

تجربیات جهانی در برقی سازی ناوگان اتوبوسرانی شهری و توصیه‌های سیاستی برای ایران



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شماره مسلسل: ۱۹۵۹۳
کد موضوعی: ۲۵۰



مرکز پژوهش‌های
مجلس شورای اسلامی

تاریخ انتشار:
۱۴۰۲/۱۱/۷

عنوان گزارش:

تجربیات جهانی در برقی‌سازی ناوگان اتوبوسرانی
شهری و توصیه‌های سیاستی برای ایران

نام دفتر:

مطالعات زیربنایی (گروه حمل و نقل)

مدیر مطالعه:

حمیدرضا فوری

تهیه و تدوین کنندگان:

شهاب دبیری‌نژاد، حمیدرضا فوری

ناظر علمی:

محمدحسن معادی‌رودسری

اظهار نظر کنندگان:

علی فرنام (گروه عمران و شهرسازی)
بهزاد اشجعی (گروه محیط زیست)

تاریخ شروع مطالعه:

۱۴۰۲/۷/۱۷

ویراستار ادبی:

زهره عطاردی

گرافیک و صفحه آرایی:

آذر مهمان‌نواز

واژه‌های کلیدی:

۱. حمل و نقل عمومی
۲. اتوبوس برقی
۳. سند توسعه وسایل نقلیه برقی
۴. تجربیات جهانی



فهرست مطالب

چکیده.....	۶
خلاصه مدیریتی.....	۷
۱. مقدمه.....	۹
۲. پیشینه پژوهش.....	۱۰
۳. سرمایه‌گذاری در توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهری.....	۱۰
۴. بررسی تجربیات جهانی در برقی‌سازی ناوگان اتوبوسرانی.....	۱۳
۵. بررسی مطالعات داخلی.....	۲۰
۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای سیاستی.....	۲۴
منابع و مآخذ.....	۲۶

فهرست جداول و شکل‌ها

جدول ۱. روند زمانی برقی‌سازی ناوگان اتوبوسرانی شنژن.....	۱۳
جدول ۲. هدف‌گذاری کشورهای اروپایی و آمریکا برای افزایش سهم اتوبوس‌های پاک.....	۱۴
جدول ۳. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در اتوبوس‌های برقی و دیزلی.....	۱۶
جدول ۴. ارزش فعلی هزینه‌های اتوبوس دیزلی و برقی با طول عمر ۸ سال در چین.....	۱۷
جدول ۵. نتایج مطالعات انجام گرفته درباره اثربخشی سناریوهای کاهش آلودگی هوادر سه شهر تهران، کرج و اصفهان.....	۲۲
شکل ۱. درصد فرسودگی ناوگان اتوبوسرانی کلان‌شهرهای کشور در سال ۱۳۹۹.....	۱۱
شکل ۲. تعداد اتوبوس نو خریداری شده با مشارکت حداکثری دولت در فاصله سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۱.....	۱۱
شکل ۳. میزان پیش‌بینی و تخصیص اعتبار برای کمک به توسعه و نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی در بودجه‌های سنواتی کشور.....	۱۲
شکل ۴. میانگین مصرف و بازایی انرژی اتوبوس‌های برقی بر اثر تغییرات شیب مسیر.....	۱۵
شکل ۵. درصد تغییرات مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی بر اثر تغییرات آب‌وهوا.....	۱۶
شکل ۶. تصویر شماتیک از مراحل تحلیل چرخ تا چاه برای مقایسه بازدهی انرژی و انتشار آلاینده‌های هوا بین خودروهای برقی و خودروهای دارای سوخت فسیلی.....	۱۸
شکل ۷. مجموع هزینه‌های اتوبوس‌های برقی و دیزلی در شنژن چین برحسب یوان با در نظر گرفتن هزینه‌های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول دوره عمر.....	۱۹
شکل ۸. هزینه سالانه شده استفاده از اتوبوس با فناوری‌های مختلف در ایالات متحده آمریکا با در نظر گرفتن هزینه‌های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای.....	۲۰



تجربیات جهانی در برقی سازی ناوگان اتوبوسرانی شهری و توصیه‌های سیاستی برای ایران

چکیده



را تعریف و راهبری نماید. ثانیاً، براساس نتایج این مطالعات، وزارت کشور «سند توسعه وسایل نقلیه عمومی برقی» را حداکثر ظرف یک سال تدوین نموده و به تصویب هیئت وزیران برساند. اجرای مرحله به مرحله (شامل مرحله آزمایشی) جایگزینی ناوگان موجود با ناوگان برقی باید به عنوان رویکرد کلیدی این سند، مدنظر قرار گیرد. هماهنگی این سند با شرایط آیین نامه واردات خودرو موضوع ماده (۴) قانون ساماندهی صنعت خودرو مصوب ۱۴۰۱ ضروری است. معیارهای لازم در رابطه با برنامه تأمین برق وسایل نیز باید در این سند مشخص گردد. ثالثاً، شهرداری‌های واجد شرایط و متقاضی ناوگان حمل و نقل عمومی برقی با توجه به سند مذکور، نسبت به تهیه برنامه خود برای برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی و تصویب آن در شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور اقدام نمایند.

همزمانی دو معضل فرسودگی ناوگان حمل و نقل عمومی شهری و آلودگی هوای کلان شهرها، بهره گیری از وسایل نقلیه عمومی برقی را به یک راهکار جذاب برای دولت و شهرداری‌ها تبدیل نموده است. اما نگاه دقیق تر به راهکار برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی و بررسی تجربیات جهانی و مطالعات ملی در شهرهای تهران، کرج و اصفهان نشان می دهد عدم بررسی دقیق جوانب این طرح و اتخاذ رویکردی شتاب زده بدون هدف گذاری میان مدت و عدم اجرای مرحله به مرحله برقی سازی ناوگان، می تواند موجب شکست این طرح شود. براساس یافته های این پژوهش، پیشنهاد می گردد: اولاً، وزارت کشور با همکاری سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت صنعت، معدن و تجارت و وزارت نیرو و استفاده از بنیه تخصصی دستگاه های اجرایی، پژوهشی و نخبگان کشور، مطالعات لازم در خصوص برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی شهری

■ بیان مسئله

طی دهه گذشته، تعداد ناوگان اتوبوسرانی فعال در شهرهای کشور حدوداً به نصف کاهش یافته است. به طور خاص در تهران، تعداد اتوبوس فعال در ناوگان عمومی شهر از حدود ۶۵۰۰ دستگاه در ابتدای دهه ۱۳۹۰ به کمتر از ۳ هزار دستگاه در سال ۱۴۰۱ رسیده است. فرسودگی ناوگان اتوبوسرانی در اغلب کلان شهرهای کشور نیز بیش از ۵۰ درصد است. از سوی دیگر، بررسی روند تغییرات کیفیت هوا در سال های اخیر نشان دهنده مواجهه بیشتر مردم با آلاینده هایی همچون ذرات معلق، اکسیدهای نیتروژن و ازن دارد. مطابق یافته های اخیر، نزدیک به ۸۰ درصد از جمعیت شهر تهران به طور متوسط در سال ۱۴۰۱، در معرض هوایی با غلظت ذرات معلق بیش از ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب (حد خطر ناک) بوده اند که دست کم ۷ برابر رهنمود سازمان بهداشت جهانی (۵ میکروگرم بر متر مکعب) و ۳ برابر استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم بر متر مکعب) می باشد. هم زمان شدن معضل آلودگی هوای کلان شهرها با مسئله کمبود و فرسودگی ناوگان حمل و نقل عمومی شهری، برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی را به یک راهکار جذاب برای دولت و شهرداری ها تبدیل نموده است. با این وجود، نگاه دقیق تر به راهکار برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی و بررسی تجربیات جهانی و مطالعات ملی در شهرهای تهران، کرج و اصفهان نشان می دهد عدم بررسی دقیق جوانب چنین رویکردی می تواند موجب شکست در پیشبرد آن شود. به نظر می رسد اجماع فعلی نهادهای تصمیم گیر بر حمایت از تأمین ناوگان حمل و نقل عمومی غیرریلی پس از حدود یک دهه کم توجهی به این حوزه، فرصتی کم نظیر برای بهبود کمی و کیفی ناوگان اتوبوسرانی شهری فراهم آورده و ضروری است این اعتبارات با دقت نظر کافی به سمت طرح هایی هدایت شوند که بیشترین منفعت را به لحاظ کاهش از دحام ترافیکی و آلودگی هوا ایجاد می کند.

■ یافته های کلیدی

مهم ترین یافته های این مطالعه که حاصل بررسی اجمالی تجارب جهانی در کشورهای چین و آمریکا و مطالعات تخصصی انجام شده در سه شهر ایران با رویکرد تحلیل تطبیقی عملکرد اتوبوس برقی با اتوبوس دیزلی است، به شرح ذیل می باشد:

۱- تجربیات چین، ایالات متحده آمریکا و کشورهای اروپایی نشان داد راهبردهای مربوط به برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی لازم است با دقت و پس از مطالعات همه جانبه تدوین شده و در نهایت به صورت مرحله به مرحله (شامل مرحله آزمایشی) و منطبق با هدف های کوتاه مدت و میان مدت اجرایی شود. به عنوان نمونه، با وجود بلند پروازی در اجرای طرح برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی در شنژن چین، در ابتدا یک مرحله آزمایشی (پایلوت) با ۱۰۰ اتوبوس اجرایی شد.

۲- اگر چه قیمت وسایل نقلیه برقی در دنیا رو به کاهش است، اما قیمت خرید اتوبوس برقی با باتری بزرگ با کارکرد قابل قبول در چین، همچنان ۲ برابر قیمت اتوبوس های دیزلی سنتی است و این عامل خصوصاً در شرایط دشوار فعلی از نظر تأمین اعتبارات لازم برای رفع کمبود و نوسازی ناوگان حمل و نقل عمومی و کاهش آلودگی هوا، باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.

۳- مطابق گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۲۱، ارزش فعلی هزینه سرمایه در دوره عمر ۸ ساله اتوبوس برقی در چین، نزدیک به ۳ برابر اتوبوس دیزلی محاسبه شده است. اگر چه در مواردی همچون تأمین انرژی و نگهداری، هزینه اتوبوس های برقی پایین تر (حدود ۴۴ درصد اتوبوس دیزلی) ارزیابی شده، اما با در نظر گرفتن تمامی اجزای هزینه های مالکیت از جمله هزینه سرمایه، ارزش فعلی هزینه کل مالکیت اتوبوس های برقی در چین (بدون در نظر گرفتن هزینه های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه ای) ۲۱ درصد بیشتر از اتوبوس های دیزلی برآورد شده است.

۴- محاسبه هزینه های اتوبوس های برقی و دیزلی در کشورهای چین و ایالات متحده با در نظر گرفتن هزینه های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه ای نشان داد که در مجموع توسعه برقی سازی ناوگان حمل و نقل کاملاً وابسته به شرایط ناوگان و منطقه مورد بررسی



است. به طوری که در ایالات متحده مجموع هزینه‌های استفاده از اتوبوس برقی (شامل هزینه‌های ناشی از آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای) بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بیشتر از اتوبوس‌های دیزلی و در چین ۱۳ درصد کمتر از اتوبوس‌های دیزلی است.

۵- منافع حاصل از برقی‌سازی ناوگان اتوبوسرانی حتی در کشور چین (به‌رغم کاهش ۱۳ درصدی هزینه‌ها نسبت به اتوبوس‌های دیزلی) به‌اندازه‌ای بزرگ و قابل توجه نیست که به‌عنوان تنها راه‌حل کاهش آلودگی هوا در شهرهای آلوده در نظر گرفته شده و تبلیغات وسیعی روی آن صورت گیرد.

۶- مهم‌ترین یافته مطالعات انجام شده در داخل کشور، غیراقتصادی بودن اجرای سناریوهای برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل در شهرهای تهران، کرج و اصفهان بوده است. برای سناریوهای برقی‌سازی اتوبوس‌های شهری در دو شهر اصفهان و کرج ارزیابی اقتصادی انجام شد و نتایج نشان داد میزان منافع این سناریوها بسیار کمتر از هزینه اجرای آنهاست (نسبت منافع به هزینه‌ها به ترتیب معادل ۱۱ به ۱۰۰ و ۱۸ به ۱۰۰ برآورد شده است). با این حال، به دلیل اینکه در مطالعات داخلی تمام مراحل تحلیل چاه تا چرخ انجام نشده و حدود ۳ تا ۴ سال نیز از زمان انجام آن گذشته است، تعریف مطالعاتی جامع با استفاده از اطلاعات به‌روز در این زمینه که همه هزینه‌ها و منافع برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل (مخصوصاً حمل‌ونقل عمومی) را در نظر بگیرد، ضروری می‌نماید.

۷- مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی در شهرهایی که دارای توپوگرافی کوهستانی بوده و یا تغییرات دمای هوا در فصول سرد و گرم بالاست بسیار افزایش می‌یابد. به طوری که مطالعه انجام شده در کشور فرانسه نشان داد مصرف انرژی اتوبوس برقی هنگامی که در مسیری با شیب ۴ درصد تردد می‌کند، ۱/۶۶ برابر مصرف انرژی آن هنگام تردد در یک مسیر بدون شیب است. بنابراین توسعه اتوبوس‌های برقی بدون توجه به شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی شهرها و مناطق مختلف شهری کشور، اشتباهی راهبردی است.

۸- تأمین زیرساخت‌های جدید برای شارژ اتوبوس‌های برقی یک محدودیت بالقوه برای برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی به‌شمار می‌آید. مطابق توصیه بانک جهانی، در نظر گرفتن چالش‌های تأمین زمین و سرمایه‌گذاری برای ایستگاه‌های شارژ، یک ملاحظه کلیدی در برنامه‌ریزی برای برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل است تا از تأخیر و اختلال در خدمات جلوگیری شود.

