بررسی عملکرد و خواص ریز ساختاری در تهیه مبدل کاتالیستی La(CO, Ce, Mn, Fe, Pd)O3 بوسیله نانو ذرات تا کارکرد ۲۰/۰۰۰ کیلومتر با استفاده از پمپ باد و مکش خلاء و مقایسه با مبدل‌های کاتالیستی ایران خودرو

ارسیا خان فکر*[۱]، مرتضی امرونی حسینی[۲]، زیارت علی نعمتی[۳]، کاوه ارزانی[۴]

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 ۱/۲ گرم پالادیم، مبدل کاتالیستی Pd-La-Ce را با پروسه ساخت دستیابی به ساختار پروسکایت، برای خودرو دوگانه سوز روآ بوسیله پمپ باد و مکش خلاء تهیه گردید. پس از ساخت نمونه های اولیه در آزمایشگاه شرکت طراحی مهندسی و تهیه قطعات ایران خودرو (ساپکو) و انجام تست‌های میزان آلایندگی (AVL)، با مقایسه نتایج تست آلایندگی مبدل‌های کاتالیستی ساخته شده و مبدل‌های وارداتی همراه با فلزات گرانبها توسط شرکت ایران خودرو، درصد آلایندگی بسیار کمتری در میزان گازهای سمی HC،NOx و 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 ۱۰/۰۰۰ و ۲۰/۰۰۰ 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 ساپکو 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 نیزجهت بررسی ریز ساختاری به مرکز پژوهش متالوژی رازی فرستاده شدند. تصاویرSEM جهت بررسی شکل، توزیع و اندازه تخلخل ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی:
مبـــدل کاتالیـــستی، منولیـــت، خودرو دوگانه سوز، آلودگی هوا، پروسکایت.

۱) دانشگاه علوم و تحقیقات، عضو باشگاه پژوهشگران جوان، کارشناس ارشد مهندسی مواد ـ سرامیک
arsia Khan@yahoo.com
*Corresponding author
۲) مرکز تحقیقات مواد ساپکو ، دکترای شیمی فیزیک آلی
۳) دانشگاه صنعتی شریف ، دکترای مهندسی مواد ـ سرامیک
h) دانشگاه علوم و تحقیقات، دکترای میرالوژی صنعتی ـ سرامیک

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

مقدمه

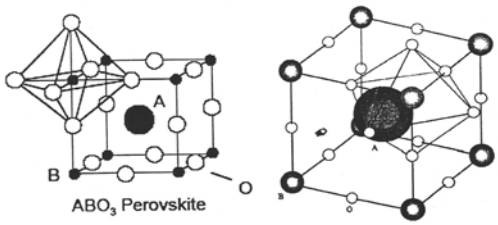
طبق بررسی های آماری سهم خودروها در آلوده کردن هوا تقریباً ۶۰٪ و سایر آلاینده‌ها در جهان حدود ۴۰٪ می‌باشد. یکی از ابزارهای مفید به منظور نیل به کاهش انتشار آلاینده‌ها از خودروها، استفاده از مبدل کاتالیزوری است. اگر بخواهیم میزان مواد خروجی از اگزوز انواع خودروهایی که دارای مبدل کاتالیزوری هستند را با انواعی که فاقد آن هستند مقایسه کنیم، می‌بینیم که میزان هیدروکربن‌های مشتعل نشده در این موتورها ۹۷ٔ، انواع اکسید کربن ۹۶ٔ و انواع اکسید ازت ۹۵ٔ کاهش پیدا می کند[۱]. کاتالیست کنورتور قطعه‌ای متخلخل و به شکل استوانه در قسمت اگزوز خودرو می‌باشد، که در داخل سوراخ‌های آن لایه‌ای از مواد کاتالیزوری می‌نشانند. در حقیقت این مبدل‌ها، پروسسورهای شیمیایی کوچکی هستند که در کاهش مواد آلاینده ناشی از احتراق موتورهای درونسوز، نقش زیادی ایفا می‌کنند. امروزه استفاده از کاتالیست‌هایی که به طور همزمان عمل تبدیل هر سه نوع آلاینده را انجام دهند، مد نظر است. به این نوع کاتالیست ها، سه راهه[1] می‌گویند.

