نانو و صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۶۴ صنعت خودرو

مزایای اقتصادی استفاده از فناوری نانو در فیلتر هوای خودروهای سنگین

INDnano.ir
ستاد توسعه 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		
صندوق پستی:	۳۴۴-۱۴۵۶۵	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
سال انتشار:	۱۴۰۳	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir
تهیه کننده:	سروش صحرائیان		

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

فهرست مطالب

مقدمه ۳
مقایسه اقتصادی عملکرد نانوفیلترها با فیلترهای معمولی ۱۰
شرکت‌های ایرانی تولیدکننده فیلتر هوای نانوساختار ۱۴
پی‌نوشت‌ها ۱۵
منابع ۱۵

مقدمه

مطابق با سالنامه آماری سال‌های اخیر سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای وزارت راه و شهرسازی، خودروهای سنگین مسافت بسیار زیادی را سالانه در جاده‌های کشور طی می‌کنند. تعداد ۱۴،۷۷۶ ماشین‌آلات و تجهیزات راهداری، ۳۶۵ هزار کامیون عمومی جاده‌ای، ۱۴ هزار اتوبوس عمومی و ۲۴ هزار مینی‌بوس عمومی و در مجموع ۴۱۷،۷۷۶ دستگاه کامیون، خودرو و ماشین‌آلات راهداری و مسافربری در طی یک سال در کشور تردد کرده‌اند [۱]. در طی یک سال کامیون‌های حامل کالا در سطح کشور ۱۶،۴۶۵،۰۹۸،۰۰۰ کیلومتر، اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌های مسافربری ۳،۰۶۹،۱۲۰،۰۰۰ کیلومتر و ماشین‌آلات و تجهیزات راهداری ۷۵،۹۰۴ کیلومتر را روکش آسفالت و خط‌کشی کرده‌اند. مجموعاً ۱۹،۶۱۰،۱۲۲ کیلومتر در جاده‌های کشور توسط خودروهای سنگین در مدت یک سال طی شده است. این رقم برای ۱۰ سال گذشته تنها برای کامیون‌ها، اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌های بین‌شهری برابر با ۱۷۶،۸۷۱،۷۷۴،۰۰۰ کیلومتر است که مسافت طی شده توسط سفرهای درون‌شهری، سفرهای بدون صورت‌وضعیت و سفرهای کامیونی بدون بارنامه و همچنین مسافت طی شده توسط ماشین‌آلات و تجهیزات راهداری در آن لحاظ نشده است [۱]. اگر فرض کنیم کامیون‌ها، اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها به‌طور متوسط هر ۲۰ هزار کیلومتر یک‌بار فیلتر هوای خود را تعویض کنند، در دَه سال گذشته حداقل تعداد ۸،۸۴۳،۵۸۹ فیلتر هوا در کشور مورداستفاده خودروهای سنگین قرار گرفته است.

جدول ۱- خلاصه آمارهای راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰[1]

عناوین	اتوبوس و مینی‌بوس				کامیون		
	متوسط مسافت طی شده در هر سفر مسافری (با صورت وضعیت)	تعداد سفر مسافری در سطح کشور (با صورت وضعیت)	جمع کل	مینی‌بوس های عمومی جاده‌ای کشور (پلاک ایران)	اتوبوس های عمومی جاده‌ای کشور (پلاک ایران)	متوسط مسافت طی شده در هر سفر کامیون (با بارنامه)	تعداد سفر کامیون حامل کالا در سطح کشور (با بارنامه)	کامیون‌های عمومی جاده‌های کشور (پلاک ایران)
سال / واحد ارقام	کیلومتر	هزار سفر	هزار دستگاه	هزار دستگاه	هزار دستگاه	کیلومتر	هزار سفر	هزار دستگاه
۱۳۹۱	۱۹۵	۱۸,۴۱۴	۵۴	۳۵	۱۹	۴۹۷	۲۶,۸۲۲	۳۷۸
۱۳۹۲	۱۹۸	۱۷,۷۹۸	۵۶	۳۶	۲۰	۴۹۲	۲۶,۸۷۸	۳۹۵
۱۳۹۳	۱۹۲	۱۶,۸۷۱	۶۰	۳۹	۲۱	۵۰۳	۲۷,۳۳۸	۴۲۳
۱۳۹۴	۲۰۰	۱۶,۰۵۸	۴۴	۲۸	۱۶	۴۹۹	۲۵,۷۴۸	۳۵۳
۱۳۹۵	۲۰۹	۱۵,۱۵۹	۴۴	۲۸	۱۶	۵۱۰	۲۷,۱۹۵	۳۶۰
۱۳۹۶	۲۱۴	۱۵,۰۷۵	۳۶	۲۱	۱۵	۵۰۷	۲۹,۹۰۹	۳۳۸
۱۳۹۷	۲۲۰	۱۵,۰۹۲	۳۷	۲۲	۱۵	۴۸۸	۳۰,۱۲۰	۳۵۸
۱۳۹۸	۲۲۰	۱۴,۶۶۸	۳۴	۲۰	۱۴	۴۹۳	۳۰,۷۰۱	۳۴۳
۱۳۹۹	۲۱۳	۱۲,۴۵۹	۳۸	۲۴	۱۴	۵۰۰	۳۲,۳۱۱	۳۶۰
۱۴۰۰	۲۳۰	۱۳,۳۴۴	۳۸	۲۴	۱۴	۵۰۲	۳۲۷,۹۹۹	۳۶۵

