

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

# بررسی یک نانو کاتالیست مغناطیسی در سنتز هانش

راضیه فارسی

مدرس آموزشکده فنی و حرفه ای دختران اهواز  
دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اهواز

انتشارات قانون یار

۱۳۹۶

# **فهرست مطالب**

مقدمه

فصل اول

کلیات

فصل دوم

روش تحقیق

فصل سوم

نتایج

منابع و مأخذ

## تقدیم به پدر و مادرم

و آنان که گامهای موفقیت را با تلاشی  
صادقانه برداشته و قدم در تعالی ارزشها و  
پیشرفت بر می دارند و مصمم هستند تا به  
درجات عالی تکامل نفس خویش برسند.

## مقدمه

کاربرد گسترده کاتالیزورها در قرن حاضر در صنعت، محققان را به سوی طراحی کاتالیزورهایی با قدرت کاتالیستی بالا و قابل بازیافت رهنمون کرده است. این امر با به کارگیری فناوری نانو در تولید ذرات کاتالیستی در ابعاد نانومتر محقق گردیده است. ویژگیهای منحصر به فرد نانو ذرات را می‌توان به سطح فعال بسیار بالا و سایت‌های فعال فراوان در این گونه ذرات نسبت داد. در تکنیک **(MCR)**، طی عملیات تجربی ساده و تک مرحله‌ای، بیش از دو بلوکه ساختاری با وزن مولکولی پایین یکباره و همزمان با هم ترکیب می‌شوندو دو یا چند پیوند تشکیل می‌شود و بنابراین

مولکول ها و ساختارهای پیچیده مفید و با ارزش بصورت بسیار سریع، کارآمد، موثر و با صرف زمان کم بدون اینکه جداسازی هر گونه حدواتسطی انجام گیرد، سنتز می شوند. ضمن اینکه این دستیابی این امکان را نیز به ما می دهد که از افزودن هر واکنشگری به طور اضافی و زاید پرهیز نماییم، میزان ضایعات و هدر رفت فراورده ها و تولیدات را به حداقل برسانیم و با این کار برای دستیابی به حداکثر بازده فراورده های سنتزی، صرفه جویی نماییم و واکنش های چند جزیی تک مرحله ای، به دلیل افزایش سرعت، تنوع ساختاری بی نظیر، کارآمدی، دستیابی سریع به مولکولهای آلی کوچک با کارکرد چند گانه و دارای گروهای

عاملی بسیار ، برای تولید چهار چوب های ساختاری مهم به کار می رود بنابراین بعضی از خصوصیات واکنش چند جزیی را می توانیم ، سریع ، کارآمد ، موثر و با صرف زمان کم و هزینه های پایین بیان کنیم و به علت فواید زیاد مشتقات دی هیدروپیریدین بعد از هانش روش های زیادی برای تولید این مشتقات انجام گرفته است که پایه و اساس همه آنها واکنش هانش بوده است . روش کلاسیک ساخت این مشتقات شامل رفلاکس مواد در حضور یک کاتالیست اسیدی و در حلال آلی می باشد . این روش ها اگر چه کارآمد هستند ، اما خالی از عیب نمی باشند ، زمان طولانی ، راندمان کم ، شرایط سخت واکنش ها از معایب این روش

ها محسوب می شود. بنابراین ارائه راهکار مناسب برای تهیه این ترکیبات ضروری به نظر می رسد.

فصل اول

کلیات

## نانو تکنولوژی

نانو تکنولوژی تولید کارآمد مواد دستگاه ها و سیستم ها با کنترل ماده در مقیاس نانومتر و بهره برداری از خواص و پدیده های نو ظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته اند. ویژگی مهم علم نانو جنبه چند رشته ای، بودن آن می باشد. این علم بسیاری از علوم موجود همچون شیمی، زیست شناختی، فیزیک را پوشش می دهد. برای درک مفاهیم پایه ای این علم تقریباً به تمامی علوم نیاز است. برای مثال به علم شیمی نیاز است زیرا روش های پیوند مولکول ها با یکدیگر و چگونگی ترکیب مواد را به ما می آموزد. در واقع باید گفت

که این علم شاخه‌ای جدید در تمام رشته‌های دانشگاهی تأثیرات قابل‌توجهی بر زندگی انسانی دارد. این علم در توانمندی تولید مواد ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطح مولکولی اتمی و استفاده از خواص ظاهرشده در آن سطح می‌باشد. در یک تقسیم‌بندی کلی، روش‌های تهیه نانو مواد را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد:

