

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



## مروری بر کاتالیستهای بکاررفته برای پیل سوختی اکسید جامد

میلاذ محیطی اصلی<sup>۱</sup>، محمود آقازیارتی<sup>۲</sup>، ناهید خندان<sup>۳</sup>

تهران- اتوبان شهید بابائی- دانشگاه صنعتی مالک اشتر- مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت-

مرکز آموزشی تحقیقاتی شیمی و مهندسی شیمی

mimohiti@gmail.com

### چکیده

از آنجایی که انعطاف پذیری پیل‌های سوختی اکسید جامد در استفاده از سوخت یکی از مزیت‌های آن می‌باشد، رسیدن به سیستم‌های احتراق که بتواند در محدوده‌ای از سوخت‌ها برای زمان‌های طولانی کار کند نیاز به کنترل ساختار الکترودها و انتخاب دقیق موادی که در آند جایی که احتراق سوخت صورت می‌گیرد، دارد. در سال‌های اخیر توجه زیادی به کاتالیست‌های بر مبنای نیکل بدلیل قدرت کاتالیستی خوب و قیمت مناسب آن شده است. این فلز به عنوان کاتالیست بر روی پایه‌های مختلف و برای فرآیندهای گوناگون بکار رفته است. پایه‌ها از نظر عملکردی و پایداری، خصوصیات متفاوتی نشان داده‌اند. در این بین  $Al_2O_3$  از نظر عملکرد بهتر و  $La_2O_3$  از نظر پایداری، خصوصیت بهتری نشان داده‌اند. اما این فلز به عنوان کاتالیست مشکلاتی نظیر کاتالیزوری فرآیند کراکینگ هیدروکربن‌ها و تشکیل کک و در نتیجه آن از کار افتادگی کاتالیست را در پی دارد. روش‌های مختلفی برای کاستن معایب این کاتالیست بکار برده شده است. افزودن ارتقا دهنده‌ها و استفاده از موادی مانند ژئولیت‌ها می‌تواند تا حدودی این معایب را بکاهد. در این مقاله ابتدا با معرفی پیل سوختی اکسید جامد، کاتالیست‌های نیکلی که در فرآیندهای مختلف برای آن بکار رفته‌اند بررسی شده است و مزایا و معایب آن‌ها را بیان شده است. امید است که با بررسی دقیق کاتالیست‌های بکار رفته برای این نوع پیل سوختی، در آینده کاتالیست بهینه برای آن انتخاب گردد.

کلمات کلیدی: پیل سوختی اکسید جامد، کاتالیست، نیکل، کراکینگ.

### ۱- مقدمه

بصورت ساده باید گفت پیل سوختی یک وسیله‌ی تبدیل انرژی است. هیچ قطعه متحرکی در آن درگیر نیست بنابراین پیل سوختی در سکوت کار می‌کند. انرژی آزاد شده به صورت گرما و الکتریسیته را می‌توان به عنوان منبع قدرت بکار برد. فرآیند با وارد شدن هیدروژن به یک الکتروده کاتالیزوری که سبب تسهیل در تفکیک اتم‌های هیدروژن به صورت پروتون‌ها و الکترون‌ها می‌شود، شروع می‌گردد. پروتون‌ها یا همان یون‌های هیدروژن از طریق غشاء به سمت کاتالیزور دیگر که با اکسیژن تغذیه می-

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۲. دکترای مهندسی شیمی، عضو هیئت علمی دانشگاه مالک اشتر.

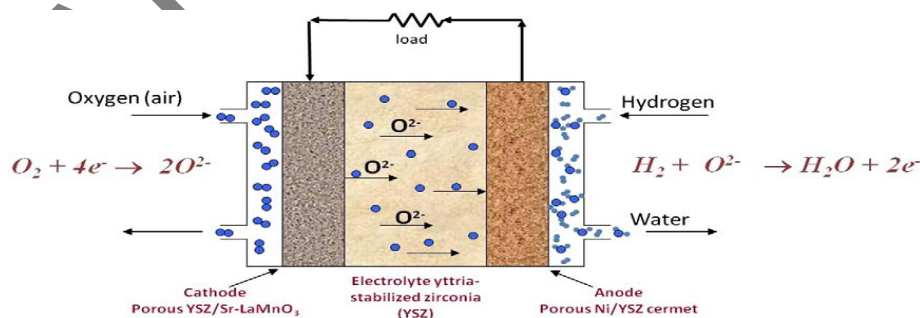
۳. دکترای مهندسی شیمی، مرکز پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده صنایع شیمیایی



شود، حرکت می‌کنند. الکترون‌های جدا شده نمی‌توانند از طریق غشا یا الکترولیت عبور کنند. بنابراین از طریق یک مدار خارجی گذر می‌کنند. مدار خارجی شامل یک بار الکتریکی مانند یک موتور یا لامپ روشنایی یا چیزهایی از این قبیل است و سپس به الکتروکاتالیزوری می‌رسد جایی که پروتون‌ها و الکترون‌ها دوباره با هم ترکیب می‌شوند و با اتصال به اکسیژن تولید مولکول‌های آب می‌کنند [۱]. پیل‌های سوختی از نظر نوع الکترولیت به ۵ گروه تقسیم می‌شوند: ۱. پیل سوختی قلیایی ۲. پیل سوختی اسید فسفریک ۳. پیل سوختی کربنات مذاب ۴. پیل سوختی اکسید جامد ۵. پیل سوختی غشای پلیمری از میان انواع پیل‌های سوختی، پیل سوختی اکسید جامد کارآمدترین و پربازده‌ترین سیستمی است که تاکنون اختراع گردیده است. هر چند که اولین نمونه این نوع پیل توسط نرسنت<sup>۱</sup> و همکارانش در اواخر قرن نوزدهم (سال ۱۸۹۸) در گوتینگن<sup>۲</sup> ساخته شد ولی پیشرفتهای قابل ملاحظه در زمینه تئوری و ساخت آن در حدود ۱۰۰ سال بعد صورت گرفت [۲].