در سال ۱۹۷۲، Voorhoeve گزارش کرد، که اکسیدهای پروسکایت در تصفیه گازهای خروجی از اگزوز خودروها، فعالیت کاتالیستی قابل مقایسه با پلاتین پایه‌دار دارند[۲]. همچنین پروسکایت‌ها دارای خاصیت جذب و دفع اکسیژن می‌باشند، که در مبدل‌های سه راهه کمیت مهمی است. زیرا ذخیره‌سازی 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 نمی‌باشد[۳]. فعالیت کاتالیستی پروسکایت‌ها با ساختار $A_XB_{(1-X)}O_3$، اغلب به طور شدیدتری با نوع و مقدار کاتیون‌های جایگزین شونده A' تغییر می‌کند. معمولاً یک مقدار بهینه x وجود دارد که بالاترین فعالیت کاتالیستی را می‌دهد، که مقدار آن به واکنشگری که اکسید می‌شود بستگی دارد. می‌توان اینگونه توجیه کرد که افزایش تحرک یون‌های اکسیدی با افزایش x، انتقال اکسیژن را از بالک به سطح میسر می‌سازد. جایگزینی جزئی فلزات B' خارجی در سایت B، همانند جایگزینی جزئی سایت A، می‌تواند باعث ایجاد ساختمانی نقص‌دار که خواص کاتالیستی آن تغییر کرده است شود. به علاوه اغلب می‌توان 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 می‌شود که یک جزء باعث ارتقاء فعال‌سازی (جذب سطحی) واکنشگر شده و جزء دیگر باعث ایجاد واکنش‌پذیری بالای اکسیژن شبکه می‌گردد. به عنوان مثال فعالیت $LaMn_{0.6}Cu_{0.4}O_3$ ازفعالیت La_2CuO_4 و یا $LaMnO_3$ در واکنش اکسیداسیون CO بیشتراست[۴]. در بعضی از مواقع ترکیبات پروسکایت را ترکیبات دمدمی[2] می‌نامند. به دلیل آنکه پروسکایت‌ها، ترکیباتی هستند که می‌توانند با جایگزینی جزئی، دارای خواص کاملاً متفاوتی گردند، که از این حیث می‌توان آنها را ترکیباتی با قابلیت انعطاف‌پذیری نسبتاً بالا قلمداد نمود [۵]. طبق تحقیقات انجام شده

1) Three-Way catalysts
2) Chemical Chameleons

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

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 اگزوز 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 می باشد[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 سیاست‌گذاری های 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 آلایندگی کمتر تهیه نماییم.

آزمایشات:

در ابتدا نمونه‌ی مونولیت(پایه کاتالیست) وارداتی جهت انجام یکسری آزمایشات لازم شامل، تصویر برداری میکروسکوپ الکترونی روبشی[۱] جهت بررسی شکل، توزیع و اندازه‌ی تخلخل‌ها به آزمایشگاه متالورژی ساپکو وهمچنین آزمایش‌های اندازه گیری سطح ویژه[۲]، میکروسکوپ الکترونی تابشی[۳] جهت بررسی ترکیبات موجود و پراش اشعه ایکس[۴] برای بررسی فازها به پژهشکده 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

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 لانتانیم(گرم)	نیترات کبالت(گرم)	نیترات سریم(گرم)	هیدروکسید آلومنیم(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 cc ۱۵۰ 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 بوسیله پیپت 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 روآ استفاده کردیم. دیپ کردن منولیت‌ها در محلول فوق بمدت ۲ دقیقه صورت گرفت و محلول واش کت را در سوراخ های منولیت (cpsi ۴۰۰) وارد کردیم. سپس مواد را در نمونه شماره ۱ بوسیله جریان هوای ناشی از پمپ باد و نمونه شماره ۲ را بوسیله مکش خلاء بطور یکنواخت پخش کرده و سوراخ‌های گرفته شده را باز کردیم، تا کلیه سلول‌های منولیت سرامیکی جهت بازدهی بیشتر باز شوند. حال به مدت ۱۵ دقیقه تحت جریان هوا در آون 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 بوسیله واش کت به میزان ۳۵-۳۷ گرم برای هر منولیت صورت گرفت. جهت کنینگ 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 اگزوز خودرو روآ بر زیر خودرو دوگانه سوز روآ نصب شد. در نهایت آلاینده‌های حاصل از احتراق خودرو بوسیله دستگاه AVL شرکت ساپکو اندازه گیری شد. پس از اعمال پوشش در پایان جهت آزمایشات SEM و بررسی ریز ساختاری نمونه ها 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

