نانو صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شمارهٔ ۲۷۶ صنعت خودرو

مزایای اقتصادی به‌کارگیری مبدل‌های نانوکاتالیستی در خودروها

INDnano.ir

ستاد توسعهٔ فناوری‌های نانو و میکرو • www.nano.ir

شناسنامه

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
صندوق پستی:	۳۴۴-۱۴۵۶۵		
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
سال انتشار:	۱۴۰۳		
نویسنده:	اشکان عبدشاهی؛ سروش صحرائیان	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir

محتواهای صنعتی و فناورانهٔ خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

- معرفی ۳
- مزایای مبدل‌های نانوکاتالیستی در خودرو ۴
  - کاهش آلاینده‌ها ۵
  - کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی موتور ۶
- تحلیل هزینه-فایده استفاده از نانوکاتالیست‌ها در خودرو ۶
- شرکت‌های ایرانی نانوفناور و تولیدکننده مبدل‌های نانوکاتالیستی خودرو ۱۱
- پی‌نوشت‌ها ۱۲
- منابع ۱۲

معرفی

کاتالیست ماده‌ای است که در فرایندهای شیمیایی استفاده می‌شود تا سرعت واکنش‌ها را افزایش دهد و انتخاب‌پذیری محصولات را بهبود بخشد [۱]. در صورتی که یک واکنش شیمیایی بدون کاتالیست صورت گیرد، نیاز به دمای بالا و زمان زیادی دارد، درحالی‌که با استفاده از کاتالیست، واکنش با دمای پایین‌تر و زمان کمتری انجام می‌شود. از همین رو به‌خاطر واکنش‌پذیری بالای آن‌ها، از این مواد در خودروها و وسایل نقلیه در سیستم خروجی اگزوز آن‌ها تحت عنوان «مبدل کاتالیستی» استفاده می‌شود [۲].

مبدل کاتالیستی (کاتالیست و کاتالیزور خودرو) یک قطعه اساسی در سیستم خروجی اگزوز وسایل نقلیه است که نقش بسیار مهمی در کاهش آلاینده‌های تولیدشده از احتراق موتور دارد. در واقع مبدل کاتالیستی بیش از ۹۰٪ از گازهای آلاینده تولیدشده از احتراق موتور را به گازهای بی‌خطر تبدیل می‌کند که این امر بهبود کیفیت هوا و کاهش آلودگی هوا را تضمین می‌کند.

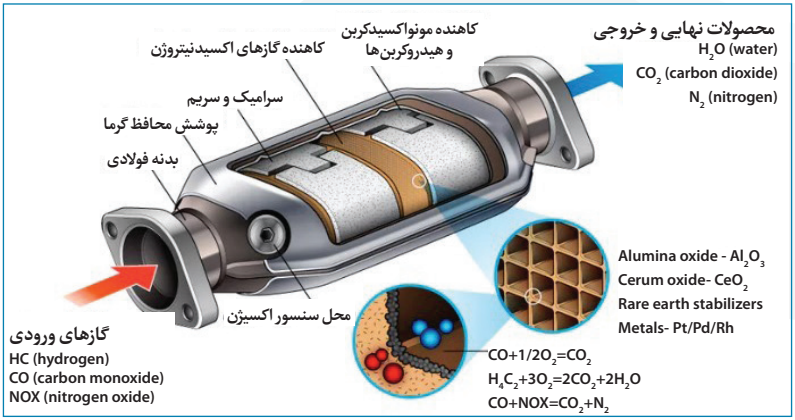
این مبدل کاتالیستی از یک هسته با پوششی از فلزات گران‌بها تشکیل شده است که در فرایند کاهش آلاینده‌ها نقش اصلی را دارند. هدف اصلی استفاده از مبدل نانوکاتالیستی، کاهش میزان هیدروکربن‌های نسوخته، مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن در گازهای خروجی اگزوز و تبدیل آن‌ها به گازهای کم‌ضرری همچون دی‌اکسیدکربن، آب و نیتروژن است که این تبدیل‌ها براساس واکنش‌های شیمیایی خاصی که توسط نانوکاتالیست فراهم می‌شود، انجام می‌شود. همچنین استفاده از مبدل نانوکاتالیستی بهبود کارایی موتور، صرفه‌جویی در مصرف سوخت و حفظ محیط‌زیست را تضمین می‌کند[۳].

