

## بررسی عملکرد و خواص ریز ساختاری در تهیه مبدل کاتالیستی $\text{La}(\text{CO}, \text{Ce}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Pd})\text{O}_3$ بوسیله نانو ذرات تا کارکرد $20/000$ کیلومتر با استفاده از پمپ باد و مکش خلاء و مقایسه با مبدل‌های کاتالیستی ایران خودرو

ارسیا خان فکر<sup>۱</sup>، مرتضی امرونی حسینی<sup>۲</sup>، زیارت علی نعمتی<sup>۳</sup>، کاوه ارزانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۸۷/۶/۹

تاریخ پذیرش مقاله:

۸۷/۷/۱۵

### چکیده:

در این پروژه با حذف فلزات گرانبهای پلاتین و رودیم و تنها با استفاده از  $1/2$  گرم پالادیم، مبدل کاتالیستی Pd-La-Ce را با پروسه ساخت دستیابی به ساختار پروسکایت، برای خودرو دوگانه سوز روأ بوسیله پمپ باد و مکش خلاء تهیه گردید. پس از ساخت نمونه های اولیه در آزمایشگاه شرکت طراحی مهندسی و تهیه قطعات ایران خودرو (سایکو) و انجام تست‌های میزان آلاینده (AVL)، با مقایسه نتایج تست آلاینده های مبدل‌های کاتالیستی ساخته شده و مبدل‌های وارداتی همراه با فلزات گرانبها توسط شرکت ایران خودرو، درصد آلاینده‌ی بسیار کمتری در میزان گازهای سمی  $\text{HC}$ ،  $\text{NO}_x$  و  $\text{CO}$  در حالت گاز سوز در نتایج حاصل از استفاده از کاتالیست ساخته شده، مشاهده گردید. جهت بررسی نحوه عملکرد کاتالیست‌های ساخته شده، از نمونه‌های ساخته شده بوسیله پمپ باد و پمپ خلاء بعد از طی مسافت  $10/000$  و  $20/000$  کیلومتر نیز تست AVL در حالت گاز سوز گرفته شد که به مراتب نتایج نمونه ساخته شده بوسیله پمپ خلاء بهتر بود. جهت بررسی ریز ساختاری، در ابتدا نمونه مونولیت (پایه مبدل کاتالیستی جهت پوشش مواد) وارداتی جهت انجام آزمایشات، تصویر برداری SEM برای بررسی شکل، توزیع و اندازه‌ی تخلخل‌ها به آزمایشگاه متالورژی سایکو و همچنین آزمایش‌های BET برای اندازه‌گیری سطح ویژه، XRF جهت بررسی ترکیبات موجود و XRD برای بررسی فازهای موجود، به پژوهشکده مواد و انرژی کرج فرستاده شد. نمونه‌های نهایی مبدل کاتالیستی ساخته شده نیز جهت بررسی ریز ساختاری به مرکز پژوهش متالورژی رازی فرستاده شدند. تصاویر SEM جهت بررسی شکل، توزیع و اندازه تخلخل‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

### کلمات کلیدی:

مبدل کاتالیستی، مونولیت، خودرو دوگانه سوز، آلودگی هوا، پروسکایت.

arsia.khan@yahoo.com  
\*Corresponding author

(۱) دانشگاه علوم و تحقیقات، عضو باشگاه پژوهشگران جوان، کارشناس ارشد مهندسی مواد - سرامیک

(۲) مرکز تحقیقات مواد سایکو، دکترای شیمی فیزیک آلی  
(۳) دانشگاه صنعتی شریف، دکترای مهندسی مواد - سرامیک  
(۴) دانشگاه علوم و تحقیقات، دکترای میرالوژی صنعتی - سرامیک

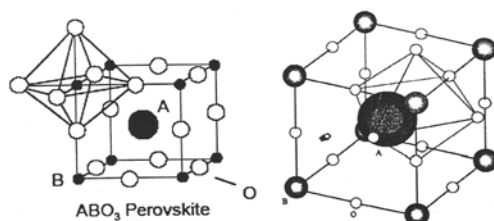
## مقدمه

طبق بررسی های آماری سهم خودروها در آلوده کردن هوا تقریباً ۶۰٪ و سایر آلاینده ها در جهان حدود ۴۰٪ می باشد. یکی از ابزارهای مفید به منظور نیل به کاهش انتشار آلاینده ها از خودروها، استفاده از مبدل کاتالیزوری است. اگر بخواهیم میزان مواد خروجی از اگزوز انواع خودروهایی که دارای مبدل کاتالیزوری هستند را با انواعی که فاقد آن هستند مقایسه کنیم، می بینیم که میزان هیدروکربن های مشتعل نشده در این موتورها  $\text{CO}$ ، انواع اکسید کربن  $\text{HC}$  و انواع اکسید ازت  $\text{NO}_x$  کاهش پیدا می کند [۱]. کاتالیست کنورتور قطعه ای متخلخل و به شکل استوانه در قسمت اگزوز خودرو می باشد، که در داخل سوراخ های آن لایه ای از مواد کاتالیزوری می نشانند. در حقیقت این مبدل ها، پروسورهای شیمیایی کوچکی هستند که در کاهش مواد آلاینده ناشی از احتراق موتورهای درونسوز، نقش زیادی ایفا می کنند. امروزه استفاده از کاتالیست هایی که به طور همزمان عمل تبدیل هر سه نوع آلاینده را انجام دهند، مد نظر است. به این نوع کاتالیست ها، سه راهه<sup>۱</sup> می گویند.

