

پژوهشگاه مواد و انرژی

پروژه کارشناسی ارشد سرامیک

ایجاد پوشش زیرکونیای پایدار شده بر روی کامپوزیت اکسید نیکل و

زیرکونیای پایدار شده به روش لایه نشانی الکتروفورتیکی

دانشجو:

ایمان آذریان بروجنی

اساتید راهنما:

دکتر بابک رئیسی دهکردی

دکتر امیر مقصودی پور

اطلاعات درک
تست درک

۱۳۸۸ / ۴ / ۱۰

تابستان ۱۳۸۷

۱۱۴۲۴۶

چکیده:

یافتن روشی مقرون به صرفه برای ساخت الکترولیت پیل‌های سوختی جامد اکسیدی از موضوعات بحث برانگیز در طول سال‌های اخیر بوده است. یکی از روش‌های پیشنهادی برای ساخت الکترولیتی با ضخامت کم و متراکم بر روی الکتروود متخلخل، روش لایه نشانی الکتروفوریتیکی بوده است. تا کنون حلال‌های مختلفی برای لایه نشانی الکتروفوریتیکی زیرکونیای تثبیت شده توسط یتیریا پیشنهاد شده‌اند، اما تلاش‌های کمی برای مقایسه این حلال‌ها صورت گرفته است. در این تحقیق اثر گذشت زمان بر رفتار پودر زیرکونیای تثبیت شده توسط یتیریا در حلال‌های غیر آبی که عبارتند از: اتانل، ایزوپروپانل، η -پروپانل، اسیل استن، استن، مخلوط استن-اتانل (به نسبت ۳ به ۱) و مخلوط اتانل-استیل استن (به نسبت ۱ به ۱) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور هدایت الکتریکی، تحرک پذیری الکتروفوریتیکی و پایداری سوسپانسیون‌ها (اندازه گیری حجم رسوب و منطقه شفاف)، در طول زمان ۶ تا ۷ روز ارزیابی شد. لازم به ذکر است که به جز مخلوط اتانل-استیل استن، به هر سوسپانسیون میزان 0.1 mg/L تا 0.8 mg/L اضافه شد. آزمون‌ها نشان دادند که سوسپانسیون‌های الکلی محتوی ید رسانایی کمتری نسبت به سوسپانسیون‌های کتونی و سوسپانسیون‌های مخلوط با درصد ید مشابه دارند. با این حال سوسپانسیون‌های کتونی و سوسپانسیون‌های مخلوط تغییرات رسانایی کمتری با زمان از خود نشان می‌دهند. همچنین مشخص گردید اگر چه ید می‌تواند تحرک پذیری الکتروفوریتیکی سوسپانسیون‌های اتانل، استن، استیل استن و مخلوط استن-اتانل را افزایش دهد، اما اثر آن بر تحرک پذیری الکتروفوریتیکی سوسپانسیون‌های η -پروپانل و ایزوپروپانل ناچیز است. همچنین آزمایشات پایداری نشان دادند که افزودن ید به عنوان روانساز چندان پایداری سوسپانسیون‌های الکلی را بهبود نمی‌بخشد و حتی در مورد ایزوپروپانل چنانچه غلظت ید بیشتر از 0.2 mg/L باشد با گذشت زمان، سوسپانسیون ناپایدار می‌شود. در نهایت سوسپانسیون مخلوط استیل استن-اتانل به خاطر تغییر خواص ناچیزی که با گذشت زمان دارد، رسانایی کم و تحرک پذیری الکتروفوریتیکی بالا بهترین انتخاب برای لایه نشانی زیرکونیای تثبیت شده توسط یتیریا در این تحقیق شناخته شد. در ادامه لایه‌هایی با کیفیت خوب و بدون ترک توسط لایه نشانی الکتروفوریتیکی از سوسپانسیون مخلوط استیل استن-اتانل بر روی پایه اکسید نیکل-زیرکونیای تثبیت شده توسط یتیریا که به وسیله اعمال لایه ای از گرافیت بر روی پایه هادی شده بودند، ایجاد گردید. در این عمل لایه نشانی میدان‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و 100 V/cm و زمان‌های به ترتیب ۶، ۳، ۲ و $1/5$ دقیقه انتخاب شدند. ضخامت‌های اندازه گیری شده توسط SEM نشان دادند که اگر چه حاصل ضرب میدان الکتریکی در زمان لایه نشانی طی این آزمون‌ها ثابت بودند، با این حال ضخامت لایه تشکیل شده با افزایش میدان الکتریکی اعمالی افزایش می‌یابد. در ادامه کار زیتتر کردن لایه‌های تولید شده تحت میدان الکتریکی 75 V/cm و زمان لایه نشانی ۲ دقیقه، نشان دادند که زیتتر کردن در دمای 1250°C و به مدت ۲ ساعت برای تولید لایه ای متراکم و نفوذ ناپذیر کافی نمی‌باشد. با این حال عمل زیتتر کردن در دمای 1400°C و به مدت ۲ ساعت باعث شد که لایه ای بدون ترک، متراکم و بدون وجود حفرات ریز در داخل ساختار آن، تولید شود. ضخامت لایه نهایی بدست آمده حدود $7 \mu\text{m}$ بود و به نظر می‌رسید که شرایط لازم را به منظور کاربرد به عنوان الکترولیت پیل‌های سوختی جامد اکسیدی، دارا باشد.

به نام خداوند رحمتگر مهربان

سپاس نامه

خدا را شاکرم که توفیق انجام و اتمام این تحقیق را به اینجانب عنایت فرمود و وظیفه خود می دانم از همه عزیزانی که در انجام این تحقیق مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا از اساتید محترم آقایان دکتر رئیسی و دکتر مقصودی پور که راهنمایی های خود را از من دریغ نمودند کمال قدردانی را دارم. همچنین از آقای مهندس کاظم زاد که در این پژوهش از مشاوره های فراوان ایشان در زمینه شیمی بهره بردم بسیار تشکر می نمایم. از آقای دکتر مرزبان راد نیز که در این پژوهش از راهنمایی های ایشان بهره گرفتم بسیار سپاسگذارم. همچنین از آقای دکتر درودیان و مسئولین محترم آزمایشگاه های سرامیک و سنتز به ویژه آقای جباری و خانم قادری که با اینجانب نهایت همکاری را داشته اند کمال تشکر را دارم. از آقای حسن زاده نیز که در ساخت تجهیزات این پروژه بسیار همکاری نمودند نهایت سپاس را دارم. از کارکنان واحد SEM و همچنین خانم یآوری که در زمینه آزمون تحرک پذیری الکتروفورتیکی مساعدت فراوان داشته اند بسیار سپاسگذارم. همچنین از خانم مهندس طالبی که در زمینه تهیه پایه با این جانب همکاری فراوان داشتند بسیار متشکرم. در پایان لازم می دانم از آقایان مهندس میرحسینی، گردش زاده، فتاحی و محبی که در این پروژه از تجربیات آنها بهره فراوان بردم تشکر کنم.