فیلتر هوا وسیله‌ای است که با استفاده از الیاف و یا محیط متخلخل ذرات جامد نظیر دود، گردوغبار، باکتری و... را از هوا جدا می‌سازد. فیلترها شامل ماده‌ای جاذب و یا کاتالیست هستند که می‌توانند آلودگی‌هایی نظیر بو و ترکیبات ارگانیک فرار را از هوا حذف کنند [۲]. فیلترهای هوا در کاربردهایی نظیر موتورها، ساختمان، دستگاه‌ها و سایر تجهیزاتی که در آن‌ها کیفیت هوا اهمیت دارد، استفاده می‌شوند. استفاده از کاغذ، فوم، توری کتان، استیل زنگ‌نزن، حمام آب و استفاده از یونیزه‌کننده هوا[۱]، روش‌های جذب ذرات جامد از هوا هستند که تاکنون در خودرو استفاده شده است [۳].

فیلتر هوای موتور خودرو از ورود ذرات ساینده به درون سیلندر موتور جلوگیری کرده و باعث جلوگیری از سایش مکانیکی قسمت‌های داخلی سیلندر و پیستون، آلوده‌شدن روغن‌موتور و حفظ کارایی آن و همچنین حفظ دقت سنسورها می‌شود. سایش مکانیکی قسمت‌های داخل سیلندر به‌مرورزمان موجب کاهش سرعت و شتاب و در نهایت ازکارافتادگی موتور می‌شود. در اکثر خودروها از یک کاغذ لایه‌لایه‌شده به‌عنوان فیلتر در یک قاب مسطح و یا استوانه‌ای شکل استفاده می‌کنند. این فیلتر در یک جعبه پلاستیکی قرار گرفته تا هوا با عبور از آن وارد موتور شود [۴].

شکل۱- معمولاً از قاب مسطح در خودروهای انژکتوری و قاب استوانه‌ای شکل در خودروهای کاربراتوری و خودروهای سنگین استفاده می‌شود [۳]

در طراحی و ساخت فیلتر خودرو مقدار نرخ گردش هوای بالا، افت فشار پایین، صدای کم، امکان افزایش سرعت و شتاب، کاهش مصرف سوخت، انطباق دمایی بالا، افزایش مقاومت به خوردگی موتور، تعویض راحت و هزینه تمام‌شده اهمیت دارد. این فیلتر باید بتواند از ورود آب جلوگیری کرده و با کارایی و دوام بالا مطابق استانداردهای موجود عمل کند [۵]. طراحی جعبه نگهدارنده فیلتر و هندسه فیلتر در افت فشار ایجاد شده در فیلتر و در نتیجه در عملکرد خودرو مؤثر است [۶].

شکل۲- کاهش افت فشار و افزایش نرخ گردش هوا را می‌توان با طراحی مناسب شکل فیلتر (شکل بالا) و جعبه نگهدارنده فیلتر (شکل پایین) افزایش داد [۵]

راندمان یک فیلتر هوا وابسته به مقدار و اندازه ذرات قابل جذب و کاهش افت فشار هواست. این راندمان براساس استاندارد EN779:2002 و ISO16890 طی جدول زیر دسته‌بندی می‌شود.