در سال ۱۹۷۲، Voorhoeve گزارش کرد، که اکسیدهای پروسکایت در تصفیه گازهای خروجی از اگزوز خودروها، فعالیت کاتالیستی قابل مقایسه با پلاتین پایه دار دارند [۲]. همچنین پروسکایت ها دارای خاصیت جذب و دفع اکسیژن می باشند، که در مبدل های سه راهه کمیت مهمی است. زیرا ذخیره سازی اکسیژن نقش مهمی در عملیات اکسیداسیون و احیاء تبدیلات گاز اگزوز دارد و دیگر درصد تبدیل نسبت به تغییرات اکسیژن در جریان گاز ورودی حساس نمی باشد [۳]. فعالیت کاتالیستی پروسکایت ها با ساختار  $A_xB_{(1-x)}O_3$ ، اغلب به طور شدیدتری با نوع و مقدار کاتیون های جایگزین شونده  $A'$  تغییر می کند. معمولاً یک مقدار بهینه  $x$  وجود دارد که بالاترین فعالیت کاتالیستی را می دهد، که مقدار آن به واکنشگری که اکسید می شود بستگی دارد. می توان اینگونه توجیه کرد که افزایش تحرک یون های اکسیدی با افزایش  $x$ ، انتقال اکسیژن را از بالک به سطح میسر می سازد. جایگزینی جزئی فلزات  $B'$  خارجی در سایت  $B$ ، همانند جایگزینی جزئی سایت  $A$ ، می تواند باعث ایجاد ساختمانی نقص دار که خواص کاتالیستی آن تغییر کرده است شود. به علاوه اغلب می توان اثر همسو و قدرتمندی را با اختلاط در جز سایت  $B$  که هر دو فعال کاتالیستی هستند، ایجاد نمود. این اثر همسو به این صورت تصور می شود که یک جزء باعث ارتقاء فعال سازی (جذب سطحی) و واکنشگر شده و جزء دیگر باعث ایجاد واکنش پذیری بالای اکسیژن شبکه می گردد. به عنوان مثال فعالیت  $\text{LaMn}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_3$  از فعالیت  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  و یا  $\text{LaMnO}_3$  در واکنش اکسیداسیون  $\text{CO}$  بیشتر است [۴]. در بعضی از مواقع ترکیبات پروسکایت را ترکیبات دمدی<sup>۲</sup> می نامند. به دلیل آنکه پروسکایت ها، ترکیباتی هستند که می توانند با جایگزینی جزئی، دارای خواص کاملاً متفاوتی گردند، که از این حیث می توان آنها را ترکیباتی با قابلیت انعطاف پذیری نسبتاً بالا قلمداد نمود [۵]. طبق تحقیقات انجام شده

1) Three-Way catalysts  
2) Chemical Chameleons

فعالیت پروسکایت‌های  $ABO_3$  بدون جایگزینی، بیشتر تحت تاثیر کاتیون سایت B می‌باشد تا کاتیون سایت A. به عنوان مثال، سرعت اکسیداسیون پروپان روی کاتالیست‌های  $LaCoO_3$  و  $LaFeO_3$  بسیار متفاوت است. [۶]. به نظر می‌رسد که پروسکایت‌ها با توجه به قیمت ارزان‌تر، سنتز راحت و پایداری حرارتی نسبتاً بالا، می‌توانند به جای فلزات گرانبهای پایه‌دار، برای تبدیل گازهای خروجی از آگزوز خودروها استفاده شوند. در سال ۱۹۷۱، Libby ادعا کرد که پروسکایت‌ها می‌توانند به عنوان کاتالیست در تبدیل گاز خروجی از اتومبیل‌ها به کار روند [۷]. در شکل شماره (۱) ساختار ایده‌آل شبکه پروسکایت قابل مشاهده می‌باشد [۸]:



شکل (۱): ساختار ایده‌آل شبکه پروسکایت [۸]

در حال حاضر در کشور کاتالیست‌های بکار رفته تنها برای خودروهای بنزین سوز می‌باشد که برای خودروهای گاز سوز نیز بکار می‌روند. با توجه به سیاست‌گذاری‌های اخیر کشور و تولید خودروهای دوگانه سوز و با توجه به گران بودن کاتالیست‌های خودروهای دوگانه سوز وارداتی، در این پروژه سعی کرده‌ایم، بوسیله امکانات و سرمایه گذاری بزرگترین شرکت خودرو سازی داخلی، به دانش ساخت کاتالیستی مناسب برای خودروهای دوگانه سوز برسیم. همچنین تلاش گردید تا از فلزات گران بها کاسته و با استفاده از ترکیبات پروسکایت، کاتالیستی ارزان تر و مناسب با درصد آلاینده‌گی کمتر تهیه نماییم.

### آزمایشات:

در ابتدا نمونه‌ی مونولیت (پایه کاتالیست) وارداتی جهت انجام یکسری آزمایشات لازم شامل، تصویر برداری میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> جهت بررسی شکل، توزیع و اندازه‌ی تخلخل‌ها به آزمایشگاه متالورژی ساپکو و همچنین آزمایش‌های اندازه گیری سطح ویژه<sup>۲</sup>، میکروسکوپ الکترونی تابشی<sup>۳</sup> جهت بررسی ترکیبات موجود و پراش اشعه ایکس<sup>۴</sup> برای بررسی فازها به پژوهشکده مواد و انرژی کرج فرستاده شد. سپس جهت ساخت مبدل کاتالیزوری و پوشش دهی آن بر روی پایه

- 1) SEM
- 1) BET
- 2) XRF
- 3) XRD

منولیتی، با توجه به سیاست ارزان سازی جهت حذف و یا کاهش فلزات گرانبهایی همچون پالادیم، پلاتین و رودیم اقدام به ساخت مبدل کاتالیستی بدون استفاده از فلزات گران بهای پلاتین و رودیم نمودیم. جهت ساخت نمونه کاتالیستی ۱ و ۲ مواد را طبق جدول شماره (۱) آماده کردیم.