تقدیم به

مادرم که بدون زحمات و تشویقهای فراوان وی قادر نبودم به این

موقعیت دست یابم

و نیز به

برادرم که یکی از بزرگترین مشوقهای من برای تحصیل علم بود.

موضوعات

	۱- مروری بر منابع مطالعاتی:
۱	۱-۱ پیلهای سوختی جامد اکسیدی:
۱	۱-۱-۱ معرفی پیلهای سوختی:
۳	۱-۱-۲ اصول کارکرد SOFCها:
۴	۱-۱-۳ اجزاء SOFC:
۹	۱-۱-۴ پیکربندی سلول:
۱۱	۱-۱-۵ طراحی چیدمان سلولها:
۱۵	۱-۱-۶ روشهای تولید:
۱۶	۱-۱-۶-۱ روشهای مرسوم:
۲۰	۱-۱-۶-۲ روشهای نیمه مرسوم:
۲۱	۱-۱-۶-۳ روشهای غیر مرسوم:
۲۲	۲-۱ لایه نشانی الکتروفورتیکی
۲۲	۱-۲-۱ معرفی لایه نشانی الکتروفورتیکی:
۲۳	۲-۲-۱ باردار شدن سطح ذرات:
۲۴	۳-۲-۱ تثوری لایه مضاعف:
۳۰	۴-۲-۱ الکتروکیتیک
۳۱	۵-۲-۱ تثوریهای الکتروفورزیس:
۳۲	۶-۲-۱ تثوریهای لایه نشانی:
۳۶	۳-۱ تکنیکهای EPD به کار رفته برای تولید الکترولیتهای SOFC:
۴۶	۴-۱ حمامهای مورد استفاده EPD برای تولید SOFC:
۵۵	۲- روش انجام تحقیق:
۵۶	۱-۲ مواد اولیه:
۵۷	۲-۲ مر احل انجام کار:
۵۷	۱-۲-۲ تستهای کیفی مقدماتی:
۵۹	۲-۲-۲ آزمونهای کمی مربوط به آزمونهای Aging و اثر پارامترهای مؤثر بر آن:
۵۹	۱-۲-۲-۲ آزمون رسانایی:
۶۲	۲-۲-۲-۲ آزمون پایداری:
۶۳	۳-۲-۲-۲ آزمون تحریک پذیری الکتروفورتیکی:
۶۳	۳-۲-۲ ساختن پایه:

۶۴	۴-۲-۲ هادی کردن پایه:
۶۴	۵-۲-۲ آماده سازی حمام:
۶۵	۶-۲-۲ انجام EPD بر روی نمونه‌های NiO-YSZ:
۶۶	۷-۲-۲ آماده سازی پوشش‌های خام برای SEM:
۶۶	۸-۲-۲ زینتر کردن نمونه‌ها:
۶۶	۹-۲-۲ بررسی ریز ساختار توسط SEM:
۶۶	۱۰-۲-۲ بررسی میکروسکوپ نوری:
۶۷	۳- نتایج و بحث:
۶۸	۱-۳ آزمون‌های EPD کیفی و غیر سیستماتیک مقدماتی:
۷۸	۲-۳ آزمون‌های Aging:
۸۰	۱-۲-۳ سوسپانسیون‌های الکلی:
۸۰	۱-۱-۲-۳ اتانل:
۸۸	۲-۱-۲-۳ ایزوپروپانل:
۹۶	۳-۱-۲-۳ پروپانل:
۱۰۴	۴-۱-۲-۳ جمع بندی الکلهای:
۱۰۷	۲-۲-۳ حلالهای بر پایه کتون:
۱۰۷	۱-۲-۲-۳ استیل استن:
۱۱۶	۲-۲-۲-۳ مخلوط استیل استن و اتانل (درصد حجمی ۵۰%-۵۰%):
۱۱۹	۳-۲-۲-۳ استن:
۱۲۷	۴-۲-۲-۳ مخلوط استن + اتانل:
۱۳۴	۳-۲-۳ انتخاب حمام بهینه:
۱۳۶	۱-۳-۲-۳ میزان رسانایی و ثبات رسانایی حمام:
۱۴۴	۲-۳-۲-۳ پایداری و تحرک پذیری الکتروفورتیکی:
۱۴۹	۳-۳-۲-۳ سمیت خطرناک بودن محلولها:
۱۵۲	۴-۳-۲-۳ درجه سادگی حمام و سهولت کار کردن با آن:
۱۵۳	۵-۳-۲-۳ جمع بندی:
۱۵۴	۳-۳ انجام تستهای EPD بر روی نمونه‌های NiO-YSZ:

۱۶۹	۴- نتیجه گیری:
۱۷۲	۵- پیشنهادات:
۱۷۳	۵- مراجع:
۱۸۶	۶- پیوست- لیست اختصارات به کار رفته در پایان نامه

صفحه	اشکال
۳	شکل ۱-۱: شماتیک عملکرد یک SOFC
۱۰	شکل ۱-۲: انواع پیکر بندیهای سلولی متداول
۱۲-۱۳	شکل ۱-۳: انواع طراحیهای متداول چیدمان
۱۷	شکل ۱-۴: شماتیک فرایند EVD
۲۵	شکل ۱-۵: شماتیک لایه مضاعف و افت پتانسیل در مجاورت آن (با اندکی تغییرات)
۲۷	شکل ۱-۶: شماتیک سه حالت توضیح داده شده درباره روابط نیروهای واندروالس (الف) دو ذره کروی در فاصله دور از یکدیگر (ب) دو ذره کروی در فاصله نزدیک (ج) دو صفحه موازی
۲۸	شکل ۱-۷: الف: تئوری DLVO برای دو سطح صاف موازی به ازای واحد سطح (ب) اثر اندازه دو ذره کروی بر اساس تئوری DLVO
۲۹	شکل ۱-۸: مجموع انرژی تأثیرگذار بر روی ذره مطابق تئوری DLVO در چهار حالت مختلف
۳۱	شکل ۱-۹: شماتیک اثر الکتروفورزیس و فرایند لایه نشانی الکتروفورتیکی
۳۵	شکل ۱-۱۰: شماتیک تئوری بهم ریختن و نازک شدن لایه مضاعف
۴۴	شکل ۱-۱۱: دو روشی که M. Matsuda برای لایه نشانی YSZ بر روی NiO-YSZ پیشنهاد داد (الف) روش EPD مستقیم، (ب) روش EPD غیر مستقیم.
۴۶	شکل ۱-۱۲: روشی که M.Liu در سال ۲۰۰۷ برای EPD روی سطح YSZ پیشنهاد کرد
۴۹	شکل ۱-۱۳: میزان ضخامت لایه LM برحسب زمان لایه نشانی
۴۹	شکل ۱-۱۴: میزان ضخامت لایه NiCO ₃ -YSZ برحسب زمان لایه نشانی
۵۳	شکل ۱-۱۵: ریز ساختار پوشش خام YSZ حاصل از EPD بر روی فولاد ضدزنگ. (الف) پوشش بدست آمده از حمام استیل استن خالص (ب) پوشش بدست آمده از حمام اتانل خالص (ج) پوشش بدست آمده از حمام مخلوط ۴۵٪ حجمی اتانل و ۵۵٪ حجمی استیل استن
۵۷	شکل ۱-۲: شماتیک سلول استوانه ای EPD که در اکثر تستهای کیفی مقدماتی از آن استفاده شده است.
۵۸	شکل ۲-۲: شماتیک سلول افقی EPD که در برخی از آزمونهای کیفی مقدماتی از آن استفاده شده است.
۶۰	شکل ۲-۳: شماتیک ابزارها و مدارهای که برای اندازه گیری رسانایی محلولها و سوسپانسیونها از آن استفاده شد.
۶۲	شکل ۲-۴: نحوه قرائت مقادیر supernant و میزان رسوب در استوانه های مدرج
۶۵	شکل ۲-۵: شماتیک مدار استفاده شده برای EPD بر روی پایه NiO-YSZ