جدول ۲- کلاس کاغذ فیلتر منطبق با استاندارد EN779:2002 [۶]

کلاس کاغذ فیلتر EN779:2002	افت فشار نهایی	میانگین جذب ذرات جامد Am (٪)[۲]	میانگین راندمان جذب ذرات µm ۰٫۴ (Em)[۳]
G1	۲۵۰	۵۰≤Am≤۶۵	–
G2	۲۵۰	۶۵≤Am<۸۰	–
G3	۲۵۰	۸۰≤Am<۹۰	–
G4	۲۵۰	۹۰≤Am	–
F5	۴۵۰	–	۴۰≤Am≤۶۰
F6	۴۵۰	–	۶۰≤Am≤۸۰
F7	۴۵۰	–	۸۰≤Am≤۹۰
F8	۴۵۰	–	۹۰≤Am≤۹۵
F9	۴۵۰	–	۹۵≤Am

جدول ۳-کلاس کاغذ فیلتر منطبق با استاندارد ISO16890 [۷]

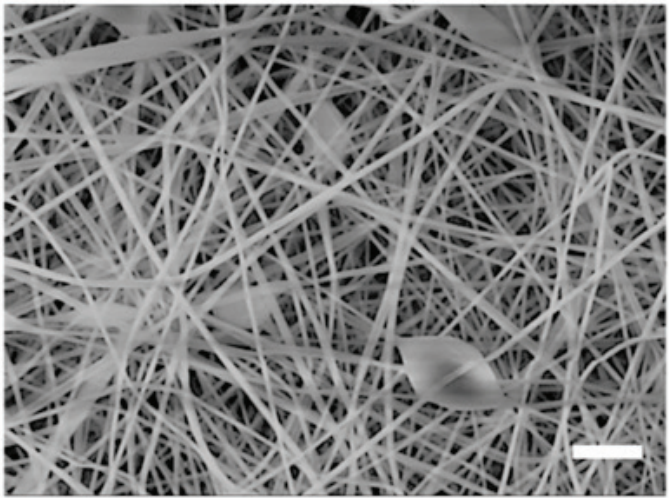
کلاس کاغذ فیلتر[۴] ISO16890	اندازه ذرات (µm)	دسته‌بندی راندمان
$ISO\ ePM_1$	۰٫۳ ≤ X ≤ ۱	Minimum efficiency ≥ ۵۰٪
$ISO\ ePM_{2.5}$	۰٫۳ ≤ X ≤ ۲٫۵	Minimum efficiency ≥ ۵۰٪
$ISO\ ePM_{10}$	۰٫۳ ≤ X ≤ ۱۰	Average efficiency ≥ ۵۰٪
ISO Coarse	۰٫۳ ≤ X ≤ ۱۰	Average efficiency < ۵۰٪

با توجه به تفاوت‌های موجود در نحوه انجام آزمایش بین دو استاندارد EN779 و ISO16890 نمی‌توان کلاس‌های متفاوت یک استاندارد را با دیگری مطابقت داد اما مقایسه حدودی از لحاظ راندمان در جدول زیر انجام شده است.

جدول ۴-مقایسه استاندارد EN779 و ISO16890

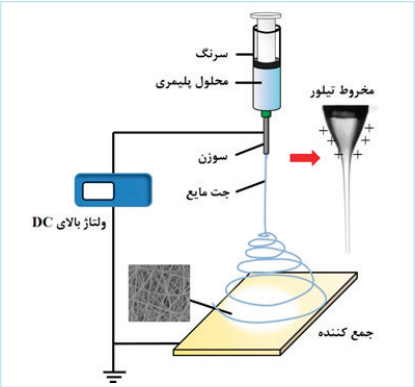
استاندارد EN779	میانگین راندمان ISO16890			
کلاس فیلتر	$ISO\ ePM_1$	$ISO\ ePM_{2.5}$	$ISO\ ePM_{10}$	ISO Coarse
G1	-	-	-	۳۰-۵۰٪
G2	-	-	-	-
G3	-	-	-	۴۵-۶۵٪
G4	-	-	-	۶۰-۸۵٪
M5	۵-۳۵٪	۱۰-۴۵٪	۴۰-۷۰٪	۸۰-۹۵٪
M6	۱۰-۴۰٪	۲۰-۵۰٪	۶۰-۸۰٪	>۹۰٪
F7	۴۰-۶۵٪	۶۵-۷۵٪	۸۰-۹۰٪	>۹۵٪
F8	۶۵-۹۰٪	۷۵-۹۵٪	۹۰-۱۰۰٪	>۹۵٪
F9	۸۰-۹۰٪	۸۵-۹۵٪	۹۰-۱۰۰٪	>۹۵٪