جدول (۱): آنالیز مخلوط پروسکایت تهیه شده در نمونه‌های ساخته شده

شماره نمونه	آب مقطر (cc)	نیترات پالادیم (گرم)	کلرو آهن (گرم)	نیترات منگنز (گرم)	نیترات لاتانتیم (گرم)	نیترات کبالت (گرم)	نیترات سریم (گرم)	هیدروکسید آلومینم (گرم)
۲	۱۵۰	۱/۲	۴/۰۰	۳۹/۷۵	۱۲/۳۴	۳/۵	۲۵	۵۴/۴

پس از وزن کردن و جدا سازی پودرهای مورد نظر، آنها را به ترتیب در یک بشر پلاستیکی به همراه ۱۵۰ cc آب مقطر ریخته و در زیر همزن الکتریکی با دور ۴۰۰ دور در دقیقه به مدت سه ساعت قرار دادیم، تا مواد به خوبی حل گردیده و سوسپانسیون یکدستی تهیه گردد. همچنین به میزان ۱۰٪ وزنی مواد اسید سیتریک اضافه گردید تا از واکنش مواد با یکدیگر اطمینان حاصل گردد. در طول مدت همزدن مواد PH محلول اندازه گیری شد، و جهت رسیدن به PH مناسب، به محلول فوق بوسيله پیت ۸cc اسید کلریدریک اضافه کردیم و PH را از ۶/۶ به ۳/۲۰ رساندیم. سپس از دو منولیت استوانه‌ای شکل با قطر خارجی ۱۲، قطر داخلی ۸ و ارتفاع ۵ سانتی متر جهت پوشش دهی در خودرو روأ استفاده کردیم. دیپ کردن منولیت‌ها در محلول فوق بمدت ۲ دقیقه صورت گرفت و محلول واش کت را در سوراخ‌های منولیت (cpsi ۴۰۰) وارد کردیم. سپس مواد را در نمونه شماره ۱ بوسيله جریان هوای ناشی از پمپ باد و نمونه شماره ۲ را بوسيله مکش خلاء بطور یکنواخت پخش کرده و سوراخ‌های گرفته شده را باز کردیم، تا کلیه سلول‌های منولیت‌های سرامیکی جهت بازدهی بیشتر باز شوند. حال به مدت ۱۵ دقیقه تحت جریان هوا در آن ۱۳۴ درجه سانتی گراد منولیت حاصل را خشک میکنیم. این امر را ۱۲ بار تکرار کردیم تا کلیه محلول واش کت را به درون منولیت‌ها وارد کنیم. پس از خشک شدن، منولیت‌ها را به درون کوره انتقال داده و درجه حرارت را با سرعت ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه به ۷۶۰ درجه سانتی گراد رساندیم و به مدت ۳ ساعت آنرا در این دما نگهداری کردیم تا نمک‌های بکار رفته کلسینه شوند. سپس به آرامی درجه حرارت کوره را به ۵۰ درجه سانتی گراد (بمدت ۵ ساعت) رساندیم. افزایش وزن منولیت قبل و بعد از پوشش دهی بوسيله واش کت به میزان ۳۷-۳۵ گرم برای هر منولیت صورت گرفت. جهت کینینگ منولیت حاصل، بجای استفاده از پوشش مت خارجی از پوشش مت تهیه شده در ایران استفاده گردید. (پوشش شرکت تارابگین) و سپس در کارگاه شرکت ساپکو، منولیت را درون پوشش فلزی مناسب قرار دادیم. سپس نمونه آماده شده را پس از اتصال به لوله آگزوز خودرو روأ بر زیر خودرو دوگانه سوز روأ نصب شد. در نهایت آلاینده‌های حاصل از احتراق خودرو بوسيله دستگاه AVL شرکت ساپکو اندازه گیری شد. پس از اعمال پوشش در پایان جهت آزمایشات SEM و بررسی ریز ساختاری نمونه‌ها به پژوهشگاه رازی فرستاده شد، که در قسمت نتایج به بررسی آنها پرداخته ایم.

## نتایج

جهت دسته بندی مناسب نتایج، ابتدا به بحث و بررسی نتایج حاصل از تست AVL و میزان آلاینده‌های ناشی از احتراق خودرو که هدف اصلی این پروژه می‌باشد، می‌پردازیم. سپس به بررسی بیشتر ریز ساختاری نمونه‌های اصلی و

بحث و بررسی آزمایشات SEM انجام شده بر روی آنها می‌پردازیم. نتایج AVL حاصل از نمونه ساخته شده بر روی منولیت‌های خودروی رآ در دو حالت موتور سرد (بلافاصله پس از استارت) و موتور گرم (پس از ۱۵ دقیقه کارکرد خودرو) در حالت گازسوز در جدول (۳) و در حالت بنزین سوز در جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۳): نتایج حاصل از تست AVL نمونه های شماره ۱، ۲ و نمونه ایران خودرو در حالت گاز سوز برحسب درصد گاز خروجی در دو حالت موتور سرد (بلافاصله پس از استارت) و موتور گرم (پس از ۱۵ دقیقه کارکرد خودرو)

