

بررسی انواع فناوری‌های موتور خودرو در جهان با تأکید بر کاهش آلاینده‌گی

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی
دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن

کد موضوعی: ۳۱۰
شماره مسلسل: ۱۴۴۲۲
شهریورماه ۱۳۹۴

به نام خدا

فهرست مطالب

۱.....	چکیده
۲.....	مقدمه
۴.....	۱. موتور برون سوز (موتور احتراق خارجی).....
۶.....	۲. موتور زد (ZED Engine).....
۱۶.....	۳. آثار اقتصادی و اجتماعی استفاده از موتور زد.....
۲۴.....	جمع بندی، نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد.....
۲۶.....	منابع و مأخذ.....



بررسی انواع فناوری‌های موتور خودرو در جهان با تأکید بر کاهش آلاینده‌گی

چکیده

با توجه به محدودیت سوخت‌های فسیلی و سهم عمده خودروها به‌عنوان سومین منبع تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید آلاینده‌گی، ارائه راه‌حلی با صرف حداقل هزینه به‌منظور کاهش آلاینده‌گی هم‌زمان با حفظ کارایی و قدرت موتور، رویکرد پیش روی صنایع خودروسازی در طراحی و ساخت موتور است. در این گزارش با مقایسه کارایی موتورها از ابعاد فنی، اقتصادی و آلاینده‌گی به ارائه یکی از جدیدترین راهکارها به‌عنوان روشی بهینه برای تأمین حداکثری نیازهای صنعت خودرو و بازار مصرف پرداخته می‌شود.

نتایج و یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که جایگزینی موتور زد (ZED)^۱ به‌جای موتورهای درون‌سوز فعلی و مزایای اقتصادی و انطباق‌پذیری راحت آن با کارخانه‌های تولیدی فعلی این امکان را فراهم می‌کند تا با صرف هزینه پایین جایگزینی، به دو هدف اصلی آلاینده‌گی کم و کاهش مصرف سوخت رسید. عمر بیش از ۳ تا ۴ برابری سیستم انتقال قدرت و در نتیجه آن کاهش هزینه سرویس و خدمات پس از فروش تا یک‌چهارم موتورهای فعلی از دیگر فواید موتور زد است. از طرفی موتور زد به‌عنوان یک موتور برون‌سوز با برخورداری از همه برتری‌های یک موتور برون‌سوز، در عین حال می‌تواند

1. Zevo Emissions Design (ZED).

تأثیرات مثبتی بر کاهش آلاینده‌گی، افزایش سلامت، کاهش واردات، کاهش آلودگی خاک زراعی، افزایش اشتغال، کاهش هزینه مصرف سوخت و... داشته باشد.

در پایان می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط فعلی با توجه به رویکرد غالب صنعت خودروسازی جهان در طراحی و ساخت موتور برای کاهش آلاینده‌گی زیست‌محیطی به‌خصوص در کلانشهرها و دستیابی به مزیت‌های فنی و اقتصادی علاوه بر کاهش هزینه ساخت، راهکار استفاده از موتور زد و جایگزینی آن با موتورهای درون‌سوز فعلی می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌های جدی برای رسیدن به اهداف کاهش آلاینده‌گی و کاهش مصرف سوخت در کشور باشد.

مقدمه

طبق آخرین برآورد پژوهشگران، بیش از ۲۰ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای از طریق خودروهای آلاینده تولید می‌شود، لذا مشکلات زیست‌محیطی در اثر استفاده فراوان از سوخت‌های فسیلی، خودروسازان را بر آن داشت تا با تغییر رویکرد به سمت بهینه‌سازی موتورهای موجود با صرف کمترین هزینه و تغییرات به‌منظور دستیابی به حداکثر بازدهی گام بردارند و از سوی دیگر، نگرانی از به خطر افتادن عرضه آنها به دلیل محدودیت منابع و تجدیدنپذیری آن، مصرف‌کنندگان عمده نفت و گاز را بر آن داشت تا در جستجوی منابع جایگزین و تجدیدپذیر انرژی باشند. از این‌رو، طراحی و ساخت موتورهای جدید با سوخت‌های جایگزین با استفاده از تکنولوژی‌های نوین در دستور کار خودروسازان در بخش موتور قرار گرفت به این منظور میلیاردها دلار برای تحقیق، طراحی و ساخت نمونه‌هایی مثل خودروهای پیل سوختی، الکتریکی و فناوری هیبریدی صرف شده است



که البته هنوز نتوانسته جایگاه شایسته‌ای چه به لحاظ توان تولیدی و چه به لحاظ دامنه استفاده در مقایسه با موتورهای معمول پیدا کنند. به طور کلی نمی‌توان این نمونه‌ها را به عنوان یک جایگزین جهانی برای خودروهای معمولی، قلمداد کرد و پیش‌بینی می‌شود کمتر از ۱۰ درصد از ناوگان حمل‌ونقل (شهری و برون‌شهری) به خودروهای الکتریکی تعلق گیرد.

در این گزارش سعی شده است رویکردهای جدید در صنعت خودروسازی موتور، با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی، کاهش مصرف سوخت، افزایش عمر و دوام موتور، کاهش آلایندگی اعم از (آلودگی صدا، آلودگی هوا در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای)، کاهش هزینه تعمیر و نگهداری موتور، امکان چندگانه بودن سوخت موتور مورد توجه قرار گیرد.

در بخش اول گزارش، به معرفی موتورهای برون‌سوز و مقایسه آن با موتورهای درون‌سوز پرداخته می‌شود، در بخش دوم جایگاه موتور زد (ZED) در مقایسه با موتورهای درون‌سوز و برون‌سوز مورد اشاره قرار گرفته و در ادامه این نوع موتور با موتورهای جدید مقایسه می‌شود و تکنولوژی‌های نوین نظیر موتورهای درون‌سوز،^۱ هیبریدی،^۲ هیبریدی دوشاخه‌دار^۳ و الکتریکی^۴ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم آثار اقتصادی و اجتماعی استفاده از موتور زد ارائه می‌شود و در نهایت در بخش چهارم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری و راهکارهای پیشنهادی ارائه خواهد شد.

۱. "ICE" is internal combustion gasoline fueled engines.

۲. "Hybrid" is the gasoline engine / battery powertrain.

۳. "Plug-in" hybrids are those powertrains where the batteries can be charged from an external source.

۴. "Electric" is a vehicle powered by batteries only.

