

تأثیر استفاده از فناوری نانو در عملکرد کاتالیست‌های پایه آلومینا و کاهش هزینه‌های ناشی از آن

سال انتشار: ۱۴۰۰



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه کننده:	امید الهی، شرکت توسعه مهندسی الماسواره دانش	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
سندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir
پست الکترونیک:	IND@nano.ir		

فهرست مطالب

مقدمه	۳
آلومینا	۳
فناوری نانو در ساخت کاتالیست ها	۴
وضعیت تولید کاتالیست های پایه آلومینا در ایران	۵
فرصت های شغلی موجود در زمینه نانوکاتالیست های پایه آلومینایی	۶
نتیجه گیری	۸
پی نوشت ها	۸
مراجع	۸

مقدمه

کاتالیست‌ها یکی از مهم‌ترین موادی هستند که در فرآیندهای مختلف صنعتی و به‌ویژه در پتروشیمی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تعریف کاتالیست به ماده‌ای گفته می‌شود که در واکنش‌های شیمیایی مصرف نمی‌شوند و پس از واکنش دست‌نخورده باقی خواهند ماند. وظیفه کاتالیست‌ها، کمک به انجام واکنش و افزایش سرعت انجام واکنش‌های شیمیایی است.

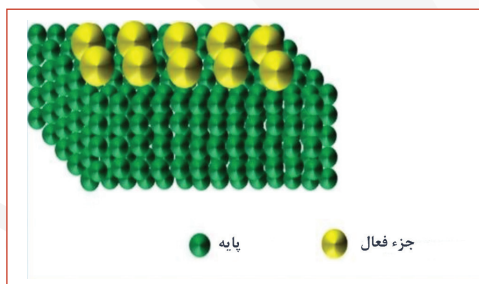
برای به وقوع پیوستن بسیاری از واکنش‌های شیمیایی، معمولاً نیاز به مقداری انرژی است که منجر به شروع واکنش شود. از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به سوختن اشاره کرد که برای شروع واکنش نیاز است که به آن انرژی حرارتی اعمال شود و پس از آن، واکنش ادامه پیدا خواهد کرد. عمدتاً کاری که کاتالیست‌ها در این فرآیند انجام می‌دهند، این است که انرژی لازم برای انجام واکنش را کاهش می‌دهند و در نتیجه آن، واکنش با سرعت بیشتری انجام خواهد شد. این موضوع در تصویر نشان داده شده است.

از آنجایی که ایران یک کشور نفتی است، پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها در این کشور از اهمیت بالایی برخوردارند. یکی از مهم‌ترین موارد مصرف کاتالیست‌ها در صنایع پتروشیمی است و با توجه به وضعیت ایران، کاتالیست به نوعی یک کالای استراتژیک برای این کشور به حساب می‌آید.

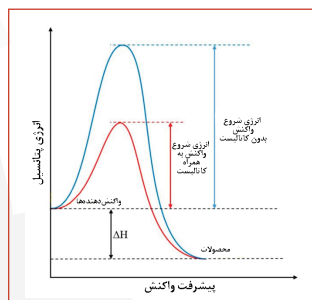
اگرچه که گفته می‌شود کاتالیست‌ها در واکنش‌های شیمیایی مصرف نمی‌شوند، اما واقعیت متفاوت از این است و کاتالیست‌ها بعد از مدتی آلوده شده و عملکرد خود را از دست خواهند داد. به همین دلیل است که در بسیاری موارد، لازم است که کاتالیست‌ها مورد تعویض قرار بگیرند. در نتیجه همین موضوع، کاتالیست‌ها یکی از مواد مصرفی پتروشیمی‌ها به حساب می‌آیند.

آلومینا^۲

آلومینا در واقع همان اکسید آلومینیوم است که با فرمول شیمیایی Al_2O_3 شناخته می‌شود. این ماده یک سرامیک بسیار پایدار است که دلیل استفاده از آن در بسیاری از صنایع نیز همین پایداری آلومینا است. آلومینا به طور کلی در دو فاز مختلف با نام‌های آلفا و گاما شناخته می‌شود. بررسی خواص هرکدام از این فازها در حوصله این گزارش نمی‌گنجد اما با توجه به خواص مورد نیاز، لازم است که در انتخاب آن توجه شود. البته لازم به ذکر است که



شکل ۲- شماتیکی از کاتالیست که پایه کاتالیست و جزء فعال به خوبی روی آن دیده می‌شود. واکنش‌ها در سطح کاتالیست و نواحی که جزء فعال وجود دارد اتفاق می‌افتد. [۲]



شکل ۱- افزایش سرعت انجام واکنش توسط کاتالیست با کاهش انرژی واکنش [۱]

آلومینای گاما کاربرد مستقیم در زمینه کاتالیست‌ها و پایه کاتالیست^۲ ها دارد [۳] و به همین دلیل نیز در طول این گزارش زمانی که به آلومینا اشاره می‌شود، بیشتر منظور آلومینا گاما است.

