

به نام خداوند جان و خرد

وزارت نیرو
معاونت برق و انرژی
دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی

خلاصه مدیریتی:

توسعه بخش حمل و نقل کشور
مقایسه فنی، اقتصادی و زیست محیطی انواع خودروهای
سبک سواری

تهیه کننده:

وحید آریان‌پور

فروردین ۹۴

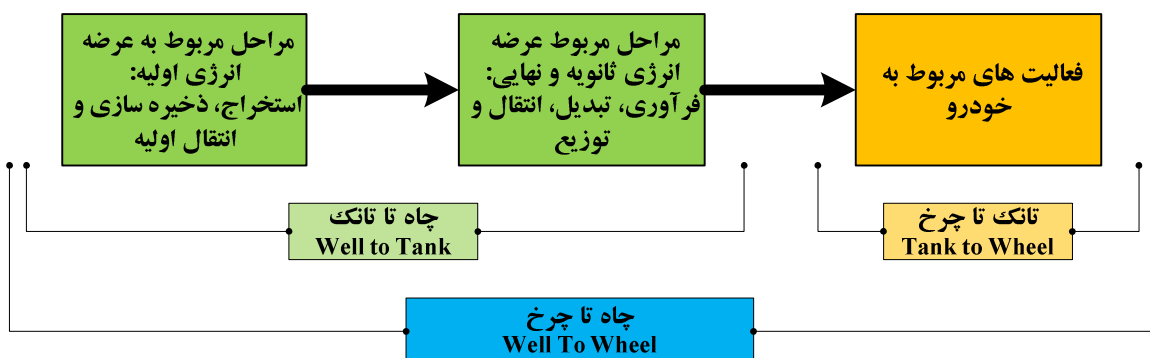
۱. مقدمه

خودروهای سبک سواری پیشرفته و سوخت‌های جایگزین از پتانسیل قابل توجهی در زمینه کاهش مصرف انرژی و به تبع آن کاهش نگرانی‌های زیست محیطی برخوردار می‌باشند. به همین دلیل، پیش‌بینی روند توسعه تکنولوژی‌های نوظهور و سوخت‌های جایگزین در آینده و اثرات متقابل آنها بر منابع انرژی و محیط زیست اهمیت زیادی دارد. روشی که در این مطالعه به کار گرفته شده به منافع ملی توجه دارد و منافع یک بخش یا گروه خاص نظیر تولید کننده، توزیع کننده یا منافع صنعت خودرو به تنهایی مطرح نیست، بلکه استاندارد راندمان انرژی از دیدگاه تبدیل به کار مفید در طول زنجیره تولید و مصرف سوخت مد نظر قرار می‌گیرد.

هدف اصلی مطالعه، مقایسه خودروهای جایگزین و خودروهای رایج از منظر فنی، اقتصادی و زیست محیطی می‌باشد. برای انجام این مهم از روش تحلیل چاه تا چرخ استفاده می‌شود. با توجه به این که خودروهای پیشرفته و اکثر روش‌های تولید سوخت‌های جایگزین در حال حاضر در کشور ما وجود ندارند، در بسیاری از موارد ناگزیر به استفاده از اطلاعات مراجع معتبر بین‌المللی می‌باشیم. اما در عین حال تلاش شده تا محاسبات با توجه به واقعیت موجود در کشور تعدیل گردند.

۲. روش انجام مطالعه

برآورد دقیق راندمان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش حمل و نقل نیازمند تجزیه و تحلیل کل زنجیره تولید و مصرف آن می‌باشد. این رویکرد در شکل (۱) نمایش داده شده و با عنوان تحلیل "از چاه تا چرخ" یا "WTW"^۱ از آن یاد می‌شود. در این روش زنجیره تولید سوخت‌های مختلف (WTT)^۲ و تکنولوژی موتور خودروها (TTW)^۳ به مجزا بررسی شده اما مقایسه نهایی در کل زنجیره صورت می‌پذیرد.