شکل ۱- تصویر واقعی یک نوع مبدل نانوکاتالیستی در اگزوز خودرو

انواع کاتالیست‌های استفاده‌شده در خودروها و وسایل نقلیه برای کاهش آلاینده‌ها عمدتاً شامل کاتالیست‌های معمول فلزی و کاتالیست‌های سنتزشده از نانوذرات می‌شود [۴]. کاتالیست‌های سنتزشده از نانوذرات، به‌دلیل ابعاد نانومتری خود و ویژگی‌های سطحی بالا، به‌طور موثق‌تری با آلاینده‌ها واکنش می‌دهند و کارایی بالاتری دارند. در واقع کاتالیست‌های حاوی نانوذرات معمولاً دارای اندازه ذرات بسیار کوچک‌تر از کاتالیست‌های معمولی هستند که این امر باعث افزایش سطح واکنش آن‌ها می‌شود [۴]. این افزایش سطح واکنش باعث افزایش تعامل نانوکاتالیست با مولکول‌های واکنشی می‌شود و در نتیجه کارایی واکنش‌ها افزایش می‌یابد. همچنین این نانوذرات در کاتالیست‌ها به‌عنوان مراکز فعالیت عمل می‌کنند. این به این معنی است که به‌دلیل اندازه بسیار کوچک ذرات نانو، تعداد بیشتری از این ذرات در تماس با مولکول‌های واکنشی قرار دارند و بنابراین سرعت و کارایی تبدیلات شیمیایی افزایش می‌یابد. علاوه‌بر این، کاتالیست‌های حاوی نانوذرات از قابلیت بازیافت و استفاده مجدد

بالاتری نسبت به کاتالیست‌های معمولی برخوردارند. این ویژگی باعث می‌شود که بتوان آن‌ها را به‌صورت مکرر استفاده کرد و صرفه‌جویی در هزینه‌ها و منابع صورت بگیرد. ازاین‌رو نانوکاتالیست‌ها در مبدل‌های نانوکاتالیستی خودرو، به‌عنوان یک گزینه پیشرفته و مؤثر در فناوری کاتالیزورها مورداستفاده قرار می‌گیرند.

نانوکاتالیست‌هایی که در خودروها استفاده می‌شوند، عمدتاً شامل نانوذرات فلزی مانند پلاتین، رودیمیم و پالادیم است و در تمامی سطوح پایه نانوکاتالیستی که دارای تخلخلی بالا هستند، توزیع شده است [۵]. این نانوذرات به‌عنوان کاتالیست‌های اصلی در فرایند تبدیل اکسیدهای نیتروژن (NO_X)، هیدروکربن‌ها (HC) و کربن مونواکسید (CO) به گازهای کم‌ضرر مانند اکسیدهای نیتروژن (N_2)، دی‌اکسید کربن (CO_2) و آب (H_2O) استفاده می‌شوند. مصرف کاتالیست‌های حاوی نانوذرات در صنعت خودروسازی و وسایل نقلیه به‌دلیل کارایی بالا و کاهش مؤثر آلاینده‌ها، به‌طور گسترده‌ای در سراسر دنیا در حال انجام است. از زمان پیدایش این فناوری، نانوکاتالیست‌ها در مبدل‌های نانوکاتالیستی اگزوز خودرو به‌عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش آلودگی هوا و حفظ محیط‌زیست شناخته شده‌اند و به‌صورت گسترده‌ای در صنعت خودروسازی و تولید وسایل نقلیه استفاده می‌شوند.



شکل ۲- تصویر شماتیکی از مبدل نانوکاتالیستی اگزوز خودرو به‌همراه جزئیات آن

علاوه‌بر کاتالیست‌های فلزی و کاتالیست‌های سنتز شده از نانوذرات، نوع دیگری از کاتالیست‌های مورداستفاده در خودروها به نام کاتالیست‌های اکسیداسیون سه‌واکنشی وجود دارد. این نوع کاتالیست‌ها عمدتاً برای کاهش اکسیدهای نیتروژن (NOx)، هیدروکربن‌ها (HC) و کربن مونواکسید (CO) به گازهای کم‌ضرر مانند اکسیدهای نیتروژن (N_2)، دی‌اکسید کربن (CO_2) و آب (H_2O) استفاده می‌شوند. کاتالیست‌های اکسیداسیون سه واکنشی از موادی مانند اکسید آهن (Fe_2O_3)، اکسید مس (CuO) و اکسید وانادیوم (V_2O_5) تشکیل شده‌اند و در فرایند تبدیل آلاینده‌ها به گازهای کم‌ضرر نقش دارند. این نوع کاتالیست‌ها نیز در خودروها و وسایل نقلیه برای کاهش آلاینده‌ها و بهبود کیفیت هوا استفاده می‌شوند.