## ۲- پیل سوختی اکسید جامد

شکل ۱ یک نمودار شماتیک از یک پیل سوختی اکسید جامد را نشان می‌دهد. پیل سوختی اکسید جامد یک راکتور غشائی می‌باشد. الکترولیت لایه متراکم رسانای یون اکسیژن که کاند (جایی که مولکول اکسیژن با الکترون‌ها واکنش داده تا آنیون‌های اکسیژن را تولید کند) را از آنند (جایی که سوخت احتراق می‌یابد) جدا می‌کند. الکترون‌هایی که در طول اکسیداسیون الکتروشیمیایی سوخت تولید می‌شوند از طریق یک مدار خارجی به کاتد منتقل می‌شوند. اکثر پیل‌های سوختی اکسید جامد از ایتریا- زیرکونیای پایدار شده (YSZ) به عنوان الکترولیت هادی اکسیژن استفاده می‌کنند. اگرچه سریا و گالات لانتانیوم اضافه شده نیز در سیستم‌های که برای کار در دماهای پایین طراحی شده‌اند، بکار می‌روند. کاتد معمولاً ترکیبی متخلخل از YSZ و یک سرمت رسانای الکترونیکی نظیر  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$  (LSM) می‌باشد. جدیدترین تکنولوژی آنند پیل سوختی اکسید جامد اخیراً ترکیبی از Ni و YSZ می‌باشد. آندهای مرکب Ni/YSZ به اندازه زیادی بهینه شده و عملکرد بالایی برای بعضی از سوخت‌ها مخصوصاً هیدروژن و Syngas (مخلوطی از  $\text{H}_2$  و CO) دارند. آن‌ها زمانی که در معرض هیدروکربن‌ها قرار می‌گیرند پایدار نیستند و محدوده پایینی برای بعضی ناخالصی‌ها نظیر سولفور (که در اکثر سوخت‌ها وجود دارد) دارند. این محدودیت‌ها موجب شده تا تحقیقاتی در طراحی آندهای جایگزین انجام گیرد.



شکل ۱: دیاگرام شماتیک از پیل سوختی اکسید جامد

1. Nernst
2. Gottengen



در آندهای Ni/YSZ نیکل رسانایی الکترونیکی بوده و فعالیت کاتالیستی برای واکنش اکسیداسیون را فراهم می کند. همچنین نیکل کاتالیست عالی برای ریفرمینگ بخار متان<sup>۱</sup> برای تولید گاز سنتز ( $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + H_2$ ) می باشد. آندهای Ni/YSZ مزایایی نظیر قوی بودن، سهولت نسبی در ساخت، کارایی بالا برای اکسیداسیون الکتروشیمیایی  $H_2$  و گاز سنتز را دارند. این آندها ضعفهایی نیز دارند برای مثال آن ها وقتی در معرض مستقیم هیدروکربن ها قرار گیرند، پایدار نمی باشند. متاسفانه Ni تجزیه هیدروکربن ها را به تهنشینی کربنی که باعث از کار افتاده شدن آند می شود، کاتالیزوری می کند. همچنین نیکل بوسیله سولفور که در اکثر سوخت ها وجود دارد، مسموم می شود. مطالعات نشان می دهد که میزان سولفور به میزان ۱ ppm موجب از هم پاشیدگی قابل توجهی در عملکرد آندهای Ni/YSZ می شود. فقدان پایداری اکسیداسیون-کاهش مشکل دیگر برای Ni/YSZ می باشد. نیکل در زمان بکارگیری زیاد سوخت و فشار بخار آب بالا اکسید می شود [۳-۴]. اکثر تحقیقات آند پیل های سوختی اکسید جامد روی این ناکارآمدی سیستم Ni/YSZ می باشد. برای بهبود این ضعف ها می توان کارهای زیر را انجام داد:

۱. ازدیاد عملکرد سیستم Ni/YSZ
۲. جایگزینی نیکل با دیگر فلزات نظیر Cu که تشکیل کربن را کاتالیزوری نمی کنند و مستعد به مسموم شدن با سولفور نیستند.
۳. استفاده از سرامیک های رسانا برای جایگزینی با فلزات در آند. کنترل میکروساختار آند در همه این اقلام برای بهبود عملکرد آند مهم می باشد.

### ۳- کاتالیست

بطور کلی اجزای کاتالیست ناهمگن به سه جزء اساسی تقسیم می شود:

۱. یک فاز کاتالیستی یا فلز فعال
  ۲. یک ارتقادهنده<sup>۲</sup> که فعالیت و/ یا پایداری را افزایش می دهد.
  ۳. یک نگهدارنده با مساحت سطح بالا که به پراکندگی سطح فعال کمک می کند.
- پیشنهادات اخیر برای بهبود عملکرد کاتالیست این سه جزء اساسی را در برمی گیرد. جدول ۱ روی کاتالیست های Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> با ارتقا دهنده و بدون آن متمرکز شده است. جدول ۲ روی کانی ها (الیوین و دولومیت) و کاتالیست های نیکل روی نگهدارنده های بغیر از Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> متمرکز شده است.

1. SMR: Steam Methane Reforming  
2. promoter



جدول ۱: مشخصه‌های کاتالیست‌های Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> با و بدون ارتقا دهنده

مراجع	شرایط	واکنش	نگهدارنده	ارتقا دهنده	فلز
۶	۵۸۰ °C, S/C = ۱	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۷	۷۵۰ °C, S/C = ۳	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۲۲	۵۸۰ °C, S/C = ۱	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۹،۸	۳۲۰ °C, ۷۰۰ °C, S/C = ۱/۵	EtOH SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۱۰	۵۱۵ °C, S/C = ۳	NORPAR-13 SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۱۱	۵۵۰ °C, S/C = ۱/۳	پروپان SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۱۴،۱۳،۱۲	۴۲۰-۸۰۰ °C	SMR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۱۵	۶۵۰ °C	SR سدر گازی شده	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۱۷،۱۶	۶۵۰-۸۵۰ °C, S/C ~ ۵	تولون/افتالین SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۱۹،۱۸	۴۲۰-۶۰۰ °C, S/C = ۱-۲	SMR, EtOH SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ag	Ni
۲۰	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba, Mn	Ni
۲۱	۷۰۰ °C, S/C = ۳	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> SR, POX	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca	Ni
۷	۷۰۰ °C	گازی سازی سدر	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca, K	Ni
۲۰	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca, Mn	Ni
۲۲،۱۱	۵۵۰ °C, S/C = ۱-۲	EtOH SR, SR پروپان	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CeO <sub>2</sub>	Ni
۲۰	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CeO <sub>2</sub> , MnO	Ni
۱۰	۵۱۵ °C, S/C = ۳	NORPAR-13 SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CeO <sub>2</sub> , Rh	Ni
۲۳	۶۵۰ °C, S/C = ۵/۷	تولون SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co	Ni
۲۲	۵۵۰ °C, S/C = ۲	EtOH ATR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co	Ni
۲۲	۵۵۰ °C, S/C = ۲	EtOH ATR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu	Ni
۲۴،۱۱	۵۵۰-۷۰۰ °C	ریفرمینگ خشک، پروپان SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La	Ni
۲۳	۶۵۰ °C, S/C = ۵/۷	تولون SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La	Ni
۲۲	۵۵۰ °C, S/C = ۲	EtOH ATR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg	Ni
۲۵	۵۵۰ °C, S/C = ۱	SMR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, Au	Ni
۲۱	۷۰۰ °C, S/C = ۳	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> SR, POX	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, Fe	Ni
۲۱	۷۰۰ °C, S/C = ۳	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> SR, POX	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, Fe, Co	Ni
۲۷،۲۶	۷۰۰-۸۷۵ °C, S/C = ۳-۵	SR چوب/C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, K	Ni
۲۱	۷۰۰ °C, S/C = ۳	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> SR, POX	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, K, Fe	Ni
۲۸،۱۲	۷۰۰-۸۰۰ °C, S/C ~ ۲	SMR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, K, Fe	Ni
۲۹	۷۵۰ °C	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, La, Ru	Ni
۳۰	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, Mn,	Ni
۳۲،۳۱	۷۰۰ °C, S/C = ۲	SMR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg, Ru,	Ni
۲۰	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Ni
۲۰	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn, K	Ni