شکل ۱- تحلیل چاه تا چرخ

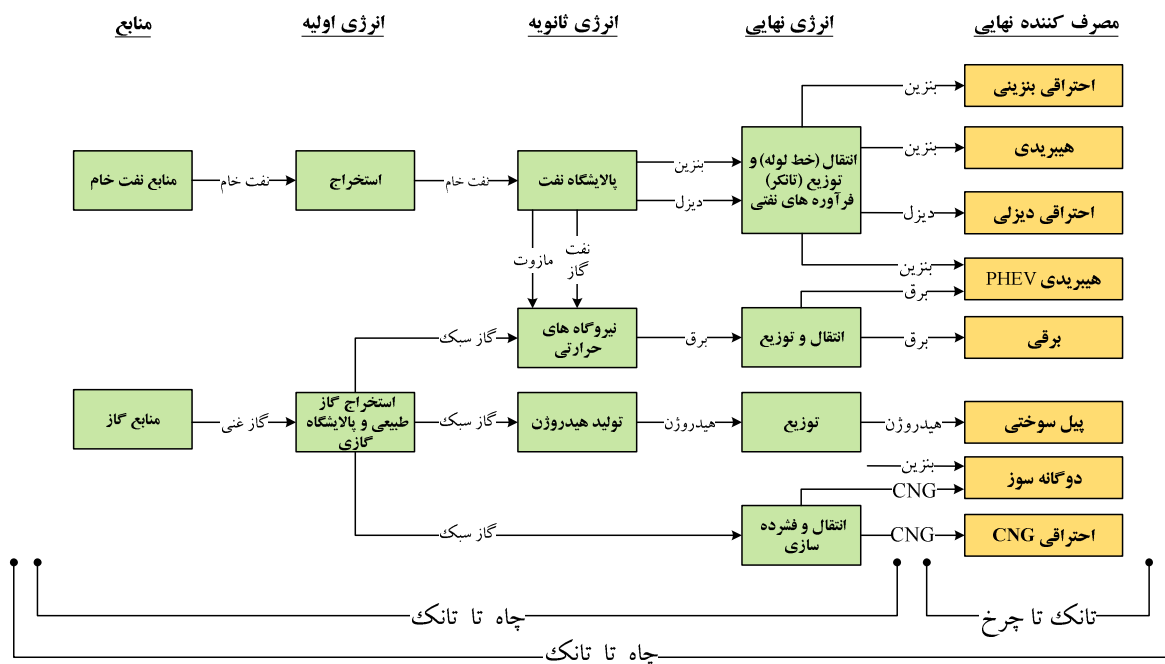
^۱ Well-to-Wheel (WTW)

^۲ Well-to-Tank (WTT)

^۳ Tank-to-Wheel (TTW)

۳. تکنولوژی‌های منتخب

مسیرهای مختلفی برای تولید انواع سوخت‌های قابل استفاده در بخش حمل و نقل جاده‌ای وجود دارد. این سوخت‌ها می‌توانند از انواع منابع یعنی نفت خام، گاز طبیعی، زغال سنگ و زیست توده تولید شده و انرژی مورد نیاز برای استفاده در بخش حمل و نقل را فراهم نمایند. در حال حاضر رایج‌ترین این سوخت‌ها عبارتند از بنزین و گازوئیل که در رقابت با سوخت‌های جایگزین شامل CNG، LNG، LPG، نفتا، هیدروژن، متانول، دی‌متیل اتر، دیزل سنتز، بیواتانول، بیودیزل و الکتریسیته بوده و در مجموع می‌توانند در کنار صیانت از منابع فسیلی منجر به ایجاد تنوع در سبد سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز گردند. در مجموع ۲۸ مسیر مختلف تولید سوخت مورد بررسی قرار گرفته، اما از میان آنها، تنها ۸ مسیر در بخش نتایج مورد مقایسه قرار می‌گیرند. معیار انتخاب این مسیرها نیز اولاً پتانسیل و دسترسی به منابع سوخت آنها در داخل کشور و ثانیاً توسعه یافتگی مسیرها و تکنولوژی‌ها می‌باشد. بنابراین مسیرهایی که در سطح بین‌المللی همچنان در دست تحقیق و توسعه بوده یا پتانسیل قابل توجهی در کشور ما ندارند در این گزارش حذف می‌شوند. از آنجایی که توسعه فناوری در این بخش در دنیا یا در جهت بهبود عملکرد موتور خودروهای احتراقی (با سوخت‌هایی نظیر بنزین، دیزل، گاز طبیعی و ...) بوده یا در جهت تجاری‌سازی فناوری‌های نوین شامل خودروهای هیبریدی، هیبرید PHEV، خودروهای برقی و پیل سوختی در این مطالعه نیز این تکنولوژی‌ها مد نظر قرار می‌گیرند.



