

سرشناسه: دهقانی، عبدالحمید، ۱۳۷۲-

عنوان و نام پدیدآور: نانوشیمی میزبان مهمان و ناتوراکتورها = Host-Guest nanochemistry and nanoreactors/

مولفان عبدالحمید دهقانی، میلاد قزلس.

موضوع: نانوشیمی، Supramolecular chemistry، شیمی ماکرو مولکول‌ها، Nanochemistry، نانوتکنولوژی

Nanotechnology

مشخصات نشر: شیراز: نشر سیه، ۱۴۰۰.

مشخصات ظاهری: ط، [۱۱۳] ص: مصور(رنگی)، جدول، نمودار(بخشی رنگی).

شابک: 978-622-98676-8-6

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه: ص. 112-113

شناسه افزوده: قزل سفلو، میلاد، ۱۳۷۲-

رده بندی کنگره: QC۱۷۶/۸

رده بندی دیویی: ۶۲۰/۵

شماره کتابشناسی ملی: ۸۷۲۶۶۰۰



کتابخانه

نشر سیه

نانوشیمی میزبان-مهمان و ناتوراکتورها

مولفان: عبدالحمید دهقانی، میلاد قزلسفلو

نوبت چاپ: اول / ۱۴۰۰

شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه

همه‌ی حقوق نشر برای صاحب اثر (نویسنده) محفوظ است!

نشر سیه: شیراز/خ. رودکی، ساختمان رضا، واحد ۷

تلفن: ۰۷۱۳۲۳۳۸۲۰۰

چاپخانه پیشگام

شابک (ISBN): 978-622-98676-8-6

قیمت: ۷۰۰۰۰۰ ریال

"اطلب العلم من المهد الى العهد (از گهواره تا گور در پی دانش باشید)"

حضرت محمد مصطفی (ص)

### پیشگفتار

با پیشرفت تکنولوژی نانو و راه یافتن شیمی فراذره به این عرصه دروازه جدیدی از نانوشیمی به روی محققان گشوده شد. وقتی سخن از شیمی فراذره می‌شود ناخودآگاه مخاطب به سمت برهمکنش‌های غیرکوالانسی و یا به عبارت ساده‌تر برهمکنش‌های مهمان-میزبان سوق می‌یابد. این دنیای جدید که از آن به عنوان نانوشیمی میزبان-مهمان نیز یاد می‌شود بر اصلاح سازی سطح نانوذرات با عوامل کمپلکس دهنده درون گیر نظیر سیکلودکسترین‌ها، کالیکس آنرها، و کرون اترها استوار است. از میان انواع مختلف میزبانها، کمپلکس‌های سیکلودکسترین و کالیکس آنرها حساسیت بیشتری به شرایط محیطی نشان می‌دهند. همین امر باعث شده است تا فراذره‌های بر پایه ی مولکول‌های میزبان سیکلودکسترین و کالیکس آن در انجام دارورسانی هدفمند بسیار حایز اهمیت شود بالاخص که فراذره‌های اخیر از زیست سازگاری بسیار بالایی برخوردار هستند. هر چند طراحی فراذره‌های پایه نانو مانند نانومایسل‌ها به عنوان یک شاخه نوظهور در این زمینه نیز توانمندی بسیار بالایی از خود در علوم و فنانوری نانو از خود بروز داده است. به طور کلی نانوشیمی مهمان-میزبان در علوم مختلف شامل زیست شناسی، محیط زیست، پزشکی، داروسازی، و شیمی کاتالیز و شیمی تجزیه کاربردهای فراوانی دارد. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده از نانوذرات اصلاح شده با سیستم‌های مهمان میزبان در تصفیه آب و پساب، دارورسانی هوشمند و نیز استفاده در ساخت حسگرهای تجزیه‌ای گزینش پذیر برای گستره ی وسیعی از آنالیت‌ها مانند آمینواسیدها، سموم، و فلزات سنگین اشاره کرد. کاربرد نانوشیمی فراذره‌ای به ویژه در دارورسانی هوشمند بر پایه کالیکس آنرها و سیکلودکسترین‌ها استوار است. این سیستم‌ها با زیست سازگاری بالا و نیز حساسیت به فقط سلول‌های بیمار می‌توانند به صورت بسیار هوشمند فقط به مهار سلول بیمار به عنوان مثال یک سلول سرطانی بپردازند.