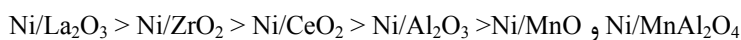
۲۰	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn, Na	Ni
۳۴,۳۳	۷۵۰-۸۵۰ °C, S/C~۳	اکتان, SMR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pd	Ni
۳۵	۸۵۰ °C, S/C ~۱	SMR, POX	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pt	Ni
۳۵	۸۵۰ °C	SMR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rh	Ni
۱۱	۷۰۰ °C, S/C = ۲	SMR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ru	Ni
۲۲	۵۸۰ °C, S/C = ۱	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Ni
۳۶	۷۴۰-۸۲۰ °C, S/C = ۲/۸	دانه ذرت گازی شده SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> , Ca, K	Ni
۳۶	۷۴۰-۸۲۰ °C, S/C = ۲/۸	دانه ذرت گازی شده SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> , Mg, K, Fe	Ni
۱۱	۵۵۰ °C, S/C = ۱/۳	پروپان SR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb	Ni
۲۲	۵۵۰ °C, S/C = ۲	EtOH ATR	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn	Ni

#### ۴- تاثیر نگهدارنده روی کاتالیست‌های نیکل:

##### ۴-۱- اکسیدهای فلزی:

فلزات پایه می‌توانند پایداری مکانیکی، یکپارچگی سطوح برای پراکندگی مواد کاتالیستی فعال را فراهم نمایند. آن‌ها ممکن است نقش شیمیایی‌ای نیز در کاتالیست بازی کنند. نگهدارنده (پایه) می‌تواند با فلز فعال واکنش دهد تا فاز جدیدی تشکیل دهد. قدرت اسیدی و بازی، مساحت سطح، ساختار متخلخل و ساختار الکترونیکی نگهدارنده می‌تواند در قدرت کاهش، پراکندن فلز، پایداری مکانیکی و طبیعت کلی سایت‌های فعال روی کاتالیست موثر باشد. این پارامترها روی فعالیت کاتالیست موثر می‌باشد و می‌تواند طراحی کاتالیست بهینه را کنترل کند. تعدادی از سازندگان تاثیر نگهدارنده‌ها را روی کاتالیست‌های برپایه نیکل برای واکنش‌های ریفرمینگ بررسی کرده‌اند. که در زیر مرور شده است.

متداول‌ترین نگهدارنده استفاده شده برای کاتالیست‌های صنعتی نیکلی ریفرمینگ بخار آلومینا (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) بوده است. آلومینا برای کاتالیزوری ریفرمینگ بخار گاز طبیعی (متان) بخوبی عمل کرده است، اما گاز سنتز مشتق شده- بیوجرم با محدوده وسیعی از ناخالصی‌ها، تاثیر منفی‌ای روی فعالیت کاتالیست‌های ریفرمینگ بخار متان صنعتی دارد. دو راه برای بهبود عملکرد کاتالیستی Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> با ترکیب کردن آن با مواد افزودنی و اتصال آن با نگهدارنده کاملاً متفاوت وجود دارد. سان<sup>۱</sup> [۳۰] و همکارانش ریفرمینگ بخار دما پایین اتانول در ۲۵۰ °C که روی کاتالیست‌های نیکلی انجام شده را بررسی کردند و مرتبه فعالیت را به این ترتیب بدست آوردند: Ni/La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > Ni/Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. در مطالعه دیگر سنوک<sup>۲</sup> [۳۶] و همکارانش نیکل روی پنج نگهدارنده برای ریفرمینگ خشک متان در ۶۵۰ °C آزمایش نمودند. آن‌ها بالاترین تبدیل CO<sub>2</sub> را روی کاتالیست با نگهدارنده Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> را مشاهده نمودند. مرتبه فعالیت را به این صورت بود:



اگرچه کاتالیست Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بالاترین فعالیت اولیه را نشان داد اما موجب کک‌زایی قابل توجه‌ای در راکتور گردید. در صورتی که با کاتالیست La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> این اتفاق نیفتاد. برای ریفرمینگ خشک متان در ۸۰۰ °C، وریکیوز<sup>۳</sup> [۳۷] و همکارانش دریافتند که La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> پایداری و فعالیت بالاتری از نگهدارنده‌های Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و CaO دارد.