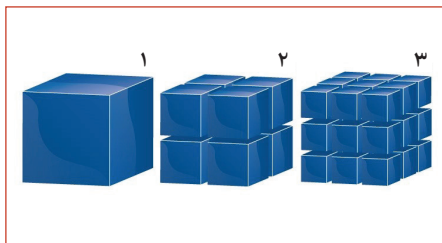
آلومینا یکی از مهم‌ترین مواد مورد استفاده در ساخت بسیاری از کاتالیست‌های صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، داروسازی و خودروسازی است. این ماده ممکن است به دو صورت در ساخت کاتالیست‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. یکی آنکه خود آلومینا نقش ماده فعال کاتالیست را داشته باشد و دیگری اینکه آلومینا نقشه پایه کاتالیست را داشته باشد. اهمیت پایه کاتالیست به حدی است که حدود ۹۰ درصد ارزش کاتالیست، مربوط به پایه کاتالیست است. [۴]

آلومینا به عنوان پایه کاتالیست در صنایع مختلفی کاربرد دارد. این ماده هرچه دارای ساختار متخلخل‌تری^۳ باشد، بستر مناسب‌تری برای انجام واکنش و همچنین مولکول‌های فعال فراهم می‌سازد. جلوتر به اهمیت تخلخل این پایه کاتالیست‌ها بیشتر پرداخته خواهد شد. به طور کلی ویژگی‌هایی که روی عملکرد کاتالیستی آلومینا تأثیر دارند عبارت‌اند از سطح ویژه، حجم تخلخل‌ها، ابعاد و توزیع تخلخل‌ها و خصوصیات اسید/بازی این ماده. البته لازم به ذکر است که بدون شک پایداری شیمیایی و حرارتی این سرامیک نیز تأثیر زیادی روی استفاده از آن در کاتالیست‌ها دارد. [۵]

فناوری نانو در ساخت کاتالیست‌ها

به طور کلی چند عامل روی عملکرد کاتالیست‌ها تأثیر زیادی دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به سطح قابل دسترس آن برای واکنش دهنده‌ها و همچنین دما اشاره کرد. نقش اصلی که فناوری نانو می‌تواند در زمینه ساخت کاتالیست‌ها و بهبود عملکرد آن‌ها ایفا کند، با کاهش ابعاد ذرات و در نتیجه افزایش نسبت سطح به حجم آن‌ها است. از آنجایی که واکنش‌ها در سطح رخ می‌دهند، همین افزایش نسبت سطح به حجم می‌تواند باعث افزایش سطح در دسترس و در نتیجه افزایش بیشتر سرعت واکنش شود. به همین دلیل به وزن کمتری از کاتالیست برای انجام واکنش نیاز خواهد بود.

در زمینه پایه کاتالیست‌ها نیز موضوعی مشابه وجود دارد. آلومینا به طور کلی می‌تواند ساختاری متخلخل داشته باشد که با قرارگیری کاتالیست فعال روی سطح آن، سطح زیادی را برای انجام واکنش در اختیار واکنش دهنده‌ها و کاتالیست قرار خواهد داد. آلومینای گامای نانو ساختار به دلیل داشتن تخلخل بسیار بیشتر، می‌تواند سطح بیشتری را برای انجام واکنش‌های شیمیایی فراهم کند که در نتیجه آن، بازدهی این پایه کاتالیست‌ها به مقدار بسیار زیادی افزایش خواهد داشت. [۳]



شکل ۳- تأثیر کاهش اندازه ذرات روی افزایش مساحت سطح در دسترس. [۶]

افزایش مساحت سطح با کاهش ابعاد ذرات به خوبی در تصویر قابل مشاهده است. هرچه ذرات ریزتر شوند، سطح بیشتری در دسترس قرار خواهد گرفت و سطح میان آن‌ها که تا پیش از این برای انجام واکنش در دسترس نبود، حالا در دسترس قرار گرفته و واکنش دهنده‌ها می‌توانند برای انجام واکنش خودشان را به آن نقاط برسانند.