- شکل ۳-۱: نمودار رفتار رسانایی سوسپانسیونهای اتانل با زمان
- شکل ۳-۲: نمودار مقایسه رفتار سوسپانسیون اتانل بدون ید با اتانل شاهد
- شکل ۳-۳: نمودار تحرک پذیری الکتروفورتیکی با غلظت ید برای سوسپانسیونهای اتانلی طی دو زمان مختلف
- شکل ۳-۴: نمودار پایداری سوسپانسیون اتانل بدون ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۵: نمودار پایداری سوسپانسیون اتانل محتوی $0.2g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۶: نمودار پایداری سوسپانسیون اتانل محتوی $0.4g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۷: نمودار پایداری سوسپانسیون اتانل محتوی $0.6g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۸: نمودار پایداری سوسپانسیون اتانل محتوی $0.8g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۹: نمودار پایداری سوسپانسیونهای اتانل محتوی مقادیر مختلف ید با گذشت ۴ روز از اولین ریزش
- شکل ۳-۱۰: نمودار پایداری سوسپانسیونهای اتانل محتوی مقادیر مختلف ید با گذشت ۴ روز از هفتمین ریزش
- شکل ۳-۱۱: نمودار رسانایی بر حسب غلظتهای مختلف ید در سوسپانسیونهای اتانلی طی زمانهای مختلف
- شکل ۳-۱۲: نمودار رفتار رسانایی سوسپانسیونهای ایزوپروپانل با زمان
- شکل ۳-۱۳: نمودار مقایسه رفتار سوسپانسیون ایزوپروپانل بدون ید با ایزوپروپانل شاهد
- شکل ۳-۱۴: نمودار رسانایی بر حسب غلظتهای مختلف ید در سوسپانسیونهای ایزوپروپانل طی زمانهای مختلف
- شکل ۳-۱۵: نمودار تحرک پذیری الکتروفورتیکی با غلظت ید برای سوسپانسیون ایزوپروپانل طی دو زمان مختلف
- شکل ۳-۱۶: تغییرات پتانسیل زتا و رسانایی سوسپانسیون آبی PZT با تغییرات pH
- شکل ۳-۱۷: نمودار پایداری سوسپانسیون ایزوپروپانل بدون ید طی ۶ روز
- شکل ۳-۱۸: نمودار پایداری سوسپانسیون ایزوپروپانل محتوی $0.2g/L$ ید طی ۶ روز
- شکل ۳-۱۹: نمودار پایداری سوسپانسیون ایزوپروپانل محتوی $0.4g/L$ ید طی ۶ روز
- شکل ۳-۲۰: نمودار پایداری سوسپانسیون ایزوپروپانل محتوی $0.6g/L$ ید طی ۶ روز
- شکل ۳-۲۱: نمودار پایداری سوسپانسیون ایزوپروپانل محتوی $0.8g/L$ ید طی ۶ روز
- شکل ۳-۲۲: نمودار پایداری سوسپانسیونهای ایزوپروپانل محتوی مقادیر مختلف ید با گذشت ۶ روز از اولین ریزش
- شکل ۳-۲۳: نمودار پایداری سوسپانسیونهای ایزوپروپانل محتوی مقادیر مختلف ید با گذشت ۶ روز از ششمین ریزش
- شکل ۳-۲۴: نمودار رفتار رسانایی سوسپانسیونهای n -پروپانل با زمان
- شکل ۳-۲۵: نمودار مقایسه رفتار سوسپانسیون ایزوپروپانل بدون ید با ایزوپروپانل شاهد
- شکل ۳-۲۶: نمودار رسانایی بر حسب غلظتهای مختلف ید در سوسپانسیونهای n -پروپانل طی زمانهای

مختلف

شکل ۳-۲۷: نمودار تحرک پذیری الکتروفورتیکی با غلظت ید برای سوسپانسیون n-پروپانل طی دو زمان

مختلف

شکل ۳-۲۸: نمودار پایداری سوسپانسیون n-پروپانل بدون ید طی ۷ روز

شکل ۳-۲۹: نمودار پایداری سوسپانسیون n-پروپانل محتوی $0.2g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۳۰: نمودار پایداری سوسپانسیون n-پروپانل محتوی $0.4g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۳۱: نمودار پایداری سوسپانسیون n-پروپانل محتوی $0.6g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۳۲: نمودار پایداری سوسپانسیون n-پروپانل محتوی $0.8g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۳۳: نمودار پایداری سوسپانسیونهای n-پروپانل محتوی مقادیر مختلف ید با گذشت ۷ روز از

اولین ریزش

شکل ۳-۳۴: نمودار پایداری سوسپانسیونهای n-پروپانل محتوی مقادیر مختلف ید با گذشت ۷ روز از

هفتمین ریزش

شکل ۳-۳۵: نمودار پایداری سوسپانسیونهای n-پروپانل محتوی مقادیر مختلف ید با گذشت ۱۶ روز از

هفتمین ریزش

شکل ۳-۳۶: میزان تغییرات تابع $f(ka)$ بر اساس تأثیر مقادیر مختلف اندازه ذرات و ضخامت لایه

مضاعف به منظور محاسبه تحرک پذیری الکتروفورتیکی در رابطه هنری

شکل ۳-۳۷: نمودار رسانایی بر حسب غلظتهای مختلف ید در سوسپانسیونهای الکلی طی زمانهای

مختلف

شکل ۳-۳۸: نمودار تحرک پذیری الکتروفورتیکی با غلظت ید برای سوسپانسیونهای الکلی طی دو زمان