۹- به نظر می‌رسد حتی زمانی که کاهش آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای دلیل مهمی برای پیگیری ایده حمل‌ونقل برقی است، این راهکار تنها یکی از راهکارها جهت کاهش آلودگی هواست و لزوماً مقرون به صرفه‌ترین اقدام نیست و لذا باید در کنار سایر اقدامات از جمله مدیریت تقاضای سفر مدنظر قرار گیرد.

■ پیشنهاد راهکار تقنینی، نظارتی یا سیاستی

با توجه به ضرورت پرهیز از شتاب‌زدگی برای سیاست‌گذاری در حوزه برقی‌سازی حمل‌ونقل عمومی شهری در شرایطی که هنوز مطالعات کافی برای اتقان بخشی به تصمیمات صورت نپذیرفته است، پیشنهاد می‌شود:

۱- وزارت کشور با همکاری سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت صنعت، معدن و تجارت و وزارت نیرو و استفاده از بنیه تخصصی دستگاه‌های اجرایی، پژوهشی و نخبگان کشور، مطالعات لازم در خصوص برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهرها را تعریف و راهبری نماید. این مطالعات باید شامل انجام ارزیابی اقتصادی سناریوهای برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی در مقایسه با اتوبوس‌های دیزلی و گازسوز براساس تحلیل چاه تا چرخ در کلان‌شهرهای کشور باشد.

۲- براساس نتایج مطالعات بند فوق، وزارت کشور **سند توسعه وسایل نقلیه عمومی برقی** را حداکثر ظرف یک سال تدوین نموده و به تصویب هیئت وزیران برساند. در این سند، با توجه به شدت و تداوم آلودگی هوا و میزان فرسودگی و کمبود ناوگان حمل‌ونقل عمومی (مطابق با مطالعات جامع حمل‌ونقل شهرها)، شرایط لازم برای اعطای مجوز برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی به شهرها و مناطق مختلف شهری مشخص می‌گردد. با توجه به تجربیات جهانی، **هدف‌گذاری‌های میان‌مدت و اجرای مرحله به مرحله (شامل مرحله آزمایشی)** جایگزینی اتوبوس‌های موجود با اتوبوس‌های برقی باید به‌عنوان رویکرد محوری این سند، مدنظر قرار گیرد. در این خصوص، هماهنگی این سند با شرایط آیین‌نامه واردات خودرو موضوع ماده (۴) قانون ساماندهی صنعت خودرو مصوب ۱۴۰۱/۰۳/۱۶ به‌منظور تدقیق هدف‌گذاری در زمینه مشخصات فنی خودروهای وارداتی، انتقال فناوری، تعیین سقف واردات و حمایت از تولید با کیفیت داخلی ضروری است. همچنین، معیارها و استانداردهای لازم در رابطه با **برنامه تأمین برق وسایل نقلیه برقی** باید در این سند مشخص گردد.

۳- شهرداری‌های واجد شرایط و متقاضی ناوگان حمل‌ونقل عمومی برقی باید با توجه به الزامات و استانداردهای سند توسعه وسایل نقلیه عمومی برقی، نسبت به تهیه برنامه خود جهت برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی و تصویب آن در شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور اقدام نمایند.

۱. مقدمه



کم توجهی به حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تشدید بحران ازدحام ترافیکی در کلان شهرهای کشور شناخته می شود. طی یک دهه اخیر، حمایت ناچیز دولت از حمل و نقل عمومی و عدم پیش بینی مناسب اعتبارات از سوی نهادهای اداره کننده شهر (شورای شهر و شهرداری)، فرایند نوسازی ناوگان اتوبوسرانی را بسیار کند و در برخی موارد متوقف نموده است. در این مدت، تعداد ناوگان اتوبوسرانی فعال در شهرهای کشور حدوداً به نصف کاهش یافته است [۱]. به طور خاص در تهران، تعداد اتوبوس فعال در ناوگان عمومی شهر از حدود ۶۵۰۰ دستگاه در ابتدای دهه ۱۳۹۰ به کمتر از ۳ هزار دستگاه در سال ۱۴۰۱ رسیده است [۲]. از سویی دیگر بررسی روند تغییرات کیفیت هوا در سال های اخیر نشان دهنده مواجهه بیشتر مردم با آلاینده هایی همچون ذرات معلق، اکسیدهای نیتروژن و ازن دارد. مطابق یافته های اخیر، نزدیک به ۸۰ درصد از جمعیت شهر تهران به طور متوسط در سال ۱۴۰۱، در معرض هوایی با غلظت ذرات معلق بیش از ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب (حد خطرناک) بوده اند [۳] که دست کم ۷ برابر رهنمود سازمان بهداشت جهانی (۵ میکروگرم بر متر مکعب) و ۳ برابر استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم بر متر مکعب) می باشد. هم زمان دو معضل آلودگی هوا و فرسودگی ناوگان حمل و نقل عمومی شهری، بهره گیری از وسایل نقلیه برقی برای نوسازی و تکمیل ناوگان حمل و نقل عمومی را به یک راهکار جذاب تبدیل نموده است. در این راستا، شهرداری تهران تفاهات اولیه ای با شرکت های چینی برای واردات اتوبوس برقی منعقد کرده است [۴]. همچنین وزارت صنعت، معدن و تجارت نیز طی ماه های اخیر تلاش های زیادی برای توسعه خودروهای برقی از طریق واردات و توسعه فناوری های مرتبط در کشور به عمل آورده است. از سویی دیگر، با توجه به مشکلات یاد شده در وضعیت ناوگان حمل و نقل عمومی شهری، دولت سیزدهم نیز تصمیماتی همچون انعقاد قرارداد تأمین ۴۸۰۰ دستگاه اتوبوس با مشارکت ۷۵ الی ۸۰ درصدی دولت در تأمین اعتبارات مربوطه جهت حمایت های بیشتر از این حوزه اتخاذ کرده است [۱]. همچنین، مدیریت شهری در تهران و برخی شهرهای دیگر، ردیف های مربوط به اعتبارات خرید و نوسازی حمل و نقل عمومی غیرریلی در بودجه مصوب شهرداری ها را افزایش داده اند؛ به طوری که اعتبار در نظر گرفته شده برای این موضوع در بودجه مصوب سال ۱۴۰۲ شهر تهران نسبت به سال ۱۴۰۱، از ۸۵۸ میلیارد تومان به ۸۴۵۲ میلیارد تومان (حدود ۱۰ برابر) رسیده است [۲]. به نظر می رسد اجماع فعلی نهادهای تصمیم گیر بر حمایت از تأمین ناوگان حمل و نقل عمومی غیرریلی پس از حدود یک دهه کم توجهی به این حوزه، فرصتی کم نظیر برای بهبود کمی و کیفی ناوگان حمل و نقل عمومی شهری فراهم آورده که می تواند زمینه ساز کاهش معضل ترافیک شهرها و به تبع آن کاهش آلودگی هوا در مقطع زمانی حاضر باشد. بنابراین، ضروری است این اعتبارات با دقت نظر زیادی به سمت طرح هایی هدایت شوند که بیشترین منفعت را به لحاظ کاهش ازدحام ترافیکی و آلودگی هوا ایجاد می کند. در این گزارش تلاش می شود توجه تصمیم گیران حوزه حمل و نقل شهری به برخی سؤالات کلیدی و تعیین کننده در زمینه سرمایه گذاری در تأمین ناوگان حمل و نقل عمومی برقی جلب و با استفاده از تجربیات جهانی در این زمینه، تا حدی به این سؤالات پاسخ داده شود. این سؤالات شامل موارد زیر است:

■ استفاده از اتوبوس های برقی در ناوگان حمل و نقل عمومی در مقایسه با اتوبوس های دیزلی چه مزیتی برای شهرها دارند؟

■ چه ملاحظات در برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی باید مورد توجه قرار گیرد؟



۲. پیشینه پژوهش



۲-۱. سوابق تقنینی

مهم‌ترین قوانین در حوزه وسایل نقلیه برقی به شرح ذیل می‌باشد:

۱-۲. قانون توسعه حمل و نقل عمومی و مدیریت مصرف سوخت

قانون توسعه حمل و نقل عمومی و مدیریت مصرف سوخت با هدف ساماندهی حمل و نقل عمومی در معابر شهری و بین شهری در سال ۱۳۸۶ مشتمل بر ۱۳ ماده به تصویب رسید. در ماده (۱) این قانون، حمایت از تولید خودروهای برقی و دو نیرویی (هیبریدی) از جمله وظایف دولت قلمداد شده است. همچنین در ماده (۲) این قانون، به دولت مجوز داده شده تا برای حقوق ورودی و سود بازرگانی واردات خودروهای برقی و دو نیرویی (هیبریدی) و قطعات و تجهیزات مربوطه تخفیف قائل شود.

۲-۱-۲. قانون برنامه ششم توسعه

قانون برنامه ششم توسعه مشتمل بر ۱۲۴ ماده در سال ۱۳۹۶ به تصویب رسید. در جزء «ش» ماده (۳۸) این قانون، به اعطای تسهیلات و پیش‌بینی اعتبار لازم در بودجه سالانه جهت از رده خارج کردن سالانه ده درصد (۱۰٪) از موتورسیکلت‌های بنزینی و جایگزینی با موتورسیکلت‌های برقی اشاره شده است.

۳-۲-۱. قانون هوای پاک

قانون هوای پاک مشتمل بر ۳۴ ماده در سال ۱۳۹۶ به تصویب رسید. در ماده (۹) این قانون وزارت کشور موظف شده تا با همکاری وزارتخانه‌های صنعت، معدن و تجارت و امور اقتصادی و دارایی (گمرک جمهوری اسلامی ایران)، زمینه نوسازی ناوگان حمل و نقل عمومی شهری با اولویت شهرهای بالای دویست هزار نفر جمعیت را ظرف مدت پنج سال از محل منابع درآمدی ماده (۶) این قانون از طریق کمک بلاعوض، یارانه،

تسهیلات یا صفر نمودن سود بازرگانی واردات خودروهای برقی بنزینی (هیبریدی) و خودروهای الکتریکی و موتورسیکلت برقی، به انجام برسانند. همچنین در تبصره همین ماده به معافیت از مالیات بر ارزش افزوده خودروهای برقی بنزینی (هیبریدی)، موتورسیکلت و خودروهای برقی تولید داخل اشاره شده است.

۴-۲-۱. قانون ساماندهی صنعت خودرو

قانون ساماندهی صنعت خودرو مشتمل بر ۱۰ ماده در سال ۱۴۰۱ به تصویب رسید. در ماده (۳) این قانون، وزارت صنعت، معدن و تجارت مکلف شده است تا سند راهبردی فناوری‌های نوین در صنعت خودروسازی از جمله خودروهای تمام برقی، ترکیبی، خودران و نیز امکان استفاده از سوخت‌های غیرسنگواره‌ای (غیرفسیلی) دیگر را حداکثر ظرف یک سال پس از لازم‌الاجرا شدن این قانون تدوین نماید. همچنین در ماده (۴) این قانون، مجوز واردات خودرو مشروط به تدوین آیین‌نامه‌ای شده است که به پیشنهاد وزارت صنعت، معدن و تجارت به تصویب هیئت وزیران می‌رسد و در آن شرایطی رعایت شده است. شرایط در نظر گرفته شده در این آیین‌نامه برای واردات خودرو عبارتند از: ۱. تعیین مشخصات فنی خودرو با اولویت واردات خودروهای برقی، ترکیبی، کم‌مصرف، ایمن و مورد استفاده عامه، ۲. تأمین خدمات پس از فروش و انتقال فناوری، ۳. تعیین صلاحیت‌های فنی و حرفه‌ای واردکنندگان و برخورداری از نمایندگی رسمی خودروساز خارجی و ۴. تعیین سقف واردات خودرو با ملاحظه تنظیم بازار، حمایت از تولید با کیفیت داخلی و رعایت منابع ارزی کشور با اولویت مصرف ارز برای کالاهای اساسی و ضروری.