1. Sun
2. Seok
3. Verykios



ماتسومورا<sup>۱</sup> [۱۳] و همکارانش ریفرمینگ بخار متان روی  $\text{Ni}/\text{ZrO}_2$  و  $\text{Ni}/\text{SiO}_2, \text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$  را بررسی نمودند و بالاترین تبدیل متان و کمترین مقدار کک‌زایی روی نگهدارنده  $\text{ZrO}_2$  را مشاهده کردند. آن‌ها دریافتند که در  $500^\circ\text{C}$  بخار بتدریج نیکل را به  $\text{NiO}$  روی  $\text{Ni}/\text{SiO}_2$  و  $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$  اکسید کرده و موجب غیر فعال شدن کاتالیست می‌شود. دماهای بالاتری برای کاهش نیکل روی  $\text{ZrO}_2$  از  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{SiO}_2$  مورد نیاز است که نشان‌دهنده برهمکنش نگهدارنده و فلز قوی روی کاتالیست  $\text{Ni}/\text{ZrO}_2$  می‌باشد. سایر مطالعات روی نانوکریستال‌های  $\text{Ni}/\text{ZrO}_2$  بطوری‌که کریستال‌های  $\text{ZrO}_2$  کوچکتر از نگهدارنده‌های رایج  $\text{ZrO}_2$  برای ریفرمینگ خشک و بخار متان بودند، متمرکز شد [۳۸-۳۹]. در این مطالعات سطوح فعالیت و مقاومت کک‌زایی مواد نانوکامپوزیت مقایسه و دیده شد که بالاتر از کاتالیست‌های  $\text{Ni}/\text{ZrO}_2$  و  $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$  رایج بودند.

هنینگز<sup>۲</sup> [۴۰] و همکارانش سطوح مختلفی از گادولینیوم-سریای اضافه شده را بعنوان نگهدارنده برای ریفرمینگ بخار گاز طبیعی پیشنهاد کردند. مطالعات TPR نشان داد که افزایش  $\text{Gd}$  به  $\text{CeO}_2$  کاهش در دمای بالا را فراهم کرده و منجر به فعالیت سطحی بالاتر و ظرفیت تعویض و ذخیره سازی اکسیژن کل در مقایسه با  $\text{CeO}_2$  خالص می‌شود. آن‌ها اظهار عقیده کردند که  $\text{Gd}-\text{CeO}_2$  می‌تواند به عنوان یک نگهدارنده در ریفرمینگ بخار بکار روند تا به ازدیاد گازی کردن کربن کمک کنند و در نتیجه از غیرفعال شدن در نتیجه کک‌زایی جلوگیری نمایند.

ژئولیت‌ها گروه مهمی از آلومینوسیلیکات‌های کریستالی می‌باشند که بطور وسیعی در کاتالیست‌های ناهمگن بدلیل ساختار متخلخل خوب و توانایی‌های فوق العاده بالای مساحت سطح و قدرت اسیدی، بکار رفته‌اند. ژئولیت ZSM-5 ماده مستعدی می‌باشد که برای انواع واکنش‌های کاتالیستی ناهمگن شامل کراکینگ کاتالیستی و کاهش کاتالیستی  $\text{NO}_x$ -انتخاب‌پذیر بکار رفته است [۴۱-۴۳]. وانگ<sup>۳</sup> [۳۴] و همکارانش ژئولیت‌های ZSM-5 ارتقایافته با  $\text{CeO}_2$  بعنوان مواد نگهدارنده را بررسی کردند و دریافتند که آن‌ها برای تخریب قیر موثر می‌باشند. آن‌ها ۵٪ وزنی نیکل را روی  $\text{CeO}_2$  پوشانیده شده با ZSM-5 بارگذاری کردند و دریافتند که برای ریفرمینگ  $\text{C}_7\text{H}_{14}$  در  $580^\circ\text{C}$  مرتبه فعالیت بصورت  $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3 \gg \text{Ni}/\text{HZSM}-5 \gg \text{Ni}/\text{CeZSM}-5$  بود. در حضور ۲۰ ppm  $\text{H}_2\text{S}$  کاتالیست  $\text{Ni}/\text{CeZSM}-5$  تبدیل هیدروکربنی بالایی را نشان داد که می‌توانست با اضافه کردن  $\text{Re}$  و تولید کاتالیست  $\text{Ni}/\text{Re}/\text{CeZSM}-5$  بیشتر شود. زو<sup>۴</sup> [۱۶] و همکارانش کاتالیست‌های اکسید شده مخلوط  $\text{Ni}/\text{CeO}_2$ ،  $\text{Ni}/\text{ZrO}_2$  و  $\text{Ni}/\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$  برای اکسیداسیون جزئی متان در  $700^\circ\text{C}$  مقایسه کردند و فعالیت و مقاومت کک‌زایی بالاتری را در نگهدارنده‌های مرکب در مقایسه با اکسیدهای فلزی منفرد پیدا نمودند. برای ریفرمینگ خشک متان در  $800^\circ\text{C}$  بتدریج<sup>۵</sup> [۴۴] و همکارانش دریافتند که هرچند ۳۰٪ نیکل روی  $\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$  فعالیت اولیه بالایی (< ۹۵٪ تبدیل برای متان) نشان می‌دهد، این کاتالیست بسرعت غیرفعال شده و فعالیت اساسی را بعد از ۱۵ ساعت روی بخار از دست می‌دهد.

کودری<sup>۶</sup> [۴۵] و همکارانش ریفرمینگ بخار و اتوترمال ریفرمینگ متان را روی  $\text{NiCoMgO}_x$  و  $\text{NiCoMgCeO}_x$  نگهداشته شده روی  $\text{ZrO}_2-\text{Hf}_2$  بررسی نمودند. هر دو کاتالیست تبدیل بالایی از متان را در طول واکنش اکسیداسیون جزئی متان نشان دادند. در حضور بخار و  $\text{CO}_2$  کاتالیست  $\text{NiCoMgCeO}_x$  عملکرد بهتری از کاتالیست  $\text{NiCoMgO}_x$  نشان داد که به تحرک شبکه اکسیژن بالا بدلیل افزودن  $\text{Ce}$  نسبت داده می‌شود که آن را برای اتوترمال ریفرمینگ متان مناسبتر می‌نماید. همچنین آن‌ها دریافتند که دماهای کلسیناسیون بالا منجر به غیرفعال شدن تشکیل اکسیدهای فلزی مخلوط غیرفعال می‌شود. افزودن

1. Matsumura
2. Hennings
3. Wang
4. Xu
5. Potdar
6. Choudhary



HfO<sub>2</sub> به پایداری مواد در دماهای کلسیناسیون بالا (<math>1200^{\circ}\text{C}</math>) کمک می‌کند. کاتالیست‌های شامل MgO تبدیل متان بالایی را نشان می‌دهد و گزینش پذیری را به سمت CO و H<sub>2</sub> می‌برد.