مختلف

شکل ۳-۳۹: نمودار رفتار رسانایی سوسپانسیونهای استیل استن با زمان

شکل ۳-۴۰: نمودار مقایسه رفتار سوسپانسیون استیل استن بدون ید با استیل استن شاهد

شکل ۳-۴۱: نمودار رسانایی بر حسب غلظتهای مختلف ید در سوسپانسیونهای و محلولهای استیل استن

طی زمانهای مختلف

شکل ۳-۴۲: نمودار تحرک پذیری الکتروفورتیکی با غلظت ید برای سوسپانسیونهای استیل استن و مخلوط

استیل استن-اتانل طی زمانهای مختلف

شکل ۳-۴۳: نمودار پایداری سوسپانسیون استیل استن بدون ید طی ۷ روز

شکل ۳-۴۴: نمودار پایداری سوسپانسیون استیل استن محتوی $0.2g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۴۵: نمودار پایداری سوسپانسیون استیل استن محتوی $0.4g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۴۶: نمودار پایداری سوسپانسیون استیل استن محتوی $0.6g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۴۷: نمودار پایداری سوسپانسیون استیل استن محتوی $0.8g/L$ ید طی ۷ روز

شکل ۳-۴۸: نمودار پایداری سوسپانسیونهای استیل استن محتوی مقادیر مختلف ید و مخلوط استیل

استن-اتانل با گذشت ۷ روز از اولین ریزش

شکل ۳-۴۹: نمودار پایداری سوسپانسیونهای استیل استن محتوی مقادیر مختلف ید و مخلوط استیل

استن-اتانل با گذشت ۷ روز از هفتمین ریزش

- شکل ۳-۵۰: نمودار مقایسه رفتار سوسپانسیونهای استیل استن ، اتانل، مخلوط استیل استن-اتانل بدون ید با محلولهای شاهد
- شکل ۳-۵۱: نمودار پایداری سوسپانسیون استیل استن - اتانل طی ۷ روز
- شکل ۳-۵۲: نمودار پایداری سوسپانسیونهای استیل استن ، اتانل و مخلوط استیل استن-اتانل با گذشت ۷ روز از اولین ریزش
- شکل ۳-۵۳: نمودار پایداری سوسپانسیونهای استیل استن ، اتانل و مخلوط استیل استن-اتانل با گذشت ۷ روز از هفتمین ریزش
- شکل ۳-۵۴: نمودار پایداری سوسپانسیون استن بدون ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۵۵: نمودار مقایسه رفتار سوسپانسیون استن بدون ید با استن شاهد
- شکل ۳-۵۶: نمودار تحرک پذیری الکتروفورتیکی با غلظت ید برای سوسپانسیونهای استن زمانهای مختلف
- شکل ۳-۵۷: نمودار پایداری سوسپانسیون استن محتوی $0.2g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۵۸: نمودار پایداری سوسپانسیون استن محتوی $0.4g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۵۹: نمودار پایداری سوسپانسیون استن محتوی $0.6g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۶۰: نمودار پایداری سوسپانسیون استن محتوی $0.8g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۶۱: نمودار رفتار رسانایی سوسپانسیونهای استن با زمان
- شکل ۳-۶۲: نمودار رسانایی بر حسب غلظتهای مختلف ید در سوسپانسیونهای استن طی زمانهای مختلف
- شکل ۳-۶۳: نمودار پایداری سوسپانسیون استن-اتانل بدون ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۶۴: نمودار مقایسه رفتار سوسپانسیونهای استن ، اتانل، مخلوط استن-اتانل بدون ید با محلولهای شاهد
- شکل ۳-۶۵: نمودار رفتار رسانایی سوسپانسیونهای استن-اتانل با زمان
- شکل ۳-۶۶: نمودار پایداری سوسپانسیون استن-اتانل محتوی $0.2g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۶۷: نمودار پایداری سوسپانسیون استن-اتانل محتوی $0.4g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۶۸: نمودار پایداری سوسپانسیون استن-اتانل محتوی $0.6g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۶۹: نمودار پایداری سوسپانسیون استن-اتانل محتوی $0.8g/L$ ید طی ۷ روز
- شکل ۳-۷۰: نمودار تحرک پذیری الکتروفورتیکی با غلظت ید برای سوسپانسیونهای استن-اتانل در زمانهای مختلف
- شکل ۳-۷۱: نمودار رسانایی بر حسب غلظتهای مختلف ید در سوسپانسیونهای استن-اتانل طی زمانهای مختلف
- شکل ۳-۷۲: نمودار زمان aging بر اساس انجام آزمون توکی با سطح اطمینان ۵٪ بر روی داده های رسانایی
- شکل ۳-۷۳: نمودار میزان درصد ضریب تغییرات رسانایی با زمان برای سوسپانسیونهای مختلف
- شکل ۳-۷۴: نمودار میزان برد تغییرات رسانایی با زمان برای سوسپانسیونهای مختلف

- شکل ۳-۷۵: نمودار تغییر رسانایی با غلظت ید برای سوسپانسیونهای مورد آزمایش قرار گرفته شده در دو زمان مختلف
- شکل ۳-۷۶: نمودار رسانایی سوسپانسیونهای بدون ید در دو زمان مختلف
- شکل ۳-۷۷: نمودار تغییر EPM با غلظت ید برای سوسپانسیونهای مورد آزمایش قرار گرفته شده در دو زمان مختلف
- شکل ۳-۷۸: نمودار حداقل supernatant گزارش شده طی زمان ۲۴ نگهداری در استوانه مدرج برای سوسپانسیونهایی که پایداری مناسبی دارند.
- شکل ۳-۷۹: تصویر SEM از سطح نمونه پوشش داده شده تحت میدان $25V/cm$ و زمان ۶ دقیقه
- شکل ۳-۸۰: تصویر SEM از منطقه دیگری از سطح نمونه پوشش داده شده تحت میدان $25V/cm$ و زمان ۶ دقیقه
- شکل ۳-۸۱: تصویر SEM از سطح نمونه پوشش داده شده تحت میدان $50V/cm$ و زمان ۳ دقیقه
- شکل ۳-۸۲: تصویر SEM از سطح نمونه پوشش داده شده تحت میدان $75V/cm$ و زمان ۲ دقیقه
- شکل ۳-۸۳: تصویر SEM از سطح نمونه پوشش داده شده تحت میدان $100V/cm$ و زمان $1/5$ دقیقه
- شکل ۳-۸۴: تصویر SEM از سطح مقطع شکست نمونه پوشش داده شده تحت میدان $100V/cm$ و زمان $1/5$ دقیقه
- شکل ۳-۸۵: تصویر SEM از سطح مقطع شکست نمونه پوشش داده شده تحت میدان $75V/cm$ و زمان ۲ دقیقه
- شکل ۳-۸۶: تصویر SEM از سطح مقطع شکست نمونه پوشش داده شده تحت میدان $50V/cm$ و زمان ۳ دقیقه
- شکل ۳-۸۷: عکس میکروسکوپ نوری از پوشش تولید شده توسط میدان اعمالی $75V/cm$
- شکل ۳-۸۸: تصویر SEM از سطح نمونه پوشش داده شده و زیتتر شده در دمای $1250^{\circ}C$.
- شکل ۳-۸۹: تصویر SEM سطح مقطع شکست نمونه پوشش داده شده و زیتتر شده در دمای $1250^{\circ}C$.
- شکل ۳-۹۰: تصویر میکروسکوپ نوری استریو سطح نمونه پوشش داده شده و زیتتر شده در دمای $1250^{\circ}C$.
- شکل ۳-۹۱: تصویر SEM سطح نمونه پوشش داده شده و زیتتر شده در دمای $1400^{\circ}C$
- شکل ۳-۹۲: تصویر SEM سطح مقطع شکست نمونه پوشش داده شده و زیتتر شده در دمای $1400^{\circ}C$
- شکل ۳-۹۳: تصویر میکروسکوپ نوری استریو سطح نمونه پوشش داده شده و زیتتر شده در دمای $1400^{\circ}C$ در دو بزرگنمایی.