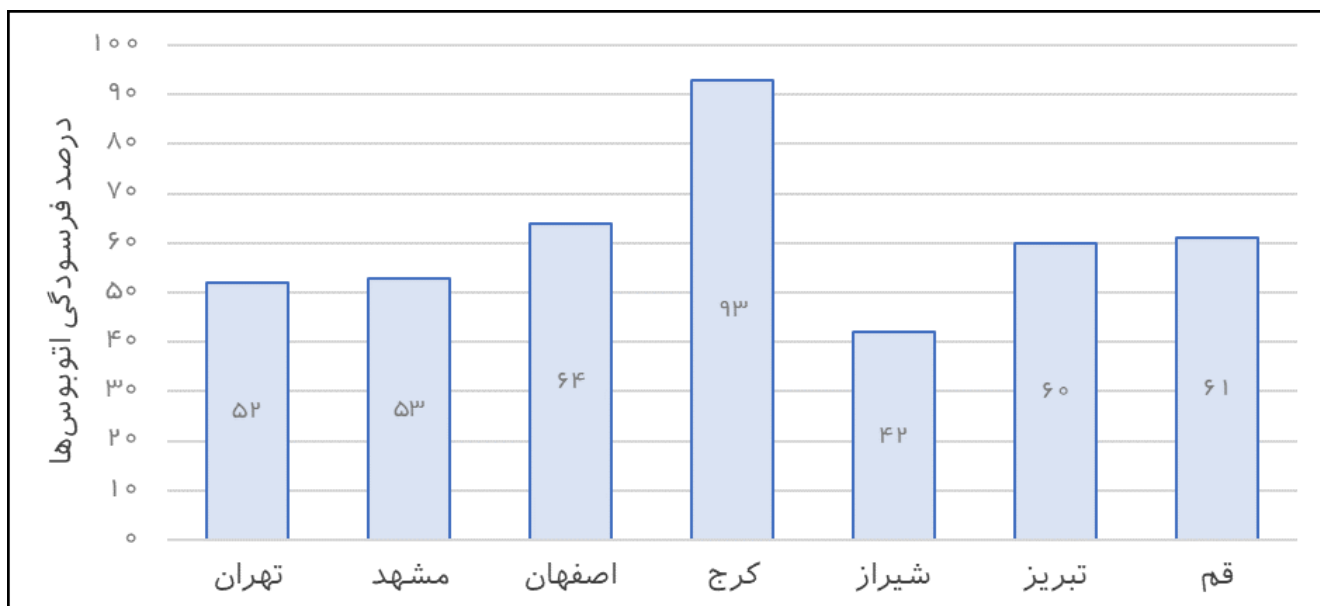
۳. سرمایه‌گذاری در توسعه ناوگان حمل و نقل عمومی شهری



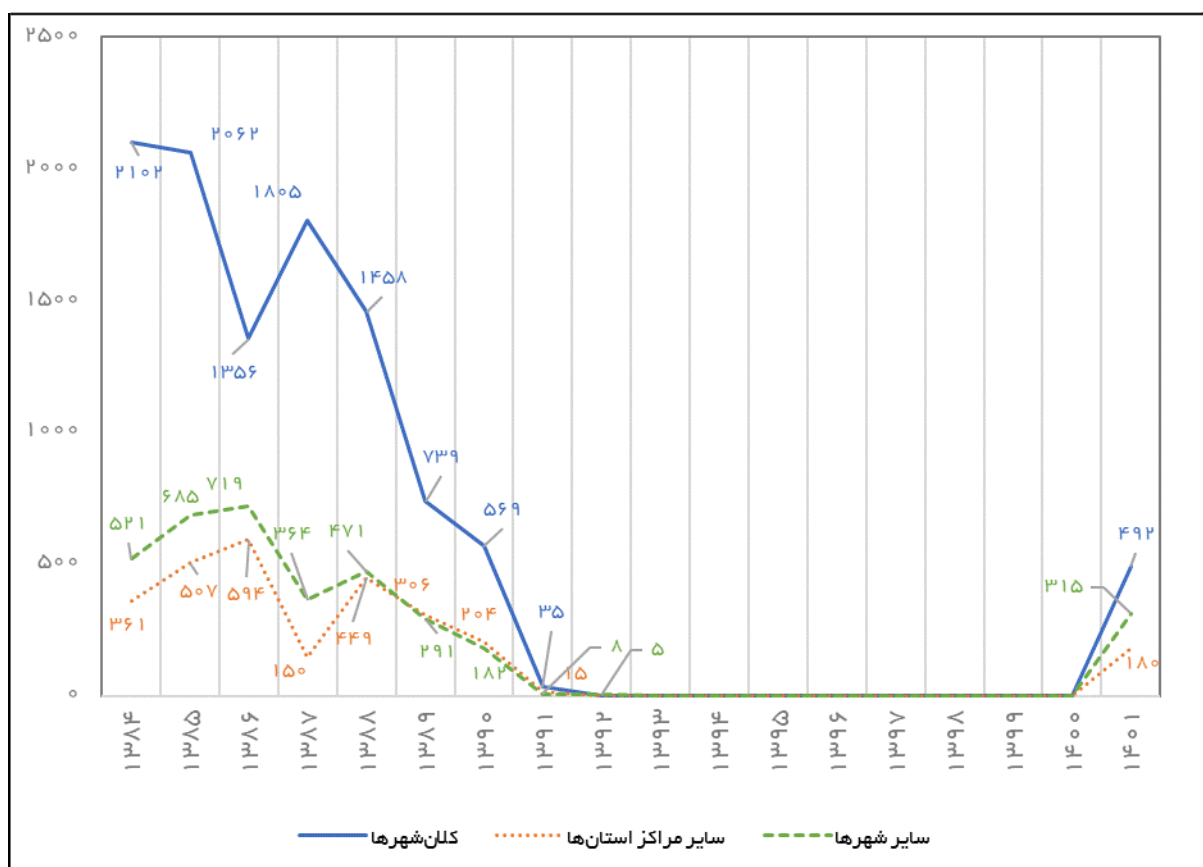
یارانه‌ها و صرفه‌جویی در مصرف سوخت، اقدامات خوبی با محوریت ستاد تبصره «۱۳» در حوزه حمل و نقل شهری انجام گرفت. به تدریج با تشدید تحریم‌ها و پس از آن تغییر دولت، روند مشارکت دولت در خرید ناوگان اتوبوس شهری متوقف گردید. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است بین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۰، مشارکت دولت در خرید اتوبوس‌های شهری صفر بوده است. همچنین با توجه به عدم تأمین اعتبارات و بعضاً فقدان عزم جدی از سوی بسیاری از شهرداری‌ها، فرایند نوسازی و بازسازی اتوبوس‌ها کند پیش رفته و همین موضوع عاملی برای فرسودگی ناوگان حمل و نقل عمومی در شهرها در سال‌های اخیر شده است.

مطابق شکل ۱، براساس آمار اعلامی از سوی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، فرسودگی ناوگان اتوبوسرانی در اغلب کلان‌شهرهای کشور بالاتر از ۵۰ درصد است. این موضوع ناشی از عدم سرمایه‌گذاری کافی در این حوزه طی یک دهه اخیر می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در فاصله سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱، در مجموع نزدیک به ۱۶ هزار اتوبوس با مشارکت حداکثری دولت (پرداخت حدود ۸۰ درصد از هزینه خرید اتوبوس نو) برای شهرها تأمین شده است. در شکل ۲، روند تأمین ناوگان برای سه گروه از شهرها شامل: ۱. کلان‌شهرها، ۲. مراکز استان‌ها (به جز کلان‌شهرها) و ۳. سایر شهرها نشان داده شده است. در بازه زمانی یاد شده، به دلیل عزم دولت وقت برای هدفمندسازی

شکل ۱. درصد فرسودگی ناوگان اتوبوسرانی کلان شهرهای کشور در سال ۱۳۹۹ [۵]



شکل ۲. تعداد اتوبوس نو خریداری شده با مشارکت حداکثری دولت در فاصله سال های ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۱ [۲]



مأخذ: نگارنده (براساس اطلاعات دریافتی از سازمان شهرداری ها و دهیاری ها).



ناوگان حمل‌ونقل عمومی در پیوست یک قانون بودجه سال ۱۴۰۲ کل کشور (شکل ۳).

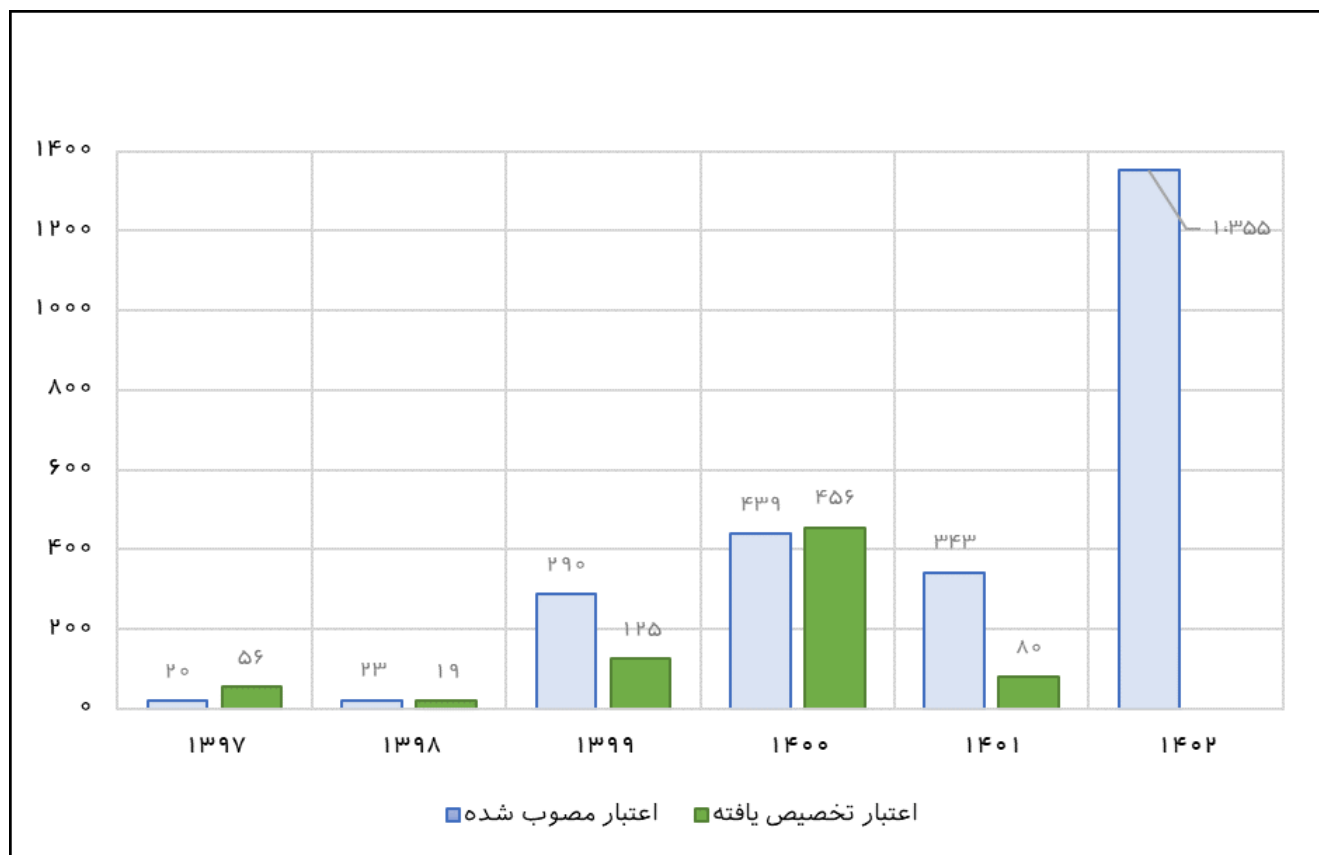
با توجه به نیاز مبرم شهرهای کشور به تأمین اتوبوس جدید از یک سو و محتمل بودن عدم تحقق برخی از اعتبارات مورد اشاره از سوی دیگر، ضروری است اولویت‌بندی صحیحی در سرمایه‌گذاری دولت و حتی شهرداری‌ها در انتخاب نوع ناوگان حمل‌ونقل عمومی وجود داشته باشد. با در نظر گرفتن طرح موضوع برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل در سطوح بالای تصمیم‌گیری و احتمال هدایت بخش قابل توجهی از اعتبارات دولتی در حوزه حمل‌ونقل عمومی به سمت این گزینه، در ادامه به تجربیات جهانی در برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی پرداخته شده و درس‌آموخته‌هایی از آن استخراج می‌گردد.

از سال ۱۴۰۰ به بعد، تلاش‌هایی از سوی دولت سیزدهم برای کمک به حمل‌ونقل عمومی در شهرها انجام گرفته است. براساس اطلاعات کسب شده از دستگاه‌های دولتی مربوطه، برای این منظور، اعتباراتی از سه محل زیر در نظر گرفته شده است:

اعطای مجوز به وزارت کشور برای خرید اتوبوس از طریق آزادسازی برخی منابع مسدود شده در خارج از کشور؛ هرچند، بهره‌برداری از این اعتبارات تاکنون محقق نشده است.

صدور مجوز اعطای حواله نفت به‌زای صرفه‌جویی در مصرف سوخت به سرمایه‌گذاران معرفی شده توسط وزارت کشور در طرح نوسازی ناوگان حمل‌ونقل شهری، براساس مصوبه شورای اقتصاد در دی‌ماه ۱۴۰۱ [۶]. افزایش نزدیک به ۴ برابری ردیف بودجه کمک به توسعه و نوسازی

شکل ۳. میزان پیش‌بینی و تخصیص اعتبار برای کمک به توسعه و نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی در بودجه‌های سنواتی کشور [۲]



مأخذ: نگارنده (براساس اطلاعات استخراج شده از قوانین بودجه سنواتی کشور و دریافتی از سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور).

۴. بررسی تجربیات جهانی در برقی سازی ناوگان اتوبوسرانی

۴-۱. هدف گذاری و اجرای تدریجی

در ابتدای این بخش به تجربیات برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی در شهر شنژن^۱ چین پرداخته شده است. شهر شنژن اولین شهر در جهان است که توانسته تمام ناوگان اتوبوسرانی خود را با وسایل نقلیه تمام برقی جایگزین کند. این کار ذیل یک برنامه ملی از سال ۲۰۰۹ آغاز شد و در نهایت در سال ۲۰۱۷، تمامی ناوگان حمل و نقل عمومی شنژن کاملاً برقی شد. علاوه بر این، هدف گذاری انجام شده برای برقی سازی کامل ناوگان تاکسی های این شهر شامل ۲۱۶۰۹ تاکسی نیز تقریباً محقق شده است [۷]. مطابق تأکید گزارش بانک جهانی [۷]، شنژن یک مورد منحصربه فرد برای برقی سازی ناوگان حمل و نقل حتی در چین است. شهر شنژن دارای آب و هوای معتدل و گرم و توپوگرافی نسبتاً مسطح است که در آن قابلیت بهره برداری از وسایل نقلیه برقی نسبت به مناطق سرد یا کوهستانی بیشتر است. مهم تر از آن، شنژن یکی از ثروتمندترین شهرهای چین است. این شهر دارای زیرساخت های (شبکه معابر، شبکه و تأسیسات برق) با کیفیتی بوده و یک زنجیره تأمین کامل تولید وسایل نقلیه برقی و باتری به همراه مؤسسات تحقیقاتی مرتبط در آن قرار گرفته

است. علاوه بر این، دولت محلی شنژن از نظر مالی و نهادی توانمند است و می تواند یارانه های مالی بسیار سخاوتمندانه ای را بپردازد [۷]. برقی سازی ناوگان اتوبوسرانی در شنژن در سه مرحله به صورت گام به گام به انجام رسید. مطابق جدول ۱، پس از مرحله مقدماتی که با آغاز به فعالیت تعداد کمی اتوبوس هیبریدی در سیستم اتوبوسرانی همراه بود، از سال ۲۰۱۱ مرحله آزمایشی استفاده از اتوبوس برقی در حمل و نقل عمومی شنژن به انجام رسید. در این مرحله ابتدا ۱۰۰ اتوبوس برقی در خطوط اتوبوسرانی به کار گرفته شد. مطابق ارزیابی انجام شده عملکرد این اتوبوس ها در این مرحله ضعیف بوده است. این اقدام به شرکت بهره بردار این فرصت را داد تا آشنایی کاملی با مشخصات فنی این اتوبوس ها و الزامات بهره برداری از آنها پیدا کند و مدل کسب و کار و لجستیک شرکت خود را با این اتوبوس ها سازگار نماید. همچنین مرحله آزمایشی فرصت هایی را برای تعامل با ذی نفعان اصلی در زیست بوم خودروهای الکتریکی، از جمله سیاستگذاران دولتی و صنعتی، تولید کنندگان و محققان ایجاد کرد [۷].