#### ۴-۲- دولومیت<sup>۱</sup>، الیوین<sup>۲</sup> و دیگر کاتالیست‌های تبدیل به گاز کردن در داخل بستر

مواد طبیعی نظیر دولومیت و الیوین توجه زیادی برای استفاده به عنوان کاتالیست‌های کراکینگ قیر پیدا کرده‌اند [۵۰-۴۶،۴۷]. دولومیت و الیوین ارزاقیمت، در دسترس، دارا بودن فعالیت ریفرمینگ قیر خوب هستند و می‌توانند ترکیب گاز سنتز را در واکنش‌های شیفیت آب-گاز و ریفرمینگ خشک کنترل نمایند [۵۱،۴۹،۴۶]. کاتالیست دولومیت دارای فرمول عمومی CaCO<sub>3</sub>-MgCO<sub>3</sub> می‌باشد که فعالیت ضعیفی را برای ریفرمینگ هیدروکربن‌های سبک نظیر متان نشان می‌دهد و همچنین مقاومت فرسایشی ضعیفی را ایفا می‌کند. این فرسایش منجر به تولید ذرات ناخواسته در بخار شده و در نتیجه نیاز به تعویض مکرر کاتالیست می‌شود. در نتیجه دولومیت در راکتور بستر محافظ برای ریفرم کردن قیر مناسب می‌باشد [۵۲].

گرچه الیوین مانند دولومیت متداول نیست، ماده نگهدارنده ارزاقیمت دیگری می‌باشد که مقاومت فرسایشی بیشتری از دولومیت دارد و بنابراین برای عملیات بستر سیال مناسب می‌باشد [۵۲،۴۹،۴۶]. بطور طبیعی الیوین ماده سیلیکاتی‌ای می‌باشد که بطور عمده شامل منیزیم و آهن است، اگرچه فلزات دیگر (منگنز، کروم، کبالت و نیکل) نیز ممکن است در مقدارهای ناچیز وجود داشته باشند [۴۹]. الیوین نیز مانند دولومیت دارای فعالیت ریفرمینگ قیر خوبی می‌باشد اما فعالیت ضعیفی برای ریفرمینگ هیدروکربن‌های سبک مانند متان دارند [۵۴،۵۳،۴۷]. الیوین به عنوان یک ماده افزوده شده در بستر در راکتورهای بستر سیال برای کاهش قیر در طول تبخیر شدن بخار پوست‌های بادام و تبخیر شدن هوای مخلوطی از تراشه چوب کاج و روغن زیتون و در یک راکتور ثانویه برای کاهش قیر شکل گرفته از گاز سنتز مشتق شده از چوب راش بکار گرفته شده است [۵۵]. کان<sup>۳</sup> و همکارانش تخریب قیر را روی کاتالیست‌های الیوین طبیعی اندازه گرفتند و دریافتند که موقعیت جغرافیایی مواد معدنی روی فعالیت آن تاثیر دارد [۴۹].

برای بهبود فعالیت ریفرمینگ قیرها و هیدروکربن‌های سبک، نظیر متان، محققین از روی قواعد ترکیبی، فلزاتی نظیر نیکل روی دولومیت و الیوین طبیعی بررسی نمودند [۵۰،۵۴،۵۶]. کورسن<sup>۴</sup> و همکارانش از جمله اولین کسانی بودند که تبدیل بالایی از متان برای ریفرمینگ بخار و خشک بر روی کاتالیست Ni-الیوین را گزارش نمودند [۵۴]. این گروه اهمیت این کاتالیست را برای ریفرم کردن بیوجرم-گاز سنتز مشتق شده شامل ریفرمینگ بخار متان، ریفرمینگ خشک متان و ریفرمینگ بخار تولوئن تشریح نمودند [۵۷،۵۸،۵۹]. کاتالیست‌های N-الیوین، قیرها را نیز در راکتور بستر سیال در طول گازی شدن بخار تراشه‌های چوب کاهش می‌دهند [۴۷،۶۰]. ژانگ<sup>۵</sup> و همکارانش [۶۱] تاثیرات خوب اضافه کردن CeO<sub>2</sub> به کاتالیست Ni-الیوین برای مدل کردن ترکیبات قیری (بنزن و تولوئن) را مطالعه نمودند. آن‌ها گزارش کردند که افزایش CeO<sub>2</sub> منجر به بهبود تخریب قیر و افزایش قابل توجهی مقاومت کک‌زایی می‌شود.

کان و همکارانش الیوین اشباع شده با نیکل را برای ریفرمینگ بخار با استفاده از نفتالین، متان، اتیلن و متانول بعنوان ترکیبات نمونه بررسی نمودند [۴۸،۵۶]. برای این ترکیبات نمونه، آن‌ها تبدیل‌های بالاتری روی Ni-الیوین در مقایسه با الیوین بدست

1. Dolomite
2. Olivine
3. Kuhn
4. Courson
5. Zhang





آوردند. اگرچه افزودن نیکل منجر به تبدیل‌های بالاتری برای همه ترکیبات آزمایش شده شد. محققین پیشنهاد نمودند که طبیعت نگهدارنده الیوین و تمایل ذاتیشان برای شکل دادن سطح هیدروکسیلات شده در طول ریفرمینگ بخار منجر به توانایی بهتر برای برش پیوند O-H در مقایسه با پیوندهای C-H و C-C شده است. سربیناکرونیک<sup>۱</sup> و همکارانش [۶۲] فعالیت مقاومت کک‌زایی Ni/دولومیت را با کاتالیست‌های تجاری (Ni/SiO<sub>2</sub> و Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) در طول ریفرمینگ قیر مخلوط تولوئن/نفتالین مقایسه نمودند. آن‌ها دریافتند که نگهدارنده برای خوراک بدون سولفور بی‌تاثیر است. اما در حضور H<sub>2</sub>S، Ni/دولومیت مقاومت عالی‌ای در برابر کک‌زایی و مسمومیت H<sub>2</sub>S از هر دوی Ni/SiO<sub>2</sub> و Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> دارد.