نمونه	نمونه ۱ در حالت سرد	نمونه ۲ در حالت گرم	نمونه ۲ در حالت سرد	نمونه ایران خودرو در حالت گرم	نمونه ایران خودرو در حالت سرد	درصد خروجی
λ	۱/۰۲۵	۱/۰۲۲	۱/۰۳۳	۱/۰۲۴	۱/۰۳۹	λ
CO	-/۳۴	-/۲۶	-/۴۸	-/۳۶	-/۵۱	CO
CO <sub>2</sub>	۱۲/۲	۱۲/۱	۱۲/۰	۱۱/۹	۱۱/۸	CO <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	-/۷۱	-/۶۸	-/۸۳	-/۸۲	-/۹۹	O <sub>2</sub>
HC	۶۳	۵۸	۶۸	۶۴	۷۱	HC
NO <sub>x</sub>	۲۶	۲۱	۲۷	۲۲	۲۹	NO <sub>x</sub>

جدول (۴): نتایج حاصل از تست AVL نمونه های شماره ۱، ۲ و نمونه ایران خودرو در حالت بنزین سوز برحسب درصد گاز خروجی در دو حالت موتور سرد (بلافاصله پس از استارت) و موتور گرم (پس از ۱۵ دقیقه کارکرد خودرو)

نمونه	نمونه ۱ در حالت سرد	نمونه ۲ در حالت گرم	نمونه ۲ در حالت سرد	نمونه ایران خودرو در حالت گرم	نمونه ایران خودرو در حالت سرد	درصد خروجی
λ	۱/۰۱۶	۱/۰۱۳	۱/۰۱۵	۱/۰۱۵	۱/۰۱۶	λ
CO	-/۵۴	-/۴۴	-/۵۶	-/۴۵	-/۵۶	CO
CO <sub>2</sub>	۱۵/۱	۱۵/۴	۱۵/۲	۱۵/۴	۱۵/۱	CO <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	-/۵۴	-/۵۴	-/۵۶	-/۵۵	-/۵۸	O <sub>2</sub>
HC	۵۲	۵۲	۵۳	۵۱	۵۳	HC
NO <sub>x</sub>	۲۴	۲۳	۲۷	۲۲	۲۴	NO <sub>x</sub>

نتایج حاصل از آلاینده‌گی در نمونه ساخته شده و نمونه مبدل کاتالیستی ایران خودرو، در حالت گازسوز تفاوت چشم گیری را دارا می‌باشد و در حالت بنزین سوز نتایج بسیار نزدیک به هم می‌باشد. بدین منظور جهت بررسی راحت تر و با توجه به نگاه ویژه این پروژه به ساخت مبدل کاتالیستی برای خودروها در حالت گازسوز، تنها به مقایسه و بررسی بیشتر نتایج در نمودارهای مختلف در حالت گازسوز می‌پردازیم.

جهت بررسی نحوه عملکرد کاتالیست‌های ساخته شده، از نمونه شماره ۱ و ۲ بعد از طی مسافت ۱۰/۰۰۰ و ۲۰/۰۰۰ کیلومتر نیز تست AVL در حالت گاز سوز گرفته شد، که نتایج آن ها در جدول (۵) و جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۵): نتایج تست AVL نمونه شماره ۱ و ۲ در حالت گاز سوز پس از طی مسافت ۱۰/۰۰۰ کیلومتر

نمونه ۲ در حالت گرم	نمونه ۲ در حالت سرد	نمونه ۱ در حالت گرم	نمونه ۱ در حالت سرد	درصد خروجی
۱/۰۲۱	۱/۰۲۷	۱/۰۲۳	۱/۰۳۶	$\lambda$
۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۵۱	CO
۱۲/۴	۱۲/۲	۱۲/۱	۱۱/۹	CO <sub>2</sub>
۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۸۶	O <sub>2</sub>
۵۵	۶۶	۶۳	۷۰	HC
۲۱	۲۷	۲۳	۲۹	NO <sub>x</sub>

عق/قق

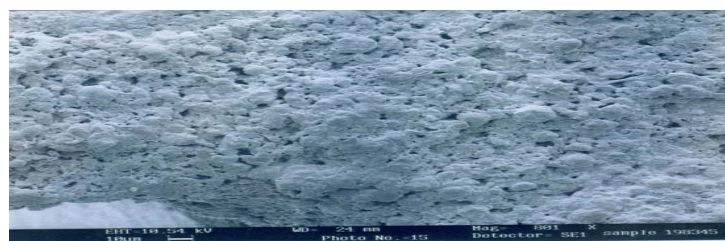
جدول (۶): نتایج تست AVL نمونه شماره ۱ و ۲ در حالت گاز سوز پس از طی مسافت ۲۰/۰۰۰ کیلومتر

نمونه ۲ در حالت گرم	نمونه ۲ در حالت سرد	نمونه ۱ در حالت گرم	نمونه ۱ در حالت سرد	درصد خروجی
۱/۰۲۲	۱/۰۲۷	۱/۰۲۵	۱/۰۴۳	$\lambda$
۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۵۸	CO
۱۲/۲	۱۲/۰	۱۱/۵	۱۱/۱	CO <sub>2</sub>
۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۹۵	O <sub>2</sub>
۵۷	۶۸	۶۹	۷۵	HC
۲۲	۲۷	۲۵	۳۱	NO <sub>x</sub>