هر چند تاکنون درباره نانوشیمی مهمان-میزبان مقالات بی شماری در مجلات علمی معتبر به چاپ رسیده است و نیز تعدادی کتاب در این زمینه تالیف شده است اما به نظر می‌رسد این حیطه نیاز به بررسی مباحث نوظهور خود دارد. بنابراین بر آن شدیم که به بررسی مفاهیم و اصول سنتز و کاربردهای نانوشیمی مهمان-میزبان بپردازیم.

خدای متعال را شاکریم که این توفیق را عنایت فرمود تا در این باره کتابی هر چند مختصر به رشته تحریر در آورده و پیشکش عزیزان علاقمند به این زمینه نماییم. این کتاب با مبانی شیمی میزبان-مهمان در شش فصل به رشته تحریر درآمده است و در فصل اول، بررسی مفهومی شیمی فراذره‌ای پرداخته و پس از در فصول دوم و سوم به ماهیت برهمکنش‌های موجود در ترکیبات ابرمولکول و همچنین به نانوشیمی پایه سیکلودکسترین‌ها به عنوان نانوکپسول‌های هوشمند و مهمترین بخش نانوشیمی فراذره‌ای پرداخته ایم. در این فصل مفاهیم پایه، اصول سنتز و اصلاح سازی و کاربردهای مختلف نانوذرات پایه سیکلودکسترین در علوم مختلف نظیر تصفیه آب، دارو رسانی، و زیست شناسی پرداخته شده است. سپس در فصول چهارم و پنجم به کالیکس‌آرنها و کرون اترها با دیدگاه مفهومی پرداخته شده است.

نانوراکتورها اما به عنوان یک شاخه نوظهور نباید از عرصه نانوشیمی میزبان-مهمان جا بماند. نانوراکتورها نوعی راکتور شیمیایی هستند که در حیطه فناوری نانو و نانو بیوتکنولوژی جای می‌گیرند. در واقع نانوراکتورها محفظه‌های بسیار کوچکی با اندازه نانومتر هستند. این راکتورهای ویژه در حفظ نانوساختار در حال کار بسیار مهم هستند. که در اصل کارخانه ریخته گری است که محصولات را در مقیاس نانوتکنولوژی تولید می‌کند. معمولاً نانوساختارهای متخلخلی که یک بعد آنها کمتر از یکصد نانومتر باشد و یا محفظه‌هایی با قطر کمتر از پانصد نانومتر به عنوان نانوراکتور شناخته می‌شوند. نانوراکتورها امروزه قابلیت‌های فراوانی در حیطه‌های مختلف بخصوص در زمینه‌های پزشکی و شیمی تجزیه از خود نشان داده‌اند. لهذا به عنوان فصل ششم به اصول پایه‌ای نانوراکتورها و کاربردهای آنها پرداخته شده است.

هر چند این کتاب بر پایه منابع علمی معتبر به رشته تحریر درآمده اما عاری از ایراد نبوده و از خوانندگان محترم تقاضا دارم که در نظرات گران سنگ خود را از ما دریغ مدارند. در پایان از تمامی عزیزانی که در نگارش این کتاب این بنده حقیر را یاری فرموده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