فناوری نانو توانایی کارکردن در ابعاد یک‌میلیاردم متر است. زمانی که قطر الیاف تا ابعاد نانومتری کاهش می‌یابد به آن نانوالیاف می‌گویند. نانوالیاف دارای خواص منحصربه‌فردی هستند که آن‌ها را از سایر ساختارهای نانومتری متمایز می‌سازد. ساختارهای نانوالیافی به‌صورت کامپوزیتی، سرامیکی و به‌ویژه پلیمری تولید می‌شوند. وقتی قطر الیاف پلیمری از چندین میکرومتر به زیر ۱۰۰ نانومتر کاهش می‌یابد، خواص شگفت‌انگیزی در این مواد ظاهر می‌شود. از این خواص شگفت‌انگیز می‌توان به نسبت سطح به حجم بسیار بالا اشاره کرد که این نسبت برای نانوالیاف در مقایسه با میکروالیاف هزار برابر بزرگ‌تر است. سایر خواص شگفت‌انگیز نانوالیاف شامل چگالی بسیار پایین به دلیل میزان تخلخل بسیار بالا و قابلیت کنترل و انعطاف‌پذیری ویژگی‌های سطحی و عملکرد مکانیکی فوق‌العاده مانند سختی و استحکام کششی بالا در این مواد است [۸].

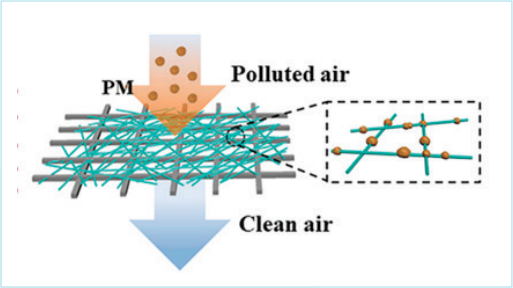


شکل ۳- تصویر میکروسکوپی از نانوالیاف [۹]

نانوالیاف به دلیل روش‌های ساده تولید و ساختار متخلخل خود می‌توانند نسبت به فیلترهای با اندازه تخلخل میکرومتری، درصد بیشتری از ذرات جامد را جذب کنند. الکتروریسندگی یکی از روش‌های مرسوم و کم‌هزینه در ساخت نانوالیاف است. امکان کنترل اندازه تخلخل‌ها و منافذ موجب شده است تا کاربردهای آن بسیار گسترده باشد. نانوالیاف را می‌توان از انواع مختلفی از پلیمرها ساخت و با اضافه‌کردن ذرات و ترکیبات مختلف می‌توان ویژگی‌های منحصربه‌فردی به آن اضافه کرد [۹]. همانند ماسک‌های تنفسی، فیلترهای هوای خودرو سنگین نیز با پوشش‌دادن نانوالیاف توانایی جذب ذرات ریزتری را به دست می‌آورند تا ذرات با اندازه‌های کوچک‌تر نیز از فیلتر عبور نکنند. در فیلترهای نانوساختار اثر اسلیپ فلو[۵] نه‌تنها افت فشاری ایجاد نکرده بلکه باعث انتقال هوای مؤثری درون فیلتر می‌شود [۹].

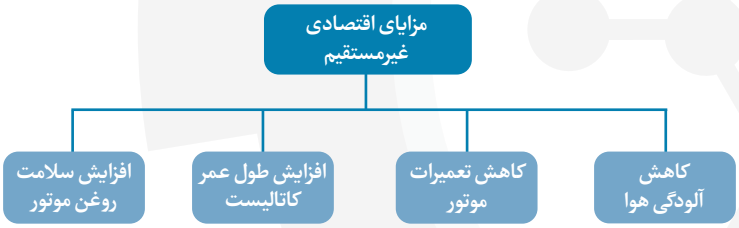


شکل ۴- فرایند مرسوم تولید نانوالیاف از طریق نانوالکتروریسندگی [۸]



شکل ۵- پوشش‌دهی فیلتر با نانوالیاف موجب جذب مؤثرتر ذرات ریز می‌شود [۹]