## الف-روش‌های فیزیکی

## ب-روش های مکانیکی

### ج-روش های شیمیایی (حالت مایع و با کمک روشهای شیمیایی تر)

مزیت استفاده از روش های شیمیایی در مقایسه با روش های فیزیکی و مکانیکی ارزان بودن، در دسترس بودن و ساده بودن آزمایش ها برای تولید نانو ذرات می باشد. شاید به این دلیل بخش اعظمی از تحقیقات نانو ذرات در دنیا با استفاده از روش های شیمیایی انجام می پذیرد. به طور کلی سنتزهای شیمیایی روش هایی را در بر می گیرد که شامل رسوب گیری<sup>۱</sup> از فاز مایع (یا محلول) است. روش

---

<sup>۱</sup> - Precipitation

های تخریب حرارتی<sup>۱</sup> سولوترمال و هیدرورترمال،<sup>۲</sup> سنتز در میکروامولسیون<sup>۳</sup> یا مایسل معکوس،<sup>۴</sup> سل-ژل<sup>۵</sup> و روش های هم رسوبی<sup>۶</sup> از این دسته اند. انتخاب روش ساخت نانو مواد بسیار مهم بوده و بستگی به ترکیب شیمیایی نانو ماده و کاربرد آن همچنین امکانات آزمایشگاهی، هزینه اقتصادی، نوع ماده واکنش دهنده‌ی اولیه و غیره دارد، که باید در هنگام انتخاب روش ساخت نانو ماده در نظر گرفته شود.

- 
- <sup>۱</sup> - Thermal Decomposition
  - <sup>۲</sup> - Solvothermal and Hydrothermal
  - <sup>۳</sup> - Microemulsion
  - <sup>۴</sup> - Reverse Micelle
  - <sup>۵</sup> - Sol-Gel
  - <sup>۶</sup> - Co-precipitation

## نانوشیمی : نانومغناطیسی

نانوشیمی یکی از زمینه های تحقیقاتی عظیم و پیشرفته در علم مدرن می باشد که سنتر و کاربرد نانوذرات با شکل و اندازه های متفاوت را شامل می شود(گرینس و همکاران، ۲۰۰۳).<sup>۱</sup> نانوذرات با نمونه های توده ای مشابه خود متفاوت می باشند. کاهش اندازه ذرات سبب افزایش اتم های قرار گرفته بر روی سطح شده که این تغییر می تواند خصوصیات مواد را تغییر دهد. به عنوان مثال به صورت عملی و تئوری نشان داده شده کاهش در اندازه ذرات بلورهای فلزی حرکت الکترون را محدود خواهد نمود. به موازات کاهش اندازه ذرات پیوندهای

---

<sup>۱</sup>-Grunes, et al.

الکترونی بلور بتدریج کوانتایی شده، در نتیجه سبب افزایش انرژی گاف پیوند می گردد. همانگونه که آل سید شرح داده این خصوصیات در جامدات توده ای و مولکول یا اتم های تشکیل دهنده جامدات توده ای وجود ندارد(آل سید، ۲۰۰۳، ص ۲).<sup>۱</sup> این تغییرات ناشی از کاهش اندازه ذرات موجب می شود که نانوشیمی تبدیل به یک علم بین رشته ای گردد که دامنه وسیعی از علوم مواد تا زیست داروها را در بر می گیرد. نانوذرات فلزی کلوییدی بطور گسترده ای در تبدیلات شیمیایی به عنوان کاتالیزور مورد استفاده قرار می گیرند و از آنها به عنوان مرزی بین

کاتالیزورهای همگن و ناهمگن یاد می شود. از این سیستم ها اغلب به عنوان سیستم های نیمه همگن یاد می شود. انواع تکنیک های کاهش (تبديل نمک های فلزی به فرم اتمی) شامل استفاده از مولکول هیدروژن (ال سید، ۲۰۰۱).<sup>۱</sup> الكل ها (ترانشی و میاک، ۱۹۹۸).<sup>۲</sup> و سدیم بورهیدرید (نارایانان وال سید، ۲۰۰۴).<sup>۳</sup> جهت سنتز نانوذرات فلزی کلوویدی بکار رفته است به دلیل اینکه در نانوذرات کسر زیادی از اتم ها بر روی سطح قرار دارد باید توسط عوامل پایدار کننده نظیر پلیمرها، سورفتانت ها، دندریمرها و یا مایعات یونی<sup>۴</sup> پایدار گردند(سومارجای

---

<sup>۱</sup> - Teranishi, Miyake.

<sup>۲</sup> - Narayanan, El-Sayed .