میزان آلاینده‌گی پس از طی مسافت ۲۰/۰۰۰ کیلومتر در نمونه شماره ۲ تغییر چندانی نکرده است، ولی نمونه شماره ۱ تغییرات زیادی داشته و شاهد افزایش میزان آلاینده‌ها می‌باشیم. می‌توان علت این امر را پوشش دهی بهتر مواد بر روی پایه کاتالیست توسط پمپ خلاء فرض کرد، که این امر در بررسی عکس‌های حاصل از SEM قابل مشاهده است. آنالیز XRD به عمل آمده از پایه کاتالیستی پوشش داده نشده، نشان می‌دهد که فاز اصلی موجود، فاز کوردیریت با فرمول  $2Al_2O_3 \cdot 2MgO \cdot 5SiO_2$  می‌باشد و هیچ اثری از پیک فازهای فرعی دیده نمی‌شود. از این مسئله می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فازهای فرعی پرکننده ما بین فازهای اصلی (کوردیریت) آمورف بوده و در نتیجه در آنالیز مشخص نشده است (به این دلیل که مواد با ساختار آمورف در آنالیز اشعه X پیک مشخصه‌ای از خود ندارند). با توجه به ترکیبات موجود فاز فرعی آمورف ایجاد شده فاز مولایت می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز XRF نیز فاز  $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$  را نشان داد، که تاییدی بر صحت نتیجه حاصل از آنالیز XRD می‌باشد. همچنین آزمایش BET بر روی پایه کاتالیست مرجع (وارداتی) صورت گرفت که بر اساس آن سطح ویژه ای برابر با  $23/5555 \text{ q.m/gr}$  که مناسب برای لایه نشانی می‌باشد اندازه‌گیری شد. تصاویر SEM گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در آزمایشگاه متالوگرافی ساپکو با بزرگنمایی مختلف در شکل (۵) و (۶) به خوبی نمایانگر توزیع، شکل و اندازه‌ی تخلخل‌ها در نمونه‌ی مونولیت کوردیریتی می‌باشد. از این تصاویر در می‌یابیم که تخلخل‌های ساختاری غیر کروی و با اندازه‌ی میانگین  $3 \mu\text{m}$  و توزیع تصادفی و تقریباً یکنواخت می‌باشند. همچنین اندازه‌ی بزرگترین تخلخل‌ها  $7 \mu\text{m}$  و ریزترین آنها حدود  $0/5 \mu\text{m}$  می‌باشد.

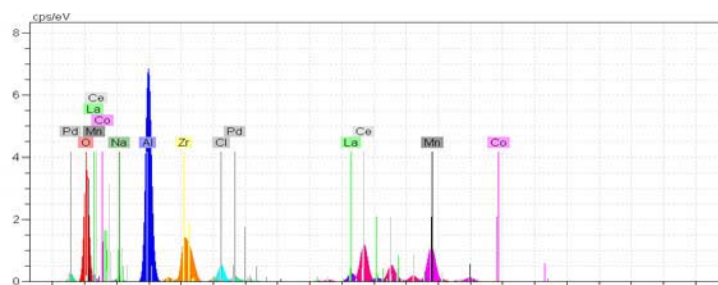


شکل(۵): تصویر تقاطع دو دیواره‌ی مونولیت لانه زنبوری با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر



شکل(۶): تصویر تقاطع دو دیواره‌ی مونولیت لانه زنبوری با بزرگنمایی ۸۰۰ برابر

نتایج آنالیز عنصری EDX از نمونه شماره ۱ و ۲ در شکل (۷) و (۸) آورده شده است.

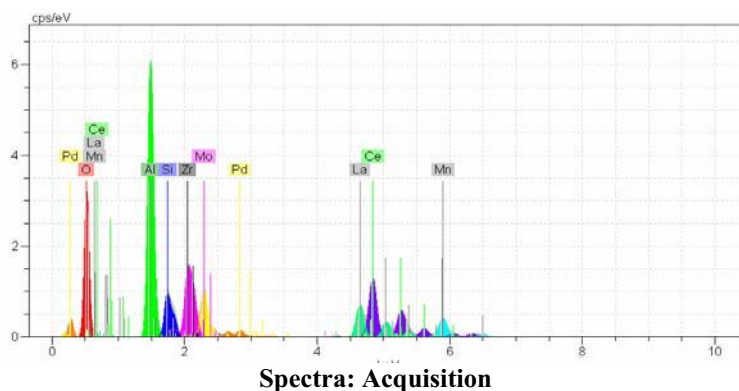


Spectra: Acquisition

Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]
Oxygen	K series	27.89	30.54	60.39
Sodium	K series	0.48	0.53	0.72
Aluminium	K series	15.36	16.81	19.71
Chlorine	K series	1.59	1.74	1.55
Manganese	K series	12.40	13.57	7.82
Cobalt	K series	0.05	0.06	0.03
Zirconium	L series	10.49	11.48	3.98
Palladium	L series	1.00	1.09	0.33
Lanthanum	L series	3.64	3.99	0.91
Cerium	L series	18.44	20.19	4.56

Total: 91.3 %

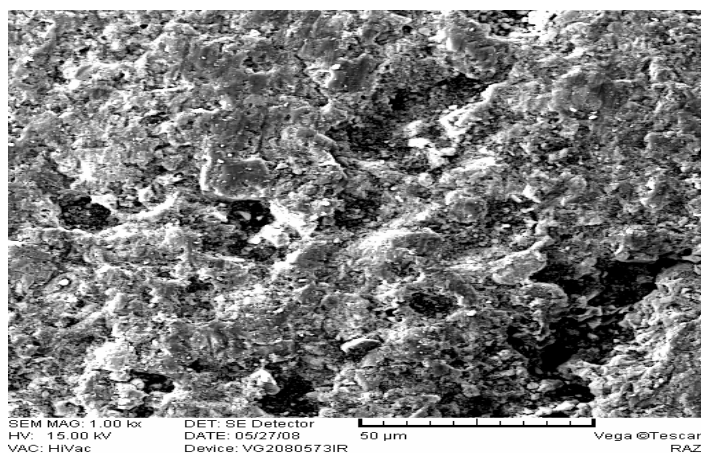
شکل (۷): آنالیز عنصری EDX از نمونه شماره ۱