استفاده از نانوالیاف در ساخت فیلترهای هوای خودرو سنگین می‌تواند عملکرد فیلتر را در جذب ذرات جامد معلق در هوا بهبود بخشد و مزایای اقتصادی زیادی را به همراه داشته باشد. کاهش قطر روزنه‌های فیلتر از عبور ذرات بسیار ریز جلوگیری کرده تا با هوای ورودی موتور خودرو ترکیب نشوند. این امر موجب عدم ورود ذرات ریز به روغن‌موتور و در نتیجه افزایش طول عمر روغن‌موتور خودرو و بهبود عمل روانکاری شده و ذرات ریز با عدم سایش قسمت‌های فلزی داخل سیلندر باعث افزایش چشمگیر در زمان لازم برای تعمیرات دوره‌ای موتور می‌شوند. این امر باعث کاهش هزینه‌های بسیار زیاد باز و بست موتورهای خودروهای سنگین می‌شود. علاوه‌بر این هوای خروجی موتور نیز ذرات معلق کمتری داشته و این هوا پس از عبور از کاتالیست اگزوز موجب افزایش زمان گرفتگی کاتالیست می‌شود که خود موجب مشکلات کمتری در افت قدرت، شتاب و سرعت خودرو می‌شود. پس با کاهش ذرات معلق ورودی به موتور خودرو با استفاده از فیلترهای نانوساختار عمر مفید کاتالیست اگزوز خودرو نیز افزایش یافته و بهبود عملکرد کاتالیست خودرو، اثر مثبتی در محیط زیست و هوای شهرهای بزرگ می‌گذارد. استفاده از این نانوفیلترها به‌ویژه در مناطق جنوب کشور که ریزگردها در اوقات بیشتری از سال در هوا معلق هستند و یا خودروهایی که در مناطق خاص آلوده به ریزگرد نظیر معادن فعالیت می‌کنند، اهمیت بیشتری دارد.



شکل ۶- مزایای اقتصادی غیرمستقیم استفاده از فیلترهای هوای نانوساختار

مقایسه اقتصادی عملکرد نانوفیلترها با فیلترهای معمولی

برای تحلیل هزینه فایده استفاده از فیلتر نانویی خودرو سنگین، فیلترهای ساخت شرکت بهران فیلتر در نظر گرفته شده است. فیلتر هوای ورودی یک خودرو سنگین یک بار با استفاده از فیلتر غیرنانویی و یک بار با استفاده از نانوفیلتر موردبررسی قرار می‌گیرد.

مبانی و مفروضات این تحلیل در جدول زیر آمده است. در این جدول قیمت‌های مربوط به فیلتر و نانوفیلتر با توجه به فیلترهای ساخت شرکت بهران فیلتر و میانگین قیمت فیلتر انواع خودروهای سنگین به دست آمده است. طبق آزمایش‌های انجام شده در شرکت بهران فیلتر طول عمر مفید نانوفیلتر نسبت به فیلتر غیرنانویی ۱٫۵ برابر است. این شرکت فیلترهای نانویی خود را ۱۰٪ گران‌تر از فیلترهای معمول در بازار به فروش می‌رساند.

جدول ۵- فرضیات تحلیل هزینه فایده

نوع فیلتر	قیمت (تومان)
قیمت فیلتر هوای VOLVO FH12	۴۶۰,۰۰۰
قیمت فیلتر هوای نانویی VOLVO FH12	۵۰۶,۰۰۰

در محاسبه تعداد فیلتر لازم برای هر خودرو، از جدول ۱ طبق آمار سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور استفاده شده است. در این محاسبات از مسافت طی شده میانگین کامیون، مینی‌بوس و اتوبوس استفاده شده است. مسافت طی شده در سال ۱۴۰۰ از طریق ضرب تعداد سفر خودرو در متوسط مسافت طی شده در هر سفر برای هر خودرو مطابق با جدول ۱ به دست آمده است. مثلاً:

کل مسافت طی شده توسط کامیون‌های کشور در سال ۱۴۰۰ ($T_{۱۴۰۰}$) = متوسط مسافت طی شده در هر سفر کامیون × تعداد سفر هر کامیون

$T_{۱۴۰۰}$ = ۳۲,۷۹۹,۰۰۰×۵۰۲=۱۶,۴۶۵,۰۹۸,۰۰۰

کل مسافت طی شده توسط اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌های سطح کشور ۱۴۰۰ (B_{1400}) = متوسط مسافت طی شده سفر مسافری × تعداد سفر مسافری

B_{1400} = ۱۳,۳۴۴,۰۰۰×۲۳۰= ۳,۰۶۹,۱۲۰,۰۰۰

بنابراین کل مسافت طی شده توسط خودروهای سنگین برابر $T_{1400}+B_{1400}$ = ۱۹,۵۳۴,۲۱۸,۰۰۰ کیلومتر است. با فرض متوسط ۲۰ هزار کیلومتر برای تعویض فیلتر هوا، تعداد فیلتر هوای لازم توسط خودروهای کامیون، اتوبوس و مینی‌بوس کل کشور در سال ۱۴۰۰ برابر ۹۷۶,۷۱۱ عدد فیلتر هواست.

