

سیلیکا-اروژل، تخلخل نانو متری و کاربردهای آن در صنعت پتروشیمی

ندا حافظ خیابانی^{a1}، مازیار صهبایغمائی^{a2}، بابک شکری^{a,b3}، محمد رضا رحیمی پور^{1c4}

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران^a

گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران^b

پژوهشگاه مواد و انرژی، تهران^c

n.hafez@mail.sbu.ac.ir

چکیده

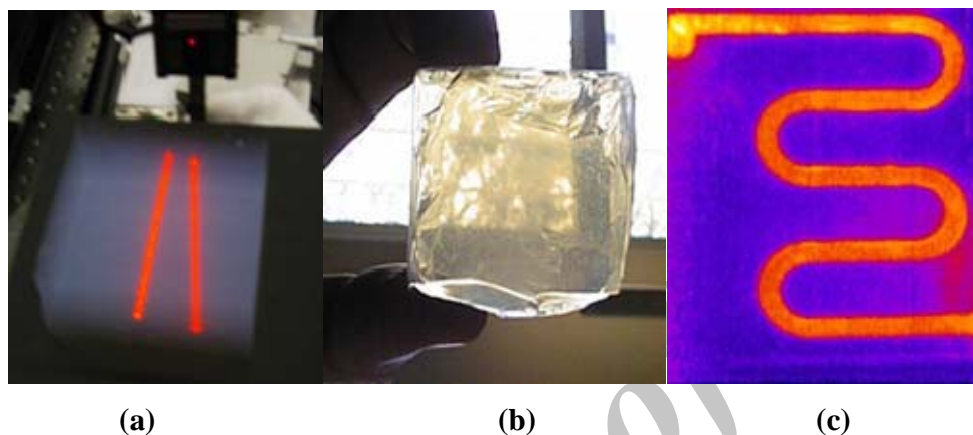
اروژل ترکیبی است نیمه ژل- نیمه مایع که توسط فرایند استخراج فوق بحرانی حلال به صورت ساختاری کامل به دست می آید. اگرچه ترکیبات اروژل از اکسید های فلزی، پلیمرها و کربن هم شکل می گیرند، ولی یکی از مورد توجه ترین ترکیبات سیلیکا است. سیلیکا-اروژل یک ترکیب با ساختار نانو، دارای ساختار تخلخلی باز و دارای خصوصیات غیر معمول مانند شفافیت، مقاومت گرمایی بالا، ضریب شکست و سرعت صوت بسیار پایین و مساحت سطحی زیاد است. مساحت سطحی زیاد سیلیکا-اروژل باعث می شود که از آن به عنوان کاتالیزور و یا حامل کاتالیزور استفاده شود. یکی از کاربرد های این ترکیب در پتروشیمی، استفاده از سیلیکا-اروژل اشباع شده با کبالت، به عنوان کاتالیزور در روش Fischer-Tropsch است. آزمایش ها نشان می دهد استفاده از این کاتالیزور منجر به تبدیل گازهای واکنش دهنده H_2 و CO به هیدروکربن های از مرتبه C_9-C_{15} می گردد. همچنین یکی دیگر از کاربردهای این ترکیبات اروژل به عنوان تصفیه کننده هوا و آب مصرفی و نیز جهت خالص سازی هیدروژن است. یکی از محدودیت ها در روش های حاضر مربوط به پراکندگی اندازه تخلخل در اروژل به دست آمده است که منجر به محدودیت در برخی از کاربردهای برجسته آن می شود. در این مطالعه، خلاصه ای از تاریخچه و کاربردهای بروز سیلیکا-اروژل در شاخه های مختلف مانند پتروشیمی، میکرو الکترونیک، سیستم های نگه داری و حمل و نقل و ... بررسی می شود. نتایج آزمایشات میزان تخلخل و مقاومت مکانیکی انجام شده با سایر مواد مقایسه و تحلیل خواهد شد.

