



بهمنماه ۱۳۹۴

سنتز و بررسی پایداری حرارتی زیر کونیا پایدار شده با اسکاندیا و سریا (ScCeSZ) نانو ساختار برای کاربرد پوشش سد حرارتی محمود رضا طباطبائیان^۱، روحالله رحمانی فرد^۲، یوسف سید جلیلی^۲

دانشگاه علم و صنعت ایران دانشکده فناوری های نوین (کارشناسی ارشد)
 دانشگاه علم و صنعت ایران دانشکده فناوری های نوین (استادیار)
 دانشگاه علوم و تحقیقات تهران دانشکده فیزیک پلاسما (استادیار)

چکیده زیر کونیا پایدار شده با ایتریا (YSZ-8) از پر کاربردترین پوشش های سد حرارتی است. با اینحال در دماهای بالاتر از ^C ۲۰۰۰ فاز پایدار شده تتراگونال به مونو کلینیک تبدیل می شود و احتمال ترک در پوشش را افزایش می دهد. در این تحقیق زیر کونیا پایدار شده با اسکاندیا و سریا (ScCeSZ) نانو ساختار به وسیله روش سل ژل پلیمری سنتز شده و اثر مقادیر مختلف پایدار کننده های اسکاندیا و سریا بر پایداری حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. میکرو ساختار محصولات به وسیله دستگاه های XRD و MRZ با سرعت اسکن پایین بررسی همچنین پایداری حرارتی ترکیب های مختلف در ^C ۱۴۰۰ و به وسیله MRZ با سرعت اسکن پایین بررسی شده است. با مقایسه مقدار فاز منو کلنیک تشکیل شده، مقدار تتراگونالیته و فاز تتراگونال استحاله ناپذیر و فاز مکعبی، ترکیب بهینه به لحاظ عملکرد حرارتی مناسب حدود ۲/۷۸ انتخاب می شود.

واژههای کلیدی: پوششهای سد حرارتی نانو ساختار؛ پایداری حرارتی؛ سل-ژل؛ زیر کونیـا پایـدار شـده بـا اسـکاندیا و سریا.

¹. m.tabatabaeian93 @gmail.com

۱- مقدمه

پوشش های سد حرارتی معمولاً در قطعاتی مانند پره های ثابت و متحرک توربین های گازی که تحت بار گذاری حرارتی بالایی هستند، مورد استفاده قرار می گیرد. این پوشش ها دمای فلز را پایین آورده و طول عمر قطعات فلزی را افزایش میدهند. سیستم های پوشش سد حرارتی به طور معمول ساختار دولایه دارند که شامل لایه فوقانی سرامیکی و یک پوشش روکش اتصال فلزی است. لایه سرامیکی قادر است دمای فلز را تا بالای ۲۰۰۲ کاهش دهد. محافظت حرارتی پدید آمده توسط این پوشش ها، می تواند نیاز به جریان خنک کنندگی را کاهش

یا دمای گاز ورودی را افزایش و بنابراین بازدهی عملکرد موتور توربین گازی را افزایش دهد [۲-۱]. پوشش زیر کونیا پایدار شده با ایتریا (TYSZ-8) از مهم ترین پوشش های سد حرارتی ('(TBC است که به منظور افزایش طول عمر پرههای توربین گازی به کار می رود. بااین حال این پوشش در دماهای بالاتر از ^C ۲۰ ^V تحت تحولات فازی قرار گرفته و از ساختار پایدار شده تتراگونال به منو کلینیک تبدیل می شود، این امر منجر به پیدایش ترک در پوشش می شود [۳]. علاوه بر این عامل اصلی در شکست پوشش سد حرارتی، تنش حرارتی پوشش اتصال و ترکیبات فازی قرار گرفته و از ساختار پایدار شده تتراگونال به منو کلینیک تبدیل می شود، این امر منجر به پوشش اتصال و ترکیبات فازی زیرلایه است. با توجه به مطالعات انجام گرفته بر روی YSZ گرچه این ماده از پایداری حرارتی پایینی برخوردار است ولی در مقایسه با مواد دیگر ضریب انبساط حرارتی بالاتری داشته و فوق است. پوشش سد حرارتی باندی زیرلایه است. با توجه به مطالعات انجام گرفته بر روی YSZ گرچه این ماده از نابراین مقاومت به شوک حرارتی بیشتری نشان می دهد [۴]. لذا توجه اصلی تحقیقات متمرکز بر حل دو مسئله فوق است. پوشش سد حرارتی با خوشههای عیوب^۲ نوعی از مواد جدید زیر کونیایی است که توسط کاتیونهای دارای مقاومت به شوک حرارتی بیشتری نشان می دهد [۴]. لذا توجه اصلی تحقیقات متمرکز بر حل دو مسئله فوق است. پوشش سد حرارتی با خوشههای عیوب^۲ نوعی از مواد جدید زیر کونیایی است که توسط کاتیونهای دارو که باعر در خانی در می ماند این مواد افزودنی منجر به شکل گیری خوشههای ناخالصی مانند -ZrO در ارتی با خوشههای ناخالصی مانند - ۲۵ و کاری در کاون می می و دارد. این کاهش قابل توجه هدایت حرارتی در پوشش سد حرارتی با خوشههای عیوب در مقایسه با SZY رایج، باعث بهبود پایداری حرارتی پوشش می شود [۲].

پوشش با ضخامت ناز کنر اما با کاهش دمای بیشتر در موتورهای با دمای عملکرد بالا را خواهند داد [۵]. همچنین با کمک نانو فناوری به وسیله ی بهره گیری از نانو ذرات در میکروساختار پوشش می توان میزان مقاومت به انتشار ترک را افزایش داد [۶]. علاوه بر این برخی گزارش ها نشان میدهند استفاده از پوشش های نانو ساختار می تواند عمر پوشش را حدود ۶۰ تا ۸۰٪ افزایش دهد. علت این امر به افزایش ضریب انبساط حرارتی در پوشش های نانو ساختار برمی گردد که باعث افزایش تطابق ضریب انبساط حرارتی می شود و علاوه بر آن حضور