جدول ۲: کاتالیست‌ها با مشخصه نگهدارنده اکسید فلزی، کانی و ژئولیت

مراجع	شرایط	واکنش	نگهدارنده	ارتقا دهنده	فلز
۶۳	۷۰۰ °C, S/C = ۱/۵	EtOH SR	CeO <sub>2</sub>		Ni
۱۲	۸۰۰ °C	SMR	CeO <sub>2</sub>		Ni
۳۶	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	CeO <sub>2</sub>		Ni
۱۵	۶۵۰ °C	سدر کازی شده SR	CeO <sub>2</sub>		Ni
۶۴	۷۰۰ °C	CH <sub>4</sub> POX	CeO <sub>2</sub>		Ni
۶۵,۳۱	۵۰۰-۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	CeO <sub>2</sub>		Ni
۶۶	۴۰۰ °C, S/C = ۲/۵	اتوترمال ریفرمینگ دیزل و JP8	CeO <sub>2</sub>	Pt	Ni
۱۷	۷۰۰-۸۵۰ °C, S/C = ۵	تولوئن/نفتالین SR	دولومیت		Ni
۶۸,۶۷	۷۰۰ °C	نفتالین SR	دولومیت		Ni
۶۹	۸۰۰-۹۰۰ °C	چوب راش SR	دولومیت		
۷۰,۴۷	-۹۰۰ °C, S/C ~ ۱-۶ ۷۰۰	چوب صنوبر، گازی سازی روغن زیتون	دولومیت		
۵۳	۷۷۰ °C	گازی سازی پوست درخت بادام	دولومیت		
۷	۷۰۰ °C	گازی سازی سدر	دولومیت		
۴۷	۸۳۰ °C, S/C = ۵	بنزن/تولوئن SR	الیوین		Ni
۵۰	۷۵۰ °C, S/C ~ ۴	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , MeOH SR	الیوین		Ni
۵۶	۸۰۰-۹۰۰ °C, S/C ~ ۴	متان/نفتالین SR	الیوین		Ni
۶۰	۸۵۰ °C	چوب گازی شده SR	الیوین		Ni
۴۷	۸۵۰ °C, S/C ~ ۱-۶	چوب صنوبر، گازی سازی روغن زیتون	الیوین		Ni
۵۹,۵۸	۸۰۰ °C	تولوئن SR	الیوین		Ni
۷۱,۵۷	۸۰۰ °C	تولوئن، SMR	الیوین		Ni
۶۱	۸۳۰ °C, S/C = ۵	بنزن/تولوئن SR	الیوین		Ni
۶۹	۸۰۰-۹۰۰ °C	چوب راش SR	الیوین		



۵۰	۷۵۰ °C, S/C~۴	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , MeOH SR	الیوین		
۴۹	۷۵۰-۹۰۰ °C	CH <sub>4</sub> , C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> SR	الیوین		
۵۶	۸۰۰-۹۰۰ °C, S/C~۴	متان/نفتالین SR	الیوین		
۴۷	۸۵۰ °C, S/C~۱-۶	چوب صنوبر، گازی سازی روغن زیتون	الیوین		
۵۳	۷۰۰-۸۲۰ °C	گازی سازی پوست درخت بادام	الیوین		
۷۱.۵۷	۸۰۰ °C	تولون، SMR	الیوین		
۶۹	۸۰۰-۹۰۰ °C	چوب راش گازی شده SR	ماسه		
۵۳	۷۷۰ °C	گازی سازی پوست درخت بادام	ماسه		
۷۲	۶۰۰-۸۰۰ °C	گازی سازی پوست درخت بادام	Pervoskite		LaN i <sub>0.3</sub> Fe <sub>0.7</sub> O <sub>3</sub>
۳۰	۳۲۰ °C, S/C = ۱/۵	EtOH SR	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۳۶	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۱۵	۶۵۰ °C	سدر گازی شده SR	MgO		Ni
۷۴.۷۳	۹۰۰ °C, S/C = ۰/۶	نفتالین SR	MgO		Ni
۷۵	۶۵۰ °C, S/C = ۲/۱	EtOH SR	MgO	K	Ni
۷۵	۶۵۰ °C, S/C = ۲/۱	EtOH SR	MgO	Li	Ni
۷۵	۶۵۰ °C, S/C = ۲/۱	EtOH SR	MgO	Na	Ni
۳۶	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	MnO		Ni
۱۳	۵۰۰ °C	SMR	SiO <sub>2</sub>		Ni
۱۷	۷۳۰-۸۵۰ °C, S/C = ۵	تولون/نفتالین SR	SiO <sub>2</sub>		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	SiO <sub>2</sub>		Ni
۶۵	۶۰۰ °C	سدر گازی شده SR	SiO <sub>2</sub>		Ni
۷۶	۷۵۰ °C	ریفرمینگ خشک، CH <sub>4</sub> POX	SiO <sub>2</sub>	CeO <sub>2</sub>	Ni
۱۵	۶۵۰ °C	سدر گازی شده SR	TiO <sub>2</sub>	SrO	Ni
۳۰	۳۲۰ °C, S/C = ۱/۵	EtOH SR	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ni
۷۸.۷۷	۸۰۰ °C, S/C = ۰/۵	CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> SR	YSZ		Ni
۷۸.۷۷	۸۰۰ °C, S/C = ۰/۵	CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> SR	YSZ		Ni
۷۹	۴۰۰-۱۰۰۰ °C	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> SR	YSZ		Ni
۱۲	۸۰۰ °C	SMR	ZrO <sub>2</sub>		Ni
۳۶	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	ZrO <sub>2</sub>		Ni
۱۵	۶۵۰ °C	سدر گازی شده SR	ZrO <sub>2</sub>		Ni
۱۳	۵۰۰ °C	SMR	ZrO <sub>2</sub>		Ni
۶۴	۷۰۰ °C	CH <sub>4</sub> POX	ZrO <sub>2</sub>		Ni
۳۶	۶۵۰ °C	ریفرمینگ خشک	ZrO <sub>2</sub>		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	ZrO <sub>2</sub>	CeO <sub>2</sub>	Ni
۶۴	۷۰۰ °C	CH <sub>4</sub> POX	ZrO <sub>2</sub>	CeO <sub>2</sub>	Ni
۳۴	۵۸۰ °C, S/C = ۱	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> SR	ZSM-5		Ni



۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	H-mordenite	CeO <sub>2</sub>	Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	H-mordenite		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	H-ZSM-5	CeO <sub>2</sub>	Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	H-ZSM-5		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	H-β		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	USY		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	Na-mordenite		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	Na-Y		Ni
۳۱	۶۰۰ °C	گازی سازی سلولز	Na-ZSM-5		Ni

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله کاتالیست‌های مختلف نیکل بر پایه‌های مختلف که در گذشته بکار رفته‌اند، بررسی شد. پایه‌های بهتر از نظر پراکندگی کاتالیست روی آن بررسی و بیان شد. همچنین کاتالیست‌ها از نظر پایداری نیز مقایسه گردیدند. پایه‌های Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> فعالیت خوبی را در اتوترمال ریفرمینگ و اکسیداسیون جزئی نشان دادند. البته Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> فعالیت بهتری نسبت به La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> داشت. اما La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> کک‌زایی کمتر در نتیجه پایداری بیشتر کاتالیست می‌شود. همچنین ارتقا دهنده‌ها و موادی مانند زئولیت‌ها نیز تاثیری خوبی در بهبود عملکرد کاتالیست داشته‌اند.