وضعیت تولید کاتالیست‌های پایه آلومینا در ایران

چند سالی است که این محصول به صورت کاملاً بومی شده توسط چندین شرکت ایرانی در داخل تولید می‌شود. در حال حاضر خود آلومینای گاما نانوساختار یا کاتالیست‌های نهایی مشتق شده از آن توسط چند شرکت ایرانی به فروش می‌رسند که موفق به دریافت گواهی نانوساختار نیز شده‌اند.

شرکت دانش بنیان نانوپارس اسپادانا یکی از این شرکت‌ها است که پودر آلومینا نانوساختار را با فاز غالب گاما برای تأمین نیاز بازار داخل کشور تولید کرده است. این شرکت هم این پودر را به صورت خالص به فروش می‌رساند و



شکل ۴- محصولات شرکت نانوپارس اسپادانا

هم با استفاده از آن کاتالیست‌های مختلفی را تولید و روانه بازار می‌کند. این شرکت با استفاده از روش SHOT که ثبت اختراع همین شرکت است، اقدام به تولید نانوذرات اکسید می‌کند که با تغییر پارامترها در این روش، توانسته‌اند به مورفولوژی دلخواه برای کاربردهای کاتالیستی دست پیدا کنند. از دیگر تولیدات کاتالیستی این شرکت می‌توان به نانوکاتالیست دهیدروژناسیون، نانوکاتالیست اکسی کلراسیون و نانوکاتالیست گوگردزدا اشاره کرد. کاتالیست‌های فرآیند گوگردزدایی نیز بر پایه آلومینا هستند. [۷]

کاتالیست گوگردزدا که تولیدی شرکت نانوپارس اسپادانا است، در حذف گوگرد از بسیاری برش‌های نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در نهایت منجر به بهبود کیفیت مواد پالایش شده خروجی می‌شود. همچنین این گوگرد می‌تواند باعث خوردگی لوله‌ها و مخازن پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها نیز بشود. [۴]

این شرکت در سال ۱۳۸۶ در اصفهان شروع به فعالیت کرده است و در حال حاضر تمام مواد اولیه و دانش فنی ساخت این کاتالیست‌ها را به صورت بومی در اختیار دارد.

شرکت توسعه دانش و فناوری ایلینا نیز شرکت دیگری است که در زمینه ساخت و توسعه محصولات نانوساختار فعالیت می‌کند. این شرکت موفق به تولید کاتالیست نفتا ریفورمینگ شده است. کاتالیست ریفورمینگ نفتا برای تولید بنزین در پالایشگاه‌ها، یکی از مواد اصلی است. این کاتالیست بر پایه آلومینا بوده و دارای نانوذرات است که برای تشکیل ترکیبات آروماتیک و همچنین بنزین، کاتالیستی بسیار تأثیرگذار هستند. معمولاً واکنش‌های اسیدی در فرآیند ریفورمینگ بر عهده آلومینا و واکنش‌های هیدروژن زدایی توسط برخی فلزات که روی کاتالیست قرار گرفته‌اند انجام می‌شود. [۴]

شرکت سرمایه‌های صنعتی اردکان یک شرکت دانش بنیان است که در زمینه ساخت سرمایه‌های و به ویژه سرمایه‌های آلومینایی فعالیت می‌کند. این شرکت در حال حاضر اقدام به تولید آلومینای فعال کرده است که با سطح ویژه بالا امکان استفاده در کاربردهایی مانند کاتالیست، جذب رطوبت و روغن‌ها و همچنین جذب مواد زائد (فیلتراسیون) را دارد. آلومینای فعال^۵ با سطح ویژه بالای ۳۰۰ مترمربع بر گرم، می‌تواند به عنوان کاتالیست در بازیابی گوگرد^۶، دهیدراسیون الکل‌ها و ایزومریزاسیون الفین‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین این شرکت برای پایه کاتالیست‌ها، امکان تولید آلومینای گاما را نیز دارا است. آلومینای فعال این شرکت در دو گرید جاذب و