واژه های کلیدی: سیلیکا-اروژل، واکنش Fischer-Tropsch، کاتالیزور، پتروشیمی، نانو مواد

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی
² کارشناس ارشد علوم مواد، هیات علمی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی
³ دکترای فیزیک، هیات علمی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی
⁴ دکترای مواد، هیات علمی، پژوهشگاه مواد و انرژی

1- مقدمه

اروژل، سبک ترین جامد شناخته شده است، که فقط سه مرتبه چگال تر از هواست و می تواند همه چیز را از گرما و سرما محافظت کند و قادر است تا 1000 برابر وزن خود را تحمل کند. این ماده با عنوان "دود منجمد" یا "شیشه هوا" هم شناخته می شود. از لحاظ میکروسکوپی شامل ذرات با ابعاد نانو با قطر 10-1 نانومتر است، که به هم چسبیده و زنجیره ها را تشکیل داده اند. این ذرات دارای نقاط تماس زیادی هستند که یک شبکه سه بعدی پایدار را تشکیل می دهند که در آن فاصله بین زنجیره ها، (قطر کانال های منافذ) به طور شاخص 100-10 نانومتر می باشد.



شکل 1- (a) پرتو لیزر دو بار از اروژل عبور می کند [1] (b) یک قطعه سیلیکا اروژل که ما برای اندازه گیری ها از آن استفاده کردیم [5] (c) عکس فوری مادون قرمز $AlSi_7Mg_{0.5}$ مذاب در سیلیکا اروژل خالص که 6 ثانیه به طور کامل در قالب بوده است، ضخامت مسیر پیچ خورده 5 mm است [3].

بسیاری از مردم تصور می کنند که ترکیبات اروژل محصول اخیر تکنولوژی جدید است. در حقیقت، اولین ترکیبات اروژل در سال 1931 توسط Steven S. Kistler تهیه شد. اگر به ژل تر اجازه دهیم که خودش خشک شود، ژل غالباً به ابعاد اصلی خود چروک می شود، زیرا حد فاصل بخار-مایع مربوط به مایع بخار شونده نیروهای تنشی سطحی قوی اعمال می کند که ساختار منافذ را متلاشی می کند. اما اگر یک مایع تحت فشاری بزرگ تر از فشار بخارش قرار گیرد و دمای آن بالا برده شود، آن مایع در یک دمای بحرانی، بدون آن که دو فاز در یک زمان وجود داشته باشند، به یک گاز تبدیل می شود [5]. این ترکیبات در اواخر سال 1970، هنگامی که دولت فرانسه در جستجوی یک روش برای ذخیره انرژی و سوخت های موشک در مواد متخلخل بود دوباره مورد تحقیق قرار گرفتند. این مسئله به طور مستقیم منجر به پیشرفت در علوم مربوط به اروژل، تحت عنوان کاربرد شیمی نیمه مایع-نیمه ژل در آماده کردن سیلیکا اروژل گردید.

در نتیجه واکنش یک الکساید فلزی با آب یک هیدروکسید فلزی شکل می گیرد و سپس یک واکنش چگالش بین دو هیدروکسید فلزی رخ می دهد. وزن مولکولی گونه های اکسیدی تولید شده به طور پیوسته افزایش می یابد و در حین رشد، آن ها به هم متصل و یک الکوژل را به وجود می آورند. الکوژل خشک شده تحت شرایط الکلی فوق بحرانی

اروژل را تولید می کنند. انواع محصولات اروژل می تواند به شکل پودری، یکپارچه، پوشش انعطاف پذیر و عایق صدفی مانند باشد. آنها در محیط، سریع به پودرهای ریزی که به طور ذاتی مشابه یکی از رایج ترین مواد روی زمین به نام ماسه است، می شکنند. به علاوه، ترکیبات سیلیکا اروژل کاملاً غیر سمی و اشتعال ناپذیر است.

2- خصوصیات

1-2 ساختمان میکروسکوپی

ترکیبات سیلیکا اروژل، شامل ذرات اصلی با قطر 1-10 نانومتر هستند. ذرات سیلیکا با این ابعاد کوچک دارای نسبت حجم به سطح فوق العاده بزرگ برابر با $2 \times 10^9 \text{ m}^{-1}$ و مساحت سطحی ویژه بزرگی برابر با $900 \text{ m}^2/\text{gr}$ است، شیمی سطح داخلی اروژل نقش برجسته ای در رفتار فیزیکی و شیمیایی آن دارد و همین ویژگی اروژل است که آن را تبدیل به یک ماده جالب برای استفاده به عنوان کاتالیزور و جاذب می کند. برخی دیگر از خصوصیات فیزیکی سیلیکا اروژل در جدول 1 آمده است. بسیاری از خصوصیات که در این جا آمده است، تحت تأثیر شرایط و فرایندهای بعدی است که برای آماده کردن اروژل به کار گرفته می شوند.