مزایای مبدل‌های نانوکاتالیستی در خودرو

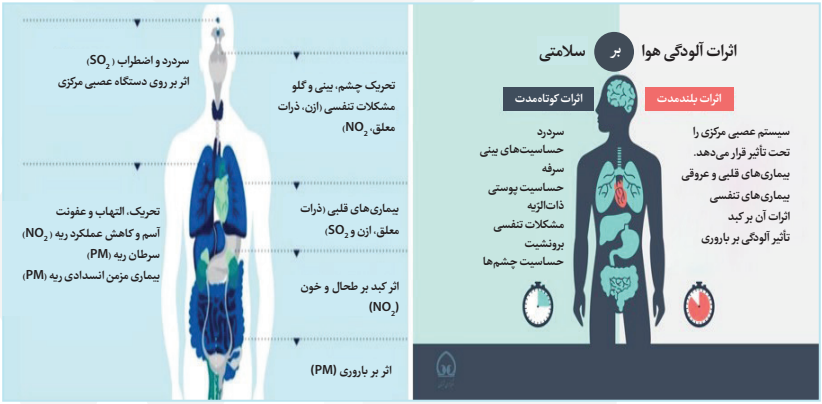
از مهم‌ترین مزایای استفاده از نانوکاتالیست در خودروها و نقش کاتالیست‌های نانوذره‌ای، می‌توانیم به موارد زیر توجه کنیم:

کاهش آلاینده‌ها

در یک خودروی معمولی سواری که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کند، بدون استفاده از نانوکاتالیست، میزان تولید گازهای آلاینده مانند NOx، CO و هیدروکربن‌ها بسیار بیشتر است [۶]. گازهای سمی CO (اکسید کربن) و NOx (اکسید نیتروژن) اثرات زیان‌باری بر محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها دارند [۷]. CO یک گاز بی‌رنگ و بی‌بو است که از سوخت ناقص واکنش در موتورها و سیستم‌های گرمایشی تولید می‌شود. این گاز می‌تواند به خون متصل شده و اکسیژن را از خون جدا کند که منجر به اختلال در عملکرد اعضای بدن می‌شود و در موارد شدید ممکن است منجر به مرگ شود. در مورد NOx، این گروه شامل اکسید نیتریک (NO) و دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) است که از فعالیت‌های احتراقی مانند خودروها، نیروگاه‌ها و صنایع تولید می‌شود. این گازها منجر به ایجاد مشکلات تنفسی، تشدید بیماری‌های ریوی مانند آسم و احتقان شده و در موارد شدید می‌توانند به مرگ منجر شوند. ازاین‌رو، کنترل و کاهش انتشار این گازها از اهمیت بسیاری برخوردار است تا محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها حفظ شود. همچنین هیدروکربن‌های نسوخته دارای حلالیت زیاد در چربی بوده و به‌سهولت از طریق تنفس و گوارش جذب بدن می‌شوند و با جمع شدن در بافت‌های چربی و عضلانی بدن آبزیان سبب آلودگی گونه‌های آبزی مورداستفاده انسان خواهند شد. ازاین‌رو، ورود این‌گونه ترکیبات نفتی به شبکه غذایی انسان از طریق این آبزیان می‌تواند انواع مسمومیت‌ها و بیماری‌ها را برای انسان به دنبال داشته باشد [۸].

از طرفی با استفاده از کاتالیست‌های قدیمی، این میزان آلاینده‌ها کاهش می‌یابد اما ممکن است کارایی آن‌ها محدود باشد که استفاده از نانوکاتالیست‌ها میزان تولید این آلاینده‌ها را می‌تواند به میزان چشمگیری بهبود دهد و کارایی بیشتری در حذف گازهای آلاینده داشته باشد [۹].

به‌عنوانِ‌مثال در کشور ایران، میانگین غلظت بنزن خروجی از اگزوز در خودروهای خارجی به‌عنوان یکی از هیدروکربن‌های شایع، کمتر از ۲٫۵ ppm و غلظت بنزن خروجی از اگزوز خودروهای داخلی بیشتر از ۲۰ ppm بوده است. در خصوص میزان HC نیز این مقدار به‌ترتیب برابر با ۷۳٫۱۸ ppm و ۱۲۲٫۴ ppm است. غلظت بنزن خروجی از اگزوز خودروهای انژکتوری تولید داخل در حدود ۸ برابر خودروهای وارداتی و برای هیدروکربن‌های

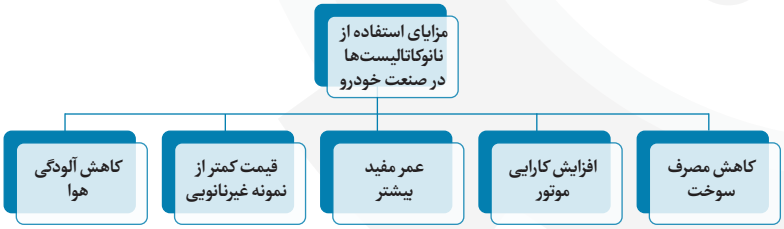


شکل ۳-قرار گرفتن در معرض گازهای NOx، HC، CO و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان

نسوخته این میزان در حدود ۲٫۵ برابر است [۱۰]. پس همان‌طور که پیداست، نقش فناوری نانو در کاهش میزان تولید این گازهای مضر بسیار مهم است.

کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی موتور

به‌طور کلی نانوکاتالیست‌های مورداستفاده در صنعت خودرو، به‌دلیل افزایش سطح واکنش و تعامل بیشتر با مولکول‌های واکنشی، نسبت به کاتالیست‌های قدیمی‌تر می‌توانند کارآیی بیشتری در کاهش آلاینده‌ها، کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی موتورها ایجاد کنند. این مزایا در کاهش آلاینده‌ها و بهبود عملکرد خودروها به‌ویژه در محیط‌های شهری که به تولید گازهای آلاینده حساس هستند، بسیار مهم و حیاتی است.



شکل ۴- مزایای استفاده از نانوکاتالیست

تحلیل هزینه-فایده استفاده از نانوکاتالیست‌ها در خودرو

در جدول ۱ به بررسی میزان غلظت مجاز گاز ورودی به مبدل کاتالیستی خودرو مطابق با سازمان ملی استاندارد ایران و میزان سهم هر یک از گازهای ورودی در λ[۱]های مختلف پرداخته شده است تا خودروسازان مکلف به رعایت تولید خودرویی شوند که میزان گاز خروجی از موتور پس از احتراق، از مقادیر مشخص شده تجاوز نکند. در بخش موتور و مبدل کاتالیستی خودروها، عبارت λ یا «ضریب هوا به سوخت» نسبت مقدار هوا به مقدار سوختی که به موتور تزریق می‌شود را نشان می‌دهد. ضریب هوا به سوخت باید بهینه تنظیم شود تا موتور بهتر کار کند، احتراق بهینه انجام شود و انتشار گازهای آلاینده کاهش یابد. تنظیم صحیح این ضریب نیاز به تنظیمات دقیق در سیستم تزریق سوخت و سیستم تخلیه دارد.

جدول ۱- مشخصات میزان مجاز گازهای ورودی به کاتالیست اگزوز خودرو مطابق با شماره استاندارد ۲۳۲۱۲ ملی ایران[۲]

ترکیبات گاز ثابت ورودی	λ=۰٫۹۷	λ=۰٫۹۹۵	λ=۱٫۰۲
H_2O	۱۳٪	۱۳٪	۱۳٪
CO_2	۱۳٪	۱۳٪	۱۳٪
O_2	۱۳٪	۰٫۶۴٪	۱۵٫۱٪

ادامه جدول ۱- مشخصات میزان مجاز گازهای ورودی به کاتالیست اگزوز خودرو مطابق با شماره استاندارد ۲۳۲۱۲ ملی ایران[۲]

ترکیبات گاز ثابت ورودی	λ=۰٫۹۷	λ=۰٫۹۹۵	λ=۱٫۰۲
NO	۱۰۰۰ ppm	۱۰۰۰ ppm	۱۰۰۰ ppm
CO	۵۰۰۰ ppm	۵۰۰۰ ppm	۵۰۰۰ ppm
H_2	۱۶۷۰ ppm	۱۶۷۰ ppm	۱۶۷۰ ppm
غلظت کل بر مبنای C_1	۳۰۰۰ ppm C_1	۳۰۰۰ ppm C_1	۳۰۰۰ ppm C_1
C_2H_4	۵۲۵ ppm	۵۲۵ ppm	۵۲۵ ppm
C_2H_6	۵۰۰ ppm	۵۰۰ ppm	۵۰۰ ppm
C_2H_8	۱۵۰ ppm	۱۵۱۰ ppm	۱۵۰ ppm

در صورت تطابق گازهای خروجی از موتور خودرو با جدول ۱، ازآنجاکه میزان تبدیل گازهای سمی خارج‌شده از موتور به گازهای کم‌خطرتر در مبدل‌های نانوکاتالیستی بیش از ٪۹۹ و مبدل‌های معمولی (کاتالیزورهای قدیمی برای اگزوز خودرو) در حدود ٪۹۵ گزارش شده است، میزان انتشار هریک از گازهای سمی نامبرده‌شده به‌صورت عمومی در خودروها مطابق با جدول ۲ خواهد بود. به‌عنوان‌مثال:

میزان انتشار گاز سمی CO از کاتالیست خودرو به محیط اطراف برحسب ppm/km = میزان درصد تبدیل کاتالیست خودرو × میزان غلظت گاز CO ورودی به کاتالیست از طریق موتور خودرو حاصل از احتراق

$$CO_{out} = ۵۰۰۰ \times ۰٫۹۹ = ۵۰ \ (ppm/km) \qquad (۱)$$

همان‌طور که از جدول ۲ قابل‌مشاهده است، لیست مشخصات و میزان تبدیل مبدل کاتالیست خودرو دو محصول نانویی و معمولی با ذکر میزان انتشار گازهای سمی از هرکدام از آن‌ها، درج شده است. مبدل نانوکاتالیستی به‌واسطه سطح واکنش بسیار بالاتر، میزان حجم آلاینده‌های سمی بسیار کمتری نسبت به مبدل‌های معمولی تولید می‌کند که این خود می‌تواند نقطه عطفی برای این محصول نسبت به سایر محصولات تولید شده باشد.
در جدول ۳ لیست قیمت دو محصول مبدل نانوکاتالیستی خودرو و مبدل معمولی برای خودرو تیبا به‌عنوان یکی از خودروهای تولید داخل کشور ذکر شده است که می‌توان از اطلاعات آن به‌عنوان مقایسه‌ای برای دو نوع مبدل معمولی و مبدل نانوکاتالیستی برای اگزوز خودرو استفاده کرد.

جدول۲- میزان گاز خروجی از مبدل کاتالیست در اگزوز خودرو براساس میزان تبدیل ۹۹٪ در مبدل‌های نانوکاتالیستی و میزان تبدیل ۹۵٪ در مبدل‌های معمولی

ردیف	نوع کاتالیست مورداستفاده در مبدل اگزوز خودرو	جنس بدنه	وزن (kg)	میزان انتشار گازهای سمی خروجی از مبدل کاتالیستی					
				CO_{out} (ppm/km)	NO_{out} (ppm/km)	هیدروکربن‌های نسوخته			
						C_2H_{4out} (ppm/km)	C_2H_{6out} (ppm/km)	C_2H_{8out} (ppm/km)	غلظت کل بر مبنای C_{1out} (ppm/km)
۱	مبدل نانوکاتالیستی	استیل	۲٫۸	۵۰	۱۰	۵٫۵	۵	۲	۳۰
۲	مبدل معمولی	استیل	۲٫۹	۲۰۰	۴۰	۲۵	۲۰	۱۰	۱۲۰

جدول۳- فرضیات تحلیل هزینه-فایده[۳]

نوع کاتالیست	قیمت (تومان)
مبدل نانوکاتالیستی خودروی تیبا	۲,۹۰۰,۰۰۰
مبدل‌های معمولی خودروی تیبا	۳,۳۰۰,۰۰۰

همچنین در جدول ۴ به بررسی هزینه-فایده استفاده از دو نوع مبدل نانوکاتالیستی و معمولی برای خودروی تیبا پرداخته شده است که شامل اطلاعاتی از قبیل قیمت، میانگین عمر مفید و میزان درصد حجمی بهینه‌شده این دو نوع محصول است. طبق جدول صفحه بعد می‌توان دریافت که هزینه صرفه‌جویی‌شده در صورت استفاده از مبدل نانوکاتالیستی قابل‌ملاحظه بوده و بنابراین استفاده از این مبدل‌های نانوکاتالیستی توجیه اقتصادی دارد.

فرمول درصد حجمی بهینه شده برابر است با:

$$P_i = \frac{\sum c_w - \sum c_n}{\sum c_n} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

P_i: درصد حجمی بهینه‌شده در استفاده از مبدل‌های نانوکاتالیستی؛

c_w: هزینه موارد با فناوری نانو؛

c_n: هزینه موارد بدون فناوری نانو.

به‌عنوان‌مثال، درصد حجمی بهینه‌شده قیمت دو نوع مبدل نانوکاتالیستی و معمولی به روش فرمول ۳ محاسبه می‌شود:

$$P_i = \frac{۲,۹۰۰,۰۰۰ - ۳,۳۰۰,۰۰۰}{۳,۳۰۰,۰۰۰} \times ۱۰۰ = -۱۲,۲٪ \quad (۳)$$

جدول۴- بررسی هزینه_فایده استفاده از مبدل‌های نانوکاتالیستی و معمولی در خودروی تیبا

نوع	تعداد	قیمت کل (تومان)	میانگین عمر مفید (کیلومتر)	درصد حجمی بهینه‌شده	
				خرید کاتالیست	عمر مفید
مبدل نانوکاتالیستی	۱	۲,۹۰۰,۰۰۰	۸۰,۰۰۰	-۱۲,۲٪	+۲۵٪
مبدل معمولی (غیرنانویی)	۱	۳,۳۰۰,۰۰۰	۶۰,۰۰۰		
اختلاف قیمت و عمر مفید				۴۰۰,۰۰۰ تومان	۳۰,۰۰۰ کیلومتر