¹ Thermal barrier coating

² Defect cluster

نواحي متخلخل با ابعاد نانو بهعنوان يک منبع اضافه از تخلخل نسبت به تخلخل هاي دوگانه پوشش هاي معمول باعث كاهش مدول الاستيك و كمتر شدن تنش حرارتي منتشرشده در پوشش مي شود [۶]. درنتيجه پوشش هاي سد حرارتی نانو ساختار دربردارنده خوشههای عیوب بهعنوان یک پوشش پیشرفته با بهره گرفتن از خاصیت پايداري حرارتي نسبتاً بالا ناشي از خوشههاي عيوب و خواص بهينه پوشش هاي نانو ساختار نظير هدايت حرارتي پايين، ضريب انبساط حرارتي بالا، مدول يانگ پايين و طول عمر چرخه حرارتي طولاني مدت مي تواند جايگزين مناسبی برای ماده YSZ در شرایط عملکر د طولانی مدت در دماهای بالاتر از C° ۱۲۰۰، نظیر محفظه احتراق مو تو رهای جت باشد چرا که در این دما فاز تتر اگو نال استحاله نایذیر 't یو شش از جنس YSZ به فاز تتر اگو نال استحاله پذیر t استحاله یافته و همان طور که گفته شد با سرد کردن تا دمای اتاق فاز منو کلینیک ظاهر می شود که با توجه به انبساط حجمي در اين استحاله، يكپارچگي پوشش سد حرارتي در معرض خطر قرار مي گيرد [٧]. Sc2O3 نقش مهمی در پایدارسازی حرارتی، مقاومت به خوردگی و کاهش هدایت حرارتی بازی می کند. افزایش مقدار Sc₂O3 به سبب ایجاد عیوب نقطهای و جاهای خالی بیشتر می تواند هدایت حرارتی را کاهش دهد [۸ و۹]. همچنین گزارش شده است، در پوشش هایی که از CeO2 به عنوان اکسید پایدار کننده استفاده کردهاند و با نام تجاری CSZ شناخته می شوند، پایداری فازی بالاتر و مقاومت به شوک حرارتی بیشتری از YSZ دارند، جراکه انتقال فاز در آنها پیشرفت کمتری داشته و به مقدار کمی اتفاق می افتد [۱۰]. در یو شش های سد حرارتی فاز 't به طور گستر ده ای مورد استفاده قرار می گیرد و در دمای اتاق پایدار است، علت این استفاده، شکل گرفتن میکرو ساختار دوقلویی در فاز't است که تمایل به افزایش عملکرد حرارتی را موجب می شود. با تکنیک های رسوبدهی با نرخ بالا (*EB-PVD',PS) فاز 't بهوسیله استحاله غیر نفوذی یا مارتنزیتی و از فاز مایع و یا مکعبی به دست می آید [۱۱].

روش های عمده ی تولید در مقیاس بالای زیر کونیا پایدار شده با اسکاندیا و سریا (ScCeSZ) نانو ساختار، روش مکانیکی و شیمی تر است. در روش مکانیکی، اکسیدهای فلزی و زیر کونیا ترکیب شده تا آلیاژ مکانیکی رخ دهد، بعد از آن در دمای بالا برای یکنواخت کردن ترکیب زیر کونیا و اکسید فلزی دوپ شده در آن، عملیات حرارتی بر روی نمونه انجام می شود که این باعث رشد دانه کنترل نشده و جدایی فازی دوپانت ها خواهد شد. این در حالی است که روش های شیمیایی تر به دلیل دمای پایین تر مورد نیاز برای فرایند کلسیناسیون غالبا با مشکل کمتری در رشد دانه رو به رو خواهند بود. روش های نظیر هم رسوبی، سل-ژل آلکواکسایدی، سل-ژل به روش پلیمری، هیدرو ترمال و میکرو امولسیون از جمله روش های شیمیایی تر هستند؛ اما این روش ها نیز

² Plasma Spray

¹ Electron Beam Physical Vapor Deposition

مشکلاتی نظیر عدم امکان تولید در مقیاس بالا، گران بودن پیش مادههای لازم، بالا بودن اندازه بلور و اندازه ذرات و طولانی بودن مدتزمان انجام واکنشهای لازم را به همراه دارند [۱۲]. در پژوهش حاضر برای تولید نانو پودر SccesZ از بین روشهای شیمیایی تر، سل-ژل به روش پلیمری یا پچینی به علت ارزانتر بودن پیش ماده های مورد نیاز و کنترل بهتر استو کیومتری ترکیب، انتخاب می شود [۱۲]. در این پژوهش ترکیبهای ScceSZ نانو ساختار با مقادیر متفاوت از پایدارکننده ها سنتز شده و پس از اطمینان از شکل گیری فاز تتراگونال استحاله ناپذیر در ترکیبهای سنتز شده، پایداری حرارتی آنها در دمای YSZ رایج یکدیگر و با XSZ نانو ساختار تجاری مقایسه شده و بهترین ترکیب به عنوان جایگزین مناسب برای YSZ رایج معرفی می گردد.

۲- مواد و روش تحقيق

۲-۱- فرایند سنتز پودر نانو ساختار

منابع تأمین عناصر زیر کونیوم و سریم و اسکاندیم به ترتیب نمک اکسی کلرید زیر کونیوم ZrO(Cl)2.8H₂O بودند. نیترات سریم هگزا هیدراته 6H₂O (د(NO3) و نیترات اسکاندیوم هیدراته Sc(NO3)³×KH₂O بودند. نمک های فوق به همراه سیتریک اسید در آب مقطر حل شدند و آن گاه در دمای C°O در حالی که محلول توسط هم زن مغناطیسی بهم زده می شد، اتیلن گلیکول منوبوتیل اتر به آرامی به آن اضافه شد. پس از یک ساعت هم زدن، دمای همزن مغناطیسی به ک[°] ۲۰۰ افزایش داده شد و هم زدن به مدت یک ساعت دیگر ادامه یافت. آن گاه مجددا دما به ک[°] ۱۵۰ افزایش یافت که در این دما سل شفاف بی رنگ کم کم به رنگ زرد در مبدل شد و ویسکوزیته ی آن بیشتر و بیشتر شد. پس از گذشت یک ساعت دما به ک[°] ۲۰۱ افزایش داده شد و با گذشت ۲ ساعت زیرو ژل مورد نظر تشکیل شد. زیرو ژل را به کوره الکتریکی جعبه ای منتقل کرده و با توجه به نتیجه آزمایش منحنی پخت در حداکثر دمای ک[°] ۲۰۰ به مدت زمان ۲ ساعت پخت انجام گرفت. منحنی کلسیناسیون با استفاده از دستگاه آنالیز حرارتی هم زمان (STA) با نرخ گرمایش ^{1–} ماداره و با اندازه بور ناز با در انور بور ان و با اندر این ۲ ساعت دما با ک[°] ۲۰۰ بوره ایم توجه مدیره منحنی پخت در حداکثر دمای ک[°] ۲۰۰ به مدت زمان ۲ ساعت پخت انجام گرفت. منحنی کلسیناسیون با استفاده از دستگاه آنالیز حرارتی هم زمان (STA) با نرخ گرمایش ^{1–} ماه بادازه بور نازه بور نانو پودرهای سنتز شده به وسیله دستگاه CRX با لامپ مسی و با اندازه گام ۲۰/۰ انجام گرفت. برای تعیین اندازه بلور نانو پودر ها نیز از رابطه شرر (۱) استفاده شد [10].