2-2 خاصیت حرارتی

یک پنجره با ضخامت یک اینچ از سیلیکا اروژل معادل عایق گذاری ناشی از 20 پنجره از جنس شیشه است. حدود 30% از اتلاف انرژی منازل مربوط به اتلاف حرارتی پنجره ها است، ولی یک پنجره از جنس سیلیکا اروژل که خوب طراحی شده است می تواند هزینه گرما و سرمای مورد نیاز را با یک پیکربندی قابل مقایسه با شیشه معمولی کاهش دهد. در دماهای بالاتر از 200 درجه سانتیگراد، انتقال تابشی، شکل غالب هدایت حرارتی است که با آن سروکار داریم. اگر سیلیکا اروژل در دمای بالاتر از 200 درجه سانتیگراد به کار گرفته شود، اتلاف حرارتی از روش هدایت حرارتی با تکنیک کمکی دیگری از بین می رود. این کار توسط اضافه کردن یک مؤلفه اضافی به اروژل، قبل یا بعد از خشک کردن فوق بحرانی انجام می شود. یکی از این مواد اضافه کردنی عنصر کربن است، که یک جاذب مؤثر تابش مادون قرمز است و در حقیقت می تواند مقاومت مکانیکی اروژل را نیز افزایش دهد. عموماً این افزایش ها دارای ابعادی از مرتبه نانومتر هستند، پس محصول می تواند به عنوان یک نانو ماده طبقه بندی شود.

Table 1. Physical properties of silica aerogels

Property	Value	Comments
Apparent Density	0.003-0.35 g/cm ³	Most common density is ~0.1 g/cm ³
Internal Surface Area	600-1000 m ² /g	As determined by nitrogen adsorption/desorption

Table 1. Physical properties of silica aerogels

Property	Value	Comments
% Solids	0.13-15%	Typically 5% (95% free space)
Mean Pore Diameter	~20 nm	As determined by nitrogen adsorption/desorption (varies with density)
Primary Particle Diameter	2-5 nm	Determined by electron microscopy
Index of Refraction	1.0-1.05	Very low for a solid material
Thermal Tolerance	to 500 °C	Shrinkage begins slowly at 500 °C, increases with inc. temperature. Melting point is >1200 °C
Coefficient of Thermal Expansion	2.0-4.0 x 10 ⁻⁶	Determined using ultrasonic methods
Dielectric Constant	~1.1	For density = 0.1 g/cm ³ . Very low for a solid material
Sound Velocity Through the Medium	100 m/sec	For density = 0.07 g/cm ³ . One of the lowest velocities for a solid material

2-3- خاصیت شفافیت

بیشتر منافذ در اروژل کوچک هستند و نور مرئی را پراکنده نمی‌کنند. ولی ممکن است برخی از منافذ بزرگ تر باشند. منافذ بزرگ تر نور را به هنگام عبور از اروژل پراکنده می‌کنند که سبب ایجاد ظاهری کدر می‌شود. اروژل تولید شده روی زمین تیره است، ولی دانشمندان امیدوار به تولید انواع شفاف آن در فضا هستند که می‌تواند منجر به پیشرفت هایی مانند پنجره های فوق عایق شود.

3- کاربردها

1-3- تکنولوژی فضا

سیلیکا اروژل همچنین برای گرفتن غبار ستارگان در فضا به کار می‌رود. ذراتی که از ستاره دنباله دار می‌آیند احتمالاً ریزتر از دانه های ماسه هستند و با سرعت خیلی زیادی در حدود 6 km/sec به اروژل اصابت می‌کنند. اصابت به قدری نیرومند است که اگر برخورد با ماده دیگری به غیر از اروژل صورت گیرد، مواد ممکن است در اثر برخورد بخار شوند و یا به گونه ای از وضعیت طبیعی خارج شوند که دانشمندان نتوانند آن را مطالعه کنند. با به کار بردن اروژل به عنوان عایق در گروه اعزامی به مریخ، مهندسان توانستند وزن 23 پوندی Sojourner را به 6 پوند تقلیل دهند (20٪ وزن حفظ شد) و هزینه ها نیز پایین تر نگه داشته شد.