شکل ۲- زنجیره چاه تا چرخ خودروهای جایگزین

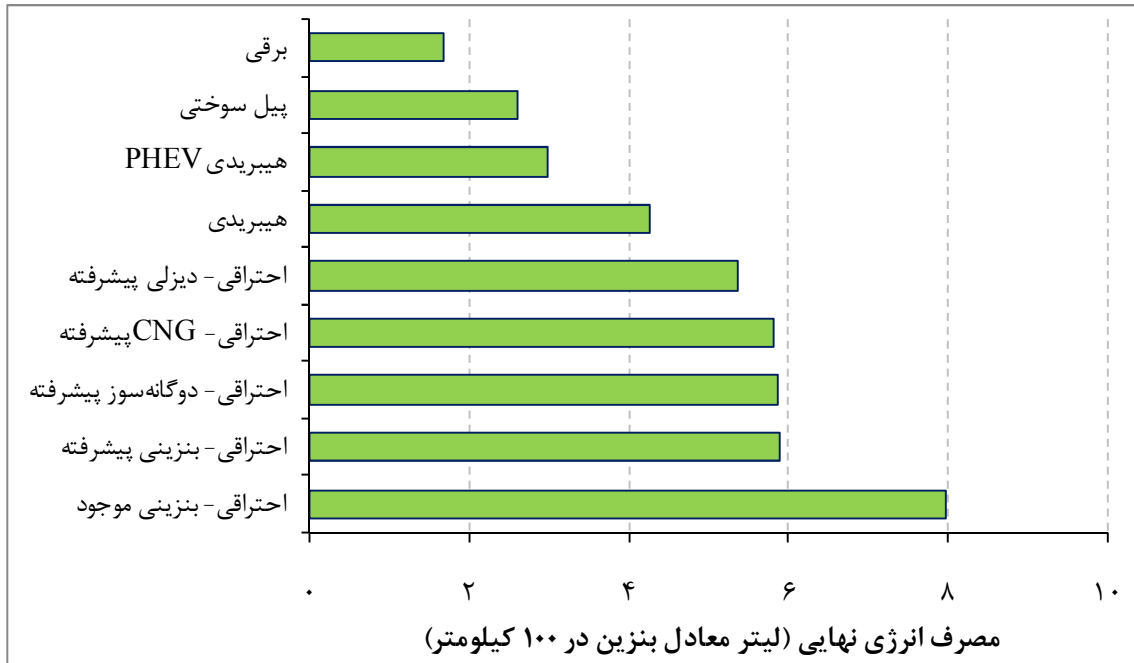
۴. نتایج

در این بخش، رقابت بین انواع خودروهای جایگزین (که در برگیرنده مسیر تولید سوخت نیز خواهد بود) از منظر میزان مصرف انرژی‌های اولیه و ثانویه، از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین هزینه سوخت مصرفی با یکدیگر مقایسه می‌گردند. این مقایسه‌ها با فرض آنکه سقف توسعه فناوری برای انواع خودروها در آینده در کشور ما نیز قابل دسترسی باشد، صورت پذیرفته است.