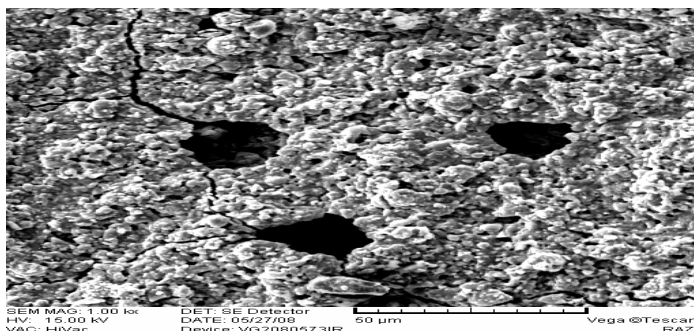
Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]
Oxygen	K series	26.38	30.63	62.94
Aluminium	K series	12.34	14.33	17.46
Silicon	K series	2.66	3.09	3.62
Manganese	K series	3.87	4.50	2.69
Zirconium	L series	9.69	11.25	4.06
Molybdenum	L series	4.79	5.56	1.91
Palladium	L series	1.40	1.63	0.50
Lanthanum	L series	8.29	9.63	2.28
Cerium	L series	16.69	19.39	4.55
Total:		86.1 %		

شکل (۸): آنالیز عنصری EDX از نمونه شماره ۲

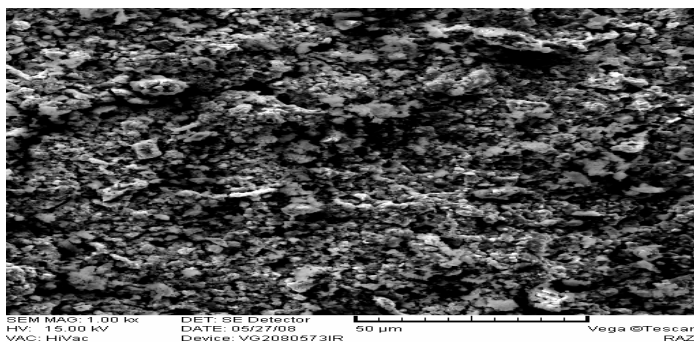
تصاویر SEM نمونه شماره ۱ که در پروسه ساخت آن از فشار باد استفاده گردید و نمونه شماره ۲ ساخته شده بوسیله پمپ خلاء در شکل‌های (۹)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) قابل مشاهده است.



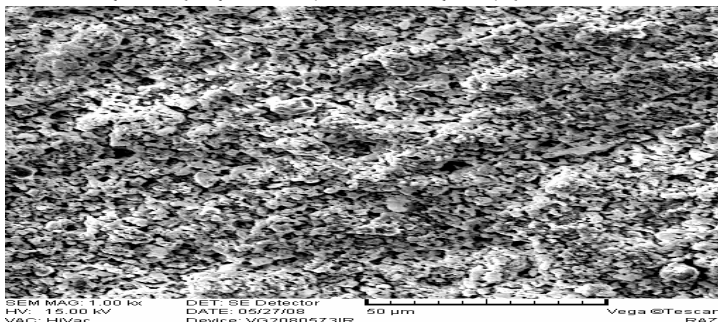
شکل (۹): تصویر SEM گرفته شده از نمونه شماره ۱



شکل (۱۰): تصویر شماره ۲، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۱

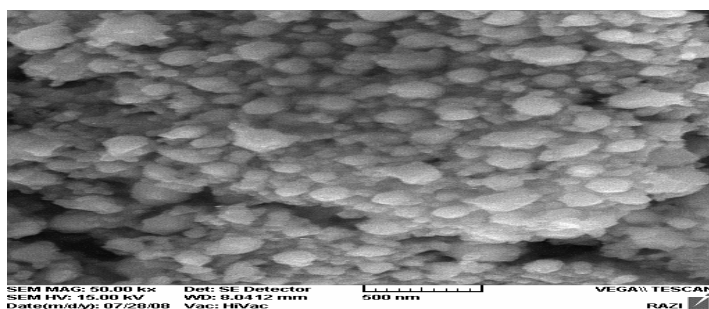


شکل (۱۱): تصویر شماره ۱، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۲

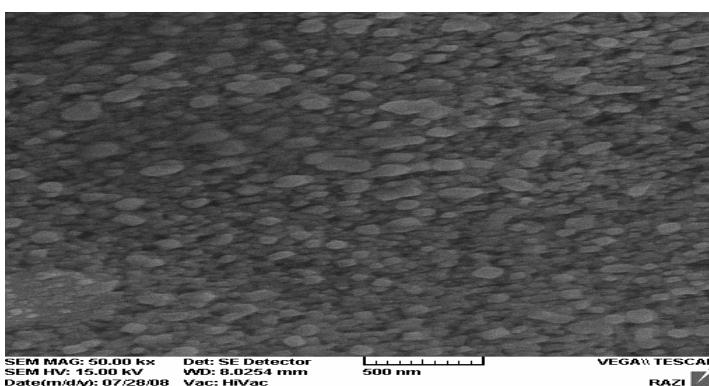


شکل (۱۲): تصویر شماره ۲، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۲

همانگونه که مشاهده می شود، نمونه شماره ۱ دارای پوششی غیر یکنواخت تر به همراه تخلخل‌هایی با اندازه ۱ تا ۲۵ میکرومتر می‌باشد. همچنین در قسمت‌هایی پوشش دچار ترک شده است که می‌تواند به دلیل خشک شدن سریع لایه بیرونی در تماس با جریان غیر یکنواخت باد باشد. در نمونه شماره ۲ که بدون استفاده از جریان باد و بوسیله مکش پمپ خلاء ایجاد شده است، شاهد پوشش دهی بسیار یکنواخت تر با تخلخل‌های کمتر و بسیار ریزی از ۰/۵ تا ۱۰ میکرومتر هستیم. در بررسی تصاویر SEM نمونه های شماره ۱ و ۲ در بزرگنمایی بیشتر، شاهد رسیدن به ذرات با ابعاد ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر در نمونه شماره ۱ در شکل (۱۳) و ذرات با ابعاد ۵۰ تا ۲۵۰ نانومتر در نمونه شماره ۲ در شکل (۱۴) هستیم.