بحث و بررسی آزمایشات SEM انجام شده بر روی آنها می‌پردازیم. نتایج AVL حاصل از نمونه ساخته شده بر روی منولیت‌های خودروی رواَ در دو حالت موتور سرد (بلافاصله پس از استارت) و موتورگرم (پس از ۱۵ دقیقه کارکرد خودرو) در حالت گازسوز درجدول (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 موتورگرم (پس از ۱۵ دقیقه کارکرد خودرو)

درصد خروجی	نمونه ایران خودرو در حالت سرد	نمونه ایران خودرو در حالت گرم	نمونه ۲درحالت سرد	نمونه ۲درحالت گرم	نمونه ۱درحالت سرد	نمونه ۱درحالت گرم
λ	۱/۰۳۹	۱/۰۲۴	۱/۰۳۳	۱/۰۲۲	۱/۰۲۵	۱/۰۱۹
CO	۰/۵۱	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۱۸
CO_2	۱۱/۸	۱۱/۹	۱۲/۰	۱۲/۱	۱۲/۲	۱۲/۶
O_2	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۵۵
HC	۷۱	۶۴	۶۸	۵۸	۶۳	۵۲
NOx	۲۹	۲۲	۲۷	۲۱	۲۶	۱۹

جدول (٤): 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 موتورگرم (پس از ۱۵ دقیقه کارکرد خودرو)

درصد خروجی	نمونه ایران خودرو در حالت سرد	نمونه ایران خودرو در حالت گرم	نمونه ۲درحالت سرد	نمونه ۲درحالت گرم	نمونه ۱درحالت سرد	نمونه ۱درحالت گرم
λ	۱/۰۱۶	۱/۰۱۵	۱/۰۱۵	۱/۰۱۳	۱/۰۱۶	۱/۰۱۵
CO	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۵۴	۰/۴۳
CO_2	۱۵/۱	۱۵/۴	۱۵/۲	۱۵/۴	۱۵/۱	۱۵/۴
O_2	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۳
HC	۵۳	۵۱	۵۳	۵۲	۵۲	۵۱
NOx	۲۴	۲۲	۲۷	۲۳	۲۴	۲۳

نتایج حاصل از آلایندگی 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 راحت‌تر 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 می پردازیم.

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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

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

درصد خروجی	نمونه ۱ در حالت سرد	نمونه ۱ در حالت گرم	نمونه ۲ در حالت سرد	نمونه ۲ در حالت گرم
λ	۱/۰۳۶	۱/۰۲۳	۱/۰۲۷	۱/۰۲۱
CO	۰/۵۱	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۲۲
CO_2	۱۱/۹	۱۲/۱	۱۲/۲	۱۲/۴
O_2	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۵۸
HC	۷۰	۶۲	۶۶	۵۵
NOx	۲۹	۲۳	۲۷	۲۱

.Ơƽł ȸƳƩŨ ÆƗy š ƩǿǿŭơǴŇǮ ƿY Ʃǵ ƷY ƩǬŇǿŧ Čċ/ċċċ ƠəƘƨǭ ÆĂ Ʃł 5 ř ÆūyǟèȡǮłƷǿǭ

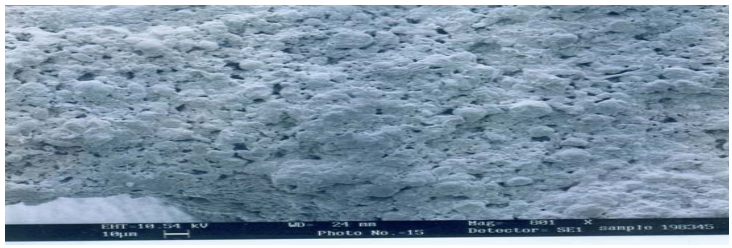
جدول (٦): نتایج تست AVL نمونه شماره ۱ و ۲ در حالت گاز سوز پس از طی مسافت ۲۰/۰۰۰ کیلومتر