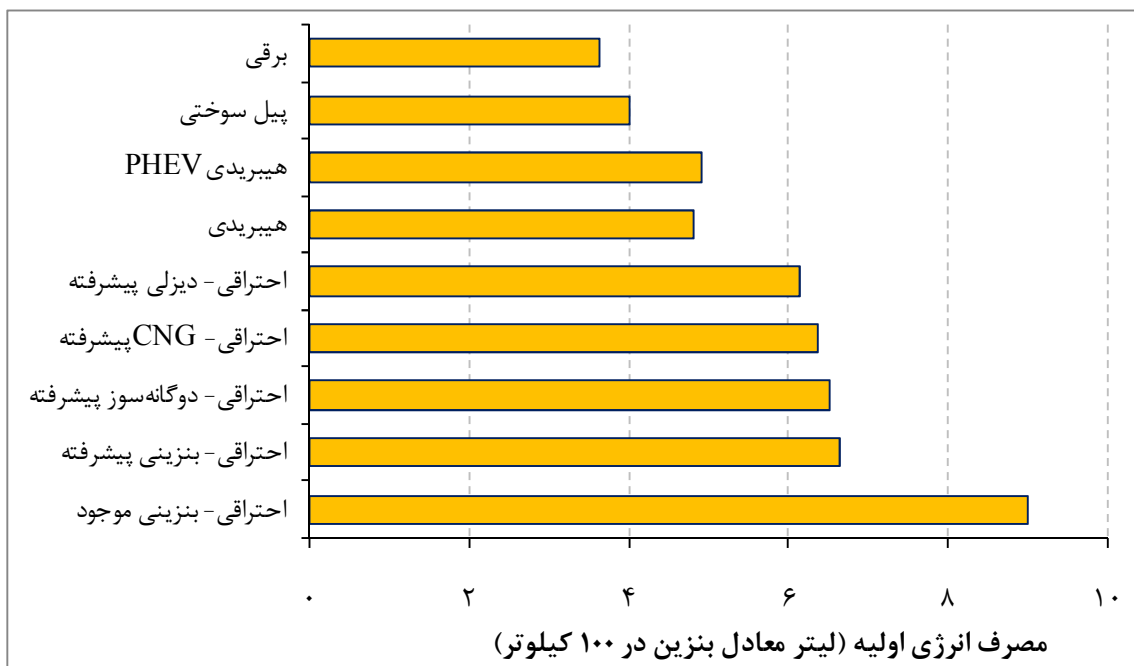
۴-۱- مصرف انرژی

مقایسه مصرف انرژی نهایی به وسیله تکنولوژی‌های مختلف در نمودار (۳) نمایش داده شده است. مطابق این نمودار، با وجودی که خودروهای بنزینی پیشرفته در مقایسه با خودروهای موجود در کشور، تا حدود ۲۶ درصد پتانسیل بهبود در عملکرد و راندمان مصرف انرژی خواهند داشت، اما بازهم در درازمدت استفاده از آنها بیشترین میزان مصرف انرژی نهایی را در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های جایگزین به خود اختصاص خواهد داد. خودروهای احتراق درونی با سوخت CNG نیز از منظر مصرف انرژی نهایی مشابه خودروهای بنزینی خواهند بود. در میان خودروهای احتراقی، موتورهای دیزلی تا حدود ۱۰ درصد در میزان مصرف سوخت در مقایسه با سایر انواع خودروهای احتراقی صرفه‌جویی ایجاد خواهند کرد. اما تغییرات فناوری و حرکت به سمت خودروهای هیبریدی معمولی (HEV)، هیبرید PHEV، پیل سوختی و خودروی برقی در مقایسه با خودروهای بنزینی پیشرفته به ترتیب ۲۸ درصد، ۵۰ درصد، ۵۶ درصد و ۷۲ درصد در میزان مصرف نهایی سوخت صرفه‌جویی ایجاد می‌نمایند. به عبارت دیگر مصرف سوخت در خودروهای بنزینی پیشرفته حدود سه و نیم برابر خودروهای الکتریکی پیشرفته خواهد بود.