۱. موتور برون‌سوز (موتور احتراق خارجی)^۱

موتور برون‌سوز یا احتراق خارجی، نوعی ماشین گرمایی است که در آن انرژی حاصل از احتراق توسط دیواره موتور یا مبدل حرارتی از منبع خارجی به سیال عامل داخلی منتقل می‌شود. موتورهای احتراق خارجی توان بالاتر، کم‌صداتر و مهمتر از همه آلاینده‌گی بسیار کمتری نسبت به موتورهای درون‌سوز ایجاد می‌کنند. در گذشته با وجود فراوانی سوخت‌های فسیلی و توجه کمتر به عوامل ایجادکننده آلاینده‌گی هوا، تولید موتورهای احتراق خارجی به دلیل پرهزینه بودن، چندان مورد استقبال قرار نگرفت. در مقابل هزینه پایین موتورهای درون‌سوز که تا یک‌دهم (۱/۱۰) هزینه ساخت موتورهای احتراق خارجی نیز می‌رسید، یکی از عوامل اساسی در کندی روند تولید و اقبال به تولید موتورهای برون‌سوز بود. از طرفی در گذشته با توجه به فراوانی سوخت‌های فسیلی و توجه کمتر به عوامل بروز آلاینده‌گی هوا آن هم با قیمت بسیار بالا، چندان مورد استقبال قرار نگرفت. طی چند سال اخیر با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش گازهای گلخانه‌ای با استفاده از خودروهای آلاینده به‌عنوان سومین منبع تولیدکننده این گازها و پیشرفت‌های بسیار مؤثر در حوزه طراحی، ساخت و مواد، رویکرد جدیدی در صنعت خودرو برپایه سوخت‌های جایگزین و استفاده از فناوری‌های بهینه‌تر شکل گرفته است. بنابراین تحقیقات ناسا^۲ که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است؛ مقایسه‌ای براساس موارد فنی، اقتصادی و آلاینده‌گی بین موتور احتراق درون‌سوز و برون‌سوز انجام شده است.

۱. External combustion engine (EC engine)

2. NASA



براساس جدول ۱ موتورهای برون‌سوز، در همه موارد از قبیل کاهش آلاینده‌گی نسبی ۵۰ تا ۹۰ درصد، استفاده از سوخت‌های دیگر (جایگزین)، عمر بالای موتور، هزینه پایین تعمیرات و خدمات پس از فروش، تولید قدرت، دوام بیشتر و امکان ساخت به‌وسیله مواد بازیافتی، وضعیت بهتری نسبت به موتورهای درون‌سوز دارند.

جدول ۱. مقایسه موتورهای احتراقی درون‌سوز و برون‌سوز براساس موارد فنی، اقتصادی و آلاینده‌گی

موتور درون‌سوز	موتور برون‌سوز	موارد مقایسه
X	✓	کاهش آلاینده‌گی زیاد (کاهش ۵۰ تا ۹۰ درصدی)
X	✓	توانایی استفاده از هر سوختی (بنزین، دیزل، گاز (CNG)، پروپان)
X	✓	طولانی‌ترین عمر موتور (۵۰۰۰۰ مایل)
X	✓	کمترین هزینه سرویس و خدمات پس از فروش
X	✓	بیشترین دوام (مقاومت)
X	✓	ساخته شدن از مواد ۱۰۰ درصد بازیافتی
X	✓	نفوذناپذیری به گرما و سرمای شدید

Source: Comparative Testing by NASA/ DOE Report

با توجه به نکات فوق‌الذکر، استفاده از موتوری که محدودیت استفاده از یک نوع سوخت مشخص و هزینه بالای تولید، نداشته باشد و در مقایسه با موتورهای موجود از توان، بازدهی بالاتر و آلاینده‌گی بسیار کمتری برخوردار باشد؛ نقطه ایدئال در طراحی و ساخت موتور است.

۲. موتور زد (ZED Engine)

موتور زد (ZED Engine) به‌عنوان یکی از جدیدترین اختراعات موجود با قابلیت‌های کاهش ۵۰ تا ۹۰ درصدی آلاینده‌گی، مصرف چندگانه سوخت به‌نام «موتور سبز» جایگزین موتورهای درون‌سوز متداول به‌نام موتور سیکل پایین‌دست^۱ (Bottom-cycle engine) با کاربرد فشار و حرارت حاصل از احتراق برون‌سوز تعریف می‌شود. همانگونه که در نمودار ۱ روند تغییرات برای رسیدن به ایده موتور زد نمایش داده شده است این موتور از لحاظ طبقه‌بندی طراحی، در گروه موتورهای برون‌سوز رنکین (Rankine) و برگرفته از ایده موتور استرلینگ^۲ بوده که دو اختراع ثبت شده در این زمینه نیز تحت عنوان موتورهای سیکل پایین‌دست^۳ با قابلیت به‌کارگیری حداکثر حرارت موجود است. موتور زد از لحاظ طراحی از بعضی خصوصیات موتور احتراقی درون‌سوز که به‌صورت عموم در موتورهای امروزه به‌کار رفته، بهره برده است.

۱. سیکل‌های پایین‌دستی از حرارت خروجی از کندانسور بخار استفاده می‌کنند که دمای پایین ورودی دلیل نامگذاری است. سیستم‌های تولید همزمان می‌توانند منجر به راندمان تئوری بالای ۹۵ درصد شوند.

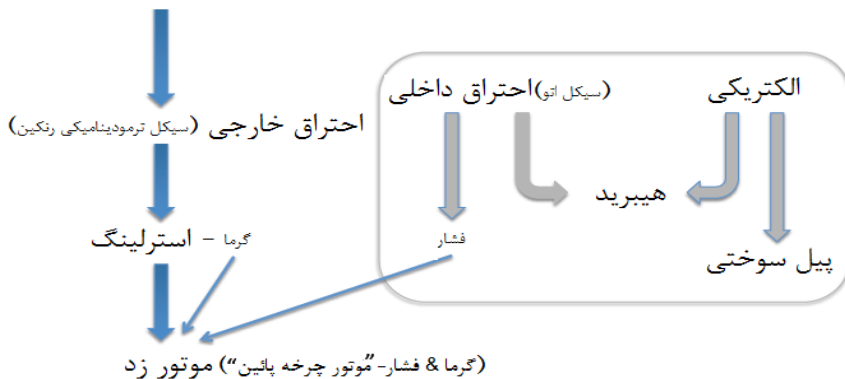
۲. موتور استرلینگ موتورهای احتراق خارجی هستند که حرارت را تبدیل به نیروی جنبشی می‌کنند و نسبت به موتور بنزینی و دیزلی کارایی بیشتری دارند. گازهایی که درون موتور استرلینگ استفاده می‌شود هرگز از موتور خارج نمی‌شوند. در چنین موتورهایی هیچ احتراقی صورت نمی‌پذیرد، هیچ آگزوزی وجود ندارد و هیچ صدای انفجاری شنیده نمی‌شود به همین دلیل چنین موتورهایی بی‌صدا هستند.