همان‌طور که از جدول شماره ۴ مشخص است، تفاوت قیمت دو محصول نانویی و معمولی ۱۲,۲٪ است و به میزان ۴۰۰,۰۰۰ تومان مبدل نانوکاتالیستی ارزان‌تر است و همچنین میزان عمر مفید مبدل نانوکاتالیستی ۲۵٪ بیشتر از مبدل معمولی و قدیمی است که اگر میزان پیمایش ۲۴۰,۰۰۰ کیلومتر از هر خودرو را به‌عنوان مقدار مشترکی برای هر دو نوع کاتالیست نانویی و معمولی لحاظ کنیم، مبدل معمولی ۴ بار و مبدل نانوکاتالیستی ۳ بار بایستی تعویض شود که نشان‌دهنده ۱ بار صرفه‌جویی در خرید کاتالیست است.

به‌عبارتِ‌دیگر در صورت استفاده از مبدل نانوکاتالیستی (کاتالیست نانویی)، به‌ازای پیمایش هر ۲۴۰,۰۰۰ کیلومتر توسط یک خودرو که تقریباً معادل ۸ سال کارکرد یک خودرو است، در خرید ۱ عدد مبدل معمولی صرفه‌جویی می‌شود. حال اگر مطابق با گزارش سازمان بین‌المللی سازندگان وسایل نقلیه موتوری، تعداد خودروهای فعال در ایران را معادل رقم ۱۵میلیون دستگاه در نظر بگیریم و اگر این تعداد دستگاه را همه را خودرو تیبا به‌عنوان یکی از وسیله‌های نقلیه در ایران با کمترین میزان انتشار گازهای سمی نسبت به سایر دستگاه‌های موجود در نظر بگیریم، می‌توان میزان صرفه‌جویی ارزی حاصل از استفاده از این نوع مبدل‌های نانوکاتالیستی را به‌صورت فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\text{میزان تفاوت قیمت دو محصول نانویی و غیرنانویی} = ۱۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ \times ۳,۳۰۰,۰۰۰ = ۴۹,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ \quad (۴)$$

این رقم به معنی این است که اگر فرض کنیم قیمت هر واگن قطار سریع‌السیر ۱,۲میلیون یورو باشد تنها با استفاده از کاتالیست نانویی به ازای پیمایش ۲۴۰,۰۰۰ کیلومتر تمامی خودروهای فعال در کشور (تقریباً معادل ۸ سال کارکرد یک خودرو)، می‌توان ۶۳۰ عدد واگن قطار سریع‌السیر در مدت ۸ سال به ناوگان حمل‌ونقل کشور اضافه کرد.

از طرفی به‌ازای پیمایش ۸۰,۰۰۰ کیلومتر توسط تنها یک خودرو، میزان انتشار هر یک از گازهای NO، CO و مجموعه هیدروکربن‌های نسوخته برای مبدل معمولی مطابق با رابطه زیر به‌ترتیب ۱۲kg، ۲,۴kg و ۹,۵kg بیشتر از مبدل نانوکاتالیستی برای خودرو تیبا خواهد بود:

$$\Delta C\ (ppm/km) = C_{Nano} - C_{Non\text{-}Nano} \quad (۵)$$

به‌عنوانِ‌مثال میزان تفاوت انتشار گاز CO از دو مبدل نانوکاتالیستی و معمولی با توجه به اطلاعات درج‌شده در جدول ۲ به شرح زیر است:

$$\Delta C_{CO}\,(ppm/km) = (۲۰۰-۵۰)\times ۸۰,۰۰۰ = ۱۲,۰۰۰,۰۰۰۰\ ppm = ۱۲\ kg \quad (۶)$$

در صورت استفاده از مبدل نانوکاتالیستی به‌جای کاتالیست‌های معمولی (مبدل‌های غیرنانویی و قدیمی)، مطابق با رابطه زیر می‌توان میزان جلوگیری از انتشار هریک از گازهای سمی را به دست آورد که مقدار عددی هریک از این گازها در جدول ۵ لیست شده است:

$$\Delta C_{tot} = N \times \Delta C_n \quad (۷)$$

جایی که:

ΔC_{tot}= میزان تفاوت انتشار گاز سمی از مبدل‌های نانوکاتالیستی و معمولی برای تمامی وسایل نقلیه؛

N= تعداد خودروهای فعال در کشور؛

ΔC_n= اختلاف غلظت انتشار هر یک از گازهای سمی از دو مبدل نانوکاتالیستی و معمولی برای یک خودرو.