محاسبه کل مسافت طی شده در ۱۰ سال گذشته برای کامیون‌ها، اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها از رابطه زیر و با استفاده از ارقام موجود در جدول ۱ به دست می‌آید:

$$\sum_{y=1391}^{1400} \text{تعداد سفر} \times \text{متوسط مسافت طی شده}$$

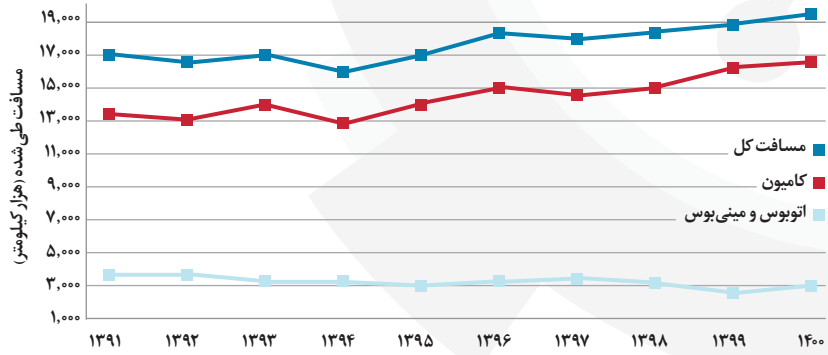
با استفاده از این رابطه کل مسافت طی شده توسط کامیون‌ها در ده سال گذشته (T_T) برابر: ۱۴۴,۶۴۱,۸۴۰,۰۰۰ کیلومتر به دست می‌آید. همچنین کل مسافت طی‌شده توسط اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها (B_T) با استفاده از ارقام موجود در جدول ۱ برابر ۳۲,۲۲۹,۹۳۴,۰۰۰ به دست می‌آید. همچنین کل مسافت طی‌شده توسط کلیه کامیون‌ها، اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها برابر ۱۷۶,۸۷۱,۷۷۴,۰۰۰ به دست می‌آید. بنابراین با احتساب متوسط ۲۰ هزار کیلومتر برای تعویض فیلتر هوا، تعداد فیلتر هوای لازم برای کلیه خودروهای سنگین تعداد ۸,۸۴۳,۵۸۹ به دست می‌آید. از آنجایی که عمر فیلتر هوای نانویی ۱,۵ برابر فیلتر هوای غیرنانویی فرض شده است (با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از شرکت بهران فیلتر) تعداد فیلتر هوای نانویی لازم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$F_{1400(nano)} = F_{1400} / ۱,۵$, $F_{T(nano)} = F_T / ۱,۵$

جدول ۶- تعداد فیلتر هوای لازم نانویی و غیرنانویی در سال ۱۴۰۰ و در دَه سال گذشته

عنوان	نماد	تعداد (عدد)
تعداد فیلتر هوای غیرنانو موردنیاز در سال ۱۴۰۰	F_{1400}	۹۷۶,۷۱۱
تعداد فیلتر هوای موردنیاز در دَه سال	F_T	۸,۸۴۳,۵۸۹
تعداد فیلتر هوای نانویی موردنیاز در یک سال	$F_{1400(nano)}$	۶۵۱,۱۴۰
تعداد فیلتر هوای نانویی موردنیاز در دَه سال	$F_{T(nano)}$	۵,۸۹۵,۷۲۶

لازم به ذکر است که طبیعتاً مسافت طی‌شده در ده سال آینده توسط کامیون‌های کشور افزایش پیدا می‌کند اما با توجه به داده‌های جدول ۱ مسافت طی شده مسافری برای اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها نیز کاهش پیدا کرده است. بنابراین کل مسافت طی شده توسط کلیه خودروهای سنگین تقریباً ثابت مانده است. پس برای پیش‌بینی تعداد فیلتر هوای لازم در ده سال آینده می‌توان پیش‌بینی کرد که کل مسافت طی شده با شیب ملایمی افزایش یابد و اطلاعات این گزارش برای پیش‌بینی ده سال آینده نیز با دقت مناسبی قابل‌استفاده باشد.