<sup>۳</sup> -Ionic liquid

وپارک، ۲۰۰۸).<sup>۱</sup> کاتالیزوری دارای فعالیت زیاد می باشد که دارای سطح ویژه بالا و تعداد مواضع فعال زیاد باشد و بدلیل اینکه در نانوذرات این خصوصیات وجود دارد آنها جزء بهترین گزینه ها برای کاتالیزورها محسوب می باشند (کلاس وهمکاران، ۲۰۰۰).<sup>۲</sup> در کنار ارتباط اندازه و فعالیت، شکل ذرات نیز باید در نظر گرفته شود. دما و غلظت واکنش دهنده ها در طی سنتز ذرات در اندازه و شکل آنها مؤثر می باشد. نانوذرات پوشیده نشده اغلب ناپایدار بوده و در طی واکنش کاتالیزوری به هم می چسبند. جهت تولید نانوذرات پایدار و حفظ

---

<sup>۱</sup> - Somorjai, Park.

<sup>۲</sup> - Claus, et al.

خاصیت کاتالیزوری آنها نیاز است که رشد نانوذرات را متوقف و سطح آن را پایدار نمود. محافظت از طریق افزایش عوامل پایدار کننده و یا تثبیت آنها بر روی مواد جامد با سطح ویژه زیاد انجام می‌پذیرد. عوامل پایدار کننده‌ایی که بدین منظور استفاده می‌گردند عبارتند از: پلیمرها و یا سورفکتانت‌هایی با زنجیره بلند آلکیلی و سرقطبی که به سطح نانوذرات از طریق برهم کنش الکترواستاتیکی یا کووالانسی پیوند می‌خورند. پایدار شدن بدون استفاده از روش‌های ذکر شده تنها از طریق دافعه الکترواستاتیکی یا مزاحمت فضایی و یا ادغام هر دو توجیه پذیر می‌باشد. علاوه بر این نانوذرات جهت پایداری بیشتر و یا سهولت

بازیافت بر روی بستر معدنی ثبیت شده و یا به آن پیوند زده می شوند. تلاش زیادی جهت یافتن بسترهای جدید برای تبدیل کاتالیزورهای همگن به کاتالیزورهای ناهمگن صورت گرفته است، اما مشکلی که در آنها وجود دارد این است که اغلب، فعالیت و گزینش پذیری مواد توده ای متفاوت با مواد در سطح مولکولی است. همچنین این نکته قابل توجه است که اغلب توزیع کاتالیزورهای ناهمگن معمول در محیط مایع بسیار ضعیف می باشد. یک راه جهت غلبه کردن بر این مسئله کوچک کردن سایز، ذرات تا حد ممکن می باشد. در خصوص کاتالیزورهای ناهمگن که در محیط مایع

سوسپانسیون می شوند، بطور معکوس به قطر ذرات کاتالیزور، سرعت انتقال مواد واکنش دهنده درون محیط مایع به سمت کاتالیزور بستگی دارد. در نتیجه فعالیت و گزینش پذیری کاتالیزور سوسپانسیون شده با کاهش اندازه ذره بهبود می یابد. سطح ویژه بالای نانوذرات بدین معنا می باشد که می توان تعداد بسیار زیادی از سایت های فعال کاتالیزوری را بر روی آن ها ایجاد کرد و انتشار به درون این حفرات هیچ محدودیتی در سرعت واکنش نخواهد داشت. به عنوان مثال، نانوذرات کروی شکل با قطر حدود ۱۰ نانومتر دارای سطح محاسبه شده ای حدود ۶۰۰ متربرسانتی متر مکعب می باشند که این سطح با بسیاری از بسترهايی که جهت قرار دادن

کاتالیزورهای همگن استفاده می شود قابل مقایسه می باشد (آناستاس و همکاران، ۱۹۹۸).<sup>۱</sup> در نتیجه می توان گفت فضای عظیمی بر روی سطح این نانوذرات جهت ناهمگن کردن انواع کاتالیزورهای همگن وجود دارد. تحقیقات در خصوص چنین ذرات با سایز کوچکی به فهم ارتباط بین کاتالیزورهای همگن و ناهمگن کمک می کند و می تواند پل مؤثری بین این دو فاز کاتالیزوری باشد.

بر خلاف ذرات با اندازه ماکرو، نانو ذرات می توانند به راحتی در فاز مایع پخش شوند و یک سوسپانسیون پایدار را بوجود آورند. مشکلی که در

---

<sup>۱</sup> - Anastas, et al.

این ارتباط وجود دارد این است که ذرات با سایز کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر را به سختی می‌توان با صاف کردن از مخلوط واکنش جدا کرد و نیاز به استفاده از ابرسانتریفوژ است که هزینه آنها زیاد می‌باشد.