به‌عنوانِ‌مثال، میزان تفاوت انتشار گاز CO برای دو مبدل نانوکاتالیستی و معمولی به ازای ۱۵میلیون وسیله نقلیه فعال در کشور (در صورت مفروض نمودن خودرو تیپا به‌عنوان تمامی خودروها) مطابق با رابطه بالا به شرح زیر خواهد بود:

$$\Delta C_{CO} = ۱۵,۰۰۰,۰۰۰\times ۱۲ = ۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰\ kg \quad (۸)$$

جدول۵- میزان انتشار هر یک از گازهای سمی به ازای ۸۰,۰۰۰ کیلومتر مسافت برای ۱۵میلیون دستگاه

عنوان	نماد	مقدار (تن)
میزان تفاوت انتشار گاز CO از مبدل‌های نانوکاتالیستی و معمولی	ΔC_{CO}	۱۸۰,۰۰۰
میزان تفاوت انتشار گاز NO از مبدل‌های نانوکاتالیستی و معمولی	ΔC_{NO}	۳۶,۰۰۰
میزان تفاوت انتشار گاز هیدروکربن از مبدل‌های نانوکاتالیستی و معمولی	$\Delta C_{Hydro\text{-}Carbon}$	۱۴۲,۵۰۰

همان‌طور که از جدول ۵ پیداست، در صورت استفاده از مبدل نانوکاتالیستی به‌جای مبدل‌های معمولی در مجموع از انتشار ۳۵۸,۰۰۰ تن گازهای سمی جلوگیری می‌شود. آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین عوامل مرگ‌ومیر در جهان است که سالانه ۵میلیون مرگ به آن ارتباط داده می‌شود. آلودگی هوا به ٪۹ مرگ‌ومیر در سراسر جهان نسبت داده می‌شود و همچنین یکی از عوامل خطرزا برای افزایش بیماری است. بیشترین میزان مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در کشورهای کم‌درآمد تا متوسط اتفاق می‌افتد و تا بیش از ۱۰۰ برابر اختلاف در سراسر جهان متغیر است. همچنین در سال ۲۰۱۵، ۹میلیون نفر در جهان به‌دلیل بیماری‌های غیرعفونی ناشی از آلودگی هوا مثل بیماری‌های قلبی، سکته مغزی و سرطان ریه جان خود را از دست داده‌اند که تقریباً تمام (۹۲درصد) این مرگ‌ها در کشورهای کم‌درآمد یا با درآمد متوسط و کشورهایی که دارای جهش اقتصادی بوده‌اند (مانند هند) رخ داده است. در میان کشورهای جهان، برونئی، سوئد و فنلاند کمترین میزان مرگ ناشی از آلودگی و بنگلادش، سومالی و چاد بالاترین

میزان را آلودگی دارند.
به‌عنوان‌مثال در آمریکا ۱۵۵هزار مورد (۵٫۸درصد)، در بریتانیا پنجاه‌هزار مورد (هشت درصد) و در ایران ۴۸ هزار مورد مرگ (۱۲٫۵درصد) ناشی از آلودگی است که در سال ۹۵ بیش از ۴۸۰۰ نفر در تهران بر اثر آلودگی هوا جان خود را از دست داده‌اند.
براساس گزارش سال ۲۰۱۴ سازمان جهانی بهداشت حدود ۷ میلیون نفر به‌علت آلودگی هوا در سال ۲۰۱۴ جان خود را از دست داده‌اند که این رقم دو برابر پیش‌بینی‌هاست. از این هفت میلیون نفر، ۴٫۳ میلیون نفر به‌علت آلودگی هوای خانه‌ها در اثر دود و آلودگی ناشی از سوخت و اجاق‌های خوراک‌پزی نامناسب جان باخته‌اند. این آمار همچنین نشان می‌دهد که بیش از سه میلیون و ۷۰۰ هزار نفر بر اثر آلودگی هوا در فضای بیرونی در شهرها و روستاها در سراسر جهان جان خود را از دست داده‌اند که یکی از منشأهای اصلی آن گازهای سمی خروجی از مبدل‌های معمولی در خودروهاست. ازاین‌رو جایگزینی خودروهای دیزلی سنگین قدیمی با خودروهای دیزلی جدید و با آلایندگی کم و همچنین مجهز نمودن خودروهای تولیدی جدید به نانوکاتالیست‌ها (مبدل‌های نانوکاتالیستی) و از طرفی استفاده از سوخت‌هایی با درصد گوگرد کمتر می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل کاهش‌دهنده آلودگی هوا و جلوگیری از مرگ‌ومیر انسان‌ها تأثیرگذار باشد.