 $D(101) = k\lambda/\beta \cos \theta (1)$

در رابطهی (۱) k فاکتور شکل است که برابر با عدد ۹/۹ در نظر گرفته می شود و λ طول موج منبع تولید کننده اشعه ایکس است که در اینجا CuK_α است و طول موجی برابر با ۸ ۱/۵۴۰۶ دارد. β برابر با مقدار پهنای کامل در نیمه بیشینه (FWHM) برای پیک اصلی است. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی (FE-SEM) نیز به منظور بررسی اندازه ذرات و مورفولوژی نانو پودرهای سنتز شده به کار گرفته شد. ۲-۲- بورسی پایداری حرارتی

برای بررسی پایداری حرارتی ترکیب های سنتز شده، نانو پودرها به شکل قرص هایی با قطر mm ۱۰ و ضخامت ۲ mm با استفاده از دستگاه پرس تک محوره با فشار اعما ۲ در آورده شد. سپس در یک بوته آلومینایی درون کوره ی جعبه ای الکتریکی به مدت ۲۴ ساعت در $^{\circ}$ ۲۰۰۰ در معرض حرارت قرار گرفتند. از دستگاه XRD به منظور مشخصه یابی ساختار فازی ترکیب های مختلف سنتز شده، استفاده شد. در همین راستا جهت بررسی مقدار فاز منوکلنیک تشکیل شده در اثر عملیات حرارتی، از تفرق اشعه ایکس در محدوده ی زاویه به بررسی مقدار فاز منوکلنیک تشکیل شده در اثر عملیات حرارتی، از تفرق اشعه ایکس در محدوده ی زاویه ایی ۲۰ بررسی مقدار فاز منوکلنیک تشکیل شده در اثر عملیات حرارتی، از تفرق اشعه ایکس در محدوده ی زاویه ایی ۲۵ بررسی مقدار فاز منوکلنیک تشکیل شده در اثر عملیات حرارتی، از تفرق اشعه ایکس در محدوده ی زاویه ایی ۲۰ برای برای مشخصه یابی فاز تتراگونال استحاله این ۲۷ برای مشخصه یابی فاز تتراگونال استحاله این در این در این ۲۵ برای مشخصه یابی فاز تتراگونال استحاله ای پارامترهای شبکه و تتراگونال استحاله مین برای برای مشخصه یابی فاز تتراگونال استحاله را در برای اندازه گام ۲۰۰۴ درجه استفاده شد. برای برای مشخصه یابی فاز تتراگونال استحاله این در و فاز مکتری تشکیل شده در اثر عملیات حرارتی، تفرق اشعه ایکس با محدوده ی زاویه ای ۲۵ برای ۲۰۵۰ برای این در ای در ای در ای در ای در ای برای مشخصه یابی فاز تتراگونال استحاله با در با ۱۰۵۰ و گام زامانی ۸ ثانیه به کار گرفته شد. با استفاده از الگوی تفرق اشعه ایکس، پارامترهای شبکه و تتراگونالیته ی ترکیب های سنتز شده ی مختلف محاسبه شد، به این منظور در ابتدا به وسیله پارامترهای شبکه و تتراگونالیته ی ترکیب های سنتز شده ی مختلف محاسبه شد، به این منظور در ابتدا به وسیله برم افزار مرایز مین در این منور در بان در ای در ای در تری می منور ما مرایزی بر می منطره محاسبه شد. به این منظور در ابتدا به وسیله روی آن ما افزار می در تا و را استفاده از تابع (Parto) یک های مشخصه جداسازی شده و عمل براز س برم مرم افزار می در مرور آن ها انجام گرفت. به منظور تا تابی ما در و کلنیک تشکیل شده از رابطهی (۲) و (۳) استفاده شده ای مراز ای الار ای الار ای ای در ای مرایز ما در ای در ای ای در ای مرور) در ای مرم ای در ای مرم مرم مرم مرور ها در ای مرد مرم مرم مرم مرم مرد مرو

(۳)

$$Vm = \frac{PXm}{1+(P-1)Xm}$$
(۳)
در رابطهی (۲) متغیر Im برابر با شدت پیکهای منو کلینیک موجود در الگوی تفرق اشعه ایکس است که
بهوسیلهی آنها کمیت Xm تعریف میشود. در مرحلهی بعدی برای به دست آوردن مقدار فاز منو کلنیک از
رابطه ی (۳) استفاده شد، از آن جا که در ترکیب ها امکان حضور فازهای تتراگونال و مکعبی و منو کلنیک
وجود دارد، مقدار P عدد ثابت ۱/۳ در نظر گرفته شد [۱۴].
برای بدست آوردن تتراگونالیته ی ترکیب های مختلف سنتز شده در این پژوهش به روش زیر عمل شد:

 $\sin^2\theta = A(h^2 + k^2)$

 $\sin^2\theta - A(h^2 + k^2) = Cl^2$

بنابراین با مشخص شدن پارامترهای شبکه می توان نسبت c/a یا همان تترا گونالیته را برای ترکیبهای مختلف به دست آورد و مقایسه کرد [۱۵].