۳. USPTO Patent #8375900 granted February 19, 2013 and Patent # 8833312 granted September 16, 2014.



نمودار ۱. روند تغییرات در رسیدن به ایده موتور زد

کارنو (بالاترین بازدهی تئوری)



۲-۱. جایگاه موتور زد

در یک موتور معمولی (درون سوز) ۷۰ تا ۸۰ درصد^۱ از سوخت به گرما تبدیل می شود که به عنوان انرژی تلف شده از رادیاتور و اگزوز خارج می شود، در مقایسه موتور زد یک موتور سیکل پایین دست است که از فشار و انرژی گرمایی حاصل از احتراق، برای تأمین قدرت خودرو بهره می برد. فناوری استفاده شده در موتور زد این امکان را می دهد که قدرتی معادل قدرت موتور معمولی (درون سوز) ایجاد کند و در عین حال، آلاینده‌گی را بیش از ۵۰ درصد کاهش دهد.

۱. U.S.Department of Energy (DOE) Reports.

۲-۲. مقایسه موتور زد با موتورهای درون و برون سوز

در جدول ۲ آنچنان که نشان داده شده است مقایسه‌ای بین موتورهای برون‌سوز، درون‌سوز و زد صورت گرفته است که نشان می‌دهد موتور احتراقی برون‌سوز با یک‌پنجم (۱/۵) حجم موتور احتراقی درون‌سوز یعنی ۰/۵ به ۲/۵ لیتر، می‌تواند قدرتی معادل با موتور درون‌سوز ایجاد نماید که در این شرایط میزان آلودگی ایجاد شده توسط موتور برون‌سوز بسیار پایین‌تر از موتور درون‌سوز می‌شود.

جدول ۲. مقایسه موتورهای درون‌سوز، برون‌سوز و زد براساس مشخصه‌های مهم موتور

موتور زد	موتور برون‌سوز	موتور درون‌سوز	مشخصه‌های موتور	
۰/۵ لیتر	۰/۵ لیتر	۲/۵ لیتر	اندازه موتور	
۵۰۰@۱۲۰ rpm	۴۰۰۰@۸۳ rpm	۴۸۰۰@۹۲ rpm	توان تولیدی (اسب بخار)	
۳۷۵ فوت به پوند	۲۱۲ فوت به پوند	۱۸۲ فوت به پوند	گشتاور	
۲۴	۱۷/۵	۱۱/۶	(شهری)	حرکت بر مایل به ازای مصرف یک گالن سوخت
۴۰	۲۴/۷	۱۷/۱	(بزرگراه)	
۹ ثانیه	۱۲/۴ ثانیه	۱۳ ثانیه	زمان شتابگیری (از صفر تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت)	
۰	۰	۰/۳۱	آلاینده‌گی - HC مایل / گرم	
۰/۱۵	۰/۲۲	۲/۳	آلاینده‌گی - CO مایل / گرم	
۰/۷۰	۰/۹۳	۱/۳۶	آلاینده‌گی - NOx مایل / گرم	

Source: United States Department of Energy/ National Space and Aeronautics Administration Report DOE/NASA/0032-28.



موتور زد در مقایسه با موتور احتراقی چرخه پایین زد با موتور برون سوز هم حجم آن (نیم لیتری)، دارای ۴۵ درصد قدرت بیشتر، ۷۵ درصد گشتاور بیشتر و ۶۵ درصد کاهش مصرف سوخت است که آلودگی کمتری را نسبت به موتور برون سوز تولید می نماید.

۳-۲. مقایسه موتور زد با موتورهای درون سوز،^۱ هیبریدی،^۲ هیبریدی دوشاخه دار^۳ و الکتریکی^۴

موتور زد در جدول ۳ با موتورهای درون سوز، هیبریدی، هیبریدی دوشاخه دار و الکتریکی براساس قابلیت های فنی، اقتصادی و آلایندهی مقایسه شده است، همانطور که در جدول ۳ آورده شده است بازدهی سوخت در موتور زد، ۵۰ تا ۸۰ درصد بالاتر از بازدهی سوخت در موتورهای درون سوز موجود است از طرفی میزان آلایندهی موتور زد بسته به نوع سوخت مورد استفاده، از بنزین با بیشترین مقدار یعنی ۷۰ گرم بر مایل تا هیدروژن با آلایندهی صفر تغییر می کند که این سطح کاهش آلایندهی نسبت به موتورهای هیبریدی و موتورهای درون سوز قابل توجه است. یکی از عمده مواردی که همیشه سد راه تولید انبوه و تجاری سازی یک محصول می گردد هزینه ساخت است که موتور زد با هزینه ساخت پایین تر نسبت به موتورهای درون سوز و همچنین هزینه ساخت حتی تا یک چهارم (۱/۴) هزینه ساخت موتور الکتریکی توانایی رقابت و تجاری سازی در صنعت خودرو را دارد.

۱. "ICE" is internal combustion gasoline fueled engines.

۲. "Hybrid" is the gasoline engine / battery powertrain.

۳. "Plug-in" hybrids are those powertrains where the batteries can be charged from an external source.

۴. "Electric" is a vehicle powered by batteries only.

جدول ۳. مقایسه موتور زد با موتورهای درون سوز، هیبریدی، هیبریدی دوشاخه دار و الکتریکی

موتورها						قابلیت‌ها
زد	الکتریکی	هیبریدی دوشاخه‌دار	هیبرید	موتورهای درون سوز جدید ^۱	موتورهای درون سوز حال حاضر	
۱۵۰-۱۸۰	کاربرد ندارد	کاربرد ندارد	کاربرد ندارد	۱۰۵-۱۱۵	۱۰۰ ^۲	بازدهی سوخت
۷۰-۰*	۵۰	۷۰	۷۰	۹۰	۱۰۰	آلایندگی به نسبت مسافت طی شده (آلایندگی/ مایل)
کمتر از ۱۰۰	بیشتر از ۴۰۰	بیشتر از ۲۰۰	بیشتر از ۱۵۰	۱۱۰	۱۰۰	هزینه ساخت خودرو به ازای هر واحد
۱۵۰-۱۰۰**	۱۰-۱۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	دامنه حرکتی
ماه ۱۲-۲۴	ماه ۳۶-۶۰	ماه ۲۴-۳۶	ماه ۲۴-۳۶	ماه ۱۲-۲۴	حال حاضر	زمان تجاری‌سازی
دارد	محدود شده	محدود شده	محدود شده	دارد	دارد	قابلیت مقیاس پذیری (ارتقا)
تغییرات کم	به‌طور کامل	تغییرات اساسی	تغییرات اساسی	تغییرات کم	تولید رایج (حال حاضر)	نوسازی کارخانه برای تولید محصول مورد نظر
هر نوع سوختی	ندارد	ندارد	ندارد	تنها دوسوختی	تنها دوسوختی	سوخت‌های چندگانه
۳۰۰-۴۰۰	۵۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	عمر سیستم انتقال قدرت
۲۵	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	هزینه سرویس و خدمات پس از فروش

مأخذ: سایت موتور زد- نتایج تحقیق.