درصد خروجی	نمونه ۱ در حالت سرد	نمونه ۱ در حالت گرم	نمونه ۲ در حالت سرد	نمونه ۲ در حالت گرم
λ	۱/۰۴۳	۱/۰۲۵	۱/۰۲۷	۱/۰۲۲
CO	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۲۴
CO_2	۱۱/۱	۱۱/۵	۱۲/۰	۱۲/۲
O_2	۰/۹۵	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۶۲
HC	۷۵	۶۹	۶۸	۵۷
NOx	۳۱	۲۵	۲۷	۲۲

میزان آلایندگی 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 آلاینده ها 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 $2Al_2O_3.2MgO.5SiO_2$ می‌باشد و هیچ اثری از پیک فازهای فرعی دیده نمی‌شود. از این مسئله می‌توان نتیجه گیری کرد که فازهای فرعی پرکننده ما بین فاز های 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 آنالیزXRF نیز فاز $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ را نشان داد، که تاییدی بر صحت نتیجه‌ی حاصل از آنالیز XRD می‌باشد. همچنین آزمایشBET بر روی پایه کاتالیست مرجع (وارداتی) صورت گرفت که بر اساس آن سطح ویژه ای برابر با ۲۳/۵۵۵۵ q.m/gr که مناسب برای لایه نشانی می‌باشد اندازه‌گیری شد. تصاویر SEM گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در آزمایشگاه متالوگرافی سایپکو 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 ۳µm و توزیع تصادفی و تقریبا یکنواخت می‌باشند. همچنین اندازه‌ی بزرگترین تخلخل ها ۷µm و ریزترین آنها حدود ۰/۵ µm می‌باشد.

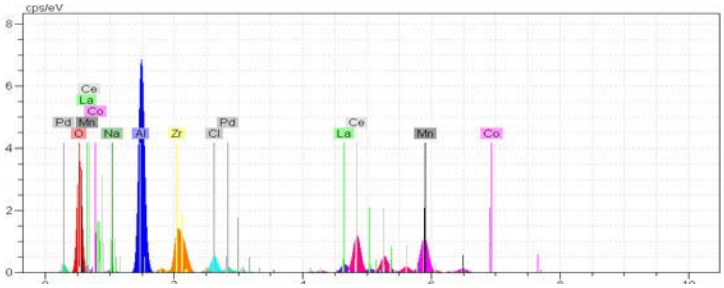
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

شکل(۵): تصویرتقاطع دو دیواره‌ی مونولیت لانه زنبوری با بزرگنمایی ٤۰۰ برابر



شکل(٦): تصویرتقاطع دو دیواره ی 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.