جهت غلبه بر این نقطه ضعف می‌توان از نانوذرات مغناطیسی استفاده کرد، این ذرات با استفاده از یک آهنربای خارجی به راحتی از مخلوط واکنش قابل جداسازی می‌باشند. علاوه بر این جداسازی مغناطیسی یک روش سازگار با محیط زیست می‌باشد، به این دلیل که این کاتالیزورها مشکلات معمول صاف کردن معمولی نظیر از دست رفتن کاتالیزور، اکسید شدن کمپلکس‌های حساس و نیاز به استفاده از حلal‌های مختلف جهت رسوب کردن

کاتالیزور را نداشته و در نتیجه ضایعات و هزینه ها می توانند به طور قابل ملاحظه ای کاهش پیدا کنند.

## شیمی سبز

شیمی نقشی بنیادی در پیشرفت تمدن آدمی داشته و جایگاه آن در اقتصاد، سیاست و زندگی روزمره روز به روز پر رنگ تر شده است. با این همه، شیمی طی روند پیشرفت خود، که همواره با سود رساندن به آدمی همراه بوده، آسیب های چشمگیری نیز به سلامت آدمی و محیط زیست وارد کرده است. شیمیدانها طی سالها کوشش و پژوهش، مواد خامی را از طبیعت برداشت کرده اند، که با سلامت آدمی و شرایط محیط زیست سازگاری بسیار دارند،

و آن‌ها را به موادی دگرگونه کرده‌اند که سلامت آدمی و محیط زیست را به چالش کشیده‌اند. هم‌چنین، این مواد به سادگی به چرخه‌ی طبیعی مواد باز نمی‌گردند و سال‌های زیادی به صورت زباله‌های بسیار آسیب‌رسان و همیشگی در طبیعت می‌ماند. بارها از آسیب‌های مواد شیمیایی به بدن آدمی و محیط زیست شنیده و خوانده‌ایم. اما، چاره‌ی کار چیست؟ آیا دوری و پرهیز از بهره‌گیری از مواد شیمیایی می‌تواند به ما کمک کند؟ تا چه اندازه‌ای می‌توانیم از آن‌ها دوری کنیم؟ کدام‌ها را می‌توانیم به کار نبریم؟ کدام‌یک از فرآورده‌های شیمیایی را می‌توان یافت که با آسیب به سلامت آدمی یا محیط زیست همراه نباشد؟ داروهایی که سلامتی ما به

آن‌ها بستگی زیادی دارد، خود با آسیب‌هایی به بدن ما همراه‌اند. آیا می‌توانیم آن‌ها را به کار نبریم؟ آیا می‌توان آب تصفیه شده با مواد شیمیایی را ننوشیم؟ پیرامون ما را انبوهی از مواد شیمیایی گوناگون فراگرفته‌اند که در زهرآگین بودن و آسیب‌رسان بودن بیش‌تر آن‌ها شکی نداریم و از بسیاری از آن‌ها نیز نمی‌توانیم دوری کنیم.

بی‌گمان هر اندازه که بتوانیم از به کارگیری مواد شیمیایی در زندگی خود پرهیز کنیم یا از رها شدن این گونه مواد در طبیعت جلوگیری کنیم، به سلامت خود و محیط زیست کمک کرده‌ایم. اما به نظر می‌رسد در کنار این راهکارهای پیش‌گیرانه، که تا

کنون کارآمدی چشمگیری از خود نشان نداده‌اند،  
باید به راه‌های کارآمدتری نیز بیاندیشیم که  
دگرگونی در شیوه‌ی ساختن مواد شیمیایی در  
راستای کاهش آسیب‌های آن‌ها به آدمی و محیط  
زیست، یکی از این راه‌هاست. امروزه، از این  
رویکرد نوین با عنوان شیمی سبز یاد می‌شود که  
عبارة است از: طراحی فرآورده‌ها و فرآیندهای  
شیمیایی که به کارگیری و تولید مواد آسیب‌رسان به  
سلامت آدمی و محیط زیست را کاهش می‌دهند یا  
از بین می‌برند. شیمی سبز اصطلاحی است که برای  
اولین بار توسط پائول آناستاس، پیشنهاد  
شد. آناستاس (۱۹۹۸)