2-3- جاذب انرژی جنبشی

اروژل در نگاه اول، یک انتخاب ضعیف به عنوان ماده زیرساز به شمار می‌رفت. از آنجا که ترکیبات سیلیکا اروژل موادی با چگالی بسیار پایین هستند، فرو ریختن شبکه جامد به طور تدریجی رخ می‌دهد و نیروی برخورد را در زمان

طولانی تری پراکنده می‌کند. البته نباید اثر ارتجاعی که می‌تواند سبب زیان بعدی ماده حفاظت شده که در مورد اروژل‌ها نسبتاً کم است فراموش گردد. این استفاده‌ها ممکن است شامل حافظ‌های شخصی در وسائل نقلیه موتوری و محافظت از تجهیزات حساس در صنایع مختلف باشد.

3-3 میکروالکترونیک و رشد بلور

سیلیکا اروژل با ثابت دی‌الکتریک پایین حدود 2 که نسبت به یک جامد به هوا نزدیک تر است، به محققان کمک می‌کند که محاسبات کامپیوتری را با دو برابر سرعت در آینده انجام دهند. به علاوه در پیشرفت‌های مربوط به حوزه میکروالکترونیک به طور مستقیم مرتبط با پیشرفت در فرایندهای رشد بلور است. یک بوته از جنس سیلیکا به ما اجازه می‌دهد که جبهه تبلور را با یک دوربین مناسب بسته به شفافیت آن بررسی کنیم. سیلیکا اروژل توسط مذاب‌های فلزی و مذاب‌هایی مانند سرب، قلع، روی، ژرمانیوم و سیلیکات ژرمانیوم خیس نمی‌شود و واکنش شیمیایی با مذاب‌ها نیز انجام نمی‌دهد [6]. این کاربرد ممکن است کمک به مطالعه زمان واقعی سطح میانی جامد/مایع، سرعت رشد و گرادیان دمایی تبلور در قالب سیلیکا اروژل در آینده در بیشتر تکنولوژی‌های نوین را فراهم سازد.

4-3 فلزهای شفاف

معمولاً فلزات انعطاف پذیر و غیر شفاف هستند و شیشه‌ها شکننده و شفاف اند، ولی یک فلز شیشه مانند با فضای خالی 70٪، نه تنها شفاف بلکه دارای خصوصیات فلزی است. این شکل ترکیبی در ابتدا غیر قابل تصور به نظر می‌رسد، ولی در مارس 1999 تحقیقات در دانشگاه Rice در Houston توانایی آن‌ها را برای تولید این کلاس جدید از مواد با ماتریس جامد متخلخل سیلیکا، گزارش کرد [7]. ماده جامد مورد استفاده کره‌های سیلیکا با قطر 40 نانومتر تا 800 درجه سانتیگراد مورد عملیات حرارتی قرار گرفته تا یک ساختار شبکه‌ای از ذرات سیلیکا را تشکیل دهد. ابعاد ذرات این ماتریس نسبت به ابعاد سیلیکا اروژل کلاسه بندی شده معمول بیشتر است، همچنین آن‌ها توسط فرایند عملیات حرارتی شیمیایی مستقیم و نه توسط روش نیمه ژل-نیمه مایع تولید شده بودند، ولی هنوز به عنوان مواد کلاس فوم متخلخل با ابعاد مزو دسته بندی می‌شوند. این فوم‌های مزو سیلیکای متخلخل توسط مراحل شیمیایی مختلف با فلزات پر شدند و پس از جامد کردن فلز، ماتریس سیلیکا توسط اسید هیدروکلریک حل می‌شود. این در حقیقت نحوه تولید اولین فلز شیشه مانند بود.

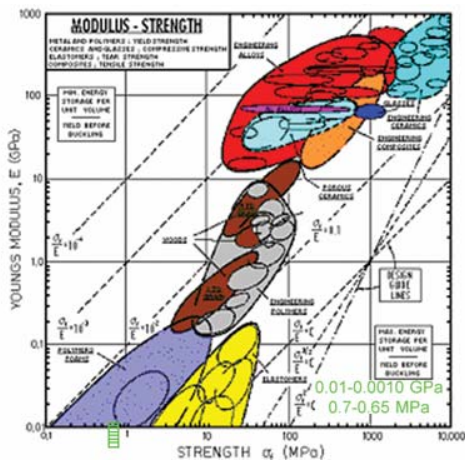
3-5 سیستم نوین تحویل دارو

خنثی بودن شیمیایی و مضر نبودن سیلیکا اروژل برای بدن انسان، سبب کاربرد این ترکیب در صنعت داروسازی و کشاورزی گردیده است. [13] Golob P، کاربرد پودرهای سیلیکا اروژل ریز را برای محافظت و ذخیره دانه‌ها در