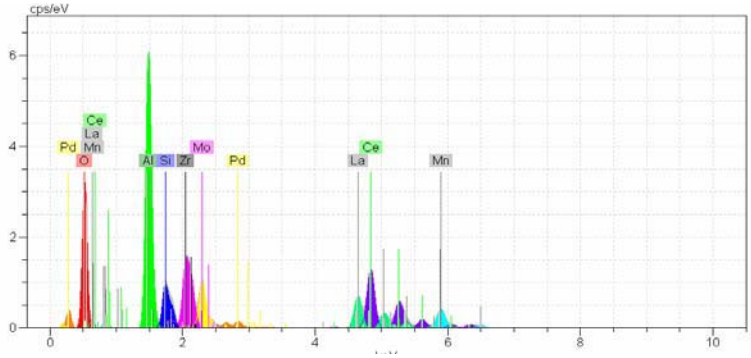


Spectra: Acquisition

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

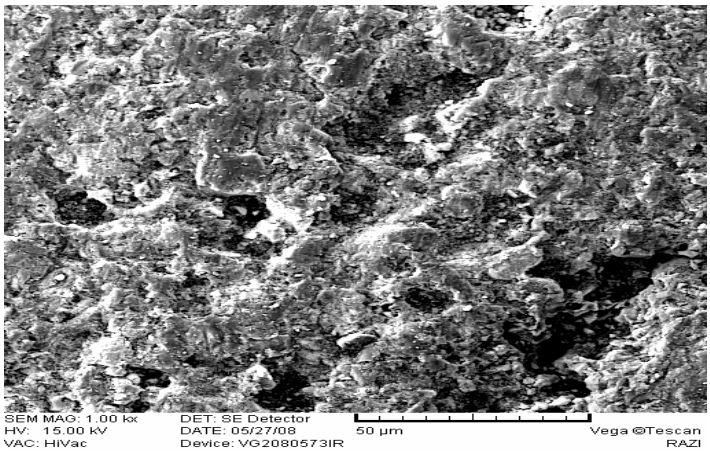


Spectra: Acquisition

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 %		

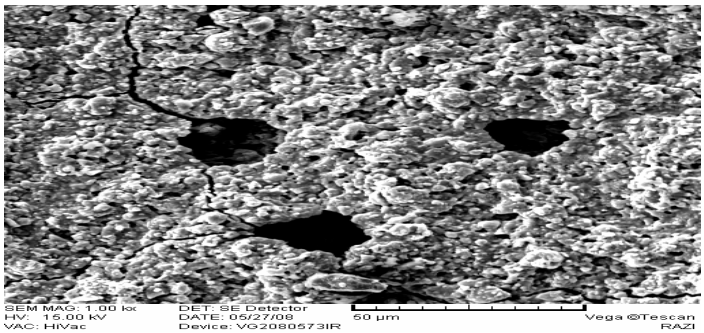
شکل (۸): آنالیز عنصری EDX از نمونه شماره ۲

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.

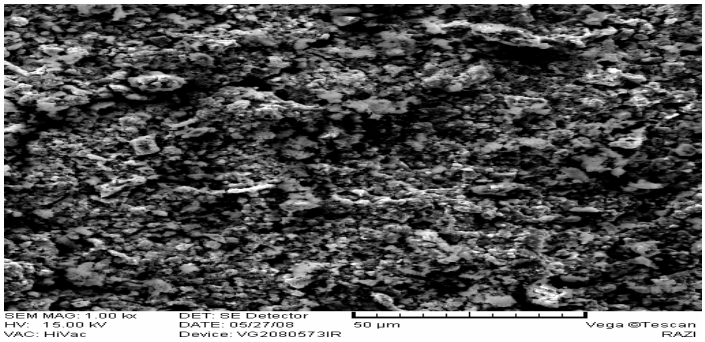


شکل(۹): تصویر شماره ۱، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۱

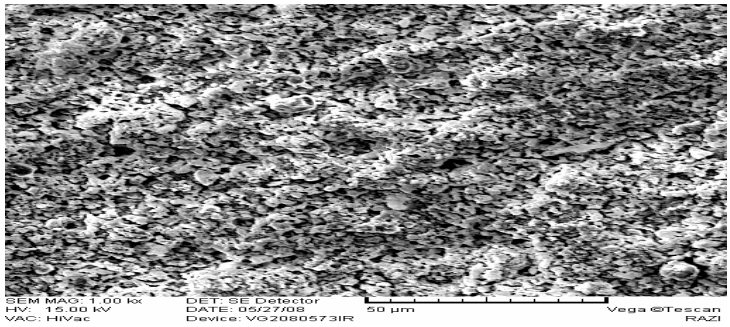
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]



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



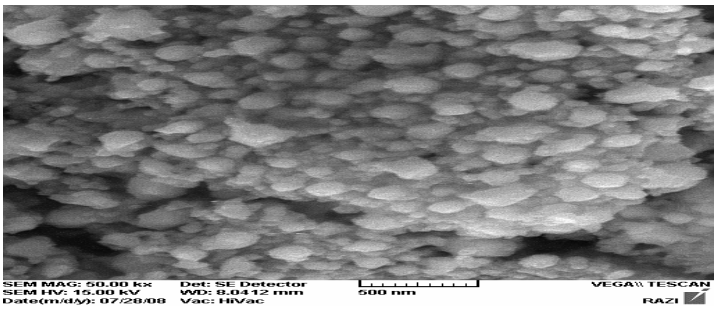
شکل(۱۱): تصویر شماره ۱، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۲



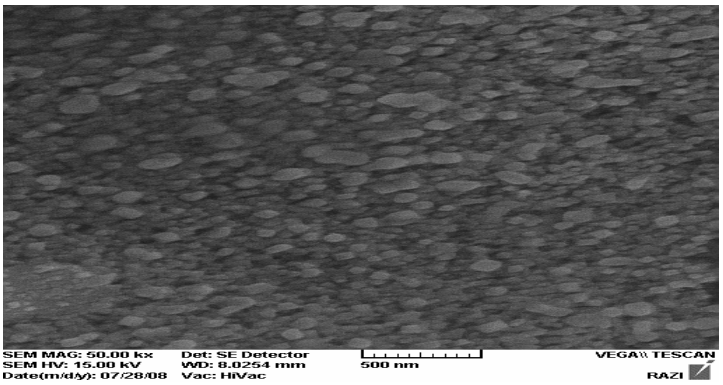
شکل(۱۲): تصویر شماره ۲، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۲