*شامل همه سوخت‌ها از بنزین تا هیدروژن بدون آلایندگی.

** دامنه حرکتی وابسته به سوخت است که بیشترین مسافت طی شده از هیدروژن است.

۱. "New ICE" includes known prototype ICE designs.

۲. "100" is the baseline of comparison. Smaller numbers indicate less than base line performance.



دامنه حرکتی یا میزان مسافت طی شده توسط موتور زد بسته به نوع سوخت مورد استفاده، برای نمونه با سوخت هیدروژن تا ۵۰ درصد بهتر از خودروهای درون‌سوز و یا هیبریدی است. یکی از خصیصه‌های بسیار مهم در ساخت موتور زد ایجاد کمترین تغییرات در خط تولید حال حاضر موتورهای درون‌سوز است در حالی که برای هیبریدی یا الکتریکی نیاز به تغییرات اساسی و یا حتی تغییرات کامل در کارخانه است. یکی دیگر از ویژگی‌های بسیار مهم در مورد موتور زد، امکان استفاده از هر نوع سوختی با ایجاد تغییرات جزئی در آن است و این ویژگی، به‌خصوص در شرایط بحرانی بسیار حائز اهمیت و سودمند است. از دیگر مشخصات موتور زد، عمر زیاد و هزینه‌های سرویس و تعمیرات بسیار اندک نسبت به دیگر موتورها است.

از این‌رو، این خصوصیات مثبت و مفید می‌تواند در خودروهای سواری - تجاری (اتوبوس، کامیون)، بولدوزرها، موتورهای ثابت (از قبیل ژنراتورها، پمپ‌های انتقال) و غیره با حداقل تغییرات در فرآیند تولید خودرو با کمترین هزینه تغییرات خط تولید قابل وصول باشد. موتور زد قابلیت استفاده از انواع سوخت‌ها شامل گازوئیل، بنزین، سی‌ان‌جی (CNG)، پروپان، متان، هیدروژن، اتانول و گاز طبیعی با به‌کارگیری تانک‌های سوخت مربوطه را داراست.

همچنین در شرایط بحرانی مانند زلزله، از انواع مایعات سوختنی مانند نفت یا روغن خوراکی نیز می‌توان در موتور زد استفاده کرد.

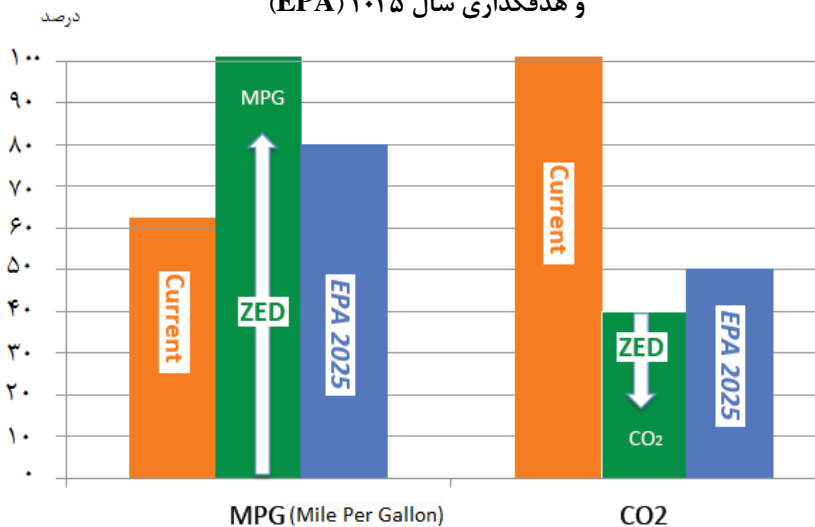
۴-۲. آلاینده‌گی

طبق آخرین برآورد پژوهشگران اروپایی بیشتر از ۲۰ درصد گازهای گلخانه‌ای از طریق خودروهایی آلاینده تولید و وجود گازهای آلاینده سبب بروز بیماری‌های خطرناکی از جمله بیماری‌های تنفسی، قلبی و ریوی می‌شود. از این رو، مسئولان آژانس حمایت از محیط زیست آمریکا (EPA)^۱ کاهش ۵۰ درصدی گاز دی‌اکسید کربن (CO₂) را برای سال ۲۰۲۵ به‌عنوان هدف تعیین نموده‌اند. همانگونه که در نمودار ۲ نشان داده شد؛ به‌کارگیری موتور زد نه تنها هدف کاهش گازهای گلخانه‌ای را برآورده می‌سازد، بلکه ۱۰ درصد نیز از هدف تعیین شده در سال ۲۰۲۵ کمتر خواهد بود. بر این اساس میزان مسافت طی شده براساس میزان سوخت مصرفی در شرایط فعلی به ترتیب ۴۰ و ۲۰ درصد بیشتر از موتورهای فعلی و هدفگذاری سال ۲۰۲۵ آژانس حمایت از محیط زیست آمریکا (EPA) است.

۱. Environment & Protection of Agency



نمودار ۲. مقایسه آلایندگی (CO₂) و (MPG) موتور زد با موتورهای فعلی
و هدفگذاری سال ۲۰۲۵ (EPA)



۲۵۰ گرم بر مایل کاهش یافته به ۱۴۴ گرم بر مایل ۴۰ مایل بر گالون ۴۰ مایل بر گالون افزایش یافته به

میزان و در صد کاهش تولید گاز دی اکسید کربن (CO₂) برای موتور زد و موتور درون سوز، براساس میزان مسافت طی شده سالیانه کل خودروها در یک کشور در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول میزان گاز دی اکسید کربن به تن و براساس ۲/۳ گرم بر مایل برای موتورهای درون سوز و ۰/۱۵ گرم بر مایل برای موتور زد به دست آمده است. نتایج، کاهش ۹۳/۶۵ درصدی گاز دی اکسید کربن (CO₂) را نشان می دهد.