جمعی از مولفان

زمستان ۱۴۰۰

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| مقدمه و تاریخچه .....                                       | ۱۳ |
| الف- نانوشیمی میزبان-مهمان .....                            | ۱۳ |
| ب- نانوراکتورها .....                                       | ۱۵ |
| شناخت مولکولی .....                                         | ۱۶ |
| خودآرایی مولکولی .....                                      | ۱۹ |
| مکانیک مهندسی قفل مولکولی .....                             | ۱۹ |
| کاتنان ها .....                                             | ۱۹ |
| روتاکسان ها .....                                           | ۲۲ |
| فصل اول: مقدمه‌ای بر فراذره‌ها .....                        | ۲۳ |
| ۱-۱- مفاهیم .....                                           | ۲۳ |
| ۲-۱- مولکولهای میزبان و مهمان .....                         | ۲۵ |
| ۳-۱- فولرن ها به عنوان مهمان .....                          | ۲۸ |
| فصل دوم: ماهیت برهمکنش های موجود در ترکیبات ابرمولکول ..... | ۳۱ |
| ۱-۲- پیوند یون- یون .....                                   | ۳۱ |
| ۱-۱-۲- تشکیل پیوند یونی .....                               | ۳۲ |
| ۲-۱-۲- عوامل موثر بر قدرت پیوند یونی .....                  | ۳۳ |
| ۳-۱-۲- ساختار ترکیبات یونی .....                            | ۳۳ |
| ۴-۱-۲- انرژی شبکه و قدرت پیوند یونی .....                   | ۳۴ |
| ۵-۱-۲- اثر قطبیدگی در پیوند یونی .....                      | ۳۴ |
| ۶-۱-۲- مقایسه پیوند یونی و کووالانسی .....                  | ۳۵ |
| ۲-۲- برهمکنش آبگریز .....                                   | ۳۵ |
| ۱-۲-۲- علت برهمکنش آبگریز .....                             | ۳۶ |
| ۲-۲-۲- ترمودینامیک برهمکنش آبگریز .....                     | ۳۶ |
| ۳-۲-۲- تشکیل برهمکنش آبگریز .....                           | ۳۸ |
| ۴-۲-۲- قدرت برهمکنش آبگریز و عوامل تاثیر گذار بر آن .....   | ۳۸ |
| ۳-۲- برهمکنش یون - دوقطبی .....                             | ۳۹ |

|    |                                                     |
|----|-----------------------------------------------------|
| ۳۹ | ۴-۲- نیروهای واندروالسی                             |
| ۴۱ | ۵-۲- نیروهای دوقطبی - دوقطبی                        |
| ۴۲ | ۱-۵-۲- ارتباط فاصله و قدرت نیروهای بین مولکولی      |
| ۴۲ | ۶-۲- پیوند هیدروژنی (X-H...Y)                       |
| ۴۳ | ۱-۶-۲- نحوه تشکیل پیوند هیدروژنی                    |
| ۴۴ | ۲-۶-۲- عوامل موثر بر قدرت پیوند هیدروژنی            |
| ۴۵ | ۳-۶-۲- انواع پیوند هیدروژنی                         |
| ۴۵ | ۱-۳-۶-۲- پیوند هیدروژنی درون مولکولی                |
| ۴۶ | ۲-۳-۶-۲- پیوند هیدروژنی بین مولکولی                 |
| ۴۶ | ۴-۶-۲- پیوند هیدروژنی نامتداول                      |
| ۴۷ | ۵-۶-۲- خواص ترکیبات دارای پیوند هیدروژنی            |
| ۴۷ | ۶-۶-۲- تاثیر پیوند هیدروژنی بر نقطه جوش             |
| ۴۸ | ۷-۶-۲- تاثیر پیوند هیدروژنی بر نقطه ذوب             |
| ۴۸ | ۸-۶-۲- تاثیر پیوند هیدروژنی بر گرانی                |
| ۴۸ | ۹-۶-۲- اهمیت و کاربرد پیوند هیدروژنی                |
| ۴۸ | ۱۰-۶-۲- پیوند هیدروژنی و طراحی دارو                 |
| ۴۹ | ۱۱-۶-۲- پیوندهای هیدروژنی در مولکولهای DNA و RNA    |
| ۵۰ | ۱۲-۶-۲- پیوند هیدروژنی در پروتئینها                 |
| ۵۱ | ۱۳-۶-۲- مقایسه انرژی پیوند هیدروژنی با سایر پیوندها |
| ۵۱ | ۷-۲- برهمکنش $\pi$ -کاتیون                          |
| ۵۲ | ۸-۲- برهمکنش $\pi$ - $\pi$                          |
| ۵۳ | <b>فصل سوم: سیکلودکسترینها: نانوکپسولهای هوشمند</b> |
| ۵۳ | ۱-۳- مفاهیم                                         |
| ۵۵ | ۲-۳- سنتز، اصلاح سازی و پلیمریزاسیون                |
| ۵۵ | ۱-۲-۳- سنتز                                         |
| ۵۷ | ۲-۲-۳- عامل دار کردن                                |
| ۵۹ | ۳-۲-۳- پلیمریزاسیون                                 |
| ۶۰ | ۳-۳- کاربرد در نانو تکنولوژی                        |