بنابراین هدف نهایی شیمی سبز، افزایش کیفیت زندگی در یک کره زمین تمیزتر و ایمن تر است. امروزه دیگر شیمی انحصاراً علمی برای فهم و ادراک بهتر پدیده های پیرامون و طبیعت نیست. شیمی یک علم خلاق و تولید کننده است که مواد و اجسامی با ارزش افزوده بالا ایجاد می کند. بسیاری از ابداعات، اختراعات، و آفرینش های علمی فناوری به دنبال توسعه در سنتزهای شیمیایی صورت گرفته است. هم اکنون در قرن بیست و یکم، ابداعات و اختراقات تاثیر شگرفی بر زندگی و تمدن بشری گذارده به طوری که جنبه علمی اکثر این موارد بر اساس اصول شیمیایی و فیزیکی استوار

گردیده است. از طرفی با وجود نقش حیاتی علم شیمی در خلق تمدن جدید، اما خطرات زیادی نیز از جانب محصولات و فرایندهای شیمیایی سلامت انسان و محیط زیست را تهدید می کند. کودها و سموم شیمیایی کشاورزی، داروهای صناعی و نیمه صناعی، مواد پلاستیکی، بنزین و سوخت های دیگر، انواع مواد پلیمری، مواد بهداشتی-آرایشی، انواع شوینده ها، انواع افزودنی های شیمیایی در صنایع گوناگون، و ... همگی جزء مواد شیمیایی بالارزشی هستند که طی فرایندهای شیمیایی و در کارخانجات شیمیایی تولید می شوند. اما برخی از این مواد و فرآیندهای شیمیایی ای که برای ساخت آن ها استفاده می شود به محیط زیست و سلامت انسان ها

صدمه می زند. تاکنون در بیشتر راه کارها بر جنبه های پیشگیرانه تأکید شده است. اما از دیگر سو، راه های کارآمدتری نیز برای کاهش خطرات فرآیندها و محصولات شیمیایی وجود دارد. فرایندهای شیمیایی باید از لحاظ علمی و تئوری زیبا و در عرصه زندگی، عملی و کاربردی باشند. امروزه دیگر اقتصادی و مقرن به صرفه بودن یک روش نمی تواند برای یک شیمیدان کافی باشد. قابلیت بازیافت مواد اولیه و زیست سازگار بودن روش ها و بی خطر بودن محصولات، از دیگر ابعاد مهمی هستند که یک شیمیدان باید در کنار توجیه اقتصادی فرایندی در نظر بگیرد که این فعالیت ها در شیمی

سبز تعریف می گردد. در شیمی سبز تلاش بر آن است که آلودگی از طریق جلوگیری از ایجاد آن، کاهش یابد. بنابراین یک شیمیدان آگاه، با اطلاع کافی از خطرات احتمالی یک ماده‌ی شیمیایی برای سلامتی انسان و محیط زیست، یک فرایند شیمیایی را طراحی می‌کند.

## شیمیدان سبز کیست؟

شیمیدان‌هایی که در این حوزه فعالیت دارند شیمیدان سبز نامیده‌اند. تولید صنعتی اکثر محصولات بر اساس فعل و انفعالات شیمیایی صورت می‌گیرد. در دهه گذشته بعضی از شیمیدان‌ها نگرش جدید خود را متوجه تولید محصولات بدون

استفاده از مواد سمی و بدون ایجاد سمپاندهای سمی نموده اند. شیمی سبز یک نوع شستشوی سبز تکنولوژی قدیمی نمی باشد. بکله جزء اصلی تکنولوژی های جدیدی است که کارائی بهتری دارند، ارزان تمام می شوند و به انرژی کمتری احتیاج دارند. در یک دوره کامل تولید از ماده خام گرفته تا ایجاد محصول نهایی آلودگی کمتری ایجاد می نمایند و اضافه نمود که در واقع انقلاب تکنولوژی سبز برابر با انقلاب صنعتی می باشد.

## بنیادهای شیمی سبز

شیمی سبز، که بیشتر به عنوان شیوه‌ای برای پیش‌گیری از آلودگی در سطح مولکولی شناخته

می شود، بر دوازده بنیاد استوار است که طراحی یا باز طراحی مولکول‌ها، مواد و دگرگونی‌های شیمیایی در راستای سالم‌تر کردن آن‌ها برای آدمی و محیط زیست، بر پایه‌ی آن‌ها انجام می‌شود.

## پیش‌گیری از تولید فراورده‌های بیهوده

توانایی شیمی‌دان‌ها برای باز طراحی دگرگونی‌های شیمیایی برای کاستن از تولید فراورده‌های بیهوده و آسیب‌رسان، نخستین گام در پیش‌گیری از آلودگی است. با پیش‌گیری از تولید فراورده‌های بیهوده، آسیب‌های مرتبط با انبار‌کردن، جابه‌جایی و رفتار با آن‌ها را به کم‌ترین اندازه‌ی خود کاهش می‌دهیم.