جدول ۱. روند زمانی برقی سازی ناوگان اتوبوسرانی شنژن [۷]

زمان	مرحله	فعالیت
می ۲۰۰۸	مقدماتی	شروع فعالیت اولین اتوبوس هیبریدی به صورت آزمایشی
ژوئن ۲۰۰۹	مقدماتی	فعالیت ۱۰ اتوبوس هیبریدی در سیستم اتوبوسرانی
ژوئیل ۲۰۱۱	آزمایشی (پایلوت)	فعالیت ۱۰۱ اتوبوس و ۲۶ مینی بوس برقی در سیستم اتوبوسرانی
سپتامبر ۲۰۱۲	آزمایشی (پایلوت)	راه اندازی اولین خط اتوبوس تمام برقی
نوامبر ۲۰۱۵	آزمایشی (پایلوت)	فعالیت ۵۴۵ اتوبوس برقی
ژوئن ۲۰۱۷	نهایی	فعالیت ۶۰۵۳ اتوبوس برقی (برقی سازی کامل ناوگان)

1. Shenzhen



اروپا تصویب شد [۱۰]. این بخش‌نامه در پی مطالعات و بازخوردهای اجرایی شدن بخش‌نامه‌ای مشابه (مصوب سال ۲۰۰۹) مورد تصویب قرار گرفت. هدف‌گذاری اولیه تعیین شده، رسیدن سهم اتوبوس‌های پاک (شامل اتوبوس‌های سوخت جایگزین مانند برقی و گازسوز) به ۴۵ درصد از کل اتوبوس‌های شهری در بیشتر کشورهای اروپایی است. از این میان باید نیمی از سهم یاد شده مربوط به اتوبوس‌هایی باشد که انتشار آلاینده‌ها از آگزوز آنها صفر یا نزدیک به صفر است. همچنین هدف‌گذاری نهایی مربوط به سال ۲۰۳۰ بوده و برای بیشتر کشورها ۶۵ درصد در نظر گرفته شده است. گفتنی است این سهم برای برخی کشورها پایین‌تر بوده است. به‌عنوان نمونه در کشورهایی همچون کرواسی، استونی و رومانی این سهم در سال ۲۰۳۰ کمتر از ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است [۱۰].

بررسی‌ها نشان داد در ایالات متحده آمریکا، چارچوب‌های قانونی و سیاستی برای اتوبوس‌های برقی به‌تازگی در حال شکل‌گیری است. ایالت کالیفرنیا در این زمینه پیشرو بوده و در سال ۲۰۱۸ اهداف الزام‌آوری را در قالب مقررات حمل‌ونقل عمومی نوآورانه^۱ برای توسعه اتوبوس‌های پاک به‌طور رسمی در دستور کار قرار داده است. براساس این مقررات از سال ۲۰۲۹ به‌بعد، تمام اتوبوس‌های تازه خریداری شده توسط آژانس‌های حمل‌ونقل عمومی کالیفرنیا باید بدون آلاینده‌گی^۲ باشد [۸]. علاوه‌براین، ۱۵ ایالت آمریکا تفاهم‌نامه‌ای^۳ را در سال ۲۰۲۰ امضا کردند. این ایالت‌ها توافق کردند تا سال ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰۰ درصد از وسایل نقلیه سنگین (شامل اتوبوس) به‌فروش رسیده در این ایالت‌ها بدون آلاینده‌گی باشد [۹].

برای کشورهای اروپایی نیز بخش‌نامه‌ای^۴ در سال ۲۰۱۹ توسط اتحادیه

جدول ۲. هدف‌گذاری کشورهای اروپایی و آمریکا برای افزایش سهم اتوبوس‌های پاک

هدف‌گذاری نهایی	هدف‌گذاری اولیه		سال تصویب	محدوده جغرافیایی
	سال	هدف‌کمی		
۱۰۰ درصد اتوبوس‌های فعال در ایالت، بدون آلاینده‌گی باشند.	۲۰۵۰	۱۰۰ درصد اتوبوس‌های تازه خریداری شده، بدون آلاینده‌گی آگزوز باشند.	۲۰۲۹	کالیفرنیا
۱۰۰ درصد اتوبوس‌های فروخته شده، بدون آلاینده‌گی باشند.	۲۰۵۰	۳۰ درصد اتوبوس‌های فروخته شده، بدون آلاینده‌گی باشند.	۲۰۳۰	۱۵ ایالت آمریکا
۶۵ درصد از اتوبوس‌ها باید پاک باشند (نیمی از آنها بدون آلاینده‌گی باشند).	۲۰۳۰	۴۵ درصد از اتوبوس‌ها باید پاک ^۵ باشند (نیمی از آنها بدون آلاینده‌گی آگزوز باشند).	۲۰۲۵	آلمان، فرانسه، هلند، بریتانیا، ایتالیا و اسپانیا و تعدادی دیگر از کشورهای اروپایی

* منظور از اتوبوس‌های بدون آلاینده‌گی آگزوز (Zero-emission (tailpipe)) در دستورالعمل شورای اروپا عبارتند از: اتوبوس‌های بدون احتراق داخلی (اتوبوس‌های برقی) و یا موتور احتراق داخلی با انتشار کمتر از ۱ گرم CO₂ به‌ازای ۱ کیلووات ساعت مصرف انرژی الکتریکی یا به‌ازای ۱ کیلومتر پیمایش.

** منظور از اتوبوس‌های پاک در دستورالعمل شورای اروپا عبارتند از: اتوبوس‌های برقی، با سوخت هیدروژن، گاز طبیعی (CNG، LNG)، با سوخت‌های زیستی و مصنوعی و پارافین که با سوخت‌های فسیلی معمولی ترکیب نمی‌شوند و گاز مایع (LPG).

با هدف‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت اجرایی شود. بنابراین پرهیز از شتاب‌زدگی در توسعه وسایل نقلیه برقی در شهرهای ایران ضروری بوده و سرمایه‌گذاری گسترده در این حوزه بدون مطالعات کافی و اجرای مراحل آزمایشی و بازخوردگیری از نتایج آن، می‌تواند منجر به شکست در تحقق اهداف شود.

با وجود بلندپروازی در اجرای طرح برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی در شترن چین، مرحله آزمایشی با استفاده از تعداد محدودی اتوبوس (۱۰۰ اتوبوس) اجرایی شد. تجربیات چین، ایالات متحده آمریکا و کشورهای اروپایی نشان داد راهبردهای مربوط به برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی لازم است با دقت و پس از مطالعات همه‌جانبه تدوین شده و در نهایت به‌صورت مرحله‌به‌مرحله و منطبق

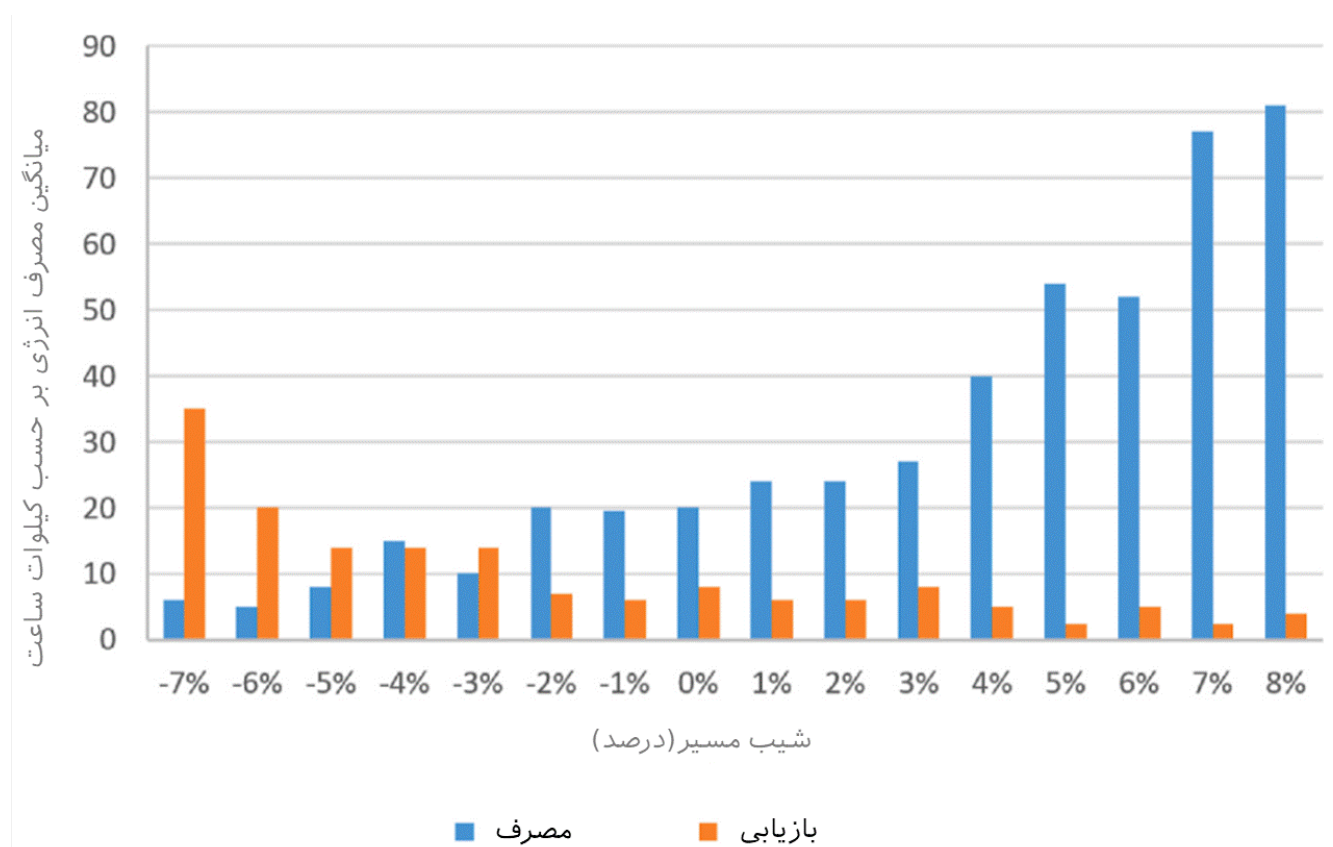
1. Innovative Clean Transit (ICT) Regulation
2. Zero-Emission
3. Multi-State Medium- and Heavy-Duty Zero Emission Vehicle Memorandum of Understanding 2020
4. Directive (EU) 2019/1161 of the European Parliament and of the Council

۲-۴. اثر شرایط جغرافیایی و آب و هوایی

اتوبوس های برقی به دلیل برد محدود باتری های خود مسافت های نسبتاً کمی را می توانند طی کنند (۵۰ تا ۶۶ کیلومتر برای اتوبوس های شارژ سریع و ۱۶۶ تا ۲۱۰ کیلومتر برای اتوبوس های شارژ آهسته)، که به طور قابل توجهی کوچک تر از اتوبوس ها با سایر فناوری ها بوده و نیازمند مسیرهای ویژه یا برنامه ریزی های مختص به خود هستند [۱۴]. همچنین باید توجه داشت که اتوبوس ها لزوماً منطبق با برنامه از پیش تعیین شده کار نمی کنند و عملکرد واقعی آنها متأثر از شرایطی همچون

ازدحام ترافیکی و آب و هوا خواهد بود. در شکل ۴، میانگین مصرف و بازایی انرژی اتوبوس های برقی بر اثر تغییرات شیب مسیر نشان داده شده است. با توجه به این شکل، افزایش شیب معابر مصرف انرژی را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. به عنوان مثال، مصرف انرژی یک اتوبوس برقی در مسیری با شیب ۴ درصد (با فرض مسیر برگشت اتوبوس با شیب ۴- درصد) ۱/۶۶ برابر مصرف آن در یک مسیر بدون شیب برآورد می گردد.^۱

شکل ۴. میانگین مصرف و بازایی انرژی اتوبوس های برقی بر اثر تغییرات شیب مسیر [۱۳]

