز و یا هزینه‌ی تبدیل کارگاهی خودروهای بنزینی به دوگانه‌سوز و ریسک همراه با تغییر سبد سوختی کشور به دلیل نوسانات احتمالی تغییر قیمت‌های نسبی انرژی در جهان و هزینه‌ی فرصت ناشی از صادرات گاز، می‌توان به آلترناتیوهای دیگری به جای اجرای کامل طرح ملی CNG اندیشید که با صرف هزینه‌های کم‌تر از طرح

مذکور بتوانند ما را به همان میزان از منافع برسانند. روش‌هایی نظیر بالا بردن کیفیت بنزین در کشور، افزایش راندمان موتور خودروها، افزودن کاتالیزورهای کاهش دهنده‌ی مواد آلاینده خارج شده از اگزوز خودروها و غیره.

فهرست منابع

- ۱ - آتش افزون، م. (۱۳۸۳) اثرات اقتصادی و زیست محیطی CNG سوز کردن خودروها به‌ویژه خودروهای عمومی. اولین همایش (CNG) سوخت جایگزین و خودروهای گازسوز، تهران سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- ۲ - انتظاری، ع. (۱۳۸۴) ارائه‌ی مدلی برای تعیین رایانه‌ی بهینه‌ی سیستم CNG و تعیین قیمت بنزین با استفاده از نظریه‌ی کنترل بهینه و تابع رفاه اجتماعی. مهندسی صنایع. ۱۳۴، صص ۲۵-۳۳.
- ۳ - انستیتو تحقیقات تکنولوژی نیروژ (۱۳۸۰) مطالعه‌ی امکان‌سنجی طرح جامع گازسوز کردن وسایل نقلیه‌ی ایران، تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور
- ۴ - دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۸۶). ترازنامه‌ی انرژی، تهران، وزارت نیرو معاونت امور برق و انرژی
- ۵ - حاجی نیلی، ا. (۱۳۸۸) امکان‌سنجی اقتصادی طرح ملی CNG با استفاده از نظریه‌ی کنترل بهینه دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶ - حاجی تاروردی، م. ص. (۱۳۸۳) بررسی اثرات کاربرد گاز طبیعی فشرده در ناوگان حمل و نقل چند شهر بزرگ جهان. اولین همایش (CNG) سوخت جایگزین و خودروهای گازسوز. تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- ۷ - خلعت بری، ف. (۱۳۷۲) اقتصاد منابع طبیعی، تهران، جامعه و اقتصاد.
- ۸ - رحمانیان، م. (۱۳۸۳) CNG تنها گزینه‌ی ممکن برای ایران، اولین همایش (CNG) سوخت جایگزین و خودروهای گازسوز. تهران.
- ۹ - رشیدزاده، م. و بخشی، ک. (۱۳۸۳) بررسی اثرات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از جایگزینی CNG به جای بنزین، اولین همایش (CNG) سوخت جایگزین و خودروهای گازسوز، تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- ۱۰ - سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور (۱۳۸۵) کارنامه‌ی عملکرد طرح ملی CNG، تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.

- ۱۱ - شجاعی فرد، م. ح.، نورپور، ع. ر. و گودرزی، ک. (۱۳۸۳) مطالعه‌ی فنی اقتصادی سوخت گاز طبیعی فشرده (CNG) در خودروها و مقایسه آن با سوخت دیزل. اولین همایش (CNG) سوخت جایگزین و خودروهای گازسوز. تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- ۱۲ - فرخ، ب. ب. و آری، م. (۱۳۸۳) تأثیر گازسوز نمودن خودروها بر محیط‌زیست و بهداشت جامعه. اولین همایش (CNG) سوخت جایگزین و خودروهای گازسوز، تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- ۱۳ - کیالاشکی آرش و عمیدپور مجید، (۱۳۸۸)، بررسی وضعیت کنونی و سیاست‌های کنترل تقاضای بنزین در ایران، اولین همایش ملی راهکارهای نوین تأمین، نگهداشت، انتقال و توزیع فراورده های نفتی.
- ۱۴ - معاونت تبدیل ناوگان (۱۳۸۵) بررسی راهکارهای طرح گازسوز نمودن خودروهای بنزینی در حال تردد. تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
- 15- Athans A. & Falb P. L. , (1966) Optimal Control : An Introduction To The Theory And Its Applications, USA , McGraw-Hill .
- 16- Dorfman, R., (1969) An Economic Interpretation of Optimal Control Theory. The American Economic Review, Vol. 59, No. 5.
- 17- Durgut, I. S. L. & Lu, K. L. C. O. (1997) Kalman-Filter-Based Observer Design Around Optimal Control Policy For Gas Pipelines. International Journal For Numerical Methods In Fluids, 24, 233-245.
- 18- EIA (2009) Iran Energy Data. Energy Information Administration
- 19- Olcott, M. B. (2004) International Gas Trade in Central Asia: Turkmenistan, Iran, Russia and Afghanistan. Geopolitics of Natural Gas Study.
- 20- Suresh Sethi, G. S. (1990) An exercise in modeling of consumption, import and export of an exhaustible resource. Optimal Control Applications and Methods, 11, 191-196.
- 21- Sethi S. P. & Thompson G. L., (2006), Optimal Control Theory: Applications To Management Science And Economics, USA, Springer.