نمودار ۱- تغییرات مسافت طی‌شده در دَه سال گذشته [۱]

فرمول محاسبه درصد حجمی بهینه شده برابر است با: $P_i = \frac{C_w - C_N}{C_w} \times ۱۰۰$

P_i: درصد حجمی بهینه شده در استفاده از فیلتر هوای نانویی؛

C_W: هزینه فیلتر بدون فناوری نانو؛

C_N: هزینه فیلتر با فناوری نانو.

مثلاً در بررسی درصد حجمی بهینه شده در یک سال خواهیم داشت:

$P_i = ((۴۴۹,۲۸۷,۷۱۱,۰۰۰ - ۳۲۹,۴۷۶,۸۴۰,۰۰۰)/۴۴۹,۲۸۷,۷۱۱,۰۰۰) \times ۱۰۰ = ۲۶٫۶٪$

جدول ۷- هزینه فایده استفاده از فیلتر هوای نانویی و غیرنانویی در یک و دَه سال

		تعداد فیلتر لازم	قیمت هر فیلتر (تومان)	جمع هزینه‌کرد (تومان)	درصد حجمی بهینه‌شده یک سال	درصد حجمی بهینه‌شده دَه سال
استفاده از فیلترهای ساده	فیلتر مصرفی موردنیاز در یک سال	۹۷۶,۷۱۱	۴۶۰,۰۰۰	۴۴۹,۲۸۷,۷۱۱,۰۰۰	۲۶,۶٪	۲۶,۶٪
	فیلتر کل خودرو کشور در ۱۰ سال	۸,۸۴۳,۵۸۹	۴۶۰,۰۰۰	۴,۰۶۸,۰۵۰,۹۴۰,۰۰۰		
استفاده از فیلترهای نانوساختار	فیلتر مصرفی یک خودرو ۲۰ هزارتا	۶۵۱,۱۴۰	۵۰۶,۰۰۰	۳۲۹,۴۷۶,۸۴۰,۰۰۰		
	فیلتر کل خودرو در ۱۰ سال	۵,۸۹۵,۷۲۶	۵۰۶,۰۰۰	۲,۹۸۳,۲۳۷,۳۵۶,۰۰۰		
اختلاف قیمت فیلتر موردنیاز کشور در یک سال					۱۱۹,۸۱۰,۸۷۱,۰۰۰	
اختلاف قیمت فیلتر موردنیاز کشور در دَه سال					۱,۰۸۴,۸۱۳,۵۸۴,۰۰۰	

مطابق جدول ۷ مشاهده می‌شود علی‌رغم افزایش قیمت فیلتر نانویی نسبت به فیلتر غیرنانویی، به دلیل کارکرد ۱,۵ برابر فیلترهای نانویی در صورت اطلاع‌رسانی به کلیه رانندگان خودروهای سنگین سطح کشور و ایجاد فرهنگ استفاده از فناوری نانو و تبلیغات لازم و استفاده آن‌ها از فیلترهای هوای نانویی سالانه در حدود ۱۲۰ میلیارد تومان و در دَه سال بیش از یک تریلیارد تومان صرفه‌جویی می‌شود. در محاسبه این مبالغ از فیلترهای هوای مورداستفاده سازمان حمل‌ونقل درون‌شهری کل کشور (که مسافت طی شده توسط آن‌ها بسیار قابل‌توجه است)، کلیه مینی‌بوس‌ها و اتوبوس‌های شخصی مدارس، کارخانجات و سازمان‌ها و ارگان‌های دولتی و همچنین کلیه خودروهای سنگین که در سطح شهرها و فواصل بین‌شهری بدون بارنامه رفت‌وآمد می‌کنند و همچنین کلیه سفرهای اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌هایی که صورت‌وضعیت ندارند، به دلیل نبود آمار محاسبه نشده است که با احتساب این خودروها احتمالاً مقدار این مبالغ بیش از دو تا سه برابر شود. علاوه‌بر این موارد اگر آمار دقیقی از هزینه‌های غیرمستقیم شامل کاهش تعمیرات موتور، افزایش طول عمر کاتالیست اگزوز، افزایش سلامت و طول عمر روغن‌موتور و همچنین هزینه‌های ناشی از کاهش آلودگی هوا و اثرات زیان‌بار آن بر روی سلامت انسان‌ها و