شکل ۵- کاتالیست بازیابی گوگرد شرکت سرمایه‌یک‌های صنعتی اردکان

کاتالیست تولید می‌شود که گرید کاتالیست از تخلخل بیشتری برخوردار است. [۸]
از کاتالیست‌های تولیدی این شرکت که تأییدیه نانومقیاس را نیز از ستاد توسعه فناوری نانو دریافت کرده است، می‌توان به کاتالیست بازیابی گوگرد اشاره کرد. این دسته از کاتالیست‌ها که در هردو پالایشگاه‌های گاز و نفت یافت می‌شوند، به کاتالیست Claus معروف هستند؛ زیرا فرآیند Claus فرآیندی است که برای گوگردزدایی در پالایش استفاده می‌شود. [۴]

گوگرد یا سولفور یکی از موادی است که در نفت یا گاز خام یافت می‌شود. هرچه غلظت این گوگرد بیشتر باشد، بیشتر می‌تواند منجر به خوردگی لوله آلات شود. به نفت‌هایی که غلظت‌های بالایی از گوگرد دارند، اصطلاحاً "نفت ترش" گفته می‌شود. پس از پالایش و کاهش غلظت گوگرد، به آن نفت شیرین گفته خواهد شد. از آنجایی که این گوگرد می‌تواند منجر به خوردگی تجهیزات پالایشگاهی شود، یکی از اولین اقداماتی که روی نفت خام صورت می‌گیرد، گوگردزدایی است. در حال حاضر عمده گوگرد مورد نیاز جهان از این طریق تهیه می‌شود. همچنین خارج کردن گوگرد از نفت، از نظر زیست محیطی نیز اهمیت بسیار زیادی دارد؛ زیرا با این کار از ورود گاز سمی سولفید هیدروژن به اتمسفر جلوگیری خواهد شد. [۹]

فرصت‌های شغلی موجود در زمینه نانوکاتالیست‌های پایه آلومینایی

از آنجایی که بخش عمده‌ای از این کاتالیست‌ها از خارج ایران و با هزینه‌های گزاف وارد می‌شدند، وجود واحدهای صنعتی تولیدکننده این مواد در داخل کشور می‌تواند مستقیماً ایجاد اشتغال کند. همچنین از آنجایی که رقابتی آن عمدتاً خارجی هستند، نه تنها باعث آسیب به دیگر صنایع نخواهد شد، بلکه به دلیل قیمت کمتر نسبت به نمونه‌های خارجی می‌تواند باعث افزایش سوددهی پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها شود. ممکن به دلیل تحریم‌ها نیز امکان واردات برخی از این کاتالیست‌ها نباشد و در نتیجه این موضوع آن‌ها را به کالایی استراتژیک تبدیل کرده است. از طرفی با افزایش بازدهی این کاتالیست‌ها، کیفیت محصولات خروجی پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها افزایش خواهد یافت. همچنین هزینه‌های ناشی از خوردگی تجهیزات آن‌ها و نگهداری نیز کاهش پیدا خواهد کرد که در نهایت می‌تواند به صرفه‌جویی ارزی بسیار بالایی شود.

به گفته مسئولان پالایشگاه آبادان که یکی از واحدهای صنعتی است که مشتری شرکت‌های ایرانی برای کاتالیست‌ها است، کیفیت محصولات آن‌ها با استفاده از نانوکاتالیست‌های شرکت پارس اسپادانا بیش از حد انتظار افزایش یافته است. [۱۰] شرکت‌های تولیدکننده کاتالیست‌های پایه آلومینایی آمادگی خود را برای تولیدات



شکل ۶- پالایشگاه، یکی از مشتری های بالقوه نانو- کاتالیست های پایه آلومینا

بیشتر اعلام کرده اند و در صورتی که دیگر واحدهای صنعتی نیز به محصولات ایرانی اعتماد کرده و از آنها استفاده کنند، ظرفیت بالایی برای این تولیدات در داخل کشور وجود دارد.

با وجود همه گیری ویروس کرونا و وقفه ای که در تولیدات برخی از شرکت های ایرانی ایجاد شد، به نظر می رسد که روند استفاده از کاتالیست های ایرانی بین پتروشیمی های مختلف در حال افزایش است. شرکت نانو پارس اسپادانا در شرایط کرونایی و در ۴ ماه اول سال ۱۳۹۹ تنها ۱۰۰ تن

پودر آلومینا تولید کرده است اما به گفته مسئولین شرکت، این شرکت توان تولید ۵۰۰ تن در ماه رانیز (در صورت وجود مشتری) دارد. [۱۱]