|     |                                                 |
|-----|-------------------------------------------------|
| ۶۰  | ۱-۳-۳- استفاده در کاتالیز و حذف آلاینده‌ها      |
| ۶۶  | ۲-۳-۳- استفاده در انتقال دارو                   |
| ۷۱  | ۳-۳-۳- استفاده در پایداری آنزیم‌ها              |
| ۸۳  | <b>فصل چهارم: کالیکس آنرها</b>                  |
| ۸۳  | ۱-۴- مفاهیم                                     |
| ۸۴  | ۲-۴- نامگذاری                                   |
| ۸۵  | ۳-۴- سنتز و واکنش‌های گسترش حلقه                |
| ۹۰  | ۴-۴- کاربردها                                   |
| ۹۳  | <b>فصل پنجم: کرون اترها</b>                     |
| ۹۳  | ۱-۵- مفاهیم                                     |
| ۹۵  | ۲-۵- نامگذاری                                   |
| ۹۶  | ۱-۲-۵- نامگذاری عمومی                           |
| ۹۶  | ۲-۲-۵- نامگذاری سیستماتیک                       |
| ۹۷  | ۳-۵- سنتز                                       |
| ۱۰۰ | ۴-۵- مبانی تشکیل کمپلکس                         |
| ۱۰۱ | ۵-۵- کاربردها                                   |
| ۱۰۳ | <b>فصل ششم: نانوراکتورها</b>                    |
| ۱۰۳ | ۱-۶- مفاهیم پایه                                |
| ۱۰۷ | ۲-۶- بررسی نانوراکتورها از دیدگاه دسته بندی کلی |
| ۱۰۷ | ۱-۲-۶- نانوراکتورهای طبیعی                      |
| ۱۰۸ | ۱-۱-۲-۶- محفظه‌های پروتئینی-باکتریایی           |
| ۱۰۹ | ۲-۱-۲-۶- قفس‌های پروتئینی                       |
| ۱۱۰ | ۳-۱-۲-۶- ویروس‌ها                               |
| ۱۱۰ | ۲-۲-۶- نانوراکتورهای سنتزی                      |
| ۱۱۰ | ۱-۲-۲-۶- نانوراکتورهای مولکولی                  |
| ۱۱۱ | ۲-۲-۲-۶- مواد جامد متخلخل                       |
| ۱۱۲ | ۳-۲-۲-۶- نانوراکتورهای درشت مولکول              |

## مقدمه و تاریخچه

## الف - نانوشیمی میزبان-مهمان

نانوشیمی فراذره‌ای یا به عبارت ساده‌تر نانوشیمی مهمان-میزبان با برهمکنش‌های غیرکوالانسی<sup>۱</sup> بین مولکول‌ها شناخته می‌شود. از جمله این برهمکنش‌های غیر کوالانسی که عامل اصلی برقراری پیوند میان مولکول مهمان و مولکول میزبان می‌باشند، می‌توان نیروهای آب گریز، پیوند هیدروژنی، کوردیناسیون فلزی، برهم کنش  $\pi-\pi$  و نیروهای الکتروستاتیک را نام برد. در شیمی فراذره با مفاهیم حائز اهمیتی همچون اصول میزبان-مهمان، خودآرایی مولکولی<sup>۲</sup>، شناخت مولکولی<sup>۳</sup> و قفل مولکولی مواجه هستیم که این مجموعه به بررسی اصول نانوشیمی میزبان-مهمان به طور اختصاصی می‌پردازد. اصول و مفاهیم فراذره‌ها به آغار شیمی مدرن در ۱۹۶۰ میلادی برمی گردد. با این وجود توسعه شیمی ماکروسیکل‌ها<sup>۴</sup> و یا در اصطلاح درشت حلقه‌ها در این حیطه از شیمی به پیشرفت‌های چشم گیری جامه عمل پوشاند.