هزینه‌های درمان مرتبط با آن نیز به این مبلغ اضافه شود شاید این مبلغ تا ده‌ها تریلیون تومان افزایش پیدا کند.
اگر فرض کنیم قیمت هر اتوبوس درون‌شهری ۲ میلیارد تومان باشد تنها با استفاده از فیلتر هوای نانویی توسط خودروهای سنگین سطح کشور و صرفه‌جویی ریالی مستقیم آن می‌توان در دَه سال ۶۰۰ اتوبوس بِین‌شهری به ناوگان حمل‌ونقل عمومی کشور اضافه کرد.
بنابراین استفاده از فیلترهای هوای نانویی به کلیه رانندگان خودروهای سنگین به‌ویژه آن دسته از رانندگان که در مناطق دارای ریزگرد و معادن مشغول به کار هستند و همچنین کلیه رانندگان اتوبوس‌های بِین‌شهری، مینی‌بوس‌های بِین‌شهری و درون‌شهری، کلیه شهرداری‌های سطح کشور، کلیه دارندگان ماشین‌آلات راه‌سازی و تمام خودروهای سنگین توصیه می‌شود.

شکل ۶- تنها با استفاده از فیلتر هوای نانویی توسط رانندگان خودروهای سنگین سطح کشور می‌توان هزینه خرید ۶۰۰ اتوبوس پیشرفته درون‌شهری را در دَه سال پرداخت کرد.

شرکت‌های ایرانی تولیدکننده فیلتر هوای نانوساختار

۱- شرکت تولیدی و صنعتی بهران فیلتر

نشانی: مشهد، کیلومتر ۱۵ جاده کلات نادر، شهرک صنعتی مشهد، خیابان تلاش شمالی، میدان کار، خیابان بیستم

شماره تماس: ۰۵۱۳۲۴۵۳۲۸۲

وبگاه: www.behranfilter.com

رایانامه: info@behranfilter.com

۲- شرکت آزاد فیلتر

نشانی: تهران، میرزای شمالی، کوچه ناهید، شمارهٔ ۵، طبقهٔ چهارم

تلفن: ۰۲۱۸۸۵۵۵۵۸۸

وبگاه: www.azadfilter.ir

رایانامه: info@azadfilter.ir

۳- شرکت نانوساختار مهرآسا

نشانی: اصفهان، کیلومتر ۳۹ بزرگراه اصفهان-تهران، شهرک صنعتی فناوری اصفهان، فرعی ۸

تلفن: ۰۳۱۱۹۵۰۲۲۸۲۳-۰۳۱۹۵۰۲۲۸۲۱

وبگاه: www.nanofilter.ir

رایانامه: info@nanofilter.ir

۴- فرانگار شرق (فردا فیلتر)

نشانی: شیراز، شهرک صنعتی بزرگ شیراز

تلفن: ۰۷۱۳۷۷۳۱۳۹۲-۰۷۱۳۷۷۳۱۳۹۴

وبگاه: fardafilter.ir

رایانامه: info@fardafilter.ir ،spiroozi@gmail.com

پی‌نوشت‌ها

۱ Air ionizer

۲ Average arrestance (Am) of synthetic dust

۳ Average efficiency (Em) of 0.4 µm particles

۴ ePM: efficiency Particulate Matter

۵ Slip flow effect

منابع

۱ سالنامه آماری سال ۱۴۰۰ www.rmto.ir

۲ California environmental protection agency- air cleaning devices for the home, California environmental protection agency air resources board. Retrieved 2016, 12-14.

۳ Wikipedia.org

۴ Patil, A., Halbe, V., and Vora, K., "A System Approach to Automotive Air Intake System Development," SAE Technical Paper 2005-26-011, 2005.

۵ Han-Bo Ronald Gan1, Noor Zafirah Abu Bakar1,a), Nur Fadzilah Shaikh Dawood2, Muhammad Adam Rosli"Design Improvements of an Automotive Air Intake System"AIP Conference Proceedings 2233, 020008 (2020)

۶ www.en-standard.eu

۷ www.iso.org

۸ سیده‌معصومه قاسمی‌نژاد لیچایی و همکاران، خواص و کاربردهای نانوالیاف الکتروریسی شده، مقالات سایت آموزش فناوری نانو.

۹ Al Mamnum et al"Electrospun Nanofiber Mats for Filtering Applications—Technology, Structure and Materials"Polymers 2021, 13(9), 1368.