در سال ۱۳۹۸ پنج تن کاتالیست تبدیل NOx به ازت از طرف شرکت نانو پارس اسپادانا برای تست به پتروشیمی کارون داده شد و به توجه به نتایج خوب به دست آمده، پتروشیمی کارون کاتالیست توری پلاتین را با همکاری شرکت نانو پارس اسپادانا تولید کرده است که طبق گفته این پتروشیمی، استفاده از این کاتالیست نه تنها کیفیت محصول خروجی را کاهش نداده، بلکه منجر به صرفه جویی ارزی ۹۰ درصدی نیز شده است. در اثر این همکاری، خط تولید اسید نیتریک کاملاً بومی سازی شده است و دیگر کاملاً در این زمینه از کشورهای خارجی بی نیاز شده ایم. [۱۲]، [۱۳]

به دنبال برخی تحریم ها، پتروشیمی آبادان با مشکل تأمین کاتالیست مواجه شد و برای مدت زیادی ظرفیت تولید این پتروشیمی کاهش پیدا کرده بود. این موضوع تا جایی پیش رفت که در خرداد ماه سال ۱۳۹۲ موجودی کاتالیست این شرکت به صفر رسید. این شرکت ماهیانه حدود ۸۷۰ کیلوگرم کاتالیست نیاز دارد که این کاتالیست پیش از این تماماً از اروپا تأمین می شد. پس از ارتباط گیری شرکت نانو پارس اسپادانا با پتروشیمی آبادان، این پتروشیمی مقدار کمی کاتالیست به صورت امتحانی از نانو پارس اسپادانا خریداری کرد. طبق گفته مسئولین این پتروشیمی، از زمانی که از نانوکاتالیست ایرانی استفاده می کنند، خلوص محصول خروجی آن ها افزایش پیدا کرده است و دیگر نیز نیازی به واردات این محصول نخواهد بود. [۱۴]

ایران کشوری نفتی است که پالایشگاه ها و پتروشیمی های فراوانی در آن فعالیت کرده و می توانند از این محصولات استفاده کنند. همچنین صنایع داروسازی و خودرویی کشور نیز می توانند از این پتانسیل بهره برده و محصول خروجی را با قیمتی پایین تر در اختیار مشتری نهایی قرار دهند.

بر اساس گزارش گروه IMARC، بازار جهانی کاتالیست های صنعتی در سال ۲۰۲۰ نزدیک به ۲۱ میلیارد دلار بوده است که انتظار می رود تا سال ۲۰۲۶ به حدود ۲۶ میلیارد دلار نیز برسد. [۱۵] همچنین بر اساس گزارش MarketsandMarkets™، تنها کاتالیست های پالایشگاهی در سال ۲۰۱۹ بازاری در حدود ۴ میلیارد دلار داشته اند. مقایسه آمار بالا نشان می دهد که کاتالیست های پالایشگاهی بخش بزرگی از این بازار را تشکیل می دهند. [۱۶] که احتمالاً بخش بزرگ دیگری نیز مربوط به صنعت پتروشیمی باشد. روی هم رفته می توان از داده های بالا این نتیجه گیری را کرد که ایران، به دلیل ماهیت نفتی و پالایشگاهی، کشوری است که نیاز زیادی به این قبیل کاتالیست ها دارد.

نتیجه گیری

کاتالیست های پایه آلومینا در زمینه صنایع پالایشگاهی، پتروشیمی و خودرویی کاربرد زیادی دارند. بازدهی این کاتالیست ها با نانو ساختار شدن و افزایش تخلخل، بهبود زیادی پیدا خواهد کرد. در حال حاضر چندین شرکت ایرانی در زمینه تولید کاتالیست های پایه آلومینا فعالیت می کنند که با توجه به تحریم ها و قیمت بالای نمونه های خارجی، گزینه ای مناسب برای صنایع داخل هستند. همچنین این واحدهای تولیدی با دریافت سفارش از مشتریان داخلی و خارجی امکان افزایش ظرفیت تولید و ایجاد اشتغال بالایی را خواهند داشت که به خودکفایی هرچه بیشتر ایران در این زمینه نیز منجر می شود. با توجه به بازخوردهای مناسبی که این محصولات از معدود خریداران صنعتی گرفته اند، پیش بینی می شود که طی سال های آینده استفاده از این کاتالیست های تولید داخل گسترش زیادی پیدا کند و همچنین خطوط صادرات این محصول نیز راه اندازی شود.