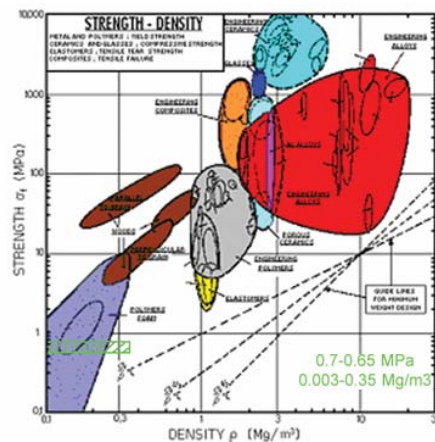
صنعت کشاورزی توصیف کرده است. دارا بودن ابعاد ذره ای کوچک و مساحت سطحی زیاد، سبب جذب لایه چربی محافظتی دانه ها می شود که این سبب از دست رفتن سیال بدن موجودات زنده و در نتیجه مردن آن ها می گردد. ترکیب شیمیایی سیلیکا اروژل مشابه اکسید سیلیکون بخار شده، تولید شده توسط احتراق کلرید سیلیکون است. اکسید سیلیکون آمورف سال ها در صنعت داروسازی به کار گرفته شده است. محصول مشابه اروسیل نام دارد. انتظار می رود که ترکیبات سیلیکا اروژل دارای ترکیب شیمیایی مشابه و ساختار آمورف به مانند اروسیل خصوصیات بالینی مشابه داشته باشد. اروژل دارای مساحت داخلی بزرگ تر ($500-1000 \text{ m}^2/\text{g}$) نسبت به اروزیل (حدود $2000 \text{ m}^2/\text{g}$) است که به اروزیل خصوصیات برتر در کاربردهای ویژه می بخشد. [14] Schwertfeger F. et al کاربرد سیلیکا اروژل به عنوان مواد حامل بالقوه در پزشکی و کشاورزی را گزارش کرده است. در اینجا دو نوع اروژل آبدوست و آب گریز با دارو توسط جذب مایع مشابه از محلول پر می شود. با انتخاب اروژل آبدوست یا آب گریز مناسب، ماده ای که اروژل با آن پر می شود می تواند به شکل شتاب داده شده یا تاخیری در زمان مورد نظر آزاد شود. اروژل با ترکیب دارو پر شده و سپس مخلوط حاصل برای به دست آوردن اروژل پر شده تصفیه می شود. پودر حاصل خشک می شود و می تواند به عنوان یک سیستم تحویل دارو به کار برده شود (DDS).