۳- نتایج و بحث

-1-7 رفتار حرارتی پیش مادہ

شکل (۱) آنالیز حرارتی همزمان برای پیش مادهی زیر کونیا تقویت شده با سریا و اسکاندینیا (ScCesZ) را نشان میدهد. یک پیک گرماگیر در نمودار DTG (شکل ۱ الف) در حوالی C° ۱۰۰ بدست می آید که مربوط به از دست دادن آب پیش ماده است. در محدوده C° ۲۰۵ نیز یک پیک گرماگیر کوچک در نمودار DTG دیده می شود که نشاندهندهی تبخیر اتیلن گلیکول منوبوتیل اتر اضافی در پیش ماده است. از نمودار ADTD (شکل ۱ ب) یک پیک گرمازا در محدوده C °۳۰ مشاهده می شود که مربوط به کربنی کردن و یا شکست پیوندهای آلی در پیش ماده و تبدیل شدن به گازهایی نظیر CO2 است. از نمودار DTG نیز مطلب فوق اثبات می شود و می توان از محدوده ی ۲۰۰۳ تا ۲۰°۲۲ یک پیک بزرگ مشاهده کرد، از دست دادن وزن در این مرحله، به سوختن گونههای آلی در پیش ماده و تبدیل شدن به گازهایی نظیر CO2 است. از نمودار DTG نیز مطلب فوق اثبات می شود و می توان از محدوده ی ۲۰۰۳ تا ۲۰°۲۲ یک پیک بزرگ مشاهده کرد، از دست دادن وزن در این مرحله، به می توان از محدوده ی ۲۷۰۰ تا ۲۰°۲۶ یک پیک بزرگ مشاهده کرد، از دست دادن وزن در این مرحله، به می یابد. پیک گرمازا در ۲۰°۶۹ مربوط به بلورینه شدن، ژل آمورف است. با توجه به نتایج آزمایش TG/DTA می یابد. پیک گرمازا در ۲°۰۰۹ مربوط به بلورینه شدن، ژل آمورف است. با توجه به نتایج آزمایش TG/DTA دمای کلسیناسیون اولیه را می توان در حدود C ما ما تر تراگونال پایدار با میزان بلورینه شدن کافی و کلسیناسیون کامل دمای کلسیناسیون ۲۵ ۲۰۰۰ با زمان نگهداری ۲ ساعت انتخاب شدا[17].

۳-۲- تعیین فاز محصولات

شکل(۲) نتایج XRD برای ۳ ترکیب از جدول (۱) را نشان میدهد. نمونهها بعد از ۲ ساعت ماندگاری در °۲۰۰۷ کاملاً بلورینه شده و اندازهی بلور آنها از رابطه شرر محاسبه شده است. پیکهای مشخصه برای نمونهها عمدتاً در محدودهی زوایای 20 برابر با ۲۹/۹۴ و ۲۹/۷۲ و ۹۹/۱۱ و با ۲۰۰۵ و به ترتیب برای صفحات (۱۰۱) و (۱۱۲) و (۲۱۱) است. با توجه به شکل (۲)، نمونههای کلسینه شده در ۲۰۰۵ دارای فاز تتراگونال (۱) هستند. از آنجایی که ساختار فاز تتراگونال با فاز مکعبی بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و در پارامتر شبکه C با یکدیگر متفاوت هستند، تشخیص این دو از یکدیگر، تنها با اکتفا به الگوی پراش اشعه ایکس کار مشکلی است، در بخش بررسی پایداری حرارتی در این خصوص توضیح داده خواهد شد. در الگوهای پراش اشعه ایکس نشان داده شده در شکل (۲) پیکهای مربوط به 2002 و Sc2O3 دیده نمی شود، بنابراین می توان نتیجه گرفت که سریا و اسکاندیا با موفقیت در شبکهی زیر کونیا دوپ شده اند. همچنین پیکهای مشخصه برای فاز منو کلنیک در محدوده ی 20 برابر با ۲۸ و ۷/۱۳ هستند، با توجه به شکل (۲) می توان نتیجه گرفت که فاز منو کلنیک در نمونههای سنتر شده وجود ندارد.

۳-۳- تعیین مورفولوژی و اندازه ذارت

شکل (۳)، تصویر FE-SEM از پودر نانو ساختار ScceSZ را به منظور بررسی مور فولوژی و اندازه ذره ی آن نشان می دهد. در تصویر ذکر شده، پودر به دست آمده شامل کلوخه های سخت و کوچک با شکل های نامنظم و به صورت چند وجهی است. این کلوخه های سخت شکل (۳ب) شامل نانو ذرات زینتر شده ای هستند که از انرژی بالای حاصل از تجزیه حرارتی مقدار زیادی از ترکیب های آلی استفاده شده در روش سنتز پلیمری بوجود می آیند. در این روش سیتریک اسید عامل تشکیل کمپلکس بوده و اکسیژن موجود در اتمسفر واکنش عامل اکسید کننده برای احتراق است. بنابراین واکنش های گرما زای اکسایشی حاصل از حذف ترکیب های آلی در دمای کلسیناسیون نسبتاً بالا، اغلب پیوندهای ضعیف بین ذرات را به گلویی های زینتر شده تبدیل می کنند و باعث کلوخه ای شدن نامطلوب پودر می شوند. از این رو هر چقدر که مقادیر اتیلن گلیکول منوبوتیل اتر و سیتریک اسید بیشتر باشد، در حین کلسیناسیون انرژی بیشتری برای اتصال ذرات به یکدیگر فراهم می شود و کلوخه های بزرگتری تشکیل خواهد شد [۱۹]. در این پژوهش نسبت بین ترکیب یون های فلزی و ترکیبات عالی به صورت ۲۰۰۲ بوده است و همانطور که در شکل (۳ج) نیز نشان داده شده است، نانو ذراتی و ترکیبات عالی به صورت ۲۰۰۲ بوده است و همانطور که در شکل (۳ج) می تعمان درات به یکدیگر فراهم می شود و میتریک اسید بیشتر باشد، در حین کلسیناسیون انرژی بیشتری برای اتصال ذرات به یکدیگر فراهم می شود و کلوخه های بزرگتری تشکیل خواهد شد [۱۹]. در این پژوهش نسبت بین ترکیب یون های فلزی و ترکیبات

2-3- یایداری حرارتی

فازهای t و 't در دمای اتاق میکرو ساختارهای متفاوتی باهم دارند. در فاز t میکرو ساختار دوقلویی وجود دارد که تمایل به افزایش عملکرد حرارتی را موجب میشود[۱۷]. با افزایش در غلظت اکسیدهای پایدارکننده، ساختار دوقلویی یکنواخت تر و ریزتر نیز میشود. t فاز تتراگونال با قابلیت استحاله است که می تواند تحت تنش های مکانیکی، با استحاله مارتنزیتی به فاز منوکلنیک تبدیل شود. فاز تتراگونال دوم 't یک فاز غیرقابل استحاله است و حتی اگر نمونه به شدت خرد هم بشود نمی تواند به فاز منوکلنیک استحاله یابد. مکانیسم منکوب کردن استحاله، می تواند به وسیله عیوب شبکه تغییر کند. برای مثال جاهای خالی اکسیژنی فازهای دمابالا را پایدار کرده و یک سد پتانسیل برای ممانعت از حرکت مرزهای فاز تشکیل می دهند. جاهای خالی اکسیژنی در حین پایدار کرده و یک سد پتانسیل برای ممانعت از حرکت مرزهای فاز تشکیل می دهند. جاهای خالی اکسیژنی در استحاله ی تراگونال به منوکلنیک تحت تنش های مکانیکی پایدارتر باشد. با افزایش در غلظت اکسیژنی در پایدار کرده و یک مد پتانسیل برای ممانعت از حرکت مرزهای فاز تشکیل می دهند. جاهای خالی اکسیژنی در مین پایدار کرده و یک مد پتانسیل برای ممانعت از حرکت مرزهای فاز تشکیل می دهند. جاهای خالی اکسیژنی در بایدار کرده و یک مد پتانسیل برای ممانعت از در کت مرزهای فاز تشکیل می دهند. جاهای خالی اکسیژنی در مین پایدارکنده، مقدار فاز ا به منوکلنیک تحت تنش های مکانیکی پایدارتر باشد. با افزایش در غلظت اکسید سرحالهی تتراگونال و میونات براهی نیار دوپانت برای ایجاد حای خالی اکسیژنی به اندازه ای باشد که عدد مکعبی زمانی پایدار هستند که میزان دوپانت برای ایجاد جای خالی اکسیژنی به اندازه ای باشد که عدد