## اقتصاد اتم، افزایش بهره‌وری از اتم

اقتصاد اتم به این مفهوم است که بازده دگرگونی‌های شیمیایی را افزایش دهیم. یعنی طراحی دگرگونی‌های شیمیایی به شیوه‌ای باشد که گنجاندن بیشتر مواد آغازین را در فرآورده‌های نهایی درپی داشته باشد. گزینش این گونه دگرگونی‌ها، بازده را افزایش و فرآورده‌های بیهوده را کاهش می‌دهد.

## طراحی فرایندهای شیمیایی کم‌آسیب تر

شیمی‌دان‌ها در جایی که امکان دارد باید شیوه‌ی را طراحی کنند تا موادی را به کار برد یا تولید کند که زهرآگینی کم‌تری برای آدمی یا محیط زیست

داشته باشند. اغلب برای یک دگرگونی شیمیایی واکنش‌گرهای گوناگونی وجود دارد که از میان آن‌ها می‌توان مناسب‌ترین را برگزید.

## طراحی مواد و فراورده‌های شیمیایی سالم‌تر

فراورده‌های شیمیایی باید به گونه‌ای طراحی شوند که با وجود کاهش زهرآگینی‌شان کار خود را به خوبی انجام دهند. فراورده‌های جدید را می‌توان به گونه‌ای طراحی کرد که سالم‌تر باشند و در همان حال، کار در نظر گرفته شده برای آن‌ها را به خوبی انجام دهند.

# بهره‌گیری از حلال‌ها و شرایط واکنشی سالم‌تر

بهره‌گیری از مواد کمکی (مانند حلال‌ها و عامل‌های جداکننده) تا جایی که امکان دارد به کم‌ترین اندازه برسد و زمانی که به کار می‌روند از گونه‌های کم‌آسیب‌رسان باشند. دوری کردن از جداسازی در جایی که امکان دارد و کاهش بهره‌گیری از مواد کمکی، در کاهش فراورده‌های بیهوده کمک زیادی می‌کند.

## افزایش بازده انرژی

نیاز به انرژی در فرایندهای شیمیایی از نظر اثر آن‌ها بر محیط زیست و اقتصاد باید در نظر گرفته

شود و به کمترین میزان خود کاهش یابد. اگر امکان دارد، روش‌های ساخت و جداسازی باید به گونه‌ای طراحی شود که هزینه‌های انرژی مرتبط با دما و فشار بسیار بالا یا بسیار پایین به کمترین اندازه‌ی خود برسد.

## بهره‌گیری از مواد اولیه‌ی نوشدنی

دگرگونی‌های شیمیایی باید به گونه‌ای طراحی شوند تا از مواد اولیه‌ی نوشدنی بهره‌گیرند. فرآورده‌های کشاورزی یا فرآورده‌های بیهوده‌ی فرآیندهای دیگر، نمونه‌هایی از مواد نوشدنی هستند. تا جایی که امکان دارد، این گونه مواد را به جای

مواد اولیه‌ای که از معدن یا سوخت‌های فسیلی به دست می‌آیند، به کار بریم.

## پرهیز از مشتق‌های شیمیایی

مشتق‌گرفتن (مانند بهره‌گیری از گروه‌های مسدودکننده یا تغییرهای شیمیایی و فیزیکی گذرا) باید کاهش یابد، زیرا چنین مرحله‌هایی به واکنشگرهای اضافی نیاز دارند که می‌توانند فراورده‌های بیهوده تولید کنند. توالی‌های جایگزین می‌توانند نیاز به گروه‌های حفاظت‌کننده یا تغییر گروه‌های عاملی را از بین برند یا کاهش دهند.

## بهره‌گیری از کاتالیز گرها

کاتالیزگرها گزینشی بودن یک واکنش را افزایش می‌دهند؛ دمای مورد نیاز را کاهش می‌دهند؛ واکنش‌های جانبی را به کمترین اندازه می‌رسانند؛ میزان دگرگونشدن واکنشگرها به فرآورده‌های نهایی را افزایش می‌دهند و میزان فرآورده‌های بیهوده مرتبط با واکنشگرها را کاهش می‌دهند.

## طراحی برای خراب شدن

فروآرده‌های شیمیایی باید به گونه‌ای طراحی شوند که در پایان کاری که برای آنها در نظر گرفته شده، به فرآورده‌های تجزیه‌شدنی، بشکند و زیاد در محیط زیست نمانند. روش طراحی در سطح مولکول برای تولید فرآورده‌هایی که پس از آزاد

شدن در محیط به مواد آسیب‌نرسان تجزیه می‌شوند،  
مورد توجه است.

## تحلیل در زمان واقعی برای پیش‌گیری از آلودگی

بسیار اهمیت دارد که پیشرفت یک واکنش را همواره پی‌گیری کنید تا بدانید چه هنگام واکنش کامل می‌شود یا بروز هر فراورده‌ی جانبی ناخواسته را شناسایی کنید. هر جا که امکان داشته باشد، روش‌های آنالیز در زمان واقعی به کار گرفته شوند تا به وجود آمدن مواد آسیب‌رسان پی‌گیری و پیش‌گیری شود.

## کاهش احتمال رویدادهای ناگوار

یک راه برای کاهش احتمال روی دادهای شیمیایی ناخواسته، بهره‌گیری از واکنش‌گرها و حلال‌هایی است که احتمال انفجار، آتش‌سوزی و رهاسدن ناخواسته‌ی مواد شیمیایی را کاهش می‌دهند. آسیب‌های مرتبط با این روی دادها را می‌توان به تغییردادن حالت(جامد، مایع یا گاز) یا ترکیب واکنش‌گرها کاهش داد.

## واکنش‌های بدون حلال از نظر شیمی سبز

واکنش‌های بدون حلال پنجمین اصل از شیمی سبز که عدم استفاده از حلال است را شامل می‌شوند (رکش، ۲۰۰۳).<sup>۱</sup> توسعه‌ی انجام واکنش‌های شیمیایی در شرایط بدون حلال اگر چه دارای

مزایایی همچون به صرفه بودن اقتصادی خالص سازی آسان (عدم نیاز به حذف حلال) سرعت واکنش بالا (بخاطر غلطت بالای واکنش دهنده‌ها) سازگاری با محیط زیست (عدم حضور حلال) می‌باشند اما در عین حال دارای اشکالاتی هستند که از آن جمله می‌توان به:

الف- عدم تشکیل یک محیط کاملاً همگن و رسیدن به یک محلول با ویسکوزیته بالا

ب- ناکارآمدی برای بسیاری از سیستم‌ها اشاره نمود.

کوشش‌ها و دستاوردهای شیمی سبز

شیمیدان‌های سبز در پی آن هستند که روندهای شیمیایی سالم‌تری را جایگزین روندهای کنونی کنند. یا با جایگزین کردن مواد اولیه‌ی سالم‌تر یا انجام دادن واکنش‌ها در شرایط ایمن‌تر، فراورده‌های سالم‌تری را به جامعه هدیه دهند. برخی از آن‌ها می‌کوشند شیمی را به زیست‌شیمی نزدیک کند، چرا که واکنش‌های زیست‌شیمیایی طی میلیون‌ها سال رخ داده‌اند و چه برای آدمی و چه برای محیط زیست، چالش‌های نگران کننده‌ای به وجود نیاورده‌اند. بسیاری از این واکنش‌ها در شرایط طبیعی رخ می‌دهند و به دما و فشار بالا نیاز ندارند. فراورده‌های آن‌ها نیز به آسانی به چرخه‌ی مواد بازمی‌گردند و فراورده‌های جانبی آن‌ها برای

جانداران سودمند هستند. الگو برداری از این واکنش‌ها می‌تواند چالش‌های بهداشتی و زیست‌محیطی کنونی را کاهش دهد. گروه دیگری از شیمیدان‌های سبز می‌کوشند بهره‌وری اتمی را افزایش دهند. طی یک واکنش شیمیایی شماری اتم آغازگر واکنش هستند و در پایان بیشتر واکنش‌ها با فراورده‌هایی رو به رو هستیم که شمار اتم‌های آن‌ها از شمار همه‌ی اتم‌های آغازین بسیار کم‌تر است. بی‌گمان آن اتم‌ها نابود نشده‌اند، بلکه در ساختمان فرآورده‌های یهوده و اغلب آسیب‌رسان به طبیعت رها می‌شوند و سلامت آدمی و دیگر جانداران را به چالش می‌کشند. هر چه بتوانیم

اتم‌های بیشتری در فرآورده‌های بگنجانیم، هم به سلامت خود و محیط زیست کمک کرده‌ایم و هم از هدر رفتن اتم‌هایی که به عنوان مواد اولیه برای آن‌ها پول پرداخت کرده‌ایم، پیش‌گیری می‌کنیم. باز طراحی واکنش‌های شیمیایی نیز راهکار سودمند دیگری برای پیش‌گیری از پیامدهای ناگوار مواد شیمیایی است. در این باز طراحی‌ها از مواد آغازگر سالم‌تر بهره می‌گیرند یا روندهایی را طراحی می‌کنند که با واکنش‌های مرحله‌ای کم‌تر به فراورده برسند. همچنین، روندهایی را طراحی می‌کنند که به مواد کمکی کم‌تر، به‌ویژه حلال‌های شیمیایی، نیاز دارند. گاهی نیز واکنش‌های زیست‌شیمی و شیمی را به هم گره می‌زنند و روند سالم‌تری و کارآمدتری را

می آفرینند. باز طراحی روند داروها می تواند همراه با افزایش کارآمدی آنها به هر چه سالم‌تر شدن آنها بینجامد و اثرهای جانبی آنها بر روندهای زیست شناختی بدن، تا جایی که امان دارد، کاهش دهد. در ادامه به نمونه‌هایی از کوشش‌ها و دستاوردهای شیمیدان‌های سبز اشاره می شود.

## سوخت‌های جایگزین

به کارگیری سوخت‌های فسیلی در خودروها با رهایش آبوهی از گازهای گلخانه‌ی به جو همراه شده که دگرگونی‌های آب و هوایی را در پی داشته است. از سوختن نادرست آنها نیز، مواد زهرآگینی به هوا آزاد شده که سلامتی آدمی را به چالش

کشیده است. حتی اگر بتوانیم بر این دو چالش بزرگ پیروز شویم، با کاهش روز افزون اندوخته‌های فسیلی روبه‌رو هستیم که از آن گریزی نیست. این تنگناها همراه با افزایش روز افزون بهای این گونه سوخت‌ها، که به نظر می‌رسد همچنان ادامه یابد، پژوهشگران و مهندسان بسیاری را به فکر طراحی خودروهایی با سوخت هیدروژن اندادته است. چرا که خاستگاه این سوخت، آب است که فراوان‌ترین ماده در طبیعت است و فرآورده‌ی سوختن این سوخت در خودرو نیز خود آب است. با این همه، سوخت هیدروژن با چالش بزرگی روبه‌رو است. فراهم آوردن هیدروژن از آب با فرآیند الکترولیز انجام می‌شود که برای پیشبرد آن به

الکتریسیته نیاز هست و اکنون نیز بیش تر الکتریسیته از سوختن اندوخته های فسیلی به دست می آید. شاید روزی با به کاربردن برخی کاتالیزگرها بتوانیم از انرژی خورشیدی به جای سوخت های فسیلی در پیش بردن روند الکتروولیز بهره گیریم، اما هنوز راهکار کارآمدی برای تولید ارزان هیدروژن پیشنهاد نشده است و به نظر نمی رسد در آینده ای نزدیک به چنین توانی دست پیدا کنیم. با این همه، برخی دانشمندان امیدوارند بتوانند خواستگاه زیستی برای هیدروژن به وجود آورند. گروهی از پژوهشگران در سال ۲۰۰۰ میلادی گزارش کردند که توانسته اند از جلبک های سبز برای آزاد کردن

هیدروژن از مولکول‌های آب، به همان اندازه که از الکترولیز به دست می‌آید، بهره گیرند. اما نور خورشید برای این رویکرد گرفتاری درست می‌کند، چرا که جلبک طی فرآیند فتوسنتز اکسیژن نیز تولید می‌کند. این اکسیژن از کار آنزیم تولید‌کننده‌ی هیدروژن جلوگیری می‌کند و در نتیجه هیدروژن اندکی به دست می‌آید دانشمندان می‌کوشند با تغییرهایی که در این فرایند طبیعی می‌دهند، بازدهی تولید هیدروژن را بالا ببرند. شاید یک روز آبگیر کوچکی که از جلبک پوشیده شده است، خواستگاه هیدروژن خودروهای ما باشد. در رویکرد دیگر که مورد توجه است، از روغن‌های گیاهی به عنوان خواستگاهی برای تهییه سوخت جایگزین بهره

می گیرند. برای تهیه‌ی این نوع سوخت، که با عنوان بیودیزل شناخته می شود، پس مانده‌ی روغن آشپزی را نیز می توان به کار گرفت. هر چند از سوختن این نوع سوخت نیز مانند دیگر سوخت‌های فسیلی گاز گلخانه‌ی آزاد می شود، اما به اندازه‌ای تولید می شود که گیاهان طی فرآیند فتوستنتر آن را برای تولید قند به کار می گیرند. از سوی دیگر، روغن‌ها گیاهی نوشدنی هستند و از سوختن آن‌ها گوگرد و آلانده‌های آسیب‌رسان دیگری آزاد نمی شود. از سودمندی‌های دیگر این نوع سوخت این است که گلیسرین، ماده‌ای که در صابون، خمیر‌دندان، مواد آرایشی و جاهای دیگر به کار می‌رود، از