صفحه

جداول

- جدول ۱-۱: لیست مهمترین پیل‌های سوختی معرفی شده ۱
- جدول ۱-۲: ملزوماتی که اجزاء SOFC می بایست داشته باشند ۵
- جدول ۱-۳: مقادیر هدایت یونی زیرکونیای تثبیت شده اکسیدهای نادر قلیایی ۷
- جدول ۱-۴: معایب و مزایای پیکربندیهای مختلف سلولی متداول (بیشتر با هدف ۱۰

کاربرد در چیدمان صفحه ای)

- ۵۶ جدول ۱-۱: لیست مواد مورد استفاده در این پروژه
- ۶۹-۷۵ جدول ۱-۳: شرایط حمامهای تست گرفته شده در مرحله آزمونهای کیفی مقدماتی و نتایج بدست آمده از آنها
- ۱۴۷ جدول ۲-۳: ویسکوزیته برخی از حلالهای استفاده شده.
- ۱۵۰ جدول ۳-۳: پارامتر LD50 برای محلولهای خالص به کار رفته در این تحقیق
- ۱۵۱ جدول ۳-۴: نقطه جوش و نقطه اشتعال محلولهای ذکر شده در این تحقیق به صورت خالص

مقدمه:

پیل‌های سوختی جامد اکسیدی (SOFC) موضوع جدیدی در علم محسوب نمی‌شوند. نزدیک به یک قرن از زمانی که نرست اولین هادی یون اکسیژن سرامیکی را معرفی کرد می‌گذرد. بازده بسیار بالا و آلودگی زیست محیطی بسیار کم تولید انرژی به کمک این ادوات می‌بایست سبب جایگزینی این دستگاهها با موتورها و توربینهای گازی مرسوم می‌شد. با این حال این دستگاهها هنوز توسعه کافی پیدا نکرده‌اند. هزینه پایین منابع انرژی و عدم تعهد برخی از کشورهای تأثیر گذار به پیمانهای جهانی مربوط به کنترل آلودگیهای ناشی از سوختهای فسیلی از جمله عواملی هستند که سبب شده تا این مسأله همچنان برای توسعه جهانی، با مشکل مواجه باشد. بزرگترین مشکل SOFCها هزینه تولید بالای این دستگاهها است. هنوز روش مقرون به صرفه و بهینه‌ای برای تولید قطعات SOFCها به صورت قاطع پیشنهاد نشده است.

لایه نشانی الکتروفوریتیکی (EPD) نیز سرنوشتی مشابه دارد. این روش اگر چه نزدیک به یک قرن است که روشی شناخته شده محسوب می‌شود و در تحقیقات آزمایشگاهی نقش به‌سزایی دارد، اما در صنعت تولید پوششهای سرامیکی جایگاه مناسبی پیدا نکرده است. مشکل اصلی این روش عدم وجود مکانیزمهای مشخصی است که تمامی مشاهدات مربوط به لایه نشانی را توجیه کند تا بتوان به کمک آن پارامترهای مؤثر بر فرآیند را تعیین کرد.

نقطه تلاقی این دو موضوع علمی به کارگیری EPD برای ساخت الکترولیت و گاه سایر اجزاء SOFCها می‌باشد. این موضوع که از سال ۱۹۹۲ مطرح شد اما تا سال ۱۹۹۶ چندان جدی گرفته نشد و تنها در چند سال اخیر است که به پتانسیل این روش برای تولید الکترولیت SOFCها پی برده شده است.

حال سؤال این است چنانچه این روش برای تولید الکترولیت SOFC صنعتی شود کدام یک به دیگری کمک کرده است. آیا گسترش SOFCها سبب عام شدن روش EPD شده است یا EPD باعث گسترش ساخت SOFCها خواهد شد. اما مهمتر از جواب این سؤال نتیجه آن است: هوای سالم تر، محیط زیست پاک تر و دسترسی به منبع انرژی با دوامتر.

تحقیق حاضر سعی دارد روش EPD را برای تولید الکترولیت SOFCها در ایران بیازماید. همچنین سعی شده به این مسأله نگاه شود که در صورت صنعتی شدن این روش چه مشکلاتی امکان دارد فراروی آن بوجود بیاید و چه متغیرهایی می‌توانند در رفع آنها مؤثر باشند.

۱- مروری بر منابع مطالعاتی

۱-۱ پیل‌های سوختی جامد اکسیدی:

۱-۱-۱ معرفی پیل‌های سوختی:

پیل‌های سوختی^۱ دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند انرژی شیمیایی حاصل از یک سوخت گازی را از طریق یک واکنش الکتروشیمیایی بین سوخت و اکسیدکننده به صورت مستقیم به انرژی الکتریکی (و حرارت) تبدیل کنند [1]. از آنجایی که این نوع دستگاه‌ها انرژی شیمیایی را ابتدا به انرژی مکانیکی تبدیل نمی‌کنند، میزان بازده آنها مستقل از چرخه کارنو بوده و در نتیجه بازدهی بالاتری را می‌توان برای آنها انتظار داشت.

از یک دیدگاه پیل‌های سوختی همانند باتریها هستند که در آنجا سوخت گازی و گاز اکسیدکننده با هم در الکترودها واکنش می‌دهند و یونها از طریق یک الکترولیت عبور می‌کنند. با این حال به عکس باتریها پیل‌های سوختی «خالی» نمی‌شوند و احتیاج به شارژ مجدد ندارند. یک پیل سوختی تا زمانی که سوخت و ماده اکسیدکننده با هم به الکترودها برسد می‌تواند کار کند و انرژی تولید شود (مگر آنکه پیل سوختی آسیب دیده باشد)

پیل‌های سوختی براساس نوع الکترولیتی که به عنوان هادی یون در آنها به کار گرفته می‌شود تقسیم‌بندی می‌گردند. در جدول ۱-۱ مهمترین پیل‌های سوختی معرفی شده اند.