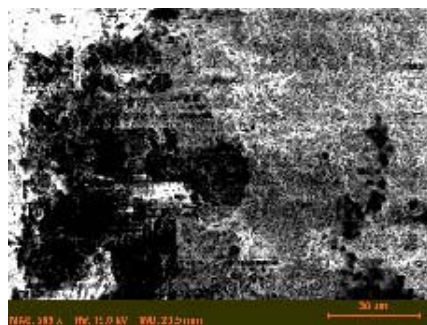
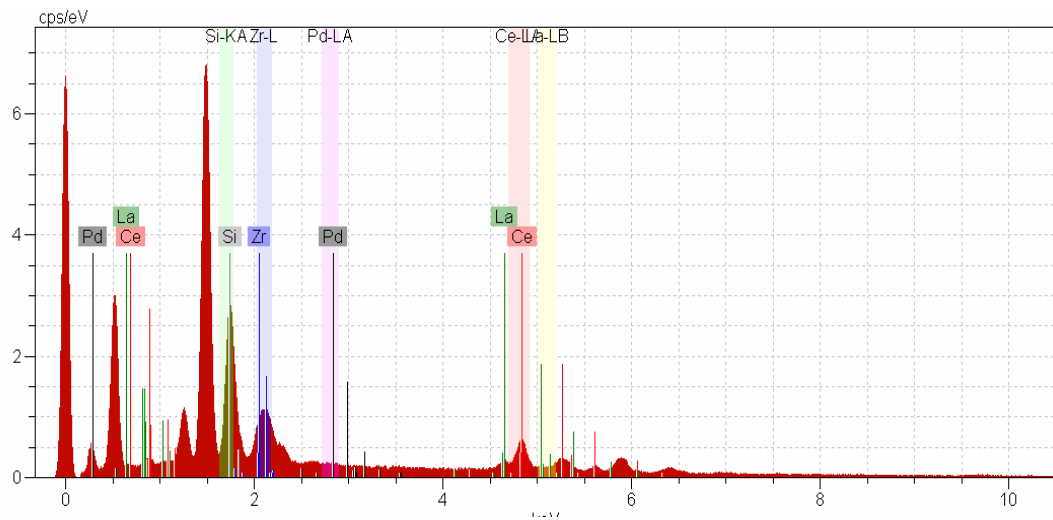


شکل(۱۳): تصویر شماره ۳، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۱

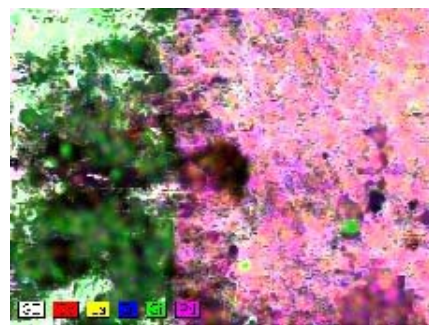


شکل(۱۴): تصویر شماره ۳، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۲

همچنین به بررسی لایه بافر تشکیل شده ما بین بدنه و پوشش پرداخته‌ایم. با توجه به نمودارهای MAP در شکل-های (۱۵) و (۱۶) می‌توان نتیجه گرفت که نفوذ از بدنه به پوشش و از پوشش به بدنه صورت گرفته است. میزان این نفوذ در نمونه شماره ۲ به مراتب بیشتر از نمونه شماره ۱ می‌باشد و چسبندگی پوشش و بدنه در نمونه شماره ۲ بیشتر است که سبب کارکرد بهتر و طول عمر بیشتر مبدل کاتالیستی، اندازه ذرات ریزتر، پخش شدن ذرات بصورت یکنواخت تر در سطح منولیت، پوشش‌دهی بهتر مواد بدون وجود میکرو ترک‌ها در بدنه پوشش، نفوذ بهتر مواد پوشش به بدنه و بلعکس و وجود تخلل‌های کمتر و ریزتر در پوشش گردیده است. این امر به خوبی در نتایج تست آلاینده‌گی پس از ۲۰/۰۰۰ کیلومتر بر روی خودرو مشاهده گردید. پس در ساخت کاتالیست استفاده از باد به هیچ عنوان پیشنهاد نمی‌شود. با توجه به دیاگرام‌های دو فازی میان عناصر سازنده کوردريت و عناصر بکار رفته در پوشش، کلیه فازها در زیر ۷۶۰ درجه سانتی گراد اکثراً بصورت محلول جامد هستند و با توجه به قوانین Hume-Rothery (یعنی ساختار بلوری مشابه - اختلاف شعاع اتمی کمتر از ۱۵٪ - تمایل ترکیبی عناصر و دور بودن آنها از یکدیگر در جدول تناوبی - ظرفیت اتمی متفاوت) به احتمال زیاد نفوذ از طریق تشکیل محلول جامد جانشینی صورت گرفته است. احتمال تشکیل محلول جامد بین‌نشین به دلیل عدم وجود عناصر کوچک در پوشش و بدنه بسیار کم می‌باشد.