جدول ۴. درصد کاهش تولید گاز دی‌اکسید کربن (CO₂) در موتور زد و موتور درون‌سوز

درصد کاهش	میزان کاهش (تن)	موتور برون‌سوز زد تولید CO ₂ (تن)	موتور درون‌سوز تولید CO ₂ (تن)	مسافت طی شده در واحد مایل
۹۳/۶۵	-۱۱۸	۸	۱۲۶	۵۰۰۰۰۰۰
۹۳/۶۵	-۲۳۶	۱۶	۲۵۲	۱۰۰۰۰۰۰
۹۳/۶۵	-۴۷۲	۳۲	۵۰۴	۲۰۰۰۰۰۰
۹۳/۶۵	-۹۴۴	۶۴	۱۰۰۸	۴۰۰۰۰۰۰
۹۳/۶۵	-۱۸۸۸	۱۲۸	۲۰۱۶	۸۰۰۰۰۰۰

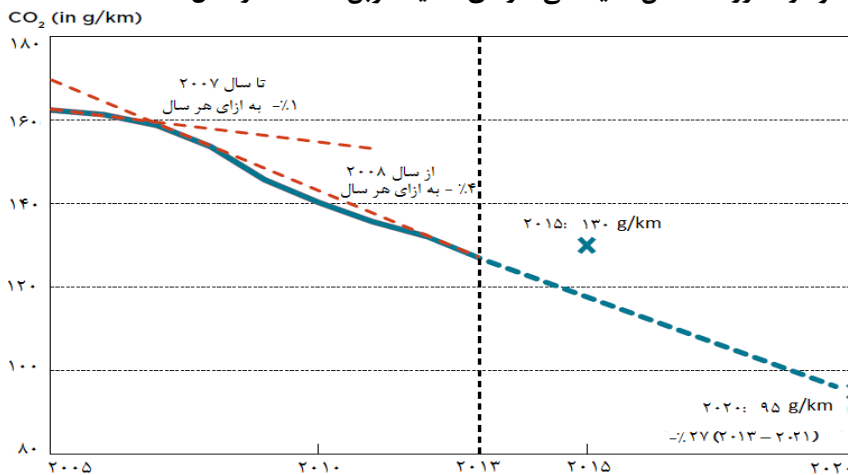
در استاندارد آلاینده‌گی یورو، حداکثر مقدار مجاز انتشار گازهای آلاینده اعم از اکسید نیتروژن، متان، مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن و همچنین حداکثر مقدار ذرات معلق در هوا برای شرکت‌های خودروسازی تعیین شده است. طبقه‌بندی‌های متعددی در استاندارد آلاینده‌گی یورو وجود دارد که طبق قوانین مندرج در استاندارد یورو، هیچ الزامی وجود ندارد که شرکت‌های خودروسازی، استانداردهای جدیدی را روی خودروهایی که قبلاً طبق استاندارد قدیمی آلاینده‌گی یورو تولید شده‌اند، اعمال کنند. به بیان دیگر، قوانین جدید همواره باید در تولیدهای جاری شرکت‌های خودروسازی اعمال شود. لازم به یادآوری است، در حال حاضر ضمانت اجرایی استاندارد آلاینده‌گی یورو به قدری بالاست که شرکت‌های خودروسازی در صورت عدم پیروی از آن، هرگز نمی‌توانند خودروهای تولیدی خود را در بازارهای جهانی به‌ویژه بازار اروپا به فروش برسانند.

طبق گزارش مرکز تحقیقات اطلاعات و آمار بازار خودروهای اروپا در سال ۲۰۱۴ میلادی، همانگونه که در نمودار ۳ ارائه شده است؛ روند کاهش آلاینده‌گی گاز دی‌اکسید کربن (CO₂) تا سال ۲۰۰۷ میلادی با کاهش یک درصدی به ازای هر سال بوده و از



سال ۲۰۰۸ میلادی تا سال ۲۰۱۵ با کاهش ۴ درصدی به ۱۳۰ گرم بر کیلومتر رسیده است، هدف تعیین شده برای سال ۲۰۲۰ میلادی ۹۵ گرم بر کیلومتر است که ۲۷ درصد کاهش دی‌اکسید کربن از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ میلادی نشان می‌دهد.

نمودار ۳. روند کاهش آلاینده‌گی گاز دی‌اکسید کربن (CO₂) از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱



مأخذ: آمار و اطلاعات بازار خودروهای اروپایی (Pocketbook, 2014).

موتور زد با هر نوع سوخت مایع یا سوخت گازی شکل کربنی اعم از بنزین، گازوئیل یا گاز طبیعی نیز کار می‌کند. همچنین سوخت‌های درجه پایین و یورو ۲ در اینگونه موتورها کارایی بیشتری دارد. آلودگی ناشی از موتورهایی که در آنها از سوخت یورو ۵ استفاده شده باشد، بیشتر از موتورهای زدی است که از سوخت یورو ۲ در آنها استفاده شده است.

۳. آثار اقتصادی و اجتماعی استفاده از موتور زد

بخش حمل‌ونقل قریب به ۷۰ درصد از کل تولید نفت جهان را به صورت سوخت مصرف می‌کند و در راستای رشد جمعیت، صنعتی شدن و تجارت، مصرف سوخت افزایش می‌یابد. هر کدام از کشورهای جهان امروزه ملزم به کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی و آلاینده‌گی‌های ناشی از موتور خودرو هستند. سازندگان وسایل نقلیه توافق کرده‌اند که موتورهای ۱۲۵ ساله درون‌سوز با فناوری‌های جدید جایگزین شوند به طوری که هزینه‌های زیادی نداشته باشند.

۳-۱. آثار ملی پیاده‌سازی موتورهای زد بر روی خودروها

الف) آلاینده‌گی: آلودگی هوا بر سلامت مردم، تخریب و نابودی گیاهان اثر می‌گذارد و وقتی بر اثر بارش باران شسته شوند باعث سمی شدن خاک حاصلخیز می‌شوند.

ب) سلامت: آلودگی هوا پیامدهای خطرناکی برای سلامت انسان‌ها به همراه دارد و بیماری‌های جسمانی، ذهنی، انواع سرطان‌ها و کاهش بهره‌وری شغلی را به دنبال دارد. میانگین هزینه سلامت ملی و بین‌المللی ناشی از بیماری‌های حاصل از آلودگی هوا در حدود ۲/۸ درصد از تولید ناخالص داخلی (GDP) است. این هزینه بسیار هنگفت برای مثال در چین ۲۶۰ میلیارد دلار، در آمریکا ۳۰۰ میلیارد دلار و در آلمان ۱۰۴ میلیارد دلار اعلام شده است. علاوه بر بیماری، آثار جبران‌ناپذیری چون بیکاری و فقر و نابودی کیان خانواده را داشته و منجر به پرهزینه شدن رفاه اجتماعی و فعالیت‌های مجرمانه می‌شود.