3-6 اندازه گیری

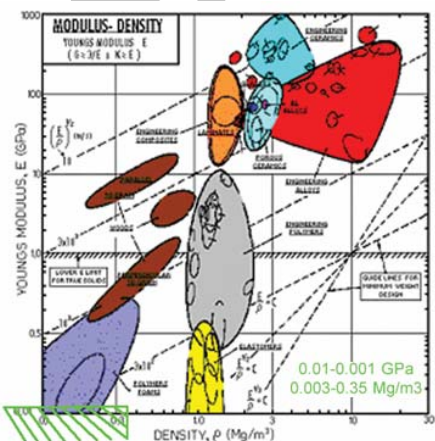
در این قسمت ما سعی در اندازه گیری ویژگی های مکانیکی سیلیکا اروژل توسط روش تست فشردگی نمودیم [8]. نتایج یک بار ماکزیمم حد نیرو بین $1300-1400 \text{ N}$ را نشان داد که همچنین با در نظر گرفتن مساحت اولیه با مقدار $650-700 \text{ KN/m}^2$ می تواند به عنوان حد تنش فشردگی ماکزیمم ثبت گردد. متأسفانه، هنوز مشکل است که با روش های موجود تخلخل اروژل به صورت صحیح مشخص شود. سیلیکا اروژل دارای منافذ با ابعاد میکرو، مزو و مایکرو (به ترتیب ابعاد منافذ کمتر از 2 نانومتر، بین $50-2$ نانومتر و بزرگ تر از 50 نانومتر) است. اکثریت منافذ در رژیم مزو و تعداد کمی در رژیم میکرو منفذ قرار می گیرند. در کارهای گذشته [8]، برای تعیین چگالی درست اروژل روش جذب گاز با گاز He برای پاسخ به دو سؤال به کار گرفته شده است: نسبت منافذ باز و بسته و ابعاد مشخصه منافذ. اندازه منافذ بسته در ماده قابل پیش بینی به نظر می رسد و چگالی آشکار توسط اندازه گیری وزن نمونه سیلیکا اروژل با داشتن یک هندسه مناسب مشخص می شود. با به کار بردن اطلاعات چگالی آشکار و واقعی، تخلخل 90% برآورد شد. به علاوه چگالی معلوم 0.2 g/cm^3 ، چگالی ثابت 2.02 g/cm^3 ، حجم کل تخلخل ویژه 4.5 g/cm^3 ، حجم مخصوص مزو و میکرو تخلخل 0.40 g/cm^3 ، حجم ویژه میکرو تخلخل 0.19 g/cm^3 ، شعاع تخلخل میانگین 26 نانومتر و مساحت سطحی ویژه (77K و N_2) $332 \text{ m}^2/\text{g}$ نشان داده شد. با به کار بردن تست فشردگی و روش جذب گاز [8]، سعی در مطالعه عمیق اتصال داخلی بین ساختار تخلخل و خصوصیات فیزیکی سیلیکا اروژل نمودیم. همچنین با در نظر گرفتن روشن انتخاب ماده Ashby، این اطلاعات به ما کمک می کند تا موقعیت این ماده را دقیق ترسنجیده، تا یک ماده به خصوص را برای کاربردی ویژه انتخاب کنیم. اطلاعات اندازه گیری شده و اطلاعات موجود در نوشته ها در یک نمودار Ashby برای مقایسه سیلیکا اروژل با یک ماده مشخص در شکل 2 قرار داده می شود [4].



(a)



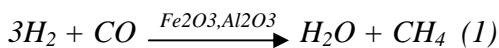
(b)



(c)

شکل 2 نمودارهای Ashby (a) چگالی - مدول الاستیسیتی (b) چگالی - مقاومت مکانیکی (c) چگالی - مدول یانگ 3-7 کاتالیزور

کاتالیزور فضایی است که به طور قوی ترکیبات اروژل های اکسید فلزی را تفریح می کند. اکسیدهای فلزی، مانند V_2O_5 و $Al_2O_3.Fe_2O_3$ به طور رایج در صنعت شیمی به عنوان کاتالیزور ناهمگن به کار می روند. یکی از مثال های شناخته شده واکنش Fischer-Tropsch بین هیدروکربن هاست:



همان طور که می دانیم فعالیت کاتالیزور ناهمگن به طور قوی وابسته به مساحت سطحی کاتالیزور است. در نتیجه، مساحت سطحی بسیار بزرگ اروژل آن ها را تبدیل به یک ماده کاتالیزور امیدبخش می کند. بر خلاف کاتالیزورهای معمول، مانند زئولیت، اروژل دارای میکرو تخلخل نمی باشد، بلکه دارای شبکه تخلخل مزو است که سبب انتقال معرف و یا محصولات در داخل کاتالیزور می گردد. از آنجا که بسیاری از واکنش های با کاتالیزور از لحاظ انتقال محدودیت

دارند، استفاده از اروژل ممکن است که واکنش را تقویت کند. جدول 2 تعدادی از واکنش هایی که در آن ها اروژل کاتالیزور است را نشان می دهد. انواع جدید اروژل های اکسید فلزی مانند اروژل های آلی- غیر آلی و مخلوط به صورت سالیانه گزارش شده است، که سبب پیشرفت کاربرد کاتالیزورهای نسل جدید می شود [15].