از ۲/۵ تا۱۶ ٪ مولی CeO2 شکل گرفتن فاز t استحاله پذیر تأیید می شود. از ۱۶ تا ۵۰ ٪ مولی CeO2 فاز 't شکل می گیرد (۲۱]. در منابع می گیرد که به فاز منو کلنیک تبدیل نمی شود و بیش از ۵۰٪ مولی تنها فاز مکعبی شکل می گیرد [۲۱]. در منابع باور بر این است که در ۲۵٪ وزنی CeO2 (حدود ۲۰ ٪ مولی)، فاز 't شکل گرفته و استحاله m→ t در نزدیک دمای اتاق منکوب شده است [۲۲]. در این پژوهش ۲۰٪ مولی یاین سنتز و پایداری فازی آن انتخاب می شود و نمونه و می رود و این پژوهش ۲۰٪ مولی یا می گرفته و استحاله می می نزدیک دمای اتاق منکوب شده است [۲۷]. در این پژوهش ۲۰٪ مولی دوO2 به عنوان مقدار ثابت انتخاب می شود و نمونه ها طبق آنچه در جدول (۱) آورده شده است، در مقیاس پایین سنتز و پایداری فازی آنها بررسی می شود و نمونه ها طبق آنچه در جدول (۱) آورده شده است، در مقیاس پایین سنتز شده و یک نمونه ZO2 نانو می شوند. شکل (۵)، الگوی تفرق اشعه ایکس برای ۶ نمونه از ترکیبهای سنتز شده و یک نمونه ZO2 نانو می شود در تا ترکیبهای سنتز شده و یک نمونه ZO2 نانو می شود در تا ترکیبهای سنتز شده و یک نمونه ZO2 نانو می شود. شکل (۵)، الگوی تفرق اشعه ایکس برای ۶ نمونه از ترکیبهای سنتز شده و یک نمونه ZO2 نانو می شود. شکل (۵)، الگوی تفرق اشعه ایکس برای ۶ نمونه از ترکیبهای سنتز شده و یک نمونه ZO2 نانو می شود. شکل (۵)، الگوی تفرق اشعه ایکس برای ۶ نمونه از ترکیبهای سنتز شده و یک نمونه ZO2 نانو می شود. شکل (۵)، الگوی تفرق اشعه ایکس برای ۶ نمونه ZO2 نشان می دهد. عملیات حرارتی در ۲۵ ساعت انجام می شود زیرا تأثیرات پیرسازی حرارتی بر میکرو ساختار در همان ۲۵ تا ۵۰ ساعت اول نهایی شده و بعد از آن

ساختار تتراگونال از ساختارهای مکعبی میتواند با استفاده از حضور دوشاخهای شدن پیکهای فاز تتراگونال نظیر (۰۰۰) / (۲۰۰) برای ^۵۶۳ و (۱۱۳) / (۳۱۱) برای ^۵۰۶ و (۰۰۴) / (۴۰۰) برای ^۵۳۷ و (۴۰۰) / (۰۰۰) برای ^{۱۹۴۱}متمایز شوند. فاز مکعبی در این زوایا یک پیک تنها نشان می دهد. دوشاخهای شدن پیکهای (۲۰۰)/(۲۰۰ در ^۵۵۳–۳۶ و (۴۰۰)/ (۰۰۴) برای ^۵۲۷–۳۷ تأییدکننده حضور فاز '۲ است. به خاطر عریض شدن پیکها در مقیاس نانو، پیکهای دوشاخه شده در فاز تتراگونال در زیر کونیا با پیک دیگری هم پوشانی می شوند به همین علت برای مشخص کردن بهترین ترکیب جایگزینSSZ رایج با بالاترین میزان فاز تتراگونال غیرقابل استحاله، از RRD با سرعت پایین در محدودهی زاویهای ^۵۲۷ تا ^۵۵۷ کمک گرفته می شود که در بخشهای بعدی توضیح داده خواهد شد [۱۷]. میزان تشکیل فاز منوکلنیک که بازتاب دهندهی تخریب فاز '۲ است به وسیله فرمول (۳) تحمین زده می شود [۲۳]. همان طور که در جدول (۱) آورده شده است، مقدار فاز منوکلنیک تشکیل شده برای IVSZ نانو ساختار تجاری ۸٫۴۸ ٪ است و برای نمونه می ۱ که تنها از 2002 به عنوان پایدارکننده در آن استفاده شده است برای مشخص کران با تشکیل فاز منو کلنیک که بازتاب دهنده می خون از از است به وسیله فرمول (۳)

نشده است. محققین گزارش کردهاند که در پوشش YSZ رایج حتی بعد از ۱۰۰ ساعت ماندگاری در C° ۱۱۰۰ فاز تتراگونال خالص بوده و منوکلنیک مشاهده نمیشود. اما در C°۲۰۰۰، فاز مکعبی شکل می گیرد بااین حال بازهم فاز منوکلنیک وجود ندارد. درنهایت در C°۲۰۰ سیستم کاملاً ناپایدار شده و فاز منوکلنیک در کنار فازهای تتراگونال و مکعبی مشاهده می شود. در YSZ در دمای بالای C°۲۰۰ استحاله فاز ۲ به t را خواهیم داشت که با سرد کردن تا دمای اتاق فاز t به m تبدیل میشود [۲۴ و ۹].

 $t' \rightarrow c+t \rightarrow c+m$

نتایج بهدستآمده در این پژوهش نیز سیر استحالههای فازی رخداده در YSZ را که در منابع ذکر شده است تأیید میکند.