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، فناوری‌های نوظهور نظیر خودروهای برقی پتانسیل چشمگیری در کاهش میزان مصرف انرژی نهایی در مقایسه با خودروهای احتراقی ایجاد می‌نمایند. ریشه اصلی این تفاوت در بالاتر بودن راندمان موتورهای الکتریکی (حدود ۸۰ درصد) در مقایسه با راندمان موتورهای احتراق درونی (حدود ۱۵ درصد) می‌باشد. اما یک رویکرد واقع‌بینانه‌تر ایجاب می‌نماید تا مقایسه مصرف انرژی در زنجیره چاه تا چرخ برای تکنولوژی‌های گوناگون با هم مقایسه شود. این مقایسه نیز در شکل (۴) ارائه شده است. دلیل نزدیک‌تر شدن مصرف انرژی اولیه خودروهای الکتریکی و خودروهای احتراق درونی در این نمودار، بالاتر بودن راندمان تولید فرآورده‌های نفتی (حدود ۹۰ درصد) در مقایسه با راندمان تولید برق (حداکثر ۵۰ درصد) می‌باشد. با این وجود، حرکت به سمت فناوری‌های نوین هیبرید PHEV و خودروی الکتریکی در مقایسه با خودروهای بنزینی پیشرفته به ترتیب ۲۶ و ۴۵ درصد در میزان مصرف انرژی اولیه صرفه‌جویی ایجاد می‌نمایند. پس در یک رویکرد واقع‌بینانه، بازدهی انرژی خودروهای الکتریکی کمتر از دو برابر خودروهای بنزینی پیشرفته خواهد بود.