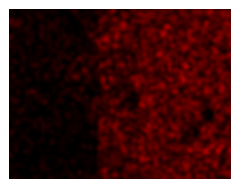
SEM image



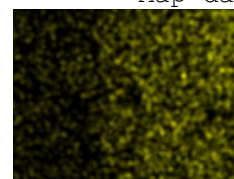
Map data



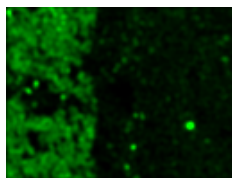
SE



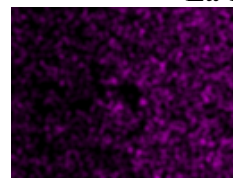
Ce-LA



La-LB

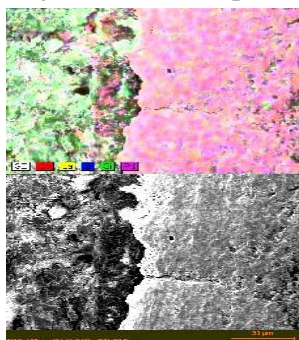
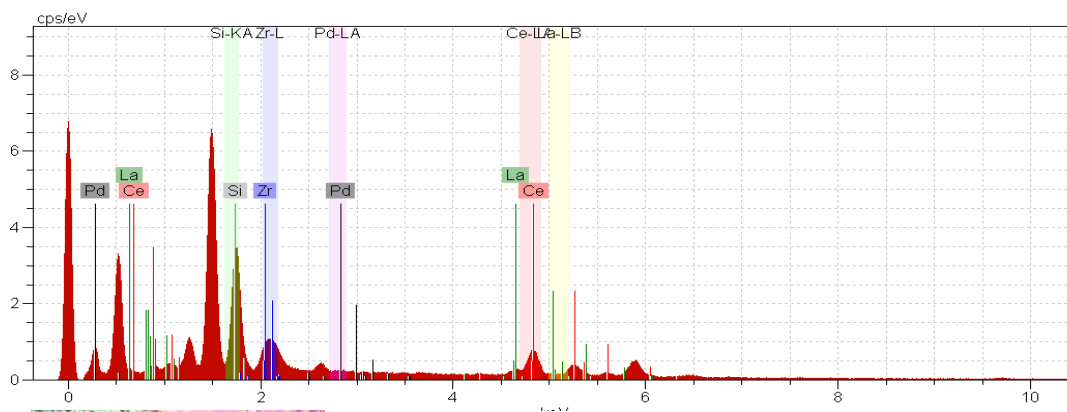


Si-KA



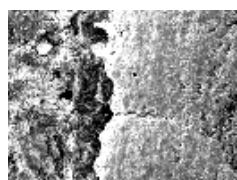
Pd-LA

شکل (۶-۲۸): تصویر MAP گرفته شده از نمونه شماره ۱

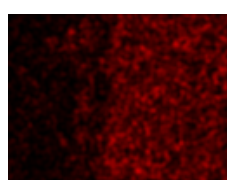


Map data

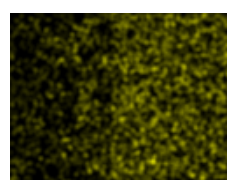
SEM image



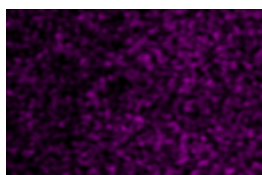
SE



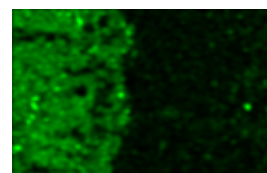
Ce-LA



La-LB



Si-KA



Pd-LA

شکل (۱۰): تصویر MAP گرفته شده از پوشش نمونه ۲



## منابع

- [۱] ارزانی کاوه، امرونی حسینی مرتضی، ۱۳۸۴، طراحی و ساخت نمونه مبدل کاتالیزوری پایه سرامیکی برای خودرو، مرکز تحقیقات مواد سایکو
- [2] Teraoka, Y., Zhang, H. M., Yamazoe, N., (1998). 9<sup>th</sup> Internat. Congr. Catal. Calgary, 10-22.
- [3] Masui, T., Ozaki, T., Machida, K., Adachi, G., (2000) " Preparation of ceria-zirconia subcatalysts for automotive exhaust cleaning", J. Alloys and Compounds, 303-304.
- [4] V.G. Milt, C.A. Querini, E.E. Miró, and M.A. Ulla , 220 (2003) ," Abatement of diesel exhaust pollutants: NO<sub>x</sub> adsorption on Co,Ba,K/CeO<sub>2</sub> catalysts", Journal of Catalysis 424–432.
- [5] Nitin K. Labhsetwar a,b, A. Watanabe b, R.B. Biniwale a, R. Kumara, T. Mitsunashi b,(2001), " Alumina supported, perovskite oxide based catalytic materials and their auto-exhaust application", Applied Catalysis B: Environmental 165–173.
- [6] Jen, H. W., Graham, G. W., Chun, W. McCabe, R. W., Cuif, J. P., Deutsch, S. E., Touret, O., (1999) ,"Characterization of model automotive exhaust catalysts : Pd on ceria-zirconia supports", Catal. Today, 50 - 309.
- [7] Teraoka, Y., Zhang, H. M., Yamazoe, N., (1998), 9<sup>th</sup> Internat. Congr. Catal. Calgary, , 1984.
- [8] Nitin K. Labhsetwar a,b, A. Watanabe b, R.B. Biniwale a, R. Kumara, T. Mitsunashi b, (2001) " Alumina supported, perovskite oxide based catalytic materials and their auto-exhaust application", Applied Catalysis B: Environmental 33 ,165–173.