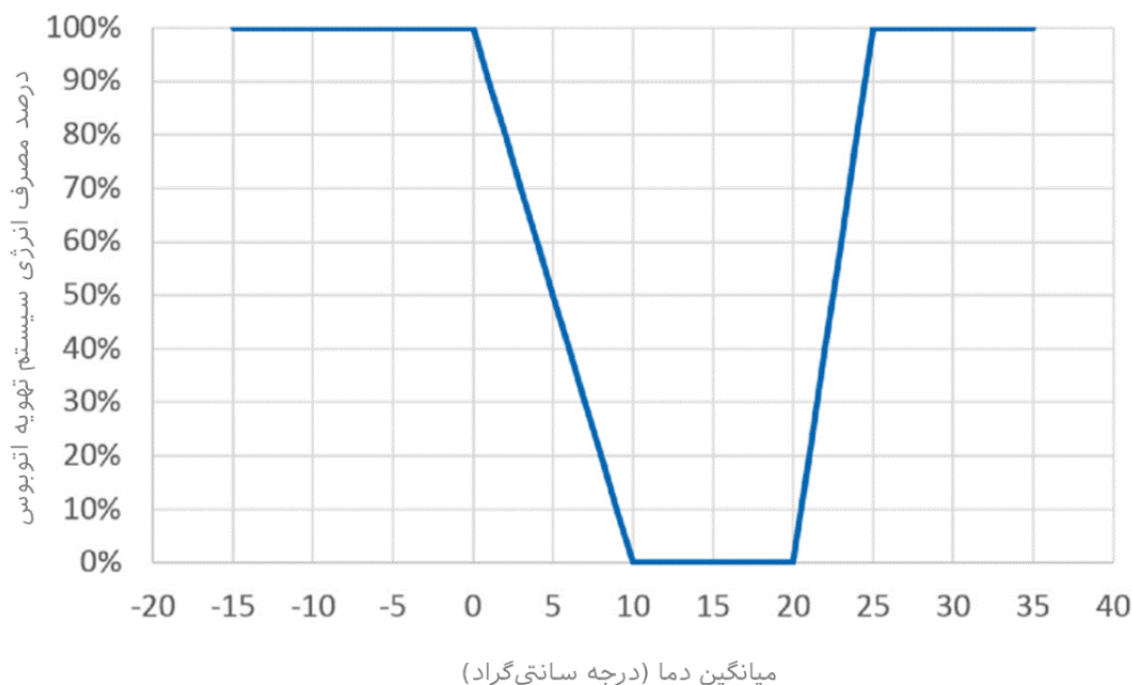


انرژی بیشتری در دمای بسیار پایین یا بسیار زیاد نیاز دارد. مطابق شکل ۵ که حاصل مطالعه میدانی در شهر آخن آلمان است، مصرف انرژی فقط در محدوده دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی گراد [۱۵] ناچیز است، در حالی که دماهای کمتر از صفر و بالاتر از ۲۵ درجه سانتی گراد تا ۱۰۰٪ افزایش می یابد.

نکته حائز اهمیت دیگری که ضروری است در برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی در نظر گرفته شود، اثر دمای هوا بر مصرف انرژی این وسایل است. بسیاری از مدل های اتوبوس های برقی به منظور به حداکثر رساندن آسایش مسافران دارای تهویه مطبوع هستند. با این حال، باید توجه داشت که تهویه مطبوع به میزان قابل توجهی

۱. مقدار ۱,۶۶ از تقسیم حاصل جمع انرژی مصرف شده و بازایی شده در شیب های ۴+ درصد و ۴- درصد بر حاصل جمع انرژی مصرف شده و بازایی شده در شیب صفر درصد به دست آمده است (در محاسبات مربوطه، انرژی بازایی شده با علامت منفی در نظر گرفته شده است).

شکل ۵. درصد تغییرات مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی بر اثر تغییرات آب‌وهوا [۱۵]



مهم دیگر بر مصرف انرژی برآورد شده است. اثر شیب مسیر بر مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی نزدیک به ۲۳ درصد برآورد گردیده که بیش از ۳ برابر اتوبوس‌های دیزلی است. همچنین تعداد توقف‌های زیاد اهمیت ۱۹ درصدی در مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی دارند که مقدار بزرگی بوده و ضروری است در سنجش عملکرد اتوبوس‌های برقی مورد توجه قرار گیرد.

در مطالعه‌ای که در پکن چین انجام گرفت اهمیت عوامل مختلف مرتبط با مسیر تردد اتوبوس‌های درون شهری برقی و دیزلی، سرعت، ایستگاه‌ها و زمان توقف مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، میانگین سرعت حرکت اتوبوس‌ها برای هر دو نوع اتوبوس برقی و دیزلی اولین عامل مؤثر بر مصرف انرژی بوده است. با این تفاوت که اهمیت این عامل برای اتوبوس‌های دیزلی ۲/۵ برابر اتوبوس‌های برقی بوده است. همچنین شیب مسیر به عنوان عامل بسیار

جدول ۳. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در اتوبوس‌های برقی و دیزلی [۱۶]

اتوبوس دیزلی		اتوبوس برقی		عامل مؤثر
اهمیت نسبی (درصد)	رتبه	اهمیت نسبی (درصد)	رتبه	
۶۲/۹۴	۱	۲۵/۲۷	۱	میانگین سرعت
۷/۰۷	۳	۲۲/۵۷	۲	شیب مسیر
۱/۸۱	۵	۱۸/۹۶	۳	تعداد توقف‌ها
۴/۰۸	۴	۱۰/۶۳	۴	میانگین فاصله بین ایستگاه‌ها
۸/۹۲	۲	۵/۲۶	۵	میانگین زمان توقف در ایستگاه‌ها

تجربیات جهانی بیانگر آن است که مصرف انرژی اتوبوس های برقی در شهرهایی که دارای توپوگرافی غیرمسطح بوده و تغییرات دمای هوا در فصول سرد و گرم در آنها بالاست، بسیار افزایش می یابد. همچنین عواملی همچون میانگین سرعت و تعداد توقف اتوبوس ها بر میزان مصرف انرژی اتوبوس های برقی تأثیر بسیار زیادی دارند. بنابراین توسعه اتوبوس های برقی بدون توجه به شرایط جغرافیایی، آب و هوایی و حتی ترافیکی هریک از شهرهای کشور یک خطای بزرگ بوده و می تواند کارآمدی این وسایل نقلیه را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد.

۳-۴. چالش هزینه های اولیه

اگرچه قیمت اتوبوس های برقی از سال ۲۰۰۹ کاهش قابل توجهی پیدا کرده، اما همچنان یکی از مهم ترین چالش ها برای استفاده از این اتوبوس ها در دنیا، هزینه بالای سرمایه گذاری اولیه اتوبوس های برقی نسبت به دیزلی است. قیمت یک مدل اتوبوس تولید شده توسط شرکت چینی BYD (به عنوان یکی از مهم ترین شرکت های تولید وسایل نقلیه برقی در دنیا) در سال ۲۰۱۵، ۱/۵۸ میلیون یوان برای هر اتوبوس بود. این در حالی است

که قیمت مدل مشابه در بازار در سال ۲۰۱۹ به حدود ۸۰۰ تا ۹۰۰ هزار یوان رسیده است [۷]. در واقع اگرچه قیمت وسایل نقلیه برقی رو به کاهش است، اما قیمت خرید اتوبوس برقی با باتری بزرگ با کارکرد قابل قبول همچنان دو برابر قیمت اتوبوس های دیزلی سنتی است [۷]. با این حال، نتایج مطالعات پیشین نشان دهنده آن است که با وجود قیمت بالاتر وسایل نقلیه برقی، هزینه تعمیر و نگهداری آنها پایین تر است [۱۱، ۱۲]. به عنوان نمونه، برای اتوبوس های برقی که در سنژن مورد استفاده قرار گرفت، ارزش فعلی مجموع هزینه های انرژی و تعمیر و نگهداری در دوره عمر مجموعاً حدود ۴۴٪ اتوبوس های دیزلی بوده است [۷].

در جدول ۴، ارزش فعلی هزینه کل مالکیت (TCO) برای اتوبوس های دیزلی و برقی به تفکیک بخش های مختلف نشان داده شده است. همان طور که مشخص است ارزش فعلی هزینه سرمایه ناوگان برقی نزدیک به سه برابر اتوبوس دیزلی محاسبه شده است. همچنین، اگرچه در مواردی همچون تأمین انرژی و نگهداری هزینه اتوبوس های برقی پایین تر ارزیابی شده، اما در مجموع ارزش فعلی هزینه کل مالکیت اتوبوس های برقی ۲۱ درصد بیشتر از اتوبوس های دیزلی برآورد شده است.

جدول ۴. ارزش فعلی هزینه های اتوبوس دیزلی و برقی با طول عمر ۸ سال در چین [۷]

هزینه	اتوبوس دیزلی	اتوبوس برقی
سرمایه (هزار یوان)	۵۲۹،۱۳	۱۶۴۵،۷۳
انرژی (هزار یوان)	۸۸۵،۷۶	۴۱۸،۳
نگهداری (هزار یوان)	۳۵۷،۷۴	۱۲۳،۰۱
مالیات و عوارض (هزار یوان)	۴۲،۱۱	۴۲،۱۱
اسقاط (هزار یوان)	-۱۹،۱	-۵۹،۳۹
ارزش فعلی هزینه کل مالکیت (هزار یوان)	۱۷۹۵،۶۴	۲۱۶۹،۷۵
هزینه کل مالکیت به ازای یک کیلومتر پیمایش (یوان بر کیلومتر)	۳،۴	۴،۱۱
هزینه کل مالکیت به ازای یک کیلومتر پیمایش نسبت به اتوبوس دیزلی	۱۰۰٪	۱۲۱٪

توضیح: مقادیر ارائه شده در این جدول، ارزش فعلی (Present Value) هزینه ها در تمام طول عمر اتوبوس برقی (۸ سال) را نشان می دهد.

شده است. همچنین باید به این نکته توجه داشت که علاوه بر قیمت اولیه خرید اتوبوس ها، هزینه های مربوط به زیرساخت آنها (مخصوصاً برای شارژ) نیز باید به عنوان هزینه های اولیه در نظر گرفته شود. در مقایسه با اتوبوس های دیزلی، عملکرد اتوبوس های برقی به دلیل مسافت کارکرد باتری و کمبود امکانات شارژ با محدودیت های بیشتری مواجه اند. بررسی ها در شهر سنژن چین نشان داد که یافتن زمین برای ایجاد ایستگاه های شارژ اتوبوس های برقی به سرعت به بزرگ ترین چالش

اگرچه چین یک کشور پیشرو در تولید اتوبوس های برقی است و این روند تا دهه آینده ادامه خواهد داشت [۱۳]، اما کاهش تدریجی یارانه ها و اشباع فزاینده اتوبوس های برقی در شهرهای چین طی یک تا دو سال اخیر، موجب کاهش جذابیت این نوع وسایل نقلیه شده [۱۳] و شرکت های خودروساز را به سمت توسعه بازارهای صادراتی در سایر نقاط دنیا سوق داده است. به طور کلی باید به این موضوع توجه داشت که حمایت های مالی از طریق پرداخت یارانه و تولید در مقیاس بالا موجب کاهش قیمت اتوبوس های برقی در چین

۱. هزینه کل مالکیت، برآوردی مالی است که همه هزینه های مستقیم و غیر مستقیم برای به کارگیری از یک محصول یا سیستم در دوره عمر آن را شامل می شود.

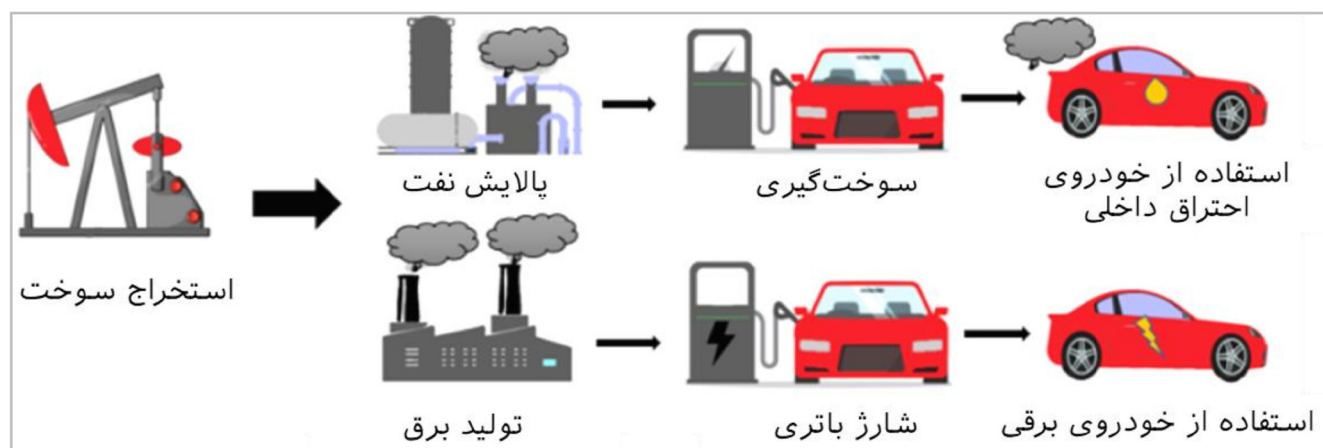
تغییر ریل در حوزه‌های مختلف از جمله حمل‌ونقل از طریق روش‌های علمی کاملاً ضروری است. به‌نظر می‌رسد دو مورد از مهم‌ترین راهکارهای علمی جهت در نظر گرفتن جوانب مختلف اجرای سیاست برقی‌سازی وسایل نقلیه، انجام مطالعات تحلیل فایده-هزینه^۱ و تحلیل چاه تا چرخ^۲ است. برای انجام تحلیل فایده-هزینه لازم است تمامی هزینه‌های مربوط به تغییر ناوگان وسایل نقلیه فعلی به وسایل نقلیه برقی و تأمین برق مورد نیاز و منافع حاصل از توسعه خودروهای برقی از کاهش انتشار آلاینده‌ها گرفته تا میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت در نظر گرفته شده و در نهایت با نتایج فایده-هزینه سایر راهکارهای کاهش آلودگی هوا مقایسه گردد. همچنین، برای برآورد میزان واقعی تفاوت در انتشار آلاینده‌های ناشی از خودروهای برقی لازم است تحلیل چاه تا چرخ نیز در این زمینه انجام گیرد که مراحل آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

این حوزه تبدیل شده است. مطابق توصیه گزارش بانک جهانی، در نظر گرفتن چالش‌های تأمین زمین و سرمایه‌گذاری برای ایستگاه‌های شارژ، یک ملاحظه کلیدی در برنامه‌ریزی برای برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل است تا از تأخیر و اختلال در خدمات جلوگیری شود [۷].