## مراجع

- EG&G Technical Services, Inc November 2004; Fuel Cell Handbook (Seven Edition) Under Contract No. DE-AM26-99FT40575. U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory P.O. Box 880, Morgantown, West Virginia 26507-0880
- Subash, C. Singhal, Kendall. 2003. Kevin. "High Temperature Solid Oxide Fuel Cell, Fundamental Design an Applications". UK: Elsevier.
- Sarantaridis D, Rudkin RA, Atkinson A. Oxidation failure modes of anode-supported solid oxide fuel cells. J Power Sources 2008;180:704-10.
- Sarantaridis D, Atkinson A. Redox cycling of Ni-based solid oxide fuel cell anodes: a review. Fuel Cells 2007;7:246-58.
- Sarantaridis D, Chater RJ, Atkinson A. Changes in physical and mechanical properties of SOFCNi-YSZ composites caused by redox cycling. J Electrochem Soc 2008;155:B467-72.
- Xu, S.; Wang, X. Fuel 2005, 84, 563.
- Tomishige, K.; Miyazawa, T.; Kimura, T.; Kunimori, K. Catal. Commun. 2005, 6, 37.
- Aupretre, F.; Descorme, C.; Duprez, D. Catal. Commun. 2002, 3, 263.
- Tomishige, K.; Asadullah, M.; Kunimori, K. Catal. Today 2004, 89, 389.
- Strohm, J.; Zheng, J.; Song, C. J. Catal. 2006, 238, 309.
- Natesakhawat, S.; Watson, R.; Wang, X.; Ozkan, U. J. Catal. 2005, 234, 496.
- Roh, H.; Koo, K.; Jeong, J.; Seo, Y.; Seo, D.; Seo, Y.; Yoon, W.; Park, S. Catal. Lett. 2007, 117, 85.
- Matsumura, Y.; Nakamori, T. Appl. Catal., A 2004, 258, 107.
- Parizotto, N. V.; Rocha, K. O.; Damyanova, S.; Passos, F. B.; Zanchet, D.; Marques, C. M. P.; Bueno, J. M. C. Appl. Catal., A 2007, 330, 12.
- Miyazawa, T.; Kimura, T.; Nishikawa, J.; Kado, S.; Kunimori, K.; Tomishige, K. Catal. Today 2006, 115, 254.



16. Asadullah, M.; Miyazawa, T.; Ito, S.; Kunimori, K.; Tomishige, K. *Energy Fuels* 2003, 17, 842.
17. Srinakruang, J.; Sato, K.; Vitidsant, T.; Fujimoto, K. *Fuel* 2006, 85, 2419.
18. Parizotto, N. V.; Rocha, K. O.; Damyanova, S.; Passos, F. B.; Zanchet, D.; Marques, C. M. P.; Bueno, J. M. C. *Appl. Catal., A* 2007, 330, 12.
19. Liberatori, J.; Ribeiro, R.; Zanchet, D.; Noronha, F.; Bueno, J. *Appl. Catal., A* 2007, 327, 197.
20. Lee SI, Ahn K, Vohs JM, Gorte RJ. Cu–Co bimetallic anodes for direct utilization of methane in SOFCs. *Electrochem Solid-State Lett* 2005;8:A48–51.
21. Moon, D.; Ryu, J. *Catal. Lett.* 2003, 89, 207.
22. Youn, M.; Seo, J.; Kim, P.; Kim, J.; Lee, H.; Song, I. J. *Power Sources* 2006, 162, 1270.
23. Bona, S.; Guillen, P.; Alcalde, J. G.; Garcia, L.; Bilbao, R. *Chem. Eng. J. (Amsterdam, Neth.)* 2008, 137, 587.
24. Benito, M.; Garcia, S.; Ferreira-Aparicio, P.; Garcia Serrano, L.; Daza, L. J. *Power Sources* 2007, 169, 177.
25. Chin, Y.; King, D.; Roh, H.; Wang, Y.; Heald, S. J. *Catal.* 2006, 244, 153.
26. Bain, R. L.; Dayton, D. C.; Carpenter, D. L.; Czernik, S. R.; Feik, C. J.; French, R. J.; Magrini-Bair, K. A.; Phillips, S. D. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2005, 44, 7945.
27. Magrini-Bair, K. A.; Czernik, S.; French, R.; Parent, Y. O.; Chornet, E.; Dayton, D. C.; Feik, C.; Bain, R. *Appl. Catal., A* 2007, 318, 199.
28. Li, D.; Atake, I.; Shishido, T.; Oumi, Y.; Sano, T.; Takehira, K. *J. Catal.* 2007, 250, 299.
29. Ishihara, A.; Qian, E.; Finahari, I.; Sutrisna, I.; Kabe, T. *Fuel* 2005, 84, 1462.
30. Sun, J.; Qiu, X.; Wu, F.; Zhu, W. *Int. J. Hydrogen Energy* 2005, 30, 437.
31. Inaba, M.; Murata, K.; Saito, M.; Takahara, I. *Energy Fuels* 2006, 20, 432.
32. Tomishige, K.; Asadullah, M.; Kunimori, K. *Catal. SurV. Asia* 2003, 7, 219.
33. Zhang, R.; Wang, Y.; Ma, R.; Wu, D. *Appl. Catal., A* 2003, 243, 251.
34. Wang, L.; Murata, K.; Inaba, M. *Appl. Catal., A* 2004, 257, 43.
35. Zhang, R.; Brown, R. C.; Suby, A.; Cummer, K. *Energy ConVers. Manage.* 2004, 45, 995.
36. Seok, S.; Choi, S.; Park, E.; Han, S.; Lee, J. *J. Catal.* 2002, 209, 6.
37. Verykios, X. *Int. J. Hydrogen Energy* 2003, 28, 1045.
38. Rezaei, M.; Alavi, S.; Sahebdehfar, S.; Yan, Z.-F. *Energy Fuels* 2006, 20, 923.
39. Rezaei, M.; Alavi, S.; Sahebdehfar, S.; Xinmei, L.; Qian, L.; Yan, Z.-F. *Energy Fuels* 2007, 21, 581.
40. Zhang, Q.; Li, Y.; Xu, B. *Catal. Today* 2004, 98, 601.
41. Hennings, U.; Reimert, R. *Appl. Catal., A* 2007, 325, 41.
42. Anderson, J. R.; Foger, K.; Molé, T.; Rajadhyaksha, R. A.; Sanders, J. V. *J. Catal.* 1979, 58, 114.
43. Perez-Ramirez, J.; Christensen, C. H.; Egeblad, K.; Christensen, C. H.; Groen, J. C. *Chem. Soc. ReV.* 2008, 37, 2530.
44. Xu, S.; Wang, X. *Fuel* 2005, 84, 563.
45. Potdar, H.; Roh, H.; Jun, K.; Ji, M.; Liu, Z. *Catal. Lett.* 2002, 84, 95.
46. Choudhary, V. R.; Mondál, K. C.; Mamman, A. S. *J. Catal.* 2005, 233, 36.
47. Dayton, D. A review of the literature of catalytic biomass tar destruction. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Technical Report, Golden, CO, 2002; Report NREL/TP-510-32815.
48. Corella, J.; Toledo, J.; Padilla, R. *Energy Fuels* 2004, 18, 713.
49. Kuhn, J. N.; Zhao, Z.; Felix, L. G.; Slimane, R. B.; Choi, C. W.; Ozkan, U. S. *Appl. Catal., B* 2008, 81, 14.
50. Kuhn, J. N.; Zhao, Z.; Senefeld-Naber, A.; Felix, L. G.; Slimane, R. B.; Choi, C. W.; Ozkan, U. S. *Appl. Catal., A* 2008, 341, 43.
51. Sutton, D.; Kelleher, B.; Ross, J. R. H. *Fuel Process. Technol.* 2001, 73, 155.
52. El-Rub, Z.; Bramer, E.; Brem, G. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2004, 43, 6911.
53. Rapagna, S.; Jand, N.; Kiennemann, A.; Foscolo, P. U. *Biomass Bioenergy* 2000, 19, 187.
54. Courson, C.; Makaga, E.; Petit, C.; Kiennemann, A. *Catal. Today* 2000, 63, 427.
55. Devi, L.; Craje, M.; Thune, P.; Ptasinski, K. J.; Janssen, F. J. B. *Appl. Catal., A* 2005, 294, 68.
56. Zhao, Z.; Kuhn, J. N.; Felix, L. G.; Slimane, R. B.; Choi, C. W.; Ozkan, U. S. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2008, 47, 717.
57. Swierczynski, D.; Courson, C.; Bedel, L.; Kiennemann, A.; Guille, J. *Chem. Mater.* 2006, 18, 4025.
58. Swierczynski, D.; Libs, S.; Courson, C.; Kiennemann, A. *Appl. Catal., B* 2007, 74, 211.
59. Swierczynski, D.; Courson, C.; Kiennemann, A. *Chem. Eng. Process.* 2008, 47, 508.