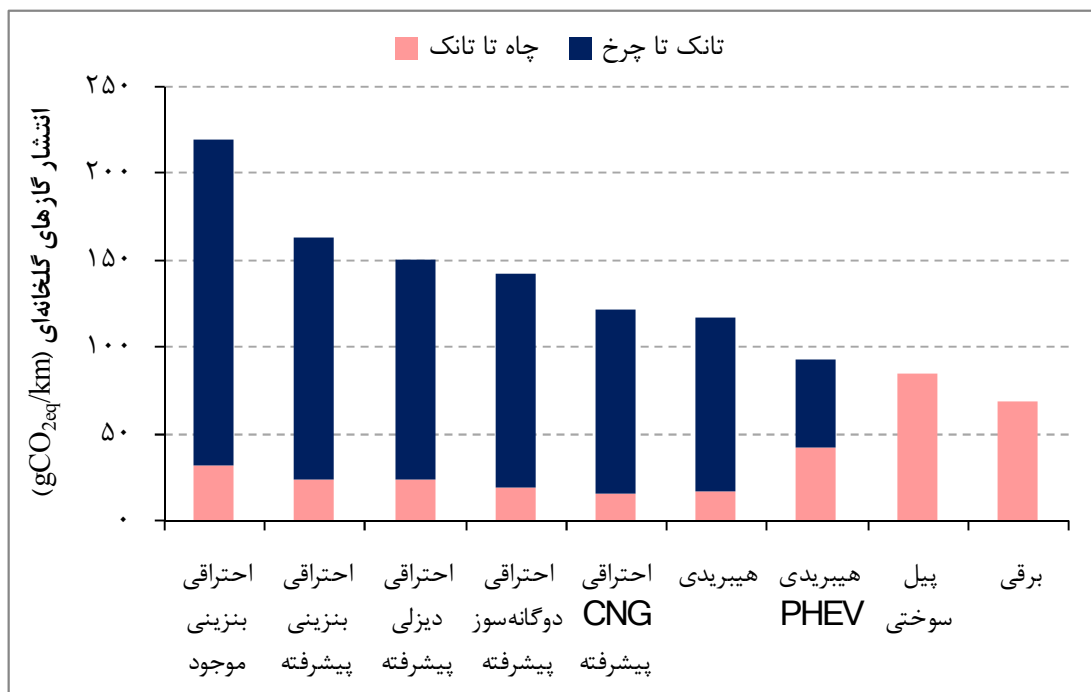
شکل ۳- مقایسه مصرف انرژی نهایی



شکل ۴- مقایسه مصرف انرژی اولیه

۴-۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای

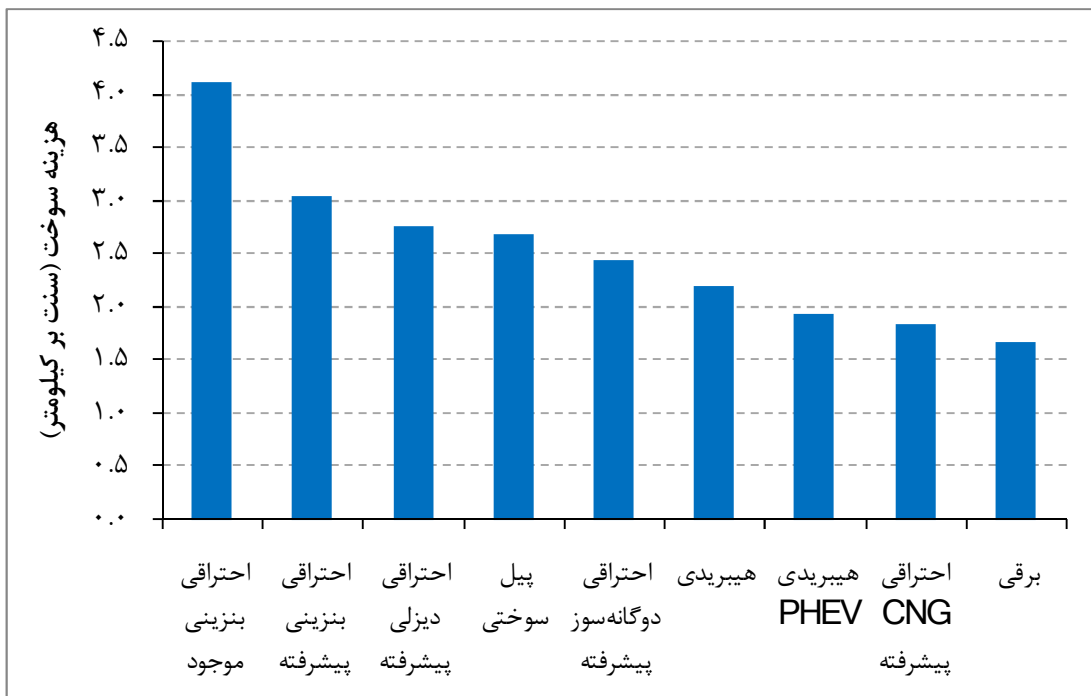
پارامتر دیگری که می‌تواند مبنای مقایسه مسیرهای مختلف قرار گیرد، محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای مستقل از تقاضا می‌باشد (میزان انتشار به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده). این شاخص در نمودار (۵) ارائه شده است. با وجودی که موتورهای الکتریکی عملاً فاقد انتشار هستند، اما تولید برق از نیروگاه‌های فسیلی در کشور ما میزان قابل ملاحظه‌ای آلاینده به فضا منتشر می‌نماید. با این وجود نتایج حاکی از آن است که خودروهای برقی بهترین گزینه‌های تکنولوژیکی از منظر انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای واحد مسافت طی شده می‌باشند. فراموش نکنیم که کمتر بودن میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در خودروهای برقی با در نظر گرفتن پتانسیل قابل ملاحظه در افزایش راندمان نیروگاه‌های برق (تا ۵۰ درصد)، پتانسیل کاهش تلفات خطوط انتقال و توزیع برق (کمتر از ۱۰ درصد) و پتانسیل بهبود تکنولوژی در موتورهای الکتریکی می‌باشد (تا ۲۵ درصد). یعنی برآیند اثرات این سه پارامتر منجر به کاهش شدید انتشار در مقایسه با سایر مسیرها می‌گردد. در نقطه مقابل، خودروهای متعارف کنونی یعنی خودروهای احتراقی با سوخت بنزین و دیزل بیشترین میزان انتشار را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع خودروهای برقی، پیل سوختی و هیبریدی PHEV به ترتیب ۶۹، ۶۱ و ۵۸ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با خودروهای بنزینی پیشرفته خواهند کاست. از طرفی استفاده از CNG در موتورهای احتراقی بین ۱۳ تا ۲۵ درصد از میزان انتشار در مقایسه با مصرف بنزین خواهد کاست.