در حالی که اصول شیمی سنتی بر پیوندهای کلاسیک کوالانسی پایه ریزی شده بود، شیمی فراذره‌ای بر پایه ی پیوندهای غیرکوالانسی برگشتی شامل پیوند هیدروژنی، کوردیناسیون فلزی، نیروهای آب گریز، برهم کنش  $\pi-\pi$  و نیروهای الکتروستاتیک پی ریزی شد. به جهت تشکیل کمپلکس‌های فراذره‌ای وجود ماکرومولکول‌های میزبان و یا نانوکپسول‌های هوشمندی مثل سیکلودکسترین‌ها به عنوان میزبان کمپلکس ضروری است. انواع مختلفی از مولکول‌های حفره دار نظیر کرون اترها<sup>۵</sup>، کالیکس آنرها<sup>۶</sup>، سیکلودکسترین‌ها<sup>۷</sup> و پیلارن‌ها می‌توانند پایه میزبانی مولکول‌های مهمان در فراذره‌ها باشند.

مفهوم مولکول‌های میزبان و مهمان توسط سه شیمی دان - چارلز پدرسن<sup>۸</sup> در صنایع شیمیایی دوپونت، دونالد کرام<sup>۹</sup> در دانشگاه کالیفرنیا لس آنجلس، و ژان ماری لن<sup>۱۰</sup> در دانشگاه

<sup>۱</sup> Non-covalent interaction<sup>۲</sup> Molecular self-assembly<sup>۳</sup> Molecular recognition<sup>۴</sup> Macrocyclic<sup>۵</sup> Crown ethers<sup>۶</sup> Calixarenes<sup>۷</sup> Cyclodextrins<sup>۸</sup> Charles John Pedersen<sup>۹</sup> Donald James Cram<sup>۱۰</sup> Jean-Marie Lehn

استراسبورگ فرانسه معرفی شد. مولکول‌های میزبان فضای داخلی (به اصطلاح "حفره"<sup>۱</sup>) در اختیار دارند که می‌تواند در آن یک مولکول دیگر، مولکول مهمان گنجانیده شود. بنابراین میزبان‌ها "گیرنده‌های مصنوعی"<sup>۲</sup> هستند و مهمانان مشابه بسترها، بازدارنده‌ها یا کوفاکتورها<sup>۳</sup> هستند.

اولین دسته میزبان کرون اترها (اتر تاجی) بودند که قادر به اتصال به انواع مختلف کاتیون‌ها و مولکول‌های خنثی را از طریق تشکیل کمپلکس‌های درون گیر دارند. در ابتدا میزبان مورد استفاده شده برای کاتیون‌ها شامل اترهای تاجی می‌باشد. اترهای تاجی ساده‌ترین لیگاند حلقوی می‌باشند که به عنوان میزبان توانایی اتصال به کاتیون‌ها و مولکول‌های خنثی را دارد. با این وجود از میان انواع مختلف میزبان‌ها، کمپلکس‌های سیکلودکستین و کالیکس آرن‌ها حساسیت بیشتری به شرایط محیطی نشان می‌دهند. همین امر باعث شده است تا فراذره‌های بر پایه ی مولکول‌های میزبان سیکلودکستین و کالیکس آرن در انجام دارورسانی هدفمند بسیار حایز اهمیت شوند. بالاخص که فراذره‌های اخیر از زیست سازگاری بسیار بالایی برخوردار هستند.