60. Pfeifer, C.; Rauch, R.; Hofbauer, H. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2004, 43, 1634.
61. Zhang, R.; Wang, Y.; Brown, R. *Energy ConVers. Manage.* 2007, 48, 68.
62. Asadullah, M.; Miyazawa, T.; Ito, S.; Kunimori, K.; Koyama, S.; Tomishige, K. *Biomass Bioenergy* 2004, 26, 269.
63. Zhang, B.; Tang, X.; Li, Y.; Cai, W.; Xu, Y.; Shen, W. *Catal. Commun.* 2006, 7, 367.
64. Xu, S.; Wang, X. *Fuel* 2005, 84, 563.
65. Tomishige, K.; Miyazawa, T.; Asadullah, M.; Ito, S.; Kunimori, K. *Green Chem.* 2003, 5, 399.
66. Cheekatamarla, P. K.; Lane, A. M. *J. Power Sources* 2006, 153, 157.
67. Wang, T.; Chang, J.; Lv, P.; Zhu, J. *Energy Fuels* 2005, 19, 22.
68. Wang, T. J.; Chang, J.; Wu, C. Z.; Fu, Y.; Chen, Y. *BiomassBioenergy* 2005, 28, 508.
69. Devi, L.; Ptasinski, K. J.; Janssen, F. J. B.; van Paasen, S. V. B.; Bergman, P. C. A.; Kiel, J. H. A. *Renewable Energy* 2005, 30, 565.
70. Corella, J.; Toledo, J. M.; Molina, G. *Bioresour. Technol.* 2008, 99, 7539.
71. Swierczynski, D.; Courson, C.; Bedel, L.; Kiennemann, A.; Vilminot, S. *Chem. Mater.* 2006, 18, 897.
72. Rapagna, S.; Provendier, H.; Petit, C.; Kiennemann, A.; Foscolo, P. U. *Biomass Bioenergy* 2002, 22, 377.
73. Furusawa, T.; Tsutsumi, A. *Appl. Catal., A* 2005, 278, 207.
74. Furusawa, T.; Tsutsumi, A. *Appl. Catal., A* 2005, 278, 195.
75. Frusteri, F.; Freni, S.; Chiodo, V.; Spadaro, L.; Di Blasi, O.; Bonura, G.; Cavallaro, S. *Appl. Catal., A* 2004, 270, 1.
76. Jing, Q.; Lou, H.; Fei, J.; Hou, Z.; Zheng, X. *Int. J. Hydrogen Energy* 2004, 29, 1245.
77. Nikolla, E.; Holewinski, A.; Schwank, J.; Linic, S. *J. Am. Chem. Soc.* 2006, 128, 11354.
78. Nikolla, E.; Schwank, J.; Linic, S. *J. Catal.* 2007, 250, 85.
79. Takeguchi, T.; Kani, Y.; Yano, T.; Kikuchi, R.; Eguchi, K.; Tsujimoto, K.; Uchida, Y.; Ueno, A.; Omoshiki, K.; Aizawa, M. *J. Power Sources* 2002, 112, 588.

Archive of SID

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

توجه: بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

PROPOSAL  
پروپوزال

توجه: پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

ISI  
Scopus

توجه: آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو