

## ساخت دستگاه میکروراکتور شیمیایی برای بررسی عملکرد نانوکاتالیست‌ها در مقیاس آزمایشگاهی در دانشگاه سیستان و بلوچستان

### دلایل نیاز به ساخت میکروراکتور شیمیایی

به طور عمده امروزه تولید سوخت و مواد شیمیایی بر پایه نفت خام قرار دارد. از طرف دیگر ذخایر نفت خام، جزو منابع تمام شدنی هستند. بدین ترتیب بشر به دنبال راهی جایگزین برای تولید سوخت و مواد شیمیایی است. چون ذخایر متان و زغال سنگ در جهان بیشتر از نفت خام است، تبدیل زغال سنگ و متان به گاز سنتز (مخلوط  $H_2$  و  $CO$ ) و در مرحله بعد تبدیل آن در حضور کاتالیست‌ها به سوخت و محصولات شیمیایی مفید خواهد بود.

با توجه به اینکه کشور ما دارای یکی از عظیم‌ترین منابع گازی دنیا است باید از این نعمت خدادادی استفاده‌ای بهتر از سوزاندن آن نمود و با توجه به کاهش ذخایر نفتی به نظر می‌رسد در آینده گاز طبیعی، تأمین کننده سوخت و خوراک صنایع پتروشیمی در کشور باشد. لذا نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های جدید جهت تبدیل گاز طبیعی به محصولات سوختی و خوراک صنایع شیمیایی احساس می‌شود. در سال ۱۹۷۳ بحران نفت توجه جهان را به تولید سوخت‌های سنتزی به عنوان محصولی که منجر به توسعه فرآیند تبدیل متانول به بنزین می‌شود افزایش داد. سوخت‌های سنتزی به عنوان موضوع مهمی برای تحقیقات علمی و همچنین مباحث سیاسی مورد توجه قرار گرفتند. در دو دهه گذشته محققین و مهندسين توانسته‌اند به پیشرفت‌های سریعی در زمینه تحقیقات کاتالیستی نائل شده و گام‌های بلندی بردارند. سنتز متانول، سوخت مایع، شیمی نفت و غیره به کمک کاتالیست از وقایع مهمی است که در زمینه این صنایع صورت گرفته و تمام آنها مدیون پیشرفت علم کاتالیست است. کاتالیست‌ها و نانوکاتالیست‌های مورد استفاده در فرآیندهای تبدیل گاز سنتزی به محصولات با ارزش افزوده بالا، عمدتاً از فلزات ارزان قیمت نظیر آهن، نیکل، مس، روی و کبالت و همچنین مخلوط‌های اکسیدهای دو فلزی از قبیل آهن-کبالت، آهن-نیکل، مس-روی، آهن-منگنز و کبالت-منگنز تشکیل شده‌اند. بسته به نوع فرآیند و شرایط عملیاتی، تقویت‌کننده‌هایی<sup>۱</sup> نظیر پتاسیم، لیتیم سزیم و منیزیم بر روی ساپورت‌های (Support) مختلف مانند  $TiO_2$ ،  $Al_2O_3$ ،  $SiO_2$  و

<sup>۱</sup> - Promotors

ژئولیت‌ها به کاتالیست‌ها اضافه می‌شود که این عمل باعث بالابردن فعالیت، راندمان و انتخاب‌پذیری آنها می‌شود. از آنجائی که تغییرات بسیار جزئی در نحوه ساخت، اثر زیادی بر روی ساختار مورفولوژی و عملکرد کاتالیست دارد، لذا می‌توان با بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی این مواد نانو ساختار بهترین شرایط را برای تهیه کاتالیست مورد نظر بوجود آورد. همچنین خواص هر نانو کاتالیستی توسط ترکیب و ساختار آن نانو کاتالیست در مقیاس نانو تعیین می‌شود. بنابراین تنها دانستن اینکه سطح یک کاتالیست از فلز و تقویت کننده (مثلاً آهن و پتاسیم) تشکیل شده است کافی نیست، بلکه ضروری است تا ساختمان دقیق آهن به علاوه موقعیت دقیق اتم‌های پتاسیم را هم در مقیاس نانو بدانیم. شناسایی ساختار نانومتری و مورفولوژی کاتالیست‌ها، جستجوی اتم به اتم سطح، شرایط واکنش و برقراری روابط تجربی بین عواملی که بر ترکیب، شکل و اندازه نانو ذرات و حفرات روی یک سطح تأثیر می‌گذارند، تا حد زیادی در تشخیص این که چگونه کاتالیست‌ها در ابعاد مولکولی عمل می‌کنند، مفیدند. همه خواصی که می‌توانند روی فعالیت، راندمان انتخاب‌پذیری و زمان سرویس‌دهی (طول عمر) کاتالیست تأثیر بگذارند باید مورد بررسی قرار گیرند. مهمترین بحث آن است که کاتالیست و نانو کالیست مورد استفاده تا چه حد اطمینان، نسبت به انجام فرآیند مورد نظر در صنایع نفت و پتروشیمی کارایی دارد. به عبارت دیگر برای ارزیابی و تست عملکرد کاتالیست‌ها و نانو کاتالیست‌ها نیاز به وجود یک دستگاه میکرو راکتور شیمیائی بسیار دقیق با قابلیت کارآیی فوق‌العاده زیاد می‌باشد تا بتوان شرایط عملیاتی موجود در پالایشگاه‌ها را در مقیاس آزمایشگاهی از نظر دما، فشار، سرعت واکنش، مقدار خوراک گازی تزریق شده و غیره مطالعه نمود.

مجموعه این نیازها موجب گردید تا تیم تحقیقاتی کاتالیست و نانو کاتالیست دانشگاه سیستان و بلوچستان اقدام به ساخت دستگاه میکرو راکتور شیمیائی نماید. در ادامه گزارشی از نحوه ساخت این دستگاه و مزیت‌های خاص از قول آقای دکتر علی اکبر میرزایی مجری طرح می‌آید:

"طراحی، ساخت و نصب این دستگاه حاصل چهار سال مطالعه و شش ماه فعالیت عملی مداوم بوده است. سرانجام با لطف خداوند بزرگ این دستگاه مراحل ساخت خود را در مرداد ماه ۱۳۸۵ به پایان رساند و در تاریخ ۸۵/۵/۳۱ با حضور جناب آقای دکتر دهمرده، استاندار محترم سیستان و بلوچستان و همچنین آقای دکتر اکبری ریاست محترم دانشگاه سیستان و بلوچستان افتتاح و آماده بهره‌برداری گردید.

## مزیت‌های دستگاه میکرو راکتور شیمیایی ساخته شده

۱- نسبت به دستگاههای مشابه که تا فشار 25 اتمسفر را تأمین می‌کنند، دستگاه ساخته شده قادر است تا فشار 100 اتمسفر را تأمین نماید. فشارسنج‌ها، تانکر مخلوط گازها و سایر تجهیزات مورد استفاده برای ساخت این دستگاه بگونه‌ای انتخاب، طراحی و نصب گردیده‌اند که فشارهای بسیار بالا را به راحتی تحمل نمایند. تمام تمهیدات لازم جهت انجام واکنش در فشارهای مختلف و بخصوص فشارهای بالا نیز در نظر گرفته شده است.

۲- نوع رگلاتورهای مورد استفاده در سیلندرهای گاز، همچنین نحوه تعبیه فشارسنج‌ها در دستگاه به گونه‌ای است که هر خط گازی کاملاً مستقل از سایر خطوط گازی بوده و بنابراین محقق قادر است تا فشار مورد نظر را به هر خط به طور مستقل تزریق نماید و به عبارت دیگر فشار جزئی را نسبت به هر یک از مواد گازی خوراک بطور جداگانه بتواند اندازه بگیرد و در نتیجه سرعت (سینتیک) واکنش انجام شده در راکتور را در فشارهای مختلف حتی در فشارهای جزئی بسیار بالا مطالعه نماید.

۳- دستگاه به گونه‌ای ساخته شده که قسمت مکانیکی آن، کاملاً از قسمت الکترونیکی مجزا بوده و علاوه بر این، هر قسمت دستگاه نظیر کنترل کننده‌های فشار، کنترل کننده‌های جرمی هم به طریق مکانیکی و هم به طریق الکترونیکی قابل کنترل می‌باشند. به عبارت دیگر یک سیستم Double checking (دو بار کنترل) در این دستگاه وجود دارد. اگر زمانی به دلایلی اختلالی در یک قسمت (مثلاً قسمت الکترونیکی فشار) سیستم ایجاد شود، تا زمان رفع نقص، باز هم دستگاه قادر به انجام کار خود (از طریق سیستم مکانیکی فشار) خواهد بود.

۴- علاوه بر اینکه انجام واکنش در دمای معمولی تا دمای  $1500^{\circ}C$  در دستگاه امکان‌پذیر است کنترل دما در دستگاه شامل دمای قبل از بستر راکتور، دمای بعد از بستر راکتور و دمای بستر راکتور (یعنی محل قرارگیری کاتالیست یا نانو کاتالیست در داخل دستگاه)، نیز امکان‌پذیر است.

۵- برای آنالیز محصولات گازی نظیر هیدروکربن‌های سبک مثل اتیلن، پروپیلن و غیره نیاز به یک دستگاه GC جداگانه است. سازندگان میکرو راکتور، بجای اینکه از یک دستگاه GC جداگانه استفاده نماید، در همین دستگاه GC واریان 3400 یک Valve Ten Port نصب کرده‌اند. با نصب این Valve، محقق قادر است که بطور on-line محصولات گازی را تشخیص و آنالیز نماید

و بطور off-line نیز محصول مایع را جداگانه جمع آوری و به تزریق کننده دستگاه تزریق و محصول یا محصولات مایع را نیز شناسایی کند.

۶- دستگاه به گونه‌ای طراحی و نصب شده است که چند کاربردی است. به عبارت دیگر امکان ارزیابی و تست کاتالیست‌ها و نانوکاتالیست‌ها برای چندین فرآیند مختلف در صنعت پتروشیمی و حتی در صنایع غیرمرتبط با پتروشیمی در مقیاس آزمایشگاهی وجود دارد. برخی از این فرآیندها در زیر آمده است.

الف- سنتز فیشر- تروپش برای تولید هیدروکربن‌ها و محصولات میان تقطیر نظیر بنزین، گازوئیل و فرآیند GTL (فرآیند Gas To Liquid) که از طریق فعال کردن سه خط  $CO$ ،  $H_2$  و  $N_2$  صورت می‌گیرد.

ب- فرآیند زوج شدن اکسایشی متان برای تولید اولفین‌های سبک نظیر اتیلن (فرآیند OCM). با جابجایی دو  $MFC$  کالیبره شده برای  $CO$  و  $CO_2$  و دو  $MFC$  کالیبره شده برای گازهای  $CH_4$  و  $O_2$  دستگاه قادر به انجام این فرایند است و به گونه‌ای طراحی شده که این جابجایی امکان‌پذیر است.

ج- فرآیندهای سنتز متانول و تبدیل متانول به بنزین (MTG): می‌توان گاز سنتزی را در حضور کاتالیست  $Cu/ZnO$  و ساپورت  $Al_2O_3$ ، به متانول تبدیل نمود و متانول در حضور کاتالیست‌های زئولیتی به بنزین تبدیل می‌شود. در واقع سنتز غیرمستقیم بنزین از گاز سنتزی بخش عمده‌ای از تحقیقات دنیا را در مراکز تحقیقاتی کاتالیستی مدرن جهان بخود اختصاص داده است. اخیراً شرکت آپرون با تولید نانو کاتالیست‌هایی برای تبدیل گاز سنتزی به متانول توانسته است راندمان تولید متانول را بالا ببرد. با فعال کردن هر چهار خط دستگاه میکرو راکتور یعنی  $CO$ ،  $H_2$ ،  $N_2$  و  $CO_2$  می‌توان فرایند سنتز متانول را انجام داده و فعالیت کاتالیست‌ها و نانوکاتالیست‌ها را نسبت به این فرآیند ارزیابی نمود.

د- به دلیل این که دستگاه قادر است فشارها و دماهای بسیار بالا را تأمین نماید برای تست کاتالیست‌ها و نانوکاتالیست‌ها مربوط به سنتز آمونیاک نیز می‌توان از این دستگاه استفاده نمود (با فعال کردن دو خط  $H_2$  و  $N_2$ ).

ه- دستگاه قادر است فرآیندهای دیگری به غیر از فرآیندهای مورد استفاده در صنعت پتروشیمی نظیر اکسیداسیون  $CO$  در حضور کاتالیست‌ها و نانوکاتالیست‌های تک فلزی یا دو فلزی در دماهای پایین را که استفاده بسیار زیادی در صنایع لیزری و محیط زیست دارند، مورد ارزیابی قرار دهد. همچنین

می‌توان به کمک این دستگاه فعالیت نانوذرات فلزی را به عنوان کاتالیست برای اکسیداسیون هیدروکربن‌های گازی و احیاء اکسیدهای هیدروژن از طریق جایگزینی MFCهای کالیبره شده نسبت به هر یک از این گازها و جایگزینی سیلندرهای مورد نیاز به عنوان خوراک تزریق شده به میکروراکتور، مورد ارزیابی قرار داد.

ویژگی چند کاربردی بودن دستگاه نیز به دلیل ویژگی خاص طراحی و ساخت این دستگاه از خصوصیات منحصر بفرد آن می‌باشد که در هیچ یک از میکرو راکتورهای قبلی دیده نمی‌شود.

۷- سیستم برقی دستگاه: سیستم کنترل برق دستگاه مجهز به قسمت کنترل فاز از طریق یک سویچ اصلی است که شامل دو قسمت رله و بی متال می‌باشد.

کار قسمت رله: چنانچه مقدار ولتاژ ورودی از مقدار ولتاژ مورد نظر بیشتر و یا کمتر باشد، رله در حالت باز بوده جریان قطع می‌شود و در ولتاژ مورد نظر بسته شده و جریان برقرار می‌شود.

کار قسمت بی متال: چنانچه جریان مصرفی بسیار زیاد باشد، باعث داغ شدن سیم‌ها شده و جریان را قطع می‌کند و از آتش‌سوزی جلوگیری می‌شود.

۸- کنترل فشار و دما کاملاً الکترونیکی بوده و از طریق کامپیوتر قابل کنترل می‌باشد.

بطور خلاصه طراحی و نصب دستگاه بگونه ای صورت گرفته که در آن نکات زیر رعایت شده است.

الف- کار راحت اپراتور با دستگاه

ب- ارتباط قابل فهم اجزاء دستگاه

ج- مشاهده اجزاء دستگاه

د- انجام چندین فرآیند مختلف با دستگاه



دکتر میرزائی سازنده دستگاه میکروراکتور شیمیائی در حال توضیح بخش‌های مختلف دستگاه در مراسم افتتاحیه



مراسم بهره برداری دستگاه میکرو راکتور شیمیائی با حضور دکتر دهمرده استاندار سیستان و بلوچستان