گذشته از نوع مولکول میزبان قاعده کلی شیمی میزبان-مهمان یعنی قاعده معروف یون در حفره تعیین کننده نوع مولکول مهمان برای هر میزبان مشخص خواهد بود. بنابراین انواع مختلفی از مولکول‌ها نظیر داروها، کاتیون‌ها، آنیون‌ها، رنگ‌های آلی می‌توانند به عنوان مهمان وارد حفره مولکول میزبان در فراذره‌ها شده و تشکیل کمپلکس‌های درون گیر با میزبان را دهند. از این بین، کاتیون‌ها و آنیون‌ها به طرز قابل توجهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به عبارت ساده تر، در پی مدل سازی ترکیبات حیاتی که وظیفه انتقال یون‌های فلز قلیایی را در بدن دارند، سنتز ترکیباتی مانند سیکلودکستین‌ها که قادر به انتقال گزینشی فلزات قلیایی و نافلزاتی نظیر گوگرد، فلورید، فسفر، و نیز کاتیون آمونیوم باشند، مورد توجه قرار گرفت.

از جمله کاربردهای مهم شیمی فراذره ای، طراحی و سنتز کاتالیست‌ها و هم چنین ساخت حسگرهای تجزیه‌ای و پزشکی با گزینش پذیری بسیار بالا می‌باشد. با این وجود، شیمی فراذره به عنوان پایه مباحث پیشرفته نانو فناوری مولکولی مطرح است. به شیمی فراذره‌ای و یا شیمی میزبان-مهمان در مقیاس نانو اصطلاحاً نانوشیمی میزبان-مهمان اطلاق می‌گردد. یکی از

<sup>۱</sup> Cavity

<sup>۲</sup> Artificial receptors

<sup>۳</sup> Cofactors

اهداف محوری این کتاب بررسی تجمیعی کاربردهای نانوکپسول‌های هوشمند در زمینه‌های مختلف از جمله پایدارسازی آنزیم‌ها، ساخت حسگرهای تجزیه‌ای و دارورسانی هوشمند می‌باشد. هم چنین به صورت ویژه نانومواد پایه سیکلودکسترین برای کاربردهای محیط زیستی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

## ب- نانوراکتورها<sup>۱</sup>

یک دغدغه بسیار چالش برانگیز محققان در قرن اخیر همواره تولید مواد شیمیایی در مقیاس نانومتری بوده است. بدین منظور راهبردهای متفاوتی پیشنهاد شده و مورد بررسی تجربی قرار گرفته است. در این بین به عنوان یک پدیده نوظهور و یک راهبرد عملی و علمی جدید نانوراکتورها برای تولید نانومواد مطرح شده‌اند. در واقع برکسی پوشیده نیست که طبیعت، نانوکارخانه‌ای برای پیش برد حیات و ممات را درون سلول‌های زنده جای داده است. علیرغم اینکه فاصله زیادی تا رسیدن به ساخت یک سلول کامل وجود دارد اما مشابه‌های سلول‌ها که از خودآرایی واحدهای سازنده‌ی زیستی و سنتزی ساخته می‌شوند، پیشرفت قابل چشم‌گیری به شمار می‌رود. درشت مولکول‌ها، درشت مولکول‌های زیستی و حتی مولکول‌ها، مزایای قابل توجهی در تشکیل نانوراکتورهایی که بتوانند گونه‌ای را درون کپسول خود قرار دهند، از خود به نمایش گذاشته‌اند، نشان می‌دهند. نکته‌ی قابل ذکر آن است که با وجود این پیچیدگی‌ها، هر چقدر از واحدهای سازنده‌ی طبیعی مانند گونه‌های دوگانه دوست-مبغنی بر آنزیم‌ها و ویروس‌ها بیشتر استفاده شود به هدف مدل سازی سامانه‌های طبیعی نزدیک‌تر می‌شویم.