ج) تولید غذا: آلودگی هوا باعث کاهش سطح برداشت از محصولات و فساد چرخه غذایی می‌شود. کاهش سطح برداشت به معنای افزایش واردات مواد غذایی برای تأمین غذایی مورد احتیاج مردم یک جامعه است.

د) آلودگی خاک زراعی: با شسته شدن آلاینده‌های هوا توسط باران، خاک چنان دچار آلودگی می‌شود که محصولات زراعی را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. برای نمونه، ۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی چین به دلیل آلودگی‌های سمی از زراعت باز مانده است. از همه بدتر اینکه با جذب آلاینده‌های شیمیایی در خاک، این آلودگی وارد آب شرب مردم شده و سلامت همگان را به خطر می‌اندازد و عملیات پاکسازی و تصفیه این آب هزینه‌های بالایی را تحمیل خواهد کرد.

به‌طور خلاصه می‌توان ادعا کرد که موتورهای زد قادر خواهند بود بسته به نوع سوخت، آلاینده‌های ذکر شده را حداقل تا ۵۰ درصد کاسته و به‌لحاظ اقتصادی بسیار سودمند باشند.

۲-۳. آثار اقتصادی

علاوه بر کاهش آلودگی محیط زیست، پیاده‌سازی موتور به‌طور مستقیم و غیرمستقیم منافع کلان و خرد اقتصادی به همراه خواهد داشت.

موتورهای زد از آهن با درجه (Grade) استاندارد، استیل، آلومینیم و پلاستیک تشکیل شده که همه از موارد ارزان‌قیمت هستند و معمولاً در همه جا موجود هستند، با مداربندی الکترونیکی ارزان‌قیمت، اجزا و مواد موتور زد (همچون لیتیم) به‌لحاظ ساخت گران نیست. این امر به خودروسازان صنعتی اطمینان خاطر می‌دهد که برای ساخت نیاز

به اجزا و مواد خارج از منابع خود ندارند در نتیجه امر تولید به خاطر کسری مواد و منابع متوقف نخواهد شد.

تولیدکنندگان صنعتی به آسانی می‌توانند موتورهای زد را برای جایگزین شدن با موتورهای کنونی انتخاب کنند چون این نوع موتور با موتورهای موجود، فناوری‌ها و دستگاه‌های کنونی منطبق است. موتور زد به‌سادگی روی هرگونه وسیله نقلیه و با هر نوع دستگاه مونتاژی قابل نصب است و لذا این فناوری به‌سادگی قابلیت یکپارچه‌سازی با کلیه کارخانه‌های موجود را دارد و هزینه‌های آن نسبت به جایگزینی با هرگونه موتور کمتر و مقرون به صرفه‌تر است.

الف) مواد برگشت‌پذیر: آهن، استیل و آلومینیم از جمله مواد برگشت‌پذیر به‌شمار می‌رود که دائماً به‌منظور کاهش واردات و توسعه تراز تجاری ملی قابل استفاده است.

ب) هزینه تولید: موتور زد با حذف یک‌سوم از بخش‌های غیرضرور از جمله سیستم خنک‌کننده، استارت و قسمت‌های چندکاره ضدآلایندگی قدیمی، حجم کمتری اشغال می‌کند چون موتورهای زد اغلب کم‌حجم و متراکم هستند، هزینه تولید آنها ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از موتورهای رایج کنونی است.

ج) اشتغال: از آنجایی که موتور زد با اجرا شدن در کارخانه‌های خودروسازی موجود انطباق دارد و به‌کارگیری کارکنان مسلط بر تکنولوژی‌های پیشرفته^۱ لازم نیست، لذا امنیت شغلی کارکنان شاغل در کارخانه‌های موجود خودروسازی برقرار است.



۳-۳. کارآیی موتور

یکی از اصول فنی و سودمند موتور زد این است که می‌تواند مکررا با احتراق سوخت، هوای پاک تولید کند و این موتور عموماً ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از موتورهای موجود سوخت مصرف کرده و تقریباً قدرتی مشابه با موتورهای فعلی تولید می‌کند. از این رو کاهش واردات سوخت یکی دیگر از عوامل توسعه تجارت ملی هر کشور به‌شمار می‌رود.

۳-۴. هزینه سوخت

موتور زد با هر نوع سوخت مایع یا سوخت گازی شکل کربنی اعم از بنزین، گازوئیل یا گاز طبیعی نیز کار می‌کند. با استفاده از موتور زد هزینه‌های پالایش ۱۵ درصد تخمین زده شده است. علاوه بر اینکه از سوخت‌های پاک استفاده می‌کند می‌تواند از سوخت‌های غیرپاک نیز استفاده نماید و لزومی به پالایش سوخت‌های غیرپاک و صرف هزینه‌ها برای تصفیه آنها نیست چراکه این نوع موتور با همه انواع سوخت‌ها منطبق است.

۳-۵. افزایش بازدهی وسیله نقلیه با موتور زد

الف) زد از نوع موتور «چرخه پایین» است که به رادیاتور و سیستم خنک‌کننده نیازی ندارد. عدم نیاز به رادیاتور این آزادی عمل را به طراح می‌دهد که تا حد امکان سطح تماس جلوی خودرو با هوا را کاهش داده و بازدهی آیرودینامیکی را افزایش دهد که این موضوع در حدود ۱۰-۲۰ درصد کاهش مصرف سوخت را در پی دارد.

ب) علاوه بر بازدهی آیرودینامیک، در موتور زد منحنی قدرت مشابه یک موتور برقی است و در برخی موارد لزومی به وجود گیربکس (جعبه دنده) سنگین نیست، این کاهش وزن، مصرف سوخت را بین ۵ تا ۸ درصد کاهش می‌دهد.

۳-۶. شرایط نگهداری و کاهش هزینه بهره‌برداری

یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد و فنی موتور زد این است که سیلندرهای قدرت، طوری آب‌بندی شده‌اند که سوخت با هوای آلوده ترکیب نشده و باعث خرابی موتور نمی‌شود. نتیجه آنکه موتورهایی که مسافت طولانی طی کرده‌اند (به‌طور متوسط بیش از ۵۰۰ هزار مایل) در برابر طوفان شن یا باران‌های رگباری سیل‌آسا ایمن خواهند ماند. همین‌طور، در بسیاری از خودروهای کنونی خرابی سیستم خنک‌کننده عموماً باعث از کار افتادن و حرکت نکردن خودرو می‌شود درحالی که موتورهای زد از آن جهت که دارای سیستم خنک‌کننده نیستند با مسائل این‌چنینی مواجه نخواهند شد، این امر باعث افزایش دوام مکانیکی موتور زد و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیراتی می‌شود.