جدول ۱-۱: لیست مهمترین پیل‌های سوختی معرفی شده [۲].

Types of fuel cell	Electrolyte	Operating T	Fuel	Oxidant	Efficiency
Alkaline (AFC)	potassium hydroxide (KOH)	50-200°C	pure hydrogen, or hydrazine	O ₂ /Air	50-55%
Direct methanol (DMFC)	polymer	60-200°C	liquid methanol	O ₂ /Air	40-55%
Phosphoric acid (PAFC)	phosphoric acid	160-210°C	hydrogen from hydrocarbons and alcohol	O ₂ /Air	40-50%
Sulfuric acid (SAFC)	sulfuric acid	80-90°C	alcohol or impure hydrogen	O ₂ /Air	40-50%
Proton-exchange membrane (PEMFC)	polymer, proton exchange membrane	50-80°C	less pure hydrogen from hydrocarbons or methanol	O ₂ /Air	40-50%
Molten carbonate (MCFC)	molten salt such as nitrate, sulphate, carbonates...	630-650°C	hydrogen, carbon monoxide, natural gas, propane, marine diesel	CO ₂ /O ₂ /Air	50-60%
Solid oxide (SOFC)	ceramic as stabilised zirconia and doped perovskite	600-1000°C	natural gas or propane	O ₂ /Air	45-60%
Protonic ceramic (PCFC)	thin membrane of barium cerum oxide	600-700°C	hydrocarbons	O ₂ /Air	45-60%

پنج نوع اول در دمای پایین تا دمای متوسط کار می‌کنند (۲۱۰-۵۰ درجه سانتیگراد) و دارای بازده ۴۰٪ (هنگامی که از سوخت‌های هیدروکربنی مانند متانول استفاده کنند) تا ۵۰٪ (زمانی که از سوخت هیدروژن خالص استفاده کنند) می‌باشند. دو نوع دیگر (پیل‌های سوختی کربنات مذاب^۲ MCFC و پیل‌های سوختی جامد اکسیدی^۳ SOFC) در دمای بالا کار می‌کنند (۱۰۰۰ تا ۶۰۰

¹ - Fuel Cells

² - Molten Carbonate Fuel Cells

³ - Solid Oxide Fuel Cells

درجه سانتیگراد) که به علت کارکرد در دمای بالا می‌توانند سوخت‌هایی همانند متان و گاز طبیعی را به صورت مستقیم مصرف کنند و در نتیجه بازده بالاتری داشته باشند (حدود ۴۵٪ الی ۶۰٪).

پیل‌های سوختی مزایای مهمی دارند که از آن جمله می‌توان به بازده بالای تبدیل انرژی سازگاری با محیط زیست، مدولاریتی (واحد پذیری)، زمان راه اندازی کوتاه، بی‌صدا بودن و استفاده از انواع سوختها (البته برای بعضی از انواع آنها) اشاره کرد [2].

شاید بتوان دو ایراد بزرگ را نام برد که سبب شده از این وسایل تا به امروز استفاده گسترده‌ای صورت نگیرد. اول آنکه در ساخت پیل‌های سوختی یا باید از مواد گرانبه‌ای استفاده شود (برای مثال برای الکترودهای نوع PEMFC از پلاتین استفاده می‌شود [3]) و یا فرآیند ساخت آنها بسیار هزینه‌بر است (مانند SOFC).

دومین مسأله این است که بعضی از آنها به سوخت‌های هیدروژنی نیاز دارند که انبار کردن و نگهداری هیدروژن امری بسیار خطرناک و مشکل است.

پیل‌های سوختی جامد اکسیدی SOFC مشکل دوم را اساساً ندارند و در مورد مشکل اول نیز نسبتاً مقرون به صرفه‌تر از سایر پیل‌های سوختی می‌باشند. به طور کلی این نوع پیل‌های سوختی به علت دمای کارکرد بالا استفاده از الکترولیت سرامیکی و وجود حامل‌های O^{2-} در الکترولیت دارای مزایای ویژه‌ای نسبت به سایر پیل‌های سوختی هستند که عبارتند از استفاده از سوخت‌های غیرهیدروژنی (و استفاده از جزء کربن سوخت)، بازده بالاتر، استفاده از حرارت تولید شده، جامد بودن الکترولیت، عدم استفاده از مواد گرانبه‌ای و عدم پلاریزاسیون.

با این حال SOFCها معایبی نیز دارند، اگرچه کار در دمای بالا حسن آنها محسوب می‌شود اما عیب نیز به حساب می‌آید. زیرا احتیاج به موادی دارند که در آن دما پایدار بمانند و با محیط واکنش ندهند. تحقیق بر روی انتخاب چنین موادی برای مثال برای اتصال دهنده‌ها^۱ و درزگیرها^۲ هنوز با مشکل مواجه است (درباره این دو جزء در بخش‌های بعدی توضیح بیشتری داده خواهد شد) همین امر سبب گردیده تا استفاده از SOFCها تا حدی محدود می‌شود.

همچنین SOFCها نیاز به زمان دارند تا به دمای کارکرد مطلوب برسند. این امر مقداری سبب شده تا در رقابت بین PEMFC برای کاربرد در وسایل نقلیه عقب بیفتند زیرا پیل‌های سوختی پلیمری می‌توانند در صورت وجود سوخت هیدروژن بلافاصله شروع به کار کنند در صورتی که SOFCها برای گرم شدن احتیاج به زمان دارند. با این حال چنانچه سوخت هیدروژنی در دسترس نباشد و برای مثال احتیاج به تبدیل متانول به هیدروژن از طریق یک فرآیند hot reforming باشد SOFC ارجح شناخته می‌شود [2]. هم اکنون SOFC و PEMFC رقابت نسبتاً فشرده‌ای با

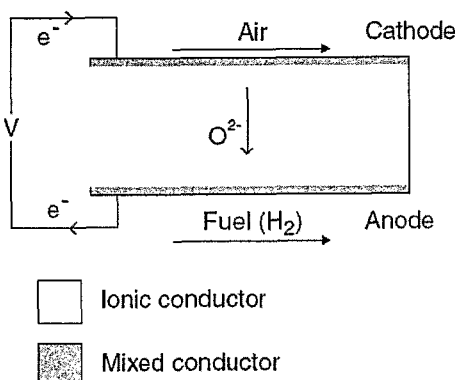
¹ - interconnect

² - Sealants

یکدیگر دارند.