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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]



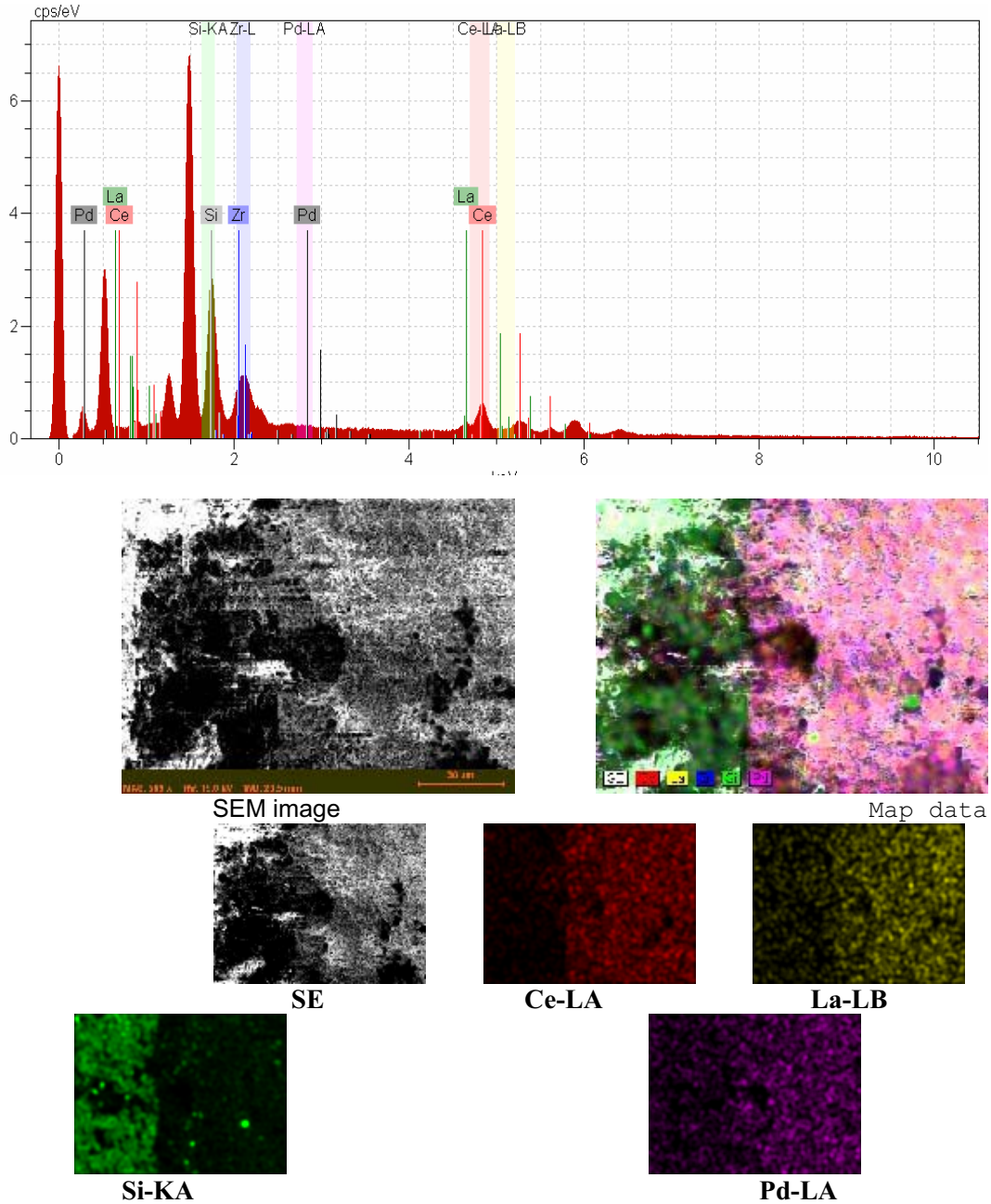
شکل(۱۳): تصویر شماره ۳، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۱