شکل ۵- مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای (از چاه تا چرخ) به وسیله انواع خودروها

۴-۳- هزینه مصرف سوخت

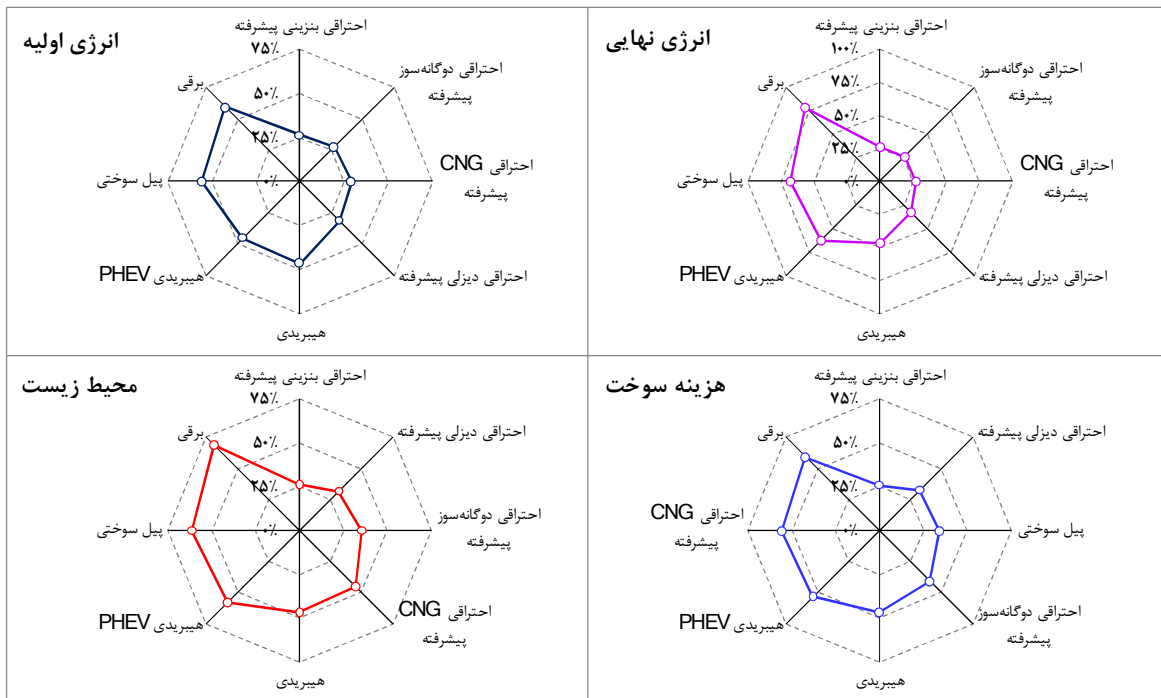
مقایسه هزینه سوخت به ازای واحد مسافت طی شده به وسیله تکنولوژی‌های مختلف در نمودار (۶) منعکس شده است. علی‌رغم بالا بودن هزینه برق در مقایسه با اکثر حامل‌های انرژی، خودروهای برقی به دلیل مصرف بسیار پایین (راندمان بالا)، بهترین گزینه تکنولوژیکی از منظر هزینه مصرف سوخت محسوب می‌شود. در میان سوخت‌های فسیلی، سی ان جی بهترین گزینه از لحاظ کاهش هزینه سوخت خواهد بود. در نقطه مقابل، خودروهای متعارف بنزینی و دیزلی بیشترین هزینه سوخت را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۶- مقایسه متوسط هزینه سوخت به ازای واحد مسافت طی شده

۵. جمع‌بندی

در این مطالعه خودروهای جایگزین و خودروهای رایج از منظر فنی، اقتصادی و زیست محیطی در زنجیره چاه تا چرخ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. خلاصه رتبه‌بندی این تکنولوژی‌ها از منظر کاهش مصرف انرژی نهایی، کاهش مصرف انرژی اولیه، کاهش هزینه‌های سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در قیاس با خودروهای رایج موجود در کشور در شکل (۷) ارائه شده است.