۴-۴. ارزیابی اقتصادی

اگرچه میزان انتشار آلاینده‌های هوا از آگروز خودروهای کاملاً برقی برابر با صفر است، اما باید توجه داشت که توسعه خودروهای برقی مستلزم پرداخت هزینه ناوگان، تأسیسات شارژ و سرمایه‌گذاری در افزایش ظرفیت تولید برق در نیروگاه‌ها جهت پوشش تقاضای برق مورد نیاز است. قبلاً در بخش ۲-۴ به هزینه‌های اولیه قابل توجه توسعه اتوبوس‌های برقی اشاره شد. بنابراین، پیش از سرمایه‌گذاری کلان در حوزه خودروهای برقی، بررسی فواید و هزینه‌های احتمالی ناشی از این

شکل ۶. تصویر شماتیک از مراحل تحلیل چرخ تا چاه برای مقایسه بازدهی انرژی و انتشار آلاینده‌های هوا بین خودروهای برقی و خودروهای دارای سوخت فسیلی [۱۷]



هزینه‌های ناشی از آلودگی هوا هزینه‌های ناشی از اتوبوس‌های دیزلی حدود ۱۴ درصد از اتوبوس‌های برقی پیشی گرفته است (شکل ۷). باید به این نکته توجه کرد که مطابق بررسی‌های انجام شده در گزارش بانک جهانی، شنژن در جنوب چین، در محدوده‌ای قرار گرفته که از نظر تولید برق، کمترین میزان انتشار آلاینده‌گی و گازهای گلخانه‌ای را در کشور دارد. در این منطقه، ۵۰ درصد از تولید برق با منابع تجدیدپذیر انجام می‌شود [۷]. بنابراین در ارزیابی برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل از نقطه‌نظر زیست‌محیطی و اقتصادی، باید به نوع منبع تأمین‌کننده انرژی الکتریکی توجه داشت زیرا در صورت سهم بالای انرژی‌های فسیلی در تأمین برق ناوگان برقی، این احتمال وجود دارد که برقی‌سازی اتوبوس‌ها مزیت قابل توجهی ایجاد نکند.

باید توجه داشت با در نظر داشتن تحلیل چاه تا چرخ، می‌توان دریافت که تأمین انرژی الکتریکی خودروهای برقی از نیروگاه‌ها، منجر به انتقال انتشار آلاینده‌ها از آگروز خودروها به دودکش نیروگاه‌ها خواهد شد. علاوه بر این، با توسعه خودروهای برقی، انتشار ذرات معلق ناشی از سایش و ترمز وسایل نقلیه، همچنان به‌عنوان آلاینده هوا باقی می‌ماند. در مطالعه‌ای که توسط بانک جهانی با در نظر گرفتن اتوبوسرانی شهر شنژن چین انجام شد، از روش چاه تا چرخ برای برآورد هزینه‌های جایگزینی اتوبوس‌های برقی با اتوبوس‌های دیزلی استفاده شد [۷]. نتایج این مطالعه نشان داد که مجموع هزینه‌های ناشی از اتوبوس‌های برقی بدون احتساب هزینه‌های ناشی از آلودگی هوا ۲۱ درصد بالاتر از اتوبوس‌های دیزلی است. این در حالی است که در صورت در نظر گرفتن

1. Benefit-Cost
2. Well to Wheel

شکل ۷. مجموع هزینه های اتوبوس های برقی و دیزلی در شنژن چین بر حسب یوان بادر نظر گرفتن هزینه های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه ای در طول دوره عمر [۷]

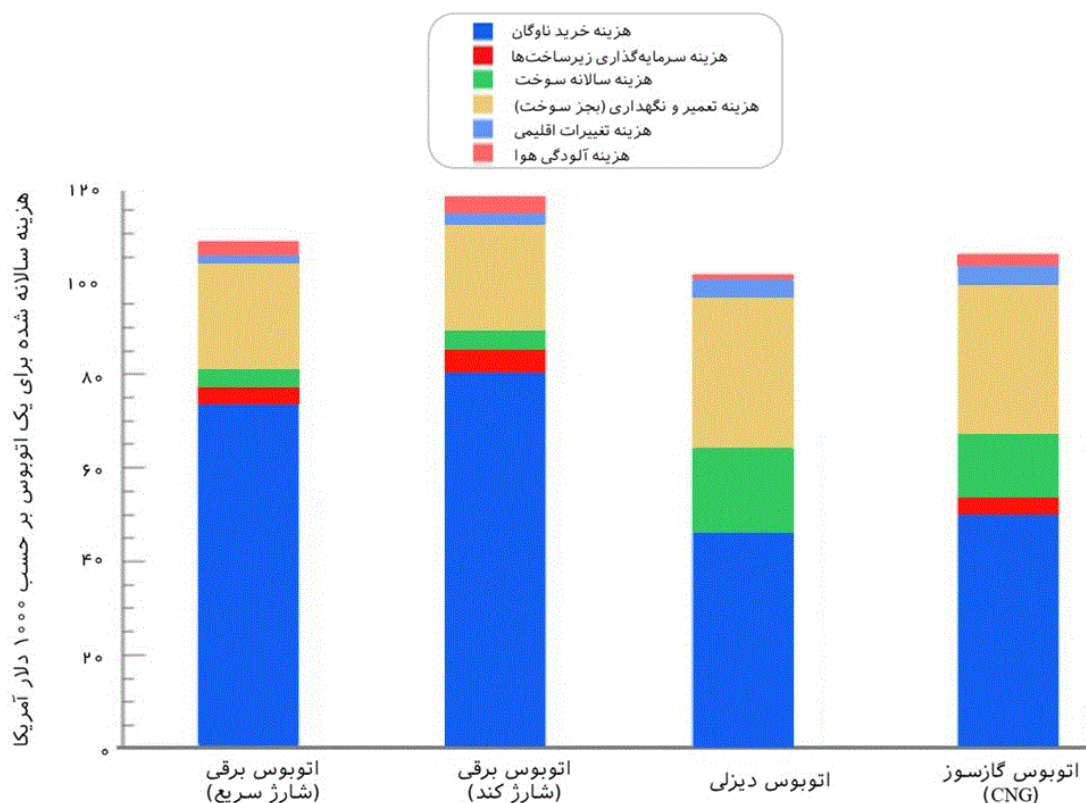


اتوبوس های برقی (هر دو مدل شارژ کند و سریع) بیشتر از اتوبوس های دیزلی و اتوبوس های با سوخت CNG است. این نتایج متفاوت از یافته های مطالعه انجام شده در شهر شنژن چین است و غیراقتصادی بودن برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی در ایالات متحده آمریکا را نشان می دهد.

در شکل ۸، هزینه استفاده از اتوبوس با فناوری های مختلف در ایالات متحده آمریکا نشان داده شده است. این برآورد با در نظر گرفتن هزینه های خرید ناوگان، سرمایه گذاری زیرساخت ها، سوخت، تعمیر و نگهداری، تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا با رویکرد تحلیل چرخه عمر^۱ انجام گرفته است [۱۴]. مطابق نتایج این تحلیل، مجموع هزینه های

1. Life Cycle Assessment
 2. Annualized Costs

شکل ۸. هزینه سالانه شده استفاده از اتوبوس با فناوری‌های مختلف در ایالات متحده آمریکا با در نظر گرفتن هزینه‌های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای [۱۴]



ایالات متحده بیشتر از اتوبوس‌های با موتور احتراق داخلی و در چین کمتر از آن است. ضمن اینکه نتایج این مطالعات نشان داد منافع حاصل از برقی‌سازی ناوگان حتی در کشور چین به اندازه‌ای بزرگ و قابل توجه نیست که به عنوان تنها راه حل کاهش آلودگی هوا در شهرهای آلوده در نظر گرفته شده و تبلیغات وسیعی روی آن صورت گیرد.

بررسی‌های انجام شده براساس محاسبه هزینه‌های اتوبوس‌های برقی و دیزلی در کشورهای چین و ایالات متحده با در نظر گرفتن هزینه‌های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد که در مجموع توسعه برقی‌سازی ناوگان حمل و نقل کاملاً وابسته به شرایط ناوگان و منطقه مورد بررسی است. به طوری که مجموع هزینه‌های اتوبوس برقی در

۵. بررسی مطالعات داخلی

حفاظت محیط زیست انجام گرفته است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی این سه مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به تعداد زیاد سناریوها در مطالعات یاد شده، تلاش شد تا سناریوهای کاهش آلودگی هوا که با ناوگان حمل و نقل مرتبط بوده و دارای رتبه‌های بالای بازدهی اقتصادی می‌باشند کنار سناریوهای برقی‌سازی ناوگان، در جدول ۵ ذکر شود. در خصوص این مطالعات باید توجه داشت که ارزیابی چرخه‌های در این مطالعه به صورت کامل انجام نشده است؛ زیرا هزینه‌های ناشی از انتشار آلاینده‌های هوا از نیروگاه‌ها و هزینه‌های ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوی وضع موجود و سایر سناریوهای در نظر گرفته نشده است.

مطالعات انجام شده در داخل کشور جهت ارزیابی مطلوبیت برقی‌سازی ناوگان حمل و نقل بسیار محدود می‌باشد. در این گزارش، سه مورد از مطالعات داخلی که سیاست‌های برقی‌سازی ناوگان حمل و نقل را متناسب با شرایط کشور تحلیل کرده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت. برای شهر تهران، مطالعه «محاسبه اثر بخشی و اولویت‌بندی راهکارهای مدیریت کیفیت هوای تهران» که توسط مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران منتشر شده است [۱۸]، در نظر گرفته شد. همچنین برای شهرهای اصفهان [۱۹] و کرج [۲۰]، مطالعات ملی «سیاهه انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از منابع انسانی ساز در کلان شهرهای کشور شامل تدوین و ارزیابی سناریوهای کاهش انتشار» که توسط کنسرسیوم دانشگاه‌های برتر کشور با کارفرمایی سازمان

۵-۱. تهران

در مطالعه شهر تهران، دو سناریو شامل: ۱. جایگزینی ناوگان فرسوده اتوبوس شهری با ناوگان نو مشابه (دیزلی) و ۲. جایگزینی ناوگان فرسوده اتوبوس شهری با اتوبوس های نو گازسوز، بازدهی اقتصادی بسیار بالایی داشته و در رتبه های دوم و سوم در بین ۲۳ سناریوی مورد بررسی قرار گرفته اند. در این مطالعه، برقی سازی ناوگان اتوبوسرانی مورد بررسی قرار نگرفته و تنها سناریوی برقی سازی ناوگان موتورسیکلت های شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت برآورد هزینه این سناریو، مابه التفاوت قیمت روز موتورسیکلت های برقی نو و موتورسیکلت بنزینی کار کرده در زمان تهیه این گزارش (سال ۱۳۹۹) در نظر گرفته شد. در این مطالعه منفعت هر سناریو در واقع منافع حاصل از کاهش خسارت آلودگی هواست. بنابراین برای محاسبه منافع، تعداد مرگ و میر و بیماری های کاهش یافته حاصل از اجرای هر سناریو محاسبه شده است. تحلیل فایده-هزینه سناریوی جایگزینی ناوگان فعلی موتورسیکلت با موتورسیکلت های برقی، بیانگر غیراقتصادی بودن و کارایی بسیار کم آن نسبت به سایر سناریوها بوده است.

۵-۲. کرج

در مطالعه انجام شده در شهر کرج مهم ترین سناریوهای مرتبط با مطالعه فعلی در حوزه ناوگان اتوبوسرانی شامل موارد زیر بوده است:

- تجهیز ناوگان اتوبوس شهری به فیلتر دوده به همراه نوسازی ناوگان قبل از یورو ۲،
- افزایش ۱۰ درصدی سهم اتوبوس های واحد گازسوز،
- جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو گازسوز،
- جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو هیبریدی،
- جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو برقی.

در این مطالعه، هر سناریو از دو جنبه میزان تأثیری که در کاهش انتشار آلاینده ها داشته و مبلغی که برای اجرای آن باید هزینه شود، مورد بررسی قرار گرفته است (جزئیات و فرضیات مربوط به محاسبات در جدول ۵ آورده شده است). برای اینکه بتوان میزان کاهش انتشار و هزینه را که کمیت های ناهمگونی هستند، در تحلیل هزینه به فایده با یکدیگر مقایسه کرد، باید مقادیر کاهش انتشار به واحد پولی و تحت عنوان میزان منفعت اجرای هر سناریو تبدیل شود. این منفعت در واقع کاهش هزینه هایی است که انتشار آلاینده ها به محیط زیست و سیستم بهداشت و سلامت جامعه تحمیل می کنند. برای محاسبه هزینه های خارجی^۱ یا هزینه خسارت های اجتماعی^۲ شهر کرج از گزارش جامع منتشر شده در دانشگاه دلفت هلند [۲۱]، استفاده شده است.