الف) قدرت خرید مشتری: از آنجا که موتورهای زد به جای موتور معمولی در وسایل نقلیه قابل تعویض است و کارایی و قدرت مشابه با همان موتورها را دارد بنابراین هزینه‌های کمتری را به خریدار تحمیل می‌کند. دوام آنها بسیار بالاست و با هزینه نگهداری پایین رضایت مشتری را در پی خواهد داشت.



ب) **یارانه دولتی:** چون هزینه جایگزینی موتور زد به جای موتورهای فعلی بسیار پایین است، لذا نیازی به پرداخت یارانه از سوی دولت نیست. در نتیجه پیاده کردن فناوری موتور زد هزینه‌ای بر اقتصاد ملی تحمیل نمی‌کند.

ج) **هزینه سازندگان:** هزینه مونتاژ موتور زد ۲۰-۳۰ درصد کمتر از موتور معمولی است و تجهیزات، فناوری‌ها و نیروی کار خودروسازان کنونی قابلیت انطباق با موتور زد را دارد. بنابراین هزینه‌ها به حداقل کاهش می‌یابد. در جدول ۵ هزینه‌های تولید قطعات موتور زد در مقایسه با موتورهای معمولی موجود در بازار مقایسه شده است.

جدول ۵. هزینه‌های قطعات موتور زد در مقایسه با موتورهای موجود بازار

میزان صرفه‌جویی در هزینه تولید موتور زد (۴۰ درصد)				نمونه موتور معمولی چهار سیلندر دو لیتری			
توضیحات	تفاوت هزینه	هزینه موتور زد	موتور زد	هزینه متعارف (دلار)	اجزای مورد استفاده متعارف	قطعات	ردیف
فلز ارزانتر و تکنولوژی ریخته‌گری	۷۵	۱۷۵	آهن	۲۵۰	آلومینیم	پوسته موتور	۱
عایق حرارتی اسلیپوز	-۴۰	۱۲۰	سرامیک/ آهن	۸۰	استیل	محفظه‌های سیلندر	۲
عایق حرارتی و مته کوچک‌تر	-۲۰	۶۰	سرامیک/ آلومینیم	۴۰	آلومینیم	پیستون‌ها	۳
سبک‌تر و کوچک‌تر	۴۰	۴۰	آهن	۸۰	آلومینیم	شاتون‌ها	۴
مشابه از نوع شناور	۰	۲۰	آهن	۲۰	آهن	پین‌ها	۵
سبک‌تر و کوچک‌تر	۴۰	۸۰	آهن	۱۲۰	آهن نودولار	میل‌لنگ	۶
نیازی نیست/ RPM پایین	۵۰	۰	-	۵۰	آهن	بالانسرها/ مونیک	۷

میزان صرفه جویی در هزینه تولید موتور زد (۴۰ درصد)				نمونه موتور معمولی چهار سیلندر دو لیتری			
توضیحات	تفاوت هزینه	هزینه موتور زد	موتور زد	هزینه متعارف (دلار)	اجزای مورد استفاده متعارف	قطعات	ردیف
ماشینی کاری کمتر - مواد	۷۵	۱۷۵	آهن	۲۵۰	آلومینیم	سرسیلندر	۸
نیازی نیست	۱۲۰	۰	-	۱۲۰	استیل	میل پادامک	۹
نیازی نیست	۲۰	۰	-	۲۰	پلاتینیم	شمع‌ها	۱۰
نیازی نیست	۱۲۰	۰	-	۱۲۰	استیل	سوپاپ‌ها، فنرها	۱۱
نیازی نیست	۸۰	۰	-	۸۰	استیل	بازوهای حرکت‌دهنده سوپاپ	۱۲
نیازی نیست	۶۰	۰	-	۶۰	الکتروسرو	تایمینگ متغییر سوپاپ	۱۳
نیازی نیست	۱۲۰	۰	-	۱۲۰	الکترونیک	پاشش سوخت	۱۴
کوچکتر/ دور کمتر	۳۰۰	۲۰۰	-	۵۰۰	کامپیوتر موتور	ECU	۱۵
کمتر	۲۰۰	۱۰۰	-	۳۰۰	گوناگون	سنسورهای اکسیژن و ...	۱۶
نیازی نیست	۵۰	۰	-	۵۰	سیستم خنک‌کننده	پمپ آب	۱۷
نیازی نیست	۱۰۰	۰	-	۱۰۰	سیستم خنک‌کننده	رادپاتور/ اجزا	۱۸
نیازی نیست	۵۰	۰	-	۵۰	باتری، کابل	استارت/ اجزا	۱۹
مختص موتور زد	-۳۲۵	۳۲۵	-	۰	-	چشمکزن بخارساز	۲۰
مختص موتور زد	-۱۵	۱۵	-	۰	-	افشانه سوخت	۲۱
مختص موتور زد	-۱۰۰	۱۰۰	-	۰	-	سنسورهای مختلف	۲۲
مختص موتور زد	-۱۰۰	۱۰۰	-	۰	-	کنترل‌های عملکردی	۲۳



میزان صرفه جویی در هزینه تولید موتور زد (۴۰ درصد)				نمونه موتور معمولی چهار سیلندر دو لیتری			
توضیحات	تفاوت هزینه	هزینه موتور زد	موتور زد	هزینه متعارف (دلار)	اجزای مورد استفاده متعارف	قطعات	ردیف
مختص موتور زد	-۱۰۰	۱۰۰	-	۰	-	پوشاننده	۲۴
مشابه	۰	۵۰	-	۵۰	مشترک در هر دو موتور	پولی (pulley Idlers)	۲۵
مواد سبک تر	۲۰	۳۰	-	۵۰	دمای بالا	منی فولد آگزوز	۲۶
نیازی نیست	۱۵۰	۰	-	۱۵۰	صدا خفه کن	آگزوز/ صدا خفه کن	۲۷
نیازی نیست	۱۵۰	۰	-	۱۵۰	پلاتینیم	مبدل کاتالیست	۲۸
۴۰ درصد صرفه جویی	۱۱۲۰	۱۶۹۰	-	۲۸۱۰	جمع کل		

توضیح: قیمتگذاری بسته به کیفیت قطعات و حجم خرید متفاوت است.

