

## واژه‌های کلیدی:

دارورسانی  
کیتوسان  
نانوذرات  
نانوکامپوزیت  
روش‌های سنتز

# مروری بر روش‌های ساخت نانوکامپوزیت بر پایه کیتوسان در دارورسانی

سحر گونه فراهانی<sup>۱</sup>، محمد رضا نعیمی جمال<sup>۱</sup>، سید مرتضی نقیب<sup>۲\*</sup>

۱ تهران، دانشگاه علم و صنعت، گروه شیمی

۲ تهران، دانشگاه علم و صنعت، گروه نانوفناوری

## چکیده ...

سامانه‌های دارورسانی، فناوری انتقال هدفمند یا کنترل انتشار عوامل درمانی هستند. توسعه حامل مناسب دارو در کاربردهای زیست‌پزشکی به دلیل کاهش آثار مضر جانبی ناخواسته و بهبود اثرات درمانی سودمند هستند. نانوذرات به عنوان حامل دارو به دلیل توانایی حمل انواع دارو به قسمت‌های مختلف بدن در زمان مناسب بسیار با اهمیت هستند. کیتوسان پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر، زیست‌سازگار و زیست‌چسبنده است که توجه زیادی را در دارورسانی به خود جلب کرده است. سامانه‌های دارورسانی تهیه‌شده از نانوذرات، مزایای متعددی از جمله بهبود کارایی و کاهش سمیت از خود نشان می‌دهند. نانوذرات کیتوسان، با توجه به اندازه کوچک و نسبت سطح به حجم بزرگی که دارند خواص فیزیکی-شیمیایی، ضدباکتری و زیستی بهتری نسبت به حالت توده متناظر را دارند. نانوکامپوزیت‌های بر پایه کیتوسان به عنوان حامل دارورسانی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ زیرا خواص مناسب بهتری نسبت به پلیمر خالص ارائه می‌دهند.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:

naghib@iust.ac.ir

## ۱ مقدمه

ارائه می‌دهد، برای کاربردهای زیست‌پزشکی به ویژه به عنوان حامل دارو بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

### ۲ سنتز کیتوسان

کیتوسان پلی‌ساکاریدی طبیعی مشابه ساختار سلولز است و از استیل‌زدایی کیتین به دست می‌آید. برای جداسازی کیتوسان از پوسته سخت‌پوستان، پوسته‌ها در تماس با محلول اسیدکلرید و محلول قلیایی همچون هیدروکسیدسدیم یا هیدروکسیدپتاسیم قرار می‌گیرند. سپس با استیل‌زدایی کیتین استخراج شده تحت عملیات حرارتی در مجاورت محلول قلیایی مانند هیدروکسیدسدیم، کیتوسان حاصل می‌شود. استیل‌زدایی کیتین می‌تواند به وسیله خیساندن کیتین در محلول هیدروکسیدسدیم قوی قبل از حرارت دادن آسان‌تر شود [۶].

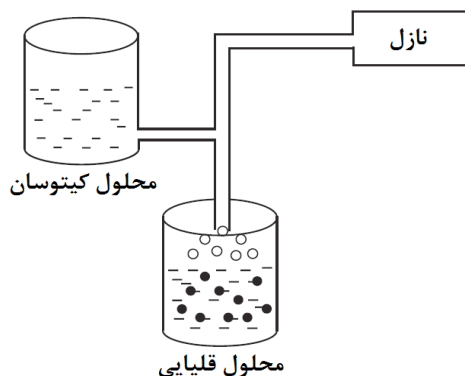
### ۳ نانوذرات کیتوسان

نانوذرات کیتوسان اولین