با عنایت به این نکته که این هزینه ها بر اساس برابری قدرت خرید و تراکم جمعیتی کشورهای حوزه اتحادیه اروپا محاسبه شده، طبق دستورالعمل مندرج در جلد ۱ مرجع یاد شده [۲۱] با در نظر گرفتن شاخص های اقتصادی (GDP (PPP) per Capita و درآمد سالانه خانوار) و جمعیتی (جمعیت و تراکم جمعیتی هر کلان شهر) با شهر کرج تناسب داده شده است. همچنین بازه زمانی اثربخشی هر یک از سناریوها متفاوت است که به روش های مختلف از جمله رجوع به پژوهش های مشابه، مصاحبه با متخصصان و استفاده از قوانینی مانند «آیین نامه اجرایی ماده (۸) قانون هوای پاک مصوب هیئت وزیران» لحاظ گردید.

نتایج این مطالعه بیانگر آن است که سناریوهای تجهیز ناوگان اتوبوس شهری به فیلتر دوده به همراه نوسازی ناوگان قبل از یورو ۲ و افزایش ۱۰ درصدی سهم اتوبوس های واحد گازسوز دارای بازدهی اقتصادی بالاتری هستند. این در حالی است که هیچ یک از سناریوهای جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو گازسوز، جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو هیبریدی و جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو برقی در تحلیل فایده-هزینه، دارای بازدهی اقتصادی تشخیص داده نشد. همچنین ارزیابی سناریوهای هیبریدی سازی و برقی سازی سایر وسایل نقلیه در این مطالعه نیز، غیراقتصادی بودن آنها را نشان داد.

۵-۳. اصفهان

در مطالعه انجام شده در شهر اصفهان دو سناریوی مرتبط با ناوگان اتوبوسرانی شامل جایگزینی اتوبوس های درون شهری دیزلی با اتوبوس شهری گازسوز و جایگزینی اتوبوس های فرسوده با ناوگان برقی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه میزان صرفه جویی احتمالی در مصرف سوخت بر اثر اجرای سناریوهای مرتبط با اصلاح ناوگان محاسبه شده است. برای سناریوهای برقی سازی نیز این صرفه جویی در نظر گرفته شده و مبلغ حاصل از آن با قیمت فوب خلیج فارس به منافع سناریوی مورد نظر اضافه شده است. نتایج ارزیابی انجام شده برای سناریوهای ناوگان اتوبوسرانی نشان داد جایگزینی اتوبوس های درون شهری دیزلی با اتوبوس شهری گازسوز، اقتصادی بوده و منافع حاصل از آن بیشتر از هزینه ها بوده است. این در حالی است که ارزیابی سناریوی جایگزینی اتوبوس های فرسوده با ناوگان برقی نشان داد منافع حاصل از اجرای این سناریو کمتر از منافع آن بوده و نسبت منفعت به هزینه آن تنها برابر ۰٫۱۸ برآورد شده است. همچنین نتایج ارزیابی های برای سایر سناریوهای برقی سازی در این مطالعه نیز غیراقتصادی بودن آنها را نشان داد.

1. External Cost
2. Social Damage Costs
3. Purchasing Power Parity



جدول ۵. نتایج مطالعات انجام گرفته درباره اثر بخشی سناریوهای کاهش آلودگی هوادر سه شهر تهران، کرج و اصفهان

شهر	سناریوهای کاهش آلودگی هوا (مرتبط با ناوگان حمل و نقل)	نسبت منفعت به هزینه (B/C)	حاصل کسر هزینه از منفعت (B-C)	اقتصادی بودن سناریو	رتبه سناریو از نظر صرفه اقتصادی	توضیحات و فرضیات
تهران [۱۸]	جایگزینی ناوگان فعلی موتور سیکلت با ناوگان نو با سوخت مشابه	-	۳۹/۱۲	اقتصادی	۱ از ۲۳	- منفعت هر سناریو (B) برابر با میزان خسارت کاهش یافته ناشی از آلودگی هوا بر سلامت مردم بر اثر آلودگی هوا بر حسب میلیون دلار در نظر گرفته شده است.
	جایگزینی ناوگان فرسوده اتوبوس شهری با ناوگان نو مشابه	-	۲۱/۳۲	اقتصادی	۲ از ۲۳	- هزینه هر سناریو (C) بر حسب میلیون دلار برآورد گردیده است.
	جایگزینی ناوگان فرسوده اتوبوس شهری با اتوبوس های نو گاز سوز	-	۱/۸۹	اقتصادی	۳ از ۲۳	- سه رویکرد دیه، ارزش یک سال زندگی و ارزش آماری زندگی در برآورد منافع در نظر گرفته شد. اعداد ارائه شده در این جدول بر حسب ارزش یک سال زندگی بوده و البته در دور ویکرد دیگر نیز، سناریو برقی سازی موتور سیکلت ها غیر اقتصادی برآورد شده و ترتیب سناریو ها نیز بدون تغییر باقی مانده است.
	جایگزینی ناوگان فعلی موتور سیکلت با موتور سیکلت برقی	-	-۴۱۲/۰۲	غیر اقتصادی	۲۰ از ۲۳	
کرج [۲۰]	استفاده از فیلتر ذرات برای ناوگان اتوبوس یورو ۲ و بالاتر	۷/۰۹	-	اقتصادی	۴ از ۳۱	
	تجهیز ناوگان اتوبوس شهری به فیلتر دوده به همراه نوسازی ناوگان قبل از یورو ۲	۱/۴۹	-	اقتصادی	۷ از ۳۱	- منفعت هر سناریو (B) برابر با میزان خسارت کاهش یافته ناشی از آلودگی هوا بر سلامت مردم بر اثر آلودگی هوا بر حسب میلیارد ریال در نظر گرفته شده است.
	جایگزینی تاکسی هایی با عمر بیشتر از ۱۰ سال با ناوگان نو	۱/۳۵	-	اقتصادی	۸ از ۳۱	- هزینه هر سناریو (C) بر حسب میلیارد ریال برآورد گردیده است.
	افزایش ۱۰ درصدی سهم اتوبوس های واحد گاز سوز	۱/۰۴	-	اقتصادی	۹ از ۳۱	- هزینه خرید ناوگان و احداث جایگاه شارژ برای سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته شده است.
	جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو گاز سوز	۰/۶۵	-	غیر اقتصادی	۱۲ از ۳۱	- در همه سناریوهای جایگزینی، ارزش ناوگان فعلی که قرار است جایگزین شود از هزینه ها کسر شده است.
	جایگزینی تاکسی های با عمر بیشتر از ۱۰ سال با ناوگان نو هیبریدی	۰/۴	-	غیر اقتصادی	۱۵ از ۳۱	- در محاسبه اثرات ناشی از اجرای سناریو، فرض بر اجرای بی عیب و نقص سناریو و حاصل شدن تمام نتایج آن سناریو خاص بوده است.
	جایگزینی سواری های با عمر بیشتر از بیست سال با ناوگان نو هیبریدی	۰/۲۶	-	غیر اقتصادی	۲۱ از ۳۱	- در سناریوهای جایگزینی وسایل نقلیه با سوخت جایگزین (گاز و برق)، صرفه جویی در مصرف سوخت در نظر گرفته نشده است.
	جایگزینی تاکسی های با عمر بیشتر از ۱۰ سال با ناوگان نو برقی	۰/۲۶	-	غیر اقتصادی	۲۲ از ۳۱	- انتشار آلاینده های ناشی از برق مورد نیاز برای اجرای سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته نشده است.
	جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان نو هیبریدی	۰/۱۷	-	غیر اقتصادی	۲۵ از ۳۱	- هزینه ایجاد تأسیسات و نیروگاه های مورد نیاز برای تأمین نیروی برقی سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته نشده است.
	جایگزینی سواری شخصی با عمر بیشتر از بیست سال با خودروی برقی	۰/۱۴	-	غیر اقتصادی	۲۷ از ۳۱	- زمان اجرای سناریو ها، بسته به پیچیدگی و مبلغ مورد نیاز بین ۸ تا ۲۰ سال انتخاب شده و نرخ تنزیل، ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است.

شهر	سناریوهای کاهش آلودگی هوا (مرتبط با ناوگان حمل و نقل)	نسبت منفعت به هزینه (B/C)	حاصل کسر هزینه از منفعت (B-C)	اقتصادی بودن سناریو	رتبه سناریو از نظر صرفه اقتصادی	توضیحات و فرضیات
کرج [۲۰]	جایگزینی اتوبوس های واحد با عمر بیشتر از هشت سال با ناوگان برقی	۰/۱۱	—	غیر اقتصادی	۳۱ از ۲۹	— منفعت هر سناریو (B) برابر با میزان خسارت کاهش یافته ناشی از آلودگی هوا بر سلامت مردم بر اثر آلودگی هوا بر حسب میلیارد ریال در نظر گرفته شده است. — هزینه هر سناریو (C) بر حسب میلیارد ریال بر آورده گردیده است. — هزینه خرید ناوگان و احداث جایگاه شارژ برای سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته شده است. — در همه سناریوهای جایگزینی، ارزش ناوگان فعلی که قرار است جایگزین شود از هزینه ها کسر شده است. — در محاسبه اثرات ناشی از اجرای سناریو، فرض بر اجرای بی عیب و نقص سناریو و حاصل شدن تمام نتایج آن سناریو خاص بوده است. — در سناریوهای جایگزینی وسایل نقلیه با سوخت جایگزین (گاز و برق)، صرفه جویی در مصرف سوخت در نظر گرفته نشده است. — انتشار آلاینده های ناشی از برق مورد نیاز برای اجرای سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته نشده است. — هزینه ایجاد تأسیسات و نیروگاه های مورد نیاز برای تأمین نیروی برقی سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته نشده است. — زمان اجرای سناریوها، بسته به پیچیدگی و مبلغ مورد نیاز بین ۸ تا ۲۰ سال انتخاب شده و نرخ تنزیل، ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. — نرخ دلار با توجه به زمان تهیه گزارش برابر با ۱۵۵ هزار تومان و نرخ یورو برابر با ۱۱ دلار در نظر گرفته شده است.
	جایگزینی ۱۰ درصد ناوگان موتور سیکلت با ناوگان برقی	۰/۱	—	غیر اقتصادی	۳۱ از ۳۰	
	جایگزینی ۵۰ درصد ناوگان موتور سیکلت با ناوگان برقی	۰/۰۹	—	غیر اقتصادی	۳۱ از ۳۱	
	نصب کاتالیزور روی تاکسی های بنزینی	۵۹/۰۳	—	اقتصادی	۲ از ۲۶	
اصفهان [۱۹]	نصب فیلتر دوده روی اتوبوس های شهری	۱۰/۶۲	—	اقتصادی	۴ از ۲۶	— منفعت هر سناریو (B) برابر با میزان خسارت کاهش یافته ناشی از آلودگی هوا بر سلامت مردم بر اثر آلودگی هوا بر حسب میلیون دلار در نظر گرفته شده است. — هزینه هر سناریو (C) بر حسب میلیون دلار بر آورده گردیده است. — هزینه خرید ناوگان و احداث جایگاه شارژ برای سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته شده است. — در همه سناریوهای جایگزینی، ارزش ناوگان فعلی که قرار است جایگزین شود از هزینه ها کسر شده است. — در محاسبه اثرات ناشی از اجرای سناریو، فرض بر اجرای بی عیب و نقص سناریو و حاصل شدن تمام نتایج آن سناریو خاص بوده است. — صرفه جویی سوخت حاصل از اجرای سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده و فرض شده است تمامی سوخت مصرف جویی با قیمت فوب خلیج فارس در زمان انجام ارزیابی (تیرماه ۱۳۹۹) به فروش برسد. — انتشار آلاینده های ناشی از برق مورد نیاز برای اجرای سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته نشده است. — هزینه ایجاد تأسیسات و نیروگاه برای تأمین نیروی برق مورد نیاز سناریوهای برقی سازی در نظر گرفته نشده است. — زمان اجرای سناریوها، بسته به پیچیدگی و مبلغ مورد نیاز بین ۵ و ۱۰ سال در نظر گرفته شده و نرخ تنزیل، ۱۰ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. — نرخ دلار با توجه به زمان تهیه گزارش برابر با ۱۵۵ هزار تومان و نرخ یورو برابر با ۱۱ دلار در نظر گرفته شده است.
	جایگزینی موتور سیکلت های کاربراتور با انژکتوری	۸/۹	—	اقتصادی	۵ از ۲۶	
	نوسازی خودروهای سواری فرسوده با خودروهای سواری نو بنزینی	۵/۳۴	—	اقتصادی	۶ از ۲۶	
	از رده خارج کردن تاکسی های با عمر بالای ۱۰ سال با تاکسی های بنزینی یورو ۴	۱/۹۷	—	اقتصادی	۱۱ از ۲۶	
	جایگزینی تاکسی های درون شهری بنزینی با تاکسی های گاز سوز	۱/۳۷	—	اقتصادی	۱۲ از ۲۶	
	جایگزینی اتوبوس های درون شهری دیزلی با اتوبوس شهری گاز سوز	۱/۲۵	—	اقتصادی	۱۴ از ۲۶	
	جایگزینی کل ناوگان موتور سیکلت فعلی با موتور سیکلت های برقی	۰/۳۹	—	غیر اقتصادی	۱۹ از ۲۶	
	جایگزینی تاکسی های درون شهری بنزینی با تاکسی های برقی	۰/۳۳	—	غیر اقتصادی	۲۰ از ۲۶	
	جایگزینی اتوبوس های فرسوده با ناوگان برقی	۰/۱۸	—	غیر اقتصادی	۲۴ از ۲۶	



۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای سیاستی

گزارش حاضر به بررسی تجربیات کشورهای خارجی در حوزه برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی و ارزیابی‌های انجام گرفته در مطالعات داخلی نسبت به این سیاست پرداخته شده است. یافته‌های حاصل از مطالعات خارجی و داخلی به‌طور خلاصه به‌شرح ذیل است:

۱ با وجود بلندپروازی در اجرای طرح برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی در شنتن چین، مرحله آزمایشی با استفاده از تعداد محدودی اتوبوس (۱۰۰ اتوبوس) اجرایی شد. تجربیات چین، ایالات متحده آمریکا و کشورهای اروپایی نشان داد راهبردهای مربوط به برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی لازم است با دقت و پس از مطالعات همه‌جانبه تدوین شده و در نهایت به‌صورت مرحله‌به‌مرحله (شامل مرحله آزمایشی) و منطبق با هدف‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت اجرایی شود. بنابراین پرهیز از شتاب‌زدگی در توسعه وسایل نقلیه برقی در شهرهای ایران ضروری بوده و سرمایه‌گذاری گسترده در این حوزه بدون مطالعات کافی و اجرای مراحل آزمایشی و بازخوردگیری از نتایج آن، می‌تواند منجر به شکست در تحقق اهداف شود.