د) مقیاس پذیری: موتور زد بسیار مقیاس پذیر است و جایگزین هر نوع موتور معمولی موجود نیز می شود، بنابراین علاوه بر وسایط حمل و نقل، قابل استفاده در معادن، اراضی کشاورزی، صنعتی و سایر تجهیزات اعم از پمپ های آب، ژنراتورها و بلدوزرهاست و با کاهش آلاینده های حاصل از وسایط یاد شده، آثار مثبت زیادی در اقتصاد خواهد گذاشت.

جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد

هدف اصلی در این مطالعه بررسی و تحلیل موتور زد براساس شاخص‌های فنی، اقتصادی و آلاینده‌گی، به‌منظور سنجش میزان کارایی در مقایسه با موتورهای احتراقی برون‌سوز و درون‌سوز و همچنین تکنولوژی‌های موجود نظیر خودروهای پیل سوختی، الکتریکی و فناوری هیبریدی است.

موتورهای احتراقی برون‌سوز در مقایسه با موتورهای احتراقی درون‌سوز با کاهش آلاینده‌گی حدوداً ۵۰ تا ۹۰ درصد، استفاده از سوخت‌های جایگزین، عمر بالای موتور، هزینه پایین تعمیرات و خدمات پس از فروش، تولید قدرت، دوام بیشتر و امکان ساخت به‌وسیله ۱۰۰ درصد مواد بازیافتی، از وضعیت بهتری برخوردارند. در یک موتور احتراقی درون‌سوز ۷۰ تا ۸۰ درصد^۱ از سوخت به گرما تبدیل می‌شود که به‌عنوان انرژی تلف شده از رادیاتور و اگزوز خارج می‌شود در مقایسه موتور زد یک موتور سیکل پایین‌دست است که از فشار و انرژی گرمایی حاصل از احتراق، برای تأمین قدرت خودرو بهره می‌برد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد موتور احتراقی سیکل پایین‌دست زد (ZED) نیم لیتری معادل موتور درون‌سوز ۲/۵ لیتری است که ۲۵ درصد قدرت بیشتر، بیش از ۲ برابر گشتاور و کاهش مصرف سوخت را به همراه دارد. از طرفی موتور احتراقی سیکل پایین‌دست زد در مقایسه با موتور برون‌سوز هم حجم (نیم لیتری)، دارای ۴۵ درصد قدرت بیشتر، ۷۵ درصد گشتاور بیشتر و ۶۵ درصد کاهش مصرف سوخت است که آلودگی کمتری را نسبت به موتور برون‌سوز تولید می‌نماید.

۱. براساس گزارش بخش انرژی آمریکا) United States Department of Energy's Report



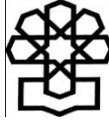
ازسوی دیگر با مقایسه موتور زد با موتورهای درون‌سوز، هیبریدی، هیبریدی دوشاخه‌دار و الکتریکی براساس قابلیت‌های فنی، اقتصادی و آلاینده‌گی مشخص شد که بازدهی سوخت ۵۰ تا ۸۰ درصد در موتور زد، بالاتر از بازدهی سوخت در موتورهای درون‌سوز موجود است از طرفی میزان آلاینده‌گی موتور زد بسته به نوع سوخت مورد استفاده، از سوخت بنزین با بیشترین مقدار یعنی ۷۰ گرم بر مایل تا هیدروژن با آلاینده‌گی صفر تغییر می‌کند که این سطح کاهش آلاینده‌گی نسبت به موتورهای هیبریدی و موتورهای درون‌سوز قابل توجه است. از دیگر مزیت‌های این موتور قابلیت تجاری‌سازی و تولید انبوه با توجه به هزینه ساخت پایین‌تر نسبت به موتورهای دیگر به‌عنوان نمونه، موتورهای درون‌سوز و همچنین هزینه ساخت حتی تا یک‌چهارم (۱/۴) هزینه ساخت موتور الکتریکی است.

یکی از موضوعات مهم در ساخت موتورهای جدید، کاهش هزینه‌ها از طریق استفاده از امکانات خط تولید موجود با تغییرات حداقلی است که تولید موتور زد با تغییرات اندک در خط تولید موجود موتورهای درون‌سوز امکان‌پذیر است. این در حالی است که برای تکنولوژی‌های هیبریدی یا الکتریکی نیاز به تغییرات اساسی و یا حتی تغییرات کامل در خط تولید است، از طرفی مقایسه هزینه‌های تولید قطعات موتورهای موجود بازار با موتور زد نشان می‌دهد که تولید این نوع موتور به‌طور متوسط ۴۰ درصد از هزینه‌ها را کاسته و به‌لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است. یکی دیگر از ویژگی‌های بسیار مهم در مورد موتور زد، امکان استفاده از هر نوع سوختی با ایجاد تغییرات جزئی در آن است و این ویژگی، به‌خصوص در شرایط بحرانی و تحریم بسیار حائز اهمیت و سودمند است.

بنابراین در نتیجه‌گیری نهایی باید گفت که در شرایط فعلی، در عین اینکه رویکرد استفاده از تکنولوژی‌های نوین مثل هیبریدی، پیل سوختی و الکتریکی می‌تواند گزینه‌های بلندمدت خودروسازان ایرانی باشد، اما در کوتاه‌مدت به کارگیری موتورهای چندگانه‌سوز زد به نام «موتور سبز» می‌تواند گزینه مناسبی برای جایگزینی موتورهای درون‌سوز فعلی با صرف هزینه پایین باشد.

منابع و مآخذ

۱. هیدروژنی‌ها، خودروهای آینده/ <http://www.ghatreh.com/>
2. <http://www.irtoya.com>.
3. <http://Zedengines.com/history-the-integration-of-external-combustion-and-heat-engine-designs/>
4. Euro Emission Standard, Retrieved from [www.1 car.ir](http://www.1car.ir)
5. European vehicle Market Statistics. Pocketbook, Martin Campestrini, Peter Mock, Icct (The International Council on Clean Transportation), 2014 Edition.



مرکز پژوهش‌ها
مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۱۴۴۲۲

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: بررسی انواع فناوری‌های موتور خودرو در جهان با تأکید بر کاهش آلاینده‌گی

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه صنعت)

تهیه و تدوین کنندگان: زهرا جعفری، سعید شجاعی

ناظران علمی: محمدرضا محمدخانی، هوشنگ محمدی، علی اصغر اژدری

متقاضی: معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی

ویراستار تخصصی: —

ویراستار ادبی: —

واژه‌های کلیدی:

۱. تکنولوژی

۲. موتور خودرو



تاریخ انتشار: ۱۳۹۴/۶/۹