بهرحال نانوراکتورهای طبیعی در باکتری‌های سراسر کره زمین یافت می‌شود. برخی مواد مغذی برای باکتری‌ها تولید می‌کنند و برخی نیز مواد سمی می‌سازند که موجب آسیب به باکتری و حتی مرگ آنها می‌شود. از این رو محققان به دنبال الهام از این راکتورهای نانومقیاس طبیعی برای ساخت کارخانه‌ای به منظور تولید مواد شیمیایی هستند. لهذا پژوهشگران اقدام به ساخت نانوراکتور مصنوعی کردند. نانوراکتورهای طبیعی معمولاً ساختاری از جنس پروتئین دارند که می‌توان با دستکاری آن اقدام به تولید نانوراکتور مصنوعی کرد. معمولاً استفاده از راکتورهای طبیعی برای تولید مواد کار چالش برانگیزی است. بنابراین باید راکتورهای طبیعی برای استفاده در مصارف خاص تغییر یابند. یک نانو راکتور بیوشیمیایی صرفاً با باز کردن یک ویروس بیولوژیکی از طریق روش‌های علمی، از بین بردن محتوای مضر آن و جمع آوری مجدد

<sup>۱</sup> Nanoreactors

پوشش پروتئینی آن در اطراف یک مولکول آنزیم، ایجاد می‌شود. اثر ایزوتوپ جنبشی<sup>۱</sup> در یک مولکول منفرد در یک نانو راکتور مبتنی بر غشا در اصطلاح ترب می‌شود. اثر ایزوتوپ جنبشی، که در آن سرعت واکنش تحت تأثیر حضور یک اتم ایزوتوپی در محلول است، یک اصل مهم برای روشن سازی مکانیسم‌های واکنش است. این یافته اخیر می‌تواند روش‌های جدیدی را برای مطالعه واکنش‌های شیمیایی باز کند. این مطالعات حتی ممکن است به روند ایجاد نانو راکتورهای جدید و حتی قدرتمندتر کمک کنند.

هم چنین با استفاده از نانو کریستال‌ها، طی یک فرآیند ارزان در نهایت می‌توان نانو راکتورهایی قدرتمند تولید کرد. محققان این توانایی را دارند که از اختلاف زیاد در اجزای انتخاب شده برای ایجاد این نانو کریستال‌ها و نانوراکتورها استفاده کنند. استفاده از نانو بلورها آسانتر و ارزانتر از روش‌هایی است که از قالب استفاده می‌کند.

نانوراکتورهای تولید شده به طریقه ی مصنوعی و یا نانوراکتورهای طبیعی به دلیل داشتن توانایی تشکیل کمپلکس‌های درون گیر با مولکول‌های مهمان مختلف از جمله داروها به عنوان نانوحامل‌های مولکولی<sup>۲</sup> در صنایع مختلف ازجمله: صنایع دارویی، غذایی، تکنولوژی - زیستی، شیمیایی و صنایع آرایشی-بهداشتی البته با حفظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مولکول‌های میزبان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### شناخت مولکولی<sup>۳</sup>

شناخت مولکولی، یک پدیده بیولوژیکی است که در سطح مولکولی در سیستم‌های زنده و شیمیایی به رسمیت شناخته می‌شود و به برهمکنش خاص بین دو یا چند مولکول از طریق پیوند غیرکووالانسی مانند نیروهای آبگریز، پیوند هیدروژنی، فعل و انفعالات  $\pi$ - $\pi$ ، نیروهای وان در والس و ... اشاره دارد، یا به عبارت دیگر شناخت مولکولی به معنای برهمکنش بین اصلاح کننده‌های آلی و بسترها توسط پیوندهای غیرکووالانسی به منظور افزایش غلظت بستر در نزدیکی سایت‌های فعال یا قرارگیری بستر در جهت مناسب است. منشأ فرآیند در ظرفیت ذاتی بیومولکول‌ها، برای تشخیص بین ترکیبات دیگر و تعامل با آنها بر اساس مکمل‌های مولکولی<sup>۴</sup> آنها است. همچنین برهمکنش مستقیم، حلال‌ها می‌توانند نقش غیرمستقیم غالب در محرک شناخت مولکولی در محلول را داشته باشند.

<sup>1</sup> Kinetic isotope effect

<sup>2</sup> Molecular nanocarriers

<sup>3</sup> Molecular recognition

<sup>4</sup> Molecular complementarities