۲ اگرچه قیمت وسایل نقلیه برقی در دنیا رو به کاهش است، اما قیمت خرید اتوبوس برقی با باتری بزرگ با کارکرد قابل قبول در چین، همچنان ۲ برابر قیمت اتوبوس‌های دیزلی سنتی است و این عامل خصوصاً در شرایط دشوار فعلی از نظر تأمین اعتبارات لازم برای رفع کمبود و نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی و کاهش آلودگی هوا، باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.

۳ ارزش فعلی هزینه سرمایه در دوره عمر ۸ ساله اتوبوس برقی در چین، نزدیک به ۳ برابر اتوبوس دیزلی محاسبه شده است. اگرچه در مواردی همچون تأمین انرژی و نگهداری، هزینه اتوبوس‌های برقی پایین‌تر (حدود ۴۴ درصد اتوبوس دیزلی) ارزیابی شده، اما با در نظر گرفتن تمامی اجزای هزینه‌های مالکیت از جمله هزینه سرمایه، ارزش فعلی هزینه کل مالکیت اتوبوس‌های برقی در چین (بدون در نظر گرفتن هزینه‌های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای) ۲۱ درصد بیشتر از اتوبوس‌های دیزلی برآورد شده است.

۴ محاسبه هزینه‌های اتوبوس‌های برقی و دیزلی در کشورهای چین و ایالات متحده با در نظر گرفتن هزینه‌های آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد که در مجموع توسعه برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل کاملاً وابسته به شرایط ناوگان و منطقه مورد بررسی است. به‌طوری‌که در ایالات متحده مجموع هزینه‌های استفاده از اتوبوس برقی (شامل

هزینه‌های ناشی از آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای) بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بیشتر از اتوبوس‌های دیزلی و در چین ۱۳ درصد کمتر از اتوبوس‌های دیزلی است.

۵ منافع حاصل از برقی‌سازی ناوگان اتوبوسرانی حتی در کشور چین (به‌رغم کاهش ۱۳ درصدی هزینه‌ها نسبت به اتوبوس‌های دیزلی) به‌اندازه‌ای بزرگ و قابل توجه نیست که به‌عنوان تنها راه‌حل کاهش آلودگی هوا در شهرهای آلوده در نظر گرفته شده و تبلیغات وسیعی روی آن صورت گیرد.

۶ مهم‌ترین یافته مطالعات انجام شده در داخل کشور، غیراقتصادی بودن اجرای سناریوهای برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل در شهرهای تهران، کرج و اصفهان بوده است. برای سناریوهای برقی‌سازی اتوبوس‌های شهری در دو شهر اصفهان و کرج ارزیابی اقتصادی انجام شد و نتایج نشان داد میزان منافع این سناریوها بسیار کمتر از هزینه اجرای آنهاست (نسبت منافع به هزینه‌ها به ترتیب معادل ۱۱ به ۱۰۰ و ۱۸ به ۱۰۰ برآورد شده است).

۷ به‌دلیل آنکه در مطالعات داخلی تمام مراحل تحلیل چاه تا چرخ انجام نشده و حدود ۳ تا ۴ سال نیز از زمان انجام برآوردهای مربوطه گذشته است، انجام مطالعات جامع با استفاده از اطلاعات به‌روز در این زمینه که همه هزینه‌ها و منافع برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل (مخصوصاً حمل‌ونقل عمومی) را در نظر بگیرد، ضروری است. بنابراین تا حصول اطمینان از کارآمدی اقتصادی برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل از طریق انجام مطالعات معتبر در شهرهای بزرگ کشور، بهتر است از سرمایه‌گذاری گسترده در این حوزه خودداری و مانند سایر کشورهای جهان، راهبرد مرحله‌به‌مرحله برای برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی اتخاذ شود.

۸ تجربیات جهانی بیانگر آن است که مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی در شهرهایی که دارای توپوگرافی کوهستانی بوده و یا تغییرات دمای هوا در فصول سرد و گرم بالاست بسیار افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که مطالعه انجام شده در کشور فرانسه نشان داد مصرف انرژی اتوبوس برقی هنگامی که در مسیری با شیب ۴ درصد تردد می‌کند، ۱/۶۶ برابر مصرف انرژی آن هنگام تردد در یک معبر بدون شیب است. بنابراین توسعه اتوبوس‌های برقی بدون توجه به شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی هریک از شهرهای کشور اشتباهی راهبردی است و می‌تواند کارآمدی این وسایل نقلیه را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد.

اتوبوس های دیزلی و گازسوز براساس تحلیل چاه تا چرخ در کلان شهرهای ایران باشد.

ب) براساس نتایج مطالعات بند فوق، وزارت کشور سند توسعه وسایل نقلیه عمومی برقی را حداکثر ظرف یک سال تدوین نموده و به تصویب هیئت وزیران برساند. در این سند، با توجه به شدت و تداوم آلودگی هوا و میزان فرسودگی و کمبود ناوگان حمل و نقل عمومی (مطابق با مطالعات جامع حمل و نقل شهرها)، شرایط لازم برای اعطای مجوز برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی به شهرها و مناطق مختلف شهری مشخص می گردد. با توجه به تجربیات جهانی، **هدف گذاری های میان مدت و اجرای مرحله به مرحله (شامل مرحله آزمایشی)** جایگزینی اتوبوس های موجود با اتوبوس های برقی باید به عنوان رویکرد محوری این سند، مدنظر قرار گیرد. در این خصوص، هماهنگی این سند با شرایط آیین نامه واردات خودرو موضوع ماده (۴) قانون ساماندهی صنعت خودرو مصوب ۱۴۰۱/۰۳/۱۶ به منظور تدقیق هدف گذاری در زمینه مشخصات فنی خودروهای وارداتی، انتقال فناوری، تعیین سقف واردات، و حمایت از تولید با کیفیت داخلی ضروری است. همچنین، معیارها و استانداردهای لازم در رابطه با **برنامه تأمین برق وسایل نقلیه برقی** باید در این سند مشخص گردد.

ج) شهرداری های واجد شرایط و متقاضی ناوگان حمل و نقل عمومی برقی باید با توجه به الزامات و استانداردهای سند توسعه وسایل نقلیه عمومی برقی، نسبت به تهیه برنامه خود جهت برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی و تصویب آن در شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور اقدام نمایند.

۹- تأمین امکانات شارژ اتوبوس های برقی یک محدودیت بالقوه برای برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی به شمار می آید. بررسی ها در شهر شنژن چین نشان داد که یافتن زمین برای ایجاد ایستگاه های شارژ اتوبوس های برقی به سرعت به بزرگ ترین چالش این حوزه تبدیل شده است. مطابق توصیه بانک جهانی، در نظر گرفتن چالش های تأمین زمین و سرمایه گذاری برای ایستگاه های شارژ، یک ملاحظه کلیدی در برنامه ریزی برای برقی سازی ناوگان حمل و نقل است تا از تأخیر و اختلال در خدمات جلوگیری شود.

۱۰- به نظر می رسد حتی زمانی که کاهش آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه ای دلیل مهمی برای پیگیری ایده حمل و نقل برقی است، راهکار برقی سازی تنها یکی از راهکارها جهت کاهش آلودگی هواست و لزوماً مقرون به صرفه ترین اقدام نیست و لذا باید در کنار سایر اقدامات از جمله مدیریت تقاضای سفر مدنظر قرار گیرد.

با توجه به ضرورت پرهیز از شتاب زدگی برای سیاست گذاری در حوزه برقی سازی حمل و نقل عمومی شهری در شرایطی که هنوز مطالعات کافی برای اتقان بخشی به تصمیمات وجود ندارد، پیشنهاد می شود:

الف) وزارت کشور با همکاری سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت صنعت، معدن و تجارت و وزارت نیرو و استفاده از بنیه تخصصی دستگاه های اجرایی، پژوهشی و نخبگان کشور، مطالعات لازم در خصوص برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی شهرها را تعریف و راهبری نماید. این مطالعات باید شامل انجام ارزیابی اقتصادی سناریوهای برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی در مقایسه با



منابع و مآخذ



۱. انعقاد قرارداد ساخت ۴۸۰۰ اتوبوس تولید داخل، قابل دسترس از: <https://www.isna.ir/xdQbvX>، تاریخ دسترسی: ۲۷ آذر ۱۴۰۲.
۲. شهاب دبیری‌نژاد، آسیب‌شناسی وضعیت اتوبوسرانی شهرها؛ ناوگان و اعتبارات، ۱۴۰۲، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، در فرایند انتشار.
۳. دانشگاه علوم پزشکی تهران، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، گزارش ۱۲ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲) کیفیت هوای شهر تهران: تغییرات زمانی-مکانی غلظت‌ها، اثرات بهداشتی و اقتصادی ۱۴۰۲.
۴. افزایش چشمگیر تعداد اتوبوس‌های تهران تا یک سال آینده، قابل دسترس از: <https://www.tinn.ir/fa/tiny/news-۲۶۴۳۲۵>، تاریخ دسترسی: ۸ آذر ۱۴۰۲.
۵. شهاب دبیری‌نژاد، محمدتقی فیاضی، نظام تأمین مالی و بودجه‌ریزی حمل‌ونقل شهری، ۱۴۰۲، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، شماره مسلسل ۱۹۲۲۳.
۶. مصوبه شورای اقتصاد در خصوص طرح حمل‌ونقل درون‌شهری عمومی و پاک، قابل دسترس از: <https://dotic.ir/news/۱۲۶۱۸>، تاریخ دسترسی: ۸ آذر ۱۴۰۲.
7. World Bank, Electrification of Public Transport: A Case Study of the Shenzhen Bus Group. 2021: World Bank.
8. Innovative Clean Transit (ICT) Regulation Fact Sheet. 2019. Access date: 29/11/2023; Available from: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/innovative-clean-transit-ict-regulation-fact-sheet>.
9. Multi-State Medium- and Heavy-Duty Zero Emission Vehicle Memorandum of Understanding. 2020. Access date: 29/11/2023; Available from: <https://www.nescaum.org/documents/mhdy-zev-mou-20220329.pdf>.
10. Directive (EU) 2019/1161 of the European Parliament and of the Council. 2019. Access date: 29/11/2023; Available from: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/clean-and-energy-efficient-vehicles/clean-vehicles-directive_en.
11. Breetz, H.L. and D. Salon, Do electric vehicles need subsidies? Ownership costs for conventional, hybrid, and electric vehicles in 14 US cities. Energy Policy, 2018. 120: p. 238-249.
12. Wu, G., A. Inderbitzin, and C. Bening, Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments. Energy Policy, 2015. 80: p. 196-214.
13. Papa, G., M. Santo Zarnik, and V. Vukašinović, Electric-bus routes in hilly urban areas: Overview and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022. 165: p. 112555.
14. Tong, F., et al., Life cycle ownership cost and environmental externality of alternative fuel options for transit buses. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017. 57: p. 287-302.
15. Rupp, M., et al., Contribution of country-specific electricity mix and charging time to environmental impact of battery electric vehicles: A case study of electric buses in Germany. Applied energy, 2019. 237: p. 618-634.
16. Ma, X., et al., Examining influential factors on the energy consumption of electric and diesel buses: A data-driven analysis of large-scale public transit network in Beijing. Energy, 2021. 216: p. 119196.
17. Ferrari, A., D. Vrtiska, and M. Popilka, Advances in Fossil-Free Motorsports Fuels for Sustainable Transportation. 2022.
۱۸. کاظمی سوچلمایی، م. و گدانساز، س، محاسبه اثربخشی و اولویت‌بندی راهکارهای مدیریت کیفیت هوای تهران، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۹۹.
۱۹. احمدی‌کیا، ح، غفارپسند، ا، طلایی خوزانی، م. و طلایی خوزانی، ا، سیاهه انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از منابع انسان‌ساز در کلان‌شهر اصفهان شامل تدوین و ارزیابی سناریوهای کاهش انتشار، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۰۰.
۲۰. اوحدی‌همدانی، ع، حبیبیان، م، خورسندی، ب، قصاب‌زاده سیریدی، م، فلاح، ن. و گروه کارشناسان، سیاهه انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از منابع انسان‌ساز در کلان‌شهر کرج شامل تدوین و ارزیابی سناریوهای کاهش انتشار، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۰۰.
21. C. Delft, "Shadow Price Handbook", European Public Health Alliance (EPHA), 2010.

گزیده سیاستی

برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی اگر چه طرحی رو به جلو است اما تجربیات جهانی و مطالعات داخلی نشان می دهد اجرای شتابزده آن پیش از تهیه «سند توسعه وسایل نقلیه عمومی برقی» و بدون توجه به الزاماتی همچون اجرای مرحله آزمایشی می تواند موجب شکست این طرح شود.



مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاسداران، روبروی پارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۵۸۵۵-۱۵۸۷۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وبسایت: rc.majles.ir