شرکت‌های ایرانی نانوفناور و تولیدکننده مبدل‌های نانوکاتالیستی خودرو

۱- شرکت ایران دلکو

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، ابتدای خیابان سازمان آب، نبش کوچه میرداماد، پلاک ۶، طبقه اول
تلفن: ۸۸۲۸۴۸۰۱-۰۲۱
ایمیل: info@irandelco.com
وب‌سایت: www.irandelco.com

۲- شرکت: پرتو فرازان آویژه کیمیا

نشانی: استان البرز، کرج، مهرویلا، خیابان درختی، ساختمان باران
تلفن: ۶۵۴۳۹۶۰۷-۰۲۱
ایمیل: info@parto-farazan.com
وب‌سایت: www.partofarazan.com

۳- شرکت: صنعت آفرین ماهان

نشانی: استان البرز، کرج، شهرک صنعتی بهارستان، انتهای گلستان ششم غربی، پلاک ۱۲۵
تلفن: ۳۴۷۶۴۱۴۲-۰۲۶
ایمیل: lab@samcat.co
وب‌سایت: www.samcat.co

۴- شرکت عایق خودرو توس
نشانی: استان خراسان رضوی، مشهد، شهرک صنعتی توس، فاز یک، بلوار تلاش
تلفن: ۳۵۴۱۳۲۳۶-۰۵۱
ایمیل: info@aktcom.com
وب‌سایت: www.aktcom.co

پی‌نوشت‌ها

۱ واحد ppm به‌معنای «بخش بر میلیون» است که به‌معنای تعداد ذرات گاز موردنظر در هر ۱میلیون ذره ورودی است.

۲ استاندارد شماره ۲۳۲۱۲ تحت عنوان: «کاتالیست سه‌راهۀ خودروی بنزین‌سوز، کاتالیست سه‌راهۀ خودروی گازسوز، کاتالیست اکسندۀ دیزل (DOC) و کاتالیست اکسندۀ آمونیاک (ASC) در موتورهای احتراق دیزلی مجهز به کاتالیست SCR»

۳ قیمت‌ها مربوط به سال ۱۴۰۳ است.

منابع

۱ P. T. Anastas, M. M. Kirchhoff, and T. C. Williamson, "Catalysis as a foundational pillar of green chemistry," Appl. Catal. A Gen., vol. 221, no. 2–1, pp. 13–3, Nov. 2001, doi: 10.1016/S860-0926X(1-00793(01.

۲ J. Gao, G. Tian, and A. Sorniotti, "On the emission reduction through the application of an electrically heated catalyst to a diesel vehicle," Energy Sci. Eng., vol. 7, no. 6, pp. 2383–2397, Dec. 2019, doi: 10.1002/ESE3.416.

۳ M. V. Twigg, "Progress and future challenges in controlling automotive exhaust gas emissions," Appl. Catal. B Environ., vol. 70, no. 1–4, pp. 2–15, Jan. 2007, doi: 10.1016/J.APCATB.2006.02.029.

۴ W. Ahmad, T. Noor, and M. Zeeshan, "Effect of synthesis route on catalytic properties and performance of Co3O4/TiO2 for carbon monoxide and hydrocarbon oxidation under real engine operating conditions," Catal. Commun., vol. 89, pp. 19–24, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.CATCOM.2016.10.012.

۵ Rongchao Jin, "The impacts of nanotechnology on catalysis by precious metal nanoparticles," 2011, [Online]. Available: https://doi.org/10.1515/ntrev-2011-0003

۶ V. Soloiu, J. W. McAfee, M. Ilie, C. Carapia, A. Weaver, and A. Brant, "Experimental and Numerical Investigation of Combustion and Emissions Characteristics in a Drone Jet Engine Fueled with Jet-A," Jan. 2023, doi: 10.2514/6.2023-1065.

۷ R. B. Cope, "Carbon monoxide: can't see, can't smell, body looks red but they are dead," Handb. Toxicol. Chem. Warf. Agents, pp. 353–371, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-12-819090-6.00024-6.

۸ سامان معینی، مریم عباس والی، الهه معینی، سمیرا قربانی، «بررسی اثرات زیست‌محیطی ناشی از تجمع هیدروکربن‌های نفتی و امنیت غذایی»، ۱۳۹۳، [Online]. Available: https://civilica.com/doc/375350/

۹ Y. Xia, H. Yang, C. T. Campbell, "Nanoparticles for Catalysis," 2013, (https://doi.org/10.1021/ar400148q)

۱۰ فریده عتابی، سیدعلیرضا حاجی‌سیدمیرزاحسینی، «بررسی میزان انتشار بنزن و هیدروکربن نسوخته خروجی از اگزوز خودروهای تولید داخل و وارداتی در شهر تهران، ۱۳۹۷»، [Online]. Available: https://civilica.com/doc/754468