Aerogel catalyst	Reaction	Reference
V ₂ O ₅ -TiO ₂	Selective Catalytic Reduction of NO with NH ₃	[Schneider 1994-3] [17] [Zegoui 1996] [18]
Pt-TiO ₂	Hydrogenation	[Schneider 1994-1] [19]
Pd-TiO ₂	Hydrogenation	[Schneider 1994-2] [20]
SiO ₂ -TiO ₂	Epoxidation of cyclic olefins	[Hutter 1995] [21]
Cu-ZrO ₂ , Ag-ZrO ₂	Methanol synthesis	[Koeppel 1998] [22]
Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃	Fisher-Tropsch synthesis	[Bianchard 1982] [23]
SiO ₂ -TiO ₂	Photocatalytic oxidation of Fe(CN) ₃ in water	[Ahmed 1995] [24]
Nb ₂ O ₅	C ₄ Hydrocarbon isomerization	[Maurer 1993] [25]
MgO	Alkene isomerization	[Sun 1999] [26]
TiCl ₄ -Al ₂ O ₃	Ethene polymerization	[Fanelli 1989] [27]
Ru-SiO ₂	Synthesis of N,N-Diethylformamide from CO ₂ , H ₂ and diethylamine	[Schmid 1999] [28]
BaO*6Al ₂ O ₃	Methane combustion	[Arai 1991] [29]
CuO	Nitrophenols degradation	[Bandara 1996] [30]

3-8 پتروشیمی

آزمایش ها نشان می دهد که مقادیر مختلف کبالت در سیلیکا اروژل می تواند برای واکنش Fischer-Tropsch به کار برده شود. کاتالیزور برای این منظور توسط تزریق Co(NO₃)₂.6H₂O در یک ژل پر شده با اتانول ساخته شده از تترامتوکسیلان آماده می شود. سپس ژل تحت شرایط فوق بحرانی اتانول خشک و به اروژل تبدیل می شود. پس از واکنش احیا با هیدروژن، تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نشان می دهد که کبالت به صورت ذراتی ریز (با قطر 70-50 نانومتر)، یا به صورت سوزن هایی بسته به مقدار آن وجود دارد. روش های تشخیص BET و BJT نشان می دهد که مساحت سطحی زیاد، مزوتخلخل و حجم تخلخل زیاد سیلیکا اروژل در هنگام استفاده از کبالت، از بین نمی روند. این کاتالیزور یک ماده فعال برای واکنش Fischer-Tropsch با انتخاب خوب برای هیدروکربن های با عدد کربن بیش از 10 است. نتیجه غیر قابل پیش بینی کسر قابل توجه محصولات غیر اشباع می باشد. تزریق 2٪ کبالت در سیلیکا اروژل، بیش از 40٪ کسر هیدروکربن های C₉-C₁₁ به صورت 1-alkene را سبب شد. اعتقاد بر این اساس است که این نتیجه به طور مستقیم ناشی از انتقال جرم اضافی توسط یک ذره سیلیکا اروژل با توجه به شبکه سه بعدی واحد و به هم پیوسته مزو متخلخل آن است [16].

4- نتیجه گیری

تولید مواد شفاف و عایق به واسطه ساخت اروژل در فضا، یک بازار قابل توجه برای کاربردهای تجاری و محلی ایجاد می کند. خصوصیات حرارتی ممتاز و طبیعت شفاف سیلیکا اروژل آن را تبدیل به یک انتخاب بدیهی برای

استفاده در پنجره های فوق عایق، پنجره های سقفی، پوشش های جمع کننده خورشیدی، پنجره های اختصاصی و آینده صنعت محاسبات کامپیوتری به عنوان یک ماده تراشه ای جدید می کند. این ترکیبات همچنین اشتعال ناپذیر، غیر سمی، سبک وزن، شفاف و از لحاظ حرارتی تا دمای حدود 800 درجه سانتیگراد پایدار است. مساحت سطحی زیاد سیلیکا-اروژل باعث می شود که از آن به عنوان کاتالیزور و یا حامل کاتالیزور استفاده شود. یکی از کاربردهای این ترکیب در پتروشیمی، استفاده از سیلیکا-اروژل اشباع شده با کبالت، به عنوان کاتالیزور درواکنش Fischer-Tropsch است. آزمایش ها نشان داده است که استفاده از این کاتالیزور منجر به تبدیل گازهای واکنش دهنده CO و H_2 به هیدروکربن های از مرتبه C_9 - C_{15} می گردد. تولید این گروه مواد با بافت نانو/مزو و به موازات آن با استفاده از افزودنی های نانو یک کلاس جدید مواد با ترکیب نانو می تواند خلق کند که قابلیت اجرای مهندسی سیلیکا اروژل و سایر کلاس های موادی وابسته به آن را خصوصا در صنایع پتروشیمی گسترش می دهد.