شکل ۷- درصد کاهش شاخص‌های مختلف در تکنولوژی‌های پیشرفته در مقایسه با خودروهای موجود کشور

مهمترین نتایج این مطالعه عبارتند از:

- جایگزینی خودروهای احتراقی رایج موجود در کشور با انواع پیشرفته آنها، تا حدود ۲۵ درصد شاخص‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی را بهبود می‌بخشد. به نظر می‌رسد که با در نظر گرفتن رشد تقاضا در کشور، حتی سقف توسعه فناوری برای این نوع خودروها نیز نمی‌تواند دغدغه‌های زیست محیطی را برطرف نماید و از رشد مصرف سوخت در این بخش به صورت جدی بکاهد. بر این اساس، خودروهای احتراقی پیشرفته به ویژه با سوخت CNG و دیزل می‌توانند در کوتاه مدت تا میان مدت مدنظر قرار گیرند، اما نمی‌توانند در درازمدت راهکار مناسبی باشند.
- خودروهای هیبریدی و PHEV در مقایسه با خودروهای احتراقی موجود قادرند شاخص‌های مختلف را تا ۵۰ درصد ارتقاء دهند. وجود چنین پتانسیلی منجر به آن شده تا کشورهای پیشرفته از هم اکنون توسعه این نوع خودروها را در برنامه‌های توسعه خود قرار دهند. اما به دلیل محدودیت‌های دسترسی به چنین تکنولوژی‌هایی در کشور ما، توسعه و به کارگیری این نوع خودروها در ناوگان خودروهای سبک سواری در میان مدت و بلند مدت توصیه می‌شود.
- استفاده از خودروهای برقی در مقایسه با تکنولوژی‌های موجود، مصرف انرژی، هزینه سوخت و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی را تا حداقل ۶۰ درصد کاهش می‌دهند. از طرفی افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر

در تولید برق قادر است مصرف سوخت‌های فسیلی و متعاقباً انتشار آلاینده‌های زیست محیطی را در زنجیره تولید و مصرف برق به شدت کاهش دهد. وجود چنین پتانسیلی باعث شده تا اکثر کشورهای پیشرفته طی سال‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای را برای توسعه و بکارگیری خودروهای برقی و زیرساخت‌های مرتبط با آن در نظر گیرند. علی‌رغم این جهت‌گیری‌ها، این خودروها و زیرساخت‌های مرتبط با آنها همچنان در مرحله تجاری‌سازی می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت که استفاده از خودروهای برقی برای کشور ما در بلند مدت توجیه‌پذیر خواهد بود.

- جایگزینی سوخت‌های مایع در خودروهای سبک سواری با گاز طبیعی به دو صورت امکان‌پذیر است: ۱- استفاده مستقیم از گاز طبیعی در خودروهای احتراقی با سوخت CNG و ۲- تبدیل گاز طبیعی به برق و استفاده غیر مستقیم در خودروهای برقی. مطابق نتایج این مطالعه، خودروهای برقی در قیاس با خودروهای گازسوز از منظر کاهش مصرف انرژی و همین‌طور انتشار آلاینده‌های زیست محیطی برتری قابل توجهی دارند. اما باید به خاطر داشته باشیم که این برتری مادامی قابل ملاحظه خواهد بود که راندمان عرضه برق (تولید، انتقال و توزیع) بالا باشد. بنابراین کاهش تلفات عرضه برق در کشور به عنوان پیش‌نیاز توسعه خودروهای برقی الزامی خواهد بود.

در پایان ذکر این نکته ضروری است که در این مطالعه مقایسه شاخص‌های اقتصادی و زیست محیطی محدود به هزینه سوخت مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. برای تکمیل گزارش حاضر بهتر است در مطالعات آتی مقایسه مسیرهای مختلف تولید سوخت و خودروی مربوطه از منظر انتشار سایر آلاینده‌های زیست محیطی نظیر اکسیدهای نیتروژن (NOx)، مونوکسید کربن (CO) و ذرات معلق (PM) و همچنین سایر هزینه‌ها (به جز سوخت) شامل هزینه خودرو و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری نیز صورت پذیرد.