۱-۱-۲ اصول کارکرد SOFC ها:

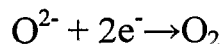
هر SOFC از دو الکترود تشکیل شده که توسط یک الکترولیت جامد از یکدیگر جدا شده- اند. سوخت به آنند می‌رسد در آنجا واکنش اکسیدی بین سوخت رخ می‌هد و الکترون آزاد می‌شود. الکترون آزاد شده به سمت کاتد از طریق مدار خارجی انتقال می‌یابد. همچنین یون حامل از طریق الکترولیت از کاتد به آنند (یا بالعکس در صورتی پیل سوختی هادی یون H^+ باشد) انتقال پیدا می‌کند. در کاتد نیز به کمک الکترون جذب شده واکنش احیاء رخ می‌دهد. الکترون متحرک در مدار خارجی سبب اعمال جریان الکتریکی و تولید برق می‌گردد. (شکل ۱-۱)



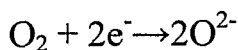
شکل ۱-۱: شماتیک عملکرد یک SOFC [4]

همچنان که ذکر گردید در SOFC ها یون O^{2-} به عنوان یون اکثریت در ممبران الکترولیت انتقال می‌یابد. این امر سبب گردیده که استفاده از CO به عنوان یک جزء سوخت در کنار H_2 میسر شود و بنابراین محدوده استفاده از سوخت بسیار وسیع گردد.

به طور کلی واکنش آنندی در SOFC ها به صورت:



واکنش کاتدی به صورت:



خواهد بود و یون O^{2-} از کاتد به سمت آن انتقال خواهد یافت [5].

(^۱) در اکثر SOFC ها یون حامل اکثریت O^{2-} می‌باشد اما در بعضی دیگر H^+ می‌تواند در الکترولیت به عنوان یون حامل عمل کند. باید توجه داشت این نوع الکترولیتها بدون وجود جای خالی O^{2-} قادر به جابه‌جایی H^+ که حامل اکثریت است، نمی‌باشد. این نوع SOFC ها اگرچه در دمای کمتری کار می‌کنند (بین ۷۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد) اما فقط از سوختهای هیدروژنی یا قسمت هیدروژن نیدروکربنها می‌توانند استفاده کنند و به همین خاطر چندان توسعه پیدا نکرده‌اند و تنها در آزمایشگاهها بر روی آنها تحقیق صورت می‌گیرد. از آنجایی که این نوع پیل‌های سوختی سرامیکی به تحقیق ما مربوط نمی‌شود؛ در این متن به آنها اشاره دیگری نخواهد شد و منظور ما از SOFC از اینجا به بعد تنها SOFC های هادی یون O^{2-} خواهند بود.

۱-۱-۳ اجزاء SOFC:

هر چیدمان¹ SOFC که شامل چند سلول SOFC می‌باشد از اجزاء زیر تشکیل شده است:

۱- **الکترولیت:** وظیفه الکترولیت است که مسیری فراهم کند تا یونهای O^{2-} بتوانند از کاتد خود را به آند برسانند. بنابراین الکترولیت می‌بایست هادی خوبی برای یون O^{2-} در دمای کارکرد پیل سوختی (۶۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد) باشد [6].

۲- **کاتد:** مهمترین وظیفه کاتد این است که بتواند مکانهای مناسبی برای واکنش الکتروشیمیایی احیاء شدن فراهم کند (واکنش $4e^- + O_2 \rightarrow 2O^{2-}$). کاتد می‌بایست علاوه بر اینکه هادی یون O^{2-} باشد هدایت الکترونی خوبی نیز داشته باشد [7].

۳- **آند:** وظیفه آند این است که مکانهای مناسبی برای واکنش اکسید شدن الکتروشیمیایی سوخت ایجاد کند (واکنش $2O^{2-} \rightarrow 4e^- + O_2$) بنابراین آند می‌بایست همانند کاتد علاوه بر اینکه هادی یون اکسیژن است هادی الکترون نیز به حساب آید [8].

۴- **اتصال دهنده‌ها^۲:** وظیفه اتصال دهنده‌ها این است که آند یک سلول را به کاتد سلول دیگر متصل سازد تا سلولهای یک پیل سوختی بتوانند به صورت سری با یکدیگر اتصال برقرار کنند. وظیفه دیگر این است که سوخت را از اکسیدکننده جدا سازد. اتصال دهنده فقط می‌بایست هادی الکترونی خوبی باشد [9].

۵- **درزگیر:** وظیفه درزگیر این است که سوخت از محل اتصال یک سلول به سلول دیگر نشت نکرده و خود را با محیط اکسیدکننده نرساند. همچنین سوخت نتواند خود را به محیط بیرون یا به مجراهای ورودی اکسیدکننده برساند. از درزگیر هیچ نوع هدایتی انتظار نمی‌رود [10].

براساس وظایفی که هر جزء به عهده دارد می‌بایست ملزومات خاصی را نیز داشته باشد تا بتواند در جای خود بهترین کار کرد را ارائه دهد.

لازم به ذکر است چنین ملزوماتی نوع موادی را که می‌تواند برای هر جزء به کار رود و همچنین روش تولید اجزاء را دیکته می‌کند (جدول ۱-۲). باید توجه داشت علاوه بر تمامی ملزوماتی که در جدول ۱-۲ ذکر شده است اجزاء SOFC می‌بایست دارای استحکام بالا، چقرمگی مناسب، ساخت‌پذیری خوب و ارزان قیمت (چه از لحاظ مواد و چه از لحاظ فرآیند تولید) باشند [11]. شایان ذکر است که الکترولیت ماده اصلی SOFC به شمار می‌رود و در مواردی که سازگاری و ضریب انبساط حرارتی مطرح می‌شود در واقع بقیه اجزاء می‌بایست با الکترولیت سازگار باشند و ضریب انبساط حرارتی مشابهی داشته باشند. به عبارت دیگر ابتدا تعیین می‌شود که چه

¹ -Stack

² interconnects

جدول ۱-۲: ملزوماتی که اجزاء SOFC می بایست داشته باشند [۱] (با اندکی تغییرات)