دوپانت های چهار ظرفیتی مانند سریا، فازهای تتراگونال یا مکعبی زیرکونیا را پایدار میکند، با این وجود پايدارسازي نتيجه توليد جاهاي خالي اکسيژني نيست. در شبکه کاتيوني يون ++Ce جانشين +4 Zr مي شود بدون آنکه جای خالی اکسیژنی ایجاد شود چراکه هر دو یونها چهار ظرفیتی هستند. تصور میشود که پایدارسازی به علت انبساط و بزرگ شدن شبکه ی کاتیونی است که بهوسیلهی یون.های بزرگ تر از اندازه ⁺⁴ Ce⁴ انجام شده است. این عامل می تواند تتراگونالیته را کاهش دهد و فاز تتراگونال را در دمای اتاق پایدار کند [۱۹]. در حقیقت اضافه کردن پایدارکننده CeO2 به زیرکونیا یک اثر اعوجاجی ایجاد کرده و افزایشی در پارامترهای شبکه ی فازهای تتراگونال و مکعبی به همراه دارد. این افزایش باعث می شود مکان پیک های آنها در مقایسه با فازهای تتراگونال و مکعبی در زیرکونیای استاندارد به سمت زاویای کوچک انتقال پیدا کند. این موضوع در شکل (۶) الف بهوضوح قابل مشاهده است [۱۰]. همچنین گزارش شده است که پوشش با اکثریت یون سریم جانشین شده در حالت چهار ظرفیتی، زرد کمرنگ است. یونهای سریا در پوششهای CSZ پلاسما اسپری شده ترجيحاً در حالت چهار ظرفیتی هستند چراکه ⁴⁺ Ce قادر به پایدارسازی زیرکونیا در فاز تتراگونال است. تمامی ترکیبهای سنتز شده و تحت عملیات حرارتی قرارگرفته در این پژوهش به رنگ زرد کمرنگ بودند[۱۹]. فرایندهای دمابالا معمولاً تغییراتی در حالت ظرفیت ایجاد می کنند و ⁺⁴ Ce را به ⁺³ Ce کاهش میدهند [۱۰]. در چنین وضعیتی جاهای خالی اکسیژنی برای به تعادل رساندن ظرفیت کمتر یون Ce معرفی خواهند شد که منجر به پایدارسازی فاز مکعبی و امکان حضور هر دو فاز تتراگونال استحاله ناپذیر 't و فاز مکعبی میشود. حضور مقداری یون سریم سهظرفیتی می تواند باعث تغییر بزرگی در سلول واحد شده و بنابراین پیکهای XRD پهن دیده میشوند. در شکل (۶) در تمامی الگوهای تفرق اشعه ایکس بدست امده از ۶ نمونه عملیات حرارتی شده، پس از جدا سازی پیک ها توسط نرم افزار، حضور فاز مکعبی دیده می شود که می تواند به پایدار سازی توسط

⁺⁴Co⁺³ بواسطه جای خالی اکسیژنی ناشی از آن اختصاص یابد، هرچند که پیک مشخص شده نزدیک به نویز است [۱۹]. استحاله t به m بوسیله رشد بلوره ها ترویج می شود و فقط زمانی می تواند اتفاق بیافتد که اندازه دانه بیش از مقدار بحرانی باشد [۱۰]. بعضی منابع این اندازه بحرانی را mμ ۳/۰ گزارش کردهاند [۲۱]. به لحاظ ترمودینامیکی پایدارترین فاز برایZrO2 در دمای اتاق فاز منو کلنیک است.اما ممکن است که در ZrO2 خالص اندازه ی کوچک بلورها منجر به پایداری حرارتی فاز تتراگونال شود. Garvie در پژوهش های خود این عامل را ناشی از تفاوت در انرژی سطحی بین فاز تتراگونال و منو کلنیک برای بلورهای بسیار کوچک فاز تتراگونال می داند که می تواند باعث پایدارسازی ترمودینامیکی آن شود. همانطور که در جدول (۱) آمده است اندازه ی می داند که می تواند باعث پایدارسازی ترمودینامیکی آن شود. همانطور که در جدول (۱) آمده است اندازه ی بلورهای تحت عملیات حرارتی گرفته در این پژوهش در محدوده ی ۱۳ تا m ۲۱ است. بنابراین طبق آنچه که می داند که می تواند باعث پایدارسازی ترمودینامیکی آن شود. همانطور که در جدول (۱) آمده است اندازه ی بلورهای تحت عملیات حرارتی گرفته در این پژوهش در محدوده ی ۱۳ تا ۲۰۰ ۲۱ است. بنابراین طبق آنچه که وor 20 یز مقدار دو02 کاهش پیدا می کند. بنابراین می تواند در این ترکیبات در دمای اتاق پایدار باشد (۲۵]. مقدار مهارشده و استحاله ی تتراگونال به منوکلنیک سرکوب شده است [۲۹].

۳-۵- بررسی اثر Sc₂O₃ بر تتراگونالیته و پایداری حرارتی

تتراگونالیته فاکتور مهمی در پایداری فاز تتراگونال است و نشان دادهشده است که مستقل از نوع دوپانت است. فاز تتراگونال استحاله ناپذیر 't و فاز تتراگونال استحاله پذیر t به وسیله تتراگونالیته از یکدیگر متمایز می شوند که در شکل (۷) مشخص شده است [۲۴]. مقاومت 't در برابر استحاله به سمت m به مقدار تتراگونالیته کوچکتر آن نسبت داده می شود [۱۹].

با استفاده از الگوی تفرق اشعه ایکس برای محدودهی زاویهی ۲۵ برابر با °۷۵-۷۲ که در شکل (۶) نشان داده شده است و با استفاده از فرمول (۴) که در بخش مواد و روش تحقیق معرفی شد، برای هر ۶ ترکیب با مقادیر مختلف از پایدارکنندهی Sc2O3 ، تتراگونالیته به دست آمده و در جدول (۱) گزارش شده است. عدد گزارش شده برای هر ۶ ترکیب در بازه ی زاویه ای فوق برای فاز تتراگونال غیرقابل استحاله است. مقادیر محاسبه شده در جدول (۱) کاهش تتراگونالیته را با افزایش مقدار Sc2O3 دوپ شده در شبکه ی زیر کونیا نشان می دهد. این کاهش در تتراگونالیته نشان از افزایش جای خالی اکسیژنی در ترکیب های ScCeSZ دارد زیرا تتراگونالیته تنها به وسیله ی ایجاد جاهای خالی اکسیژنی کاهش می یابد و در نتیجه افزایش مقدار دوپانت ها با کاتیون های سه ظرفیتی می تواند منجر به کاهش این پارامتر شود [۱۹] که نتیجه آن افزایش احتمال ایجاد ترکیبی از زیر کونیا کاملاًپایدار شده خواهد بود. در شکل (۶ د، ه، و) پیک مربوط به فاز مکعبی در حال ظاهر شدن و به تبع آن در جدول (۱) تتراگونالیته در نمونه های ۴، ۵ و ۶ در حال کاهش است. بر طبق نمودارهای فازی موجود در منابع، با