مراجع

- [1] URL: <http://castore.mib.infn.it/lhcb/aeropictures.html>
- [2] URL: <http://stardust.jpl.nasa.gov/photo/aerogelbrick.jpg>
- [3] URL: http://www.kp.dlr.de/WB-RS/Erstarrung/web_eng/Feing_eng.html
- [4] URL: <http://edu.bzlogi.hu/anyagkivalasztas/ashby/frame.htm#s0001.htm>
- [5] Yaghmaee M.S., Kaptay G. (2000) Proceeding of microCAD Conference, Applied Chemistry section, Miskolc, Hungary, 87-92.
- [6] Sing K.S.W., Everett D.H., Haul R.A.W., et al. (1985) *Pure and Appl. Chem*, **57**: 603-619.
- [7] Weast R. (1963) Handbook of Chemistry and Physics, 44.ed. The Chemical Rubber Pub. Co. Cleveland. pp.646.
- [8] Lowell S., Shields J.E. (1998) Powder Surface Area and Porosity, 3. ed. Chapman and Hall, New York, pp.17.
- [9] Rodriguez R.F., Linares S.A. (1986) Microporous structure of activated carbons as revealed by adsorption methods. In Chemistry and Physics of Carbon (PA Thrower, ed.). Dekker, New York, NY, Vol. **21**. pp. 2-146.
- [10] URL: <http://eande.lbl.gov/ECS/aerogels/saphoto.htm>
- [11] URL: http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ms ad04feb99_1a.htm
- [12] URL: <http://www.kalwall.com/main.htm>
- [13] Golob P. (1997) Current status and future perspectives for inert dusts for the control of stored product insects, *Journal of Stored Products Research* **33**: 69-79.
- [14] Schwertfeger F., et al. (2001) US Patent 6,280,744, issued 28.08.2001.
- [15] Irina Smirnova. Ph.D. thesis, Technical University of Berlin, 2002
- [16] Brian C.Dunn, Paul Cole, Daniel Covington, Matthew C. Webster, Ronald J. Pugmire, Richard D. Ernst, Edward M. Eyring, Naresh Shah, Gerald P. Huffman, "Silica aerogel supported catalysts for Fischer-Tropsch synthesis" *Applied Catalysis A: General* **278** (2005) 233-238
- [17] Schneider 1994-3 M. Schneider, G.D. Duff, T. Mallat, M. Wildberger, A. Baiker, *J. Catal.* **147**, (1994), 500
- [18] Zegaoui 1996 O. Zegaoui, C. Hoang-Van, M. Karroua, *Appl.Catal.B* **9**, (1996), 211
- [19] Schneider 1994 -1 M. Schneider, M. Wildberger, M. Maciejewski, D. Duff, T. Mallat and A. Baiker, *J. Catal.*, **148**, (1994), 625.
- [20] Schneider 1994-2 H. Schneider, S. Tschudin, M. Schneider, A. Wokaun, A. Baiker, *J. Catal.* **147**, (1994), 5
- [21] Hutter 1995 R. Hutter, D.C.M. Dutoit, T. Mallat, M. Schneider and A. Baiker, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **163**, (1995).
- [22] Koeppel 1998 R.A. Koeppel, C. Stoeker, A. Baiker, *J. Catal.* **179**, (1998), 515
- [23] Bianchard 1982 F. Bianchard, J.P. Reymond, B. Pommier, S.J. Teichner, *J.Mol.Catal.* **17**, (1982), 171
- [24] Ahmed 1995 M.S. Ahmed, Y.A. Attia, *J. Non-Cryst. Solids* **186**, (1995), 402
- [25] Maurer 1993 S.M. Maurer, D. Ng, E.I. Ko, *Catal.Today* **16**, (1993), 319
- [26] Sun 1999 N. Sun, K.J. Klabunde, *J.Catal.* **185**, (1999), 506
- [27] Fanelli 1989 A.J. Fanelli, J.V. Burlaw, G.B. Marsh, *J. Catalysts*. **116**, (1989), 318
- [28] Schmid 1999 L. Schmid, M. Rohrer and A. Baiker, *Chem. Commun* **21**, (1999), 2302



اولین کنفرانس پتروشیمی ایران



[29] Arai 1991 H. Arai, M. Machida, Catal.Today **10**, (1991), 1

[30] Bandara 1996 J. Bandara, J. Kiwi, C. Pulgarin, G.M. Pajonk, J.Mol.Catal. A **111**, (1996), 333

Archive of SID