ملزومات						
اجزاء	هدایت	پایداری	سازگاری	تخلخل	ضرب انبساط حرارتی	سایر شرایط
الکترولیت	هدایت حداکثر یونی و هدایت ناچیز الکترونی در هر دونوع اتمسفر اکسیدی و احیایی ،عدم تغییر هدایت با زمان	پایداری فازی، شیمیایی، ریزساختاری و ابعادی چه در شرایط اکسیدی و چه در شرایط احیایی و عدم تغییر فاز شدید در هنگام پروسه ساخت	عدم واکنش مخرب یا عدم نفوذ در اجزاء مجاور سلول چه در دمای کارکرد و چه در دمای ساخت	کاملاً فشرده و بدون تخلخل (یا بدون تخلخل راه بدلی)	انبساط ضریب انبساط حرارتی با سایر اجزاء مجاور، عدم تغییرات ضریب انبساط حرارتی با تغییر فشار جزئی اکسیژن در SOFC	
کاتد	هدایت حداکثر یونی و الکترونی در اتمسفر اکسید کننده	پایداری فازی، شیمیایی، ریزساختاری و ابعادی در شرایط اکسیدی و عدم تغییر فاز شدید در هنگام پروسه ساخت	عدم واکنش مخرب یا عدم نفوذ در اجزاء مجاور سلول چه در دمای کارکرد و چه در دمای ساخت	متخلخل (حتی امکان نفوذپذیر در برابر گاز)	انبساط ضریب انبساط حرارتی با سایر اجزاء مجاور	فعالیت کاتالیستی: ایجاد سایت‌های مناسب برای واکنش الکتروشیمیایی مجاور کاتد
آند	هدایت حداکثر الکترونی و یونی در محیط احیاء کننده	پایداری فازی، شیمیایی، ریزساختاری و ابعادی در شرایط احیایی و عدم تغییر فاز شدید در هنگام پروسه ساخت	عدم واکنش مخرب یا عدم نفوذ در اجزاء مجاور سلول چه در دمای کارکرد و چه در دمای ساخت	متخلخل (حتی امکان نفوذپذیر در برابر گاز)	انبساط ضریب انبساط حرارتی با سایر اجزاء مجاور، عدم تغییرات ضریب انبساط حرارتی با تغییر فشار جزئی اکسیژن در SOFC	فعالیت کاتالیستی: ایجاد سایت‌های مناسب برای واکنش الکتروشیمیایی مجاور آند، در هنگام کار SOFC internal reforming ، H2 و CO با سوخت‌های غیر آلودگیها (مثلاً سولفور)
اتصال	هدایت الکتریکی حداکثر و هدایت یونی ناچیز در هر دونوع اتمسفر اکسیدی و احیایی و عدم تغییر آن با فشار جزئی اکسیژن	پایداری فازی، شیمیایی، ریزساختاری و ابعادی چه در شرایط اکسیدی و چه در شرایط احیایی و عدم تغییر فاز شدید در هنگام پروسه ساخت	عدم واکنش مخرب یا عدم نفوذ در اجزاء مجاور سلول چه در دمای کارکرد و چه در دمای ساخت	کاملاً فشرده و بدون تخلخل (یا بدون تخلخل راه بدلی)	انبساط ضریب انبساط حرارتی با سایر اجزاء مجاور، عدم تغییرات ضریب انبساط حرارتی با تغییر فشار جزئی اکسیژن در SOFC	
دورگیر	عدم تاثیر داشتن هدایت	پایداری فازی، شیمیایی، ریزساختاری و ابعادی چه در شرایط اکسیدی و چه در شرایط احیایی و عدم تغییر فاز شدید در هنگام پروسه ساخت	عدم واکنش مخرب یا عدم نفوذ در اجزاء مجاور سلول چه در دمای کارکرد و چه در دمای ساخت	کاملاً فشرده و بدون تخلخل (یا بدون تخلخل راه بدلی)	انبساط ضریب انبساط حرارتی با سایر اجزاء مجاور به خصوص در سیکل‌های گرم و سرد شدن (در مورد دورگیرهای صلب این شرط بیشتر نمود پیدا می کند	

ماده‌ای می‌خواهد به عنوان الکترولیت به کار گرفته شود و سپس اجزاء دیگر با توجه به این دو شرط انتخاب می‌شوند.

درباره الکترولیت تحقیقات بسیار زیادی انجام شده است و هادیهای یون اکسیژن بسیاری پیشنهاد گردیده‌اند. شاید هنگامی که نرسد در سال ۱۸۹۹ اولین هادی یون اکسیژن زیرکونیای دوپ شده توسط ۱۵٪ وزنی بیتریا را ارائه می‌نمود هرگز تصور نمی‌نمود که حتی پس از گذشت بیش از یک قرن نتوان برای جایگزینی آن ماده مناسبتری را پیشنهاد کرد. امروزه مواد دیگری که برخی از آنها عبارتند از: الف) مواد بر پایه LaGaO_3 (که $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Ga}_{1-y}\text{Mg}_y\text{O}_{3-\delta}$ یا LSGM شاخص مهم آن است)، ب) CeO_2 با انواع مواد دوپ شده $(\text{Ce}_{1-x}\text{MnO}_{2-\delta})$ که M می‌تواند Y، Sm، Gd و $\text{Y}_4\text{NbO}_{8.5}$ (باشد)، ج) گروه اکسید بیسموت دوپ شده و $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ (که به BIMEVOX شهرت دارند)، د) مواد بر پایه $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ (که به نام LAMOX شهرت دارند)، ه) گروه آپاتیتها $(\text{A}_{10-x}(\text{MO}_4)_6\text{O}_{2\pm\delta})$ که M می‌تواند Si یا Ge و A مواد نادر خاکی یا قلیایی باشد، و) مواد Pyrochlore $(\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7)$ که برای مثال A می‌تواند Gd یا Ga بوده و B می‌تواند Zr و یا Ti باشد) و گروه فلوریت $(\text{Y,Nb,Zr})\text{O}_{2-\delta}$ که برای مثال می‌توان به $\text{Y}_4\text{NbO}_{8.5}$ اشاره کرد) به عنوان کاندیدا برای جایگزینی زیرکونیای تثبیت شده معرفی شده‌اند. با این حال هر یک از آنها معایبی چون عدم پایداری در شرایط احیایی، مشکل بودن پایدار نگه داشتن فاز مطلوب، تغییرات فازی در سیکل کاری یا تولید، سنتز مشکل، هزینه بالای مواد اولیه، هدایت یونی کم و هدایت الکترونی زیاد در کنار هدایت یونی مطلوب داشته‌اند که استفاده از آنها را به عنوان الکترولیت پیل سوختی با مشکل مواجه کرده است [12]. با این تفاسیر هنوز زیرکونیای دوپ شده به عنوان مهمترین کاندیدای الکترولیت شناخته می‌شود.

زیرکونیای تثبیت شده حسن بزرگی دارد و آن این است که در محدوده وسیعی از فشار اکسیژن (از ۱۰۰ الی ۲۰۰ اتمسفر تا 10^{-20} الی 10^{-25} اتمسفر می‌تواند پایدار بوده و عمده هدایت آن از طریق هدایت یونی باشد به نحویکه هدایت الکترونی آن قابل صرف نظر می‌باشد [12].

ZrO_2 به تنهایی هدایت اکسیژن ناچیزی دارد و در حین فرآیند تولید و کار تغییر فاز ناگهانی در آن رخ می‌دهد که باعث می‌شود خواص لازم را برای الکترولیت SOFC دارا نباشد. با این حال هنگامی که با ترکیباتی چون CaO ، MgO ، Y_2O_3 ، Sc_2O_3 ، ... تثبیت می‌شود ساختار آن چه در دمای اتاق و چه در دمای ساخت یا کار، مکعبی^۱ باقی می‌ماند و نیز جایگزینی عناصر ۲ تا ۳ ظرفیتی به جای Zr^{4+} سبب می‌شود که در ساختار جای خالی O^{2-} بوجود بیاید که هدایت را افزایش می‌دهد. چنین مشاهده شده است که هر چه شعاع یونی دوپنت نزدیکتر به Zr^{4+} باشد هدایت یونی

^۱ cubic