اضافه کردن ۲۰ ٪ وزنی ایتریا و یا بیش از ۱۰٪ مولی اسکاندیا و یا بالای ۵۰٪ مولی سریا، می توان زیر کونیا را در فاز مکعبی پایدار کرد، در این صورت زیر کونیای کاملاً پایدارسازی شده و نه زیر کونیای جزئی پایدار شده مورد استفاده در پوشش های سد حرارتی بدست آمده است. هرچند که پوشش های کاملاً پایدار شده نیاز به پایداری حرارتی را مرتفع می کند اما در آزمایش های چرخه حرارتی عملکرد ضعیفی دارند [۱۹]. ترکیب هایی که در جدول (۱) با علائم که، ۶۵ ، 50 و در شکل (۶) الگوی تفرق اشعه ایکس آن ها با حروف (د، ه، و) علامت گذاری شده است، تتراگونالیه کوچک تر و مقاومت بیشتری نسبت به استحاله مارتنزیتی به فاز منو کلنیک دارند اما پیک مربوط به فاز مکعبی را نیز نشان می دهند، با توجه به هدف این پژوهش، ضعف در مقاومت به شوک حرارتی آن ها باعث می شود تا ترکیب 33 با ۴/۷۸ ٪ مول Sc₂O3 و تتراگونالیته ۱۹۰۶ بدون حضور فاز مکعبی حاصل از افزایش مقدار دوپانت، به عنوان جایگزینی مناسب برای SSY رایج انتخاب و معرفی شود.

٤- نتیجه گیری

ترکیبات ScCeSZ نانو ساختار بهوسیلهی روش سل-ژل پلیمری سنتز شدند. ترکیبات در ۲۰۰۵ برای ۲۵ ساعت عملیات حرارتی شده و پایداری فازی آنها با یکدیگر و با YSZ نانو ساختار تجاری مقایسه شد. برای ترکیبات سنتز شده ۲۰٪ مولی CeO2 و بین ۳/۶ ٪ تا ۸ ٪ مولی Sc2O3 به کار برده شده است. وجود فاز پایداری فازی ترکیبات سنتز شده ۲۰٪ مولی CeO2 و بین ۳/۶ ٪ تا ۸ ٪ مولی Sc2O3 به کار برده شده است. وجود فاز پایداری فازی ترکیب ماست و برای YSZ نانو ساختار تجاری ۸۰٪ فاز منوکلنیک به عنوان مقیاسی از تخریب برای پایداری فازی ترکیبهاست و برای SSC و بین ۲۰% ٪ تا ۸ ٪ مولی Sc2O3 به کار برده شده است. وجود فاز پایداری فازی ترکیبهاست و برای SSZ نانو ساختار تجاری ۸۰٪ فاز منوکلنیک به عنوان مقیاسی از تخریب برای SSC SCO3 با یایداری فازی ترکیبهاست و برای SSZ نانو ساختار تجاری ۲۰% ناز منوکلنیک مشاهده شده است. درحالی که برای SSC SCO3 این مقدار به ۲۰٪ می رسد و Sc2O3 فاز منوکلنیک مشاهده نشده است. درحالی که برای SSC SCO3 این مقدار به ۲۰٪ می رسد و Sc2O3 فاز منوکلنیک مشاهده نشده است. درحالی که برای SSC SCO3 این مقدار به ۲۰٪ می رسد و Sc2O3 فاز منوکلنیک مشاهده نشده است. درحالی که بلور، استحاله به سمت منوکلنیک را سرکوب می کند. Sc2O3 با افزایش جای خالی اکسیژنی مقدار تراگونالیته را کاهش و پایداری حرارتی را افزایش می دهد. در مقدار بالای Sc2O3 دوپ شده در شبکهی زیرکونیا، فاز مانور، استحاله به سمت منوکلنیک را سرکوب می کند. Sc2O3 با افزایش جای خالی اکسیژنی مقدار تراگونالیته معدی در حال شکل گیری است که در چرخه حرارتی عملکرد ضعیفی دارد بنابراین ترکیب به مولی محیمی نیز در حال شکل گیری است که در چرخه حرارتی عملکرد ضعیفی دارد بنابراین ترکیب به مولی می Sc2O3 با تراگونالیته عملکرد حرارتی و پانسیل مناسب برای Sc2O3 دوپ شده در ویانت، به عنوان ترکیب به به به می در مقدار در می می در در معیفی دارد بنابراین ترکیب به مینه به در ۲۰% به به می می در از می Sc2O3 با تراگونالیت مادر در می Sc2O3 با تراگوناین می می در در می در ترکیب به تراگونای ماد عملکرد حرارتی و پانسیل مناسب برای جایگزینی با SYS رایج انتخاب می شود.

٥- تشکر و قدردانی
 از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ساختمان شیخ بهایی آزمایشگاه نانو آپتو الکترونیک بابت در
 اختیار قرار دادن تجهیزات لازم برای این پروژه تشکر و قدردانی به عمل می آید.
 ٦- مراجع

[3] X.Q. Cao, R. Vassen, D. Stoever, " Ceramic materials for thermal barrier coatings " J. Eur. Ceram. Soc. 24, 2004.

 ^[1] Curt H. Liebert and Francis S. Stepka, Industry Tests of NASA Ceramic Thermal Barrier Coating, NASA Technical Paper 1425, 1979.
 [2] Robert Vaßen, Maria Ophelia Jarligo, Tanja Steinke, Daniel Emil Mack, Detlev Stöver, Surface & Coatings Technology 205 (2010) 938–942

[4] Mohammad RezaLoghman-Estarki, Reza Shoja Razavib, Hossein Edris, Mousa pourbafrany, Hossein Jamali, Reza ghasemi, "Life time of new SYSZ thermal barrier coatings produced by plasma spraying method under thermal shock test and high temperature treatment" Ceramics International40,1405–1414, 2014.

[5] Dongming Zhu, Robert A. Miller, " Development of Advanced Low Conductivity Thermal Barrier Coatings "Int. J. Appl. Ceram. Technol, 1, 86-94, 2004.

[6] Hossein Jamali, Reza Mozafarinia, Reza Shoja Razavi, Raheleh Ahmadi-Pidani, " Comparison of thermal shock resistances of plasma-sprayed nanostructured and conventional yttria stabilized zirconia thermal barrier coatings "Ceramics International 38, 6705–6712, 2012.

[7] Robert L. Jones, Richard F. Reidy, erek Mess, "Scandia, yttria-stabilized zirconia for thermal barrier coatings" Surface and Coatings Technology 82, 70-76, 1996.

[8] Huaifei Liu a,b, Songlin Li a,*, Qilian Li b, Yongming Li, Investigation on the phase stability, sintering and thermal conductivity of Sc2O3–Y2O3–ZrO2 for thermal barrier coating application, Materials and Design 31 2972–2977 (2010).
[9] Robert L. Jones, Richard F. Reidy, Derek Mess, Scandia, yttria-stabilized zirconia for thermal barrier coatings, Surface and Coatings Technology 82, 70-76, (1996).

[10] Giovanni Di Girolamo, Caterina Blasi, Monica Schioppa, Leander Tapfer, Structure and thermal properties of heat treated plasma sprayed ceria–yttria co-stabilized zirconia coatings, Ceramics International 36 961–968, (2010).
[11] C´eline Viazzi, Jean-Pierre Bonino, Florence Ansart, Antoine Barnab´e, Structural study of metastable tetragonal YSZ powders produced via a sol–gel route, Journal of Alloys and Compounds 452, 377–383(2008).

[12] Mohammad Reza Loghman-Estarki, Hossein Edris, Reza ShojaRazavi, Large scale synthesis of non-transformable tetragonal Sc2O3, Y2O3 doped ZrO2 nano powders via the citric acid based gel method to obtain plasma sprayed coating, Ceramics International397817–7829, (2013).

[13] G.H Stout, L.H. Jensen, X-Ray Structure Determination, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 1989.

[14] J. R. Brandon, R. Taylor, Phase stability of zirconia-based thermal barrier coatings Part I. Zirconia—yttria alloys, Surface and Coatings Technology 46, 75—90 (1991).

[15] Mohammad Reza Loghman-Estarki, Morteza Hajizadeh-Oghaz, Hossein Edris, Reza Shoja Razavi, Comparative studies on synthesis of nano crystalline Sc₂O₃–Y₂O₃ doped zirconia (SYDZ) and YSZ solid solution via modified and classic Pechini method, CrystEngComm,15, 5898-5909, (2013).

[16] G.C.C. Costa, R. Muccillo, Comparative studies on properties of scandia-stabilized zirconia synthesized by the polymeric precursor and the polyacrylamide techniques, Journal of Alloys and Compounds 503, 474–479 (2010).
[17] Mohammad Reza Loghman-Estarki, Reza Shoja Razavi, Hossein Edris, Synthesis and Thermal Stability of Nontransformable Tetragonal (ZrO2)0.96(REO1.5)0.04 (RE=Sc³⁺, Y³⁺) Nanocrystals, Defect and Diffusion Forum Vols. 334-335, pp 60-64, (2013)

[18] M.A. Borik, V.T. Bublik, A.V. Kulebyakin, E.E. Lomonova, F.O. Milovich, V.A. Myzina, V.V. Osiko, S.V. Seryakova, N.Y. Tabachkova, Change in the phase composition, structure and mechanical properties of directed melt crystallised partially stabilised zirconia crystals depending on the concentration of Y₂O₃, Journal of the European Ceramic Society, 2014.

[19] S.A. Tsipas, Effect of dopants on the phase stability of zirconia-based plasma sprayed thermal barrier coatings, Journal of the European Ceramic Society 30, 61–72, (2010).

[20] Huaifei Liu, Songlin Li, Qilian Li, Yongming Li, Investigation on the phase stability, sintering and thermal conductivity of Sc2O3–Y2O3–ZrO2 for thermal barrier coating application, Materials and Design 31 (2010) 2972–2977

[21] G. Effenberg and S. Ilyenko, Ternary Alloy Systems, Landolt-Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, Group IV: Physical Chemistry Volume 11, Springer (2010)

[22] J. R. Brandont, R. Taylor, Phase stabifity of zirconia-based thermal barrier coatings Part II. Zirconia—ceria alloys, Surface and Coatings Technology, 46 91—101 (1991).

[23] Robert L. Jones, Derek Mess, Improved tetragonal phase stability at 1400°C with scandia, yttria-stabilized zirconia, Surface and Coatings Technology 86-87, 94-101 (1996).

[24] C'eline Viazzi, Jean-Pierre Bonino, Florence Ansart, Antoine Barnab, Structural study of metastable tetragonal YSZ powders produced via a sol–gel route, Journal of Alloys and Compounds 452 377–383 (2008).

[25] R.C. Garvie, J. Phys. Chem. 82, 218 (1978)

[26] M. Rezaei, S. M. Alavi, S. Sahebdelfar, Zi-Feng Yan, Synthesis of ceria doped nanozirconia powder by a polymerized complex method, J Porous Mater 16, 497–505, (2009).





شكل (۱): آناليز حرارتي همزمان براي ژل ScCeSZ، الف:DTA/DDTA، ب:TG/DTG

ب





شکل (۳): تصویر FE-SEM از نانو پودر ScCeSZ کلسینه شده در °a. 700 C : آگلومره های نانو پودر کلسینه شده،b: زینتر اولیه ذرات پودر نانو ساختارscCeSZ : اندازه ذرات نانو پودر ScCeSZ



شکل(۴): نمودار فازی تعادلی برای ZrO2-Sc2O3 ، فاز «'α نشان دادهشده در شکل برابر با فاز تتراگونال غیرقابل استحاله در نظر گرفتهشده است [۲۰].



www.SID.ir



شکل (۵): نمودار XRDبرای ترکیبهای سنتز شده و عملیات حرارتی شده در ۲۰۰ ۱۴۰۰.

شکل (۶): نمودار XRD با سرعت پایین برای نمونه های عملیات حرارتی شده °C ۱۴۰۰ در محدوده زاویه ° ۷۲-°۷۵.



	sc ₂ o ₃	ceo ₂	اندازه بلور	تتراكوناليته	مقدار فاز
	% mol	% mol			منو كلنيك
S 1	_	۲. ۲۰	17.1nm	١,٠٠٨١	7.1,91
S2	°/. ۳/9	۲. ۲۰	21.4nm	۱,۰۰۶۵	_
S3	7. F/VA	۲. ۲۰	21.4nm	1,	_
S4	°/. 0/98	۲. ۲۰	19nm	1,09	_
S5	7. 9/31	۲. ۲۰	13.2nm	1,	_
S 6	'/. A	۲. ۲۰	15.6nm	١,٠٠٥٠	_
YSZ	-	-	21.4nm	-	%4,14

جدول (۱): ترکیب نمونه های آماده شده برای بررسی ساختار فازی پس از عملیات حرارتی.