شکل(۱٤): تصویر شماره ۳، SEM گرفته شده از نمونه شماره ۲

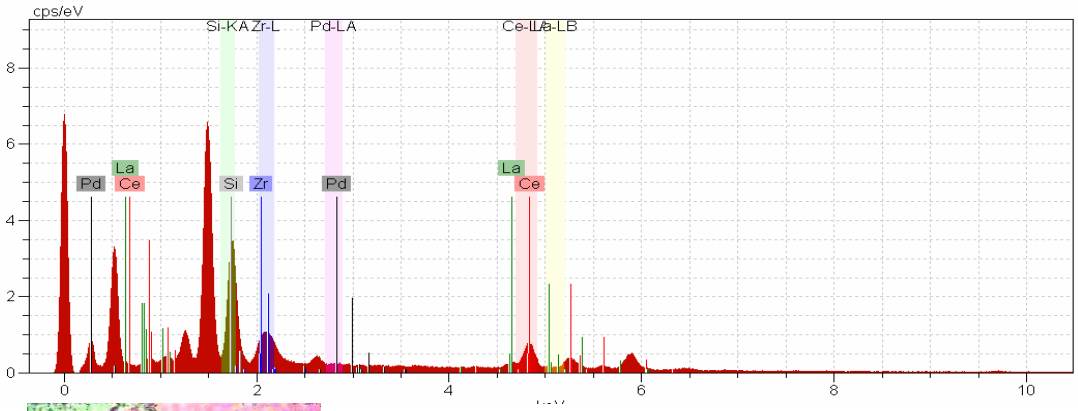
همچنین به بررسی لایه بافر تشکیل شده ما بین بدنه و پوشش پرداخته‌ایم. با توجه به نمودارهای MAP در شکل-های (۱۵) و (۱۶) می‌توان نتیجه گرفت که نفوذ از بدنه به پوشش و از پوشش به بدنه صورت گرفته است. میزان این نفوذ در نمونه شماره ۲ به مراتب بیشتر از نمونه شماره ۱ می‌باشد و چسبندگی پوشش و بدنه در نمونه شماره 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 آلایندگی 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 دیاگرام های دو فازی میان عناصر سازنده کوردریت 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 می باشد.

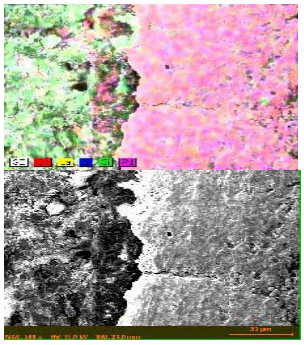
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]



شکل(٦-٢٨): تصویر MAP گرفته شده از نمونه شماره ۱

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

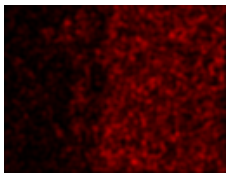




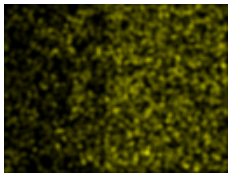
Map data

SEM image

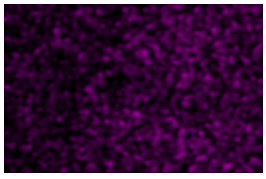
SE



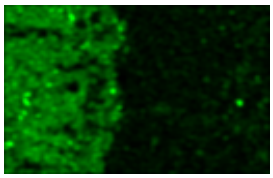
Ce-LA



La-LB



Si-KA



Pd-LA

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

منابع

[۱] ارزانی کاوه، امرونی حسینی مرتضی، ۱۳۸۴، طراحی و ساخت نمونه مبدل کاتالیزوری پایه سرامیکی برای خودرو، مرکز تحقیقات مواد ساپکو

[2] Teraoka, Y., Zhang, H. M., Yamazoe, N., (1998). 9th Internat. Cogr. 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*x* adsorptionon Co,Ba,K/CeO2 catalysts", Journal of Catalysis 424–432.

[5] Nitin K. Labhsetwar a,b, A. Watanabe b, R.B. Biniwale a, R. Kumara, T. Mitsuhashi 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), 9th Internat. Cogr. Catal. Calgary, , 1984.

[8] Nitin K. Labhsetwar a,b, A. Watanabe b, R.B. Biniwale a, R. Kumara, T. Mitsuhashi b, (2001) " Alumina supported, perovskite oxide based catalytic materials and their auto-exhaust application", Applied Catalysis B: Environmental 33 ,165–173.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]