پی نوشت ها

- | | | |
|--------------------|------------------|--|
| ۱ Catalyst | ۲ Porous | ۷ Sour Crude Oil |
| ۳ Alumina | ۵ Active Alumina | ۸ MarketsandMarkets™ Research Private Ltd. |
| ۴ Catalyst Support | ۶ Sulfurecovery | |

مراجع

- ۱ S. I. Sinar Mashuri et al., "Photocatalysis for Organic Wastewater Treatment: From the Basis to Current Challenges for Society," Catalysts, vol. 10, p. 1260, Oct. 2020, doi: 10.3390/catal10111260.
- ۲ C. Liu, H. Wang, Z. Zhang, and Q. Liu, "The Latest Research Progress of NH₃-SCR in the SO₂ Resistance of the Catalyst in Low Temperatures for Selective Catalytic Reduction of NO_x," Catalysts, vol. 10, no. 9, p. 1034, Sep. 2020, doi: 10.3390/catal10091034.
- ۳ M. Trueba and S. P. Trasatti, "γ-Alumina as a Support for Catalysts: A Review of Fundamental Aspects," Eur. J. Inorg. Chem., vol. 2005, no. 17, pp. 3393–3403, Sep. 2005, doi: 10.1002/ajic.200500348.
- ۴ م. کدخدائی، محصولات و تجهیزات فناوری نانو ساخت ایران، ششم، جلد ۳. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۲۰.
- ۵ A. Ruys, "Introduction to alumina ceramics," in Alumina Ceramics, Elsevier, 2019, pp. 1–37.
- ۶ "Rate of digestion," Science Learning Hub, 2011. <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1834-rate-of-digestion> (accessed Dec. 14, 2021).
- ۷ "Gamma Alumina Supports of Catalyst," NANO Pars Spadana. <https://nanops.co/product/17-product> (accessed Dec. 14, 2021).
- ۸ "آلومینای فعال شده (Activated Alumina)"، سایت شرکت سرمایه های صنعتی اردکان. <http://aic.ir/fa/محصولات> (accessed Dec. 14, 2021).
- ۹ K. Andrews, "Types of Crude Oil: Heavy vs Light, Sweet vs Sour, and TAN count." <https://kimray.com/training/types-crude-oil-heavy-vs-light-sweet-vs-sour-and-tan-count> (accessed Dec. 14, 2021).
- ۱۰ افزایش کیفیت محصولات پتروشیمی با نانوکاتالیست ایرانی"، پایگاه خبری فناوری نانو ایران.
- ۱۱ "تولید و عرضه پودر آلومینا نانو ساختار توسط شرکت نانوپارس اسپادانا" ایران کالا، ۲۰۲۰.
- ۱۲ <https://www.iktvt.ir/newsdetail/44393/دانش-بنیان> و عرضه پودر آلومینا نانو ساختار توسط شرکت نانو-پارس اسپادانا (accessed Jan. 05, 2022).
- ۱۳ "پتروشیمی کارون از کاتالیست توری پلاتین رونمایی کرد"، ایران اکونومیست، ۲۰۲۱.
- ۱۴ <https://iraneconomist.com/fa/news/375366/> پتروشیمی کارون از کاتالیست توری پلاتین رونمایی کرد (accessed Jan. 05, 2021).
- ۱۵ "استفاده از نانوکاتالیست تولید ازت در پتروشیمی کارون"، پایگاه اطلاع رسانی محصولات فناوری نانو، ۲۰۱۹.
- ۱۶ <https://nanoproduct.ir/news/66264/w> (accessed Jan. 05, 2022).
- ۱۷ "ویدیو نانوکاتالیست های ایرانی در صنایع پتروشیمی کشور"، نانوصنعت، ۲۰۲۱.
- ۱۸ ویدیو کاتالیست ایرانی در <http://indnano.ir/post/5967/> (accessed Jan. 05, 2022).
- ۱۹ IMARC Group, "Industrial Catalyst Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2021-2026," 2020. [Online]. Available: <https://www.imarcgroup.com/industrial-catalyst-market>.
- ۲۰ MarketsandMarketsTM, "Refinery Catalysts Market by Type (FCC Catalysts, Hydrotreating Catalysts, Hydrocracking Catalysts, and Catalytic Reforming Catalysts), Ingredient (Zeolites, Metal, and Chemical Compounds), Region - Global Forecast to 2025," 2019. [Online]. Available: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/refinery-catalyst-advanced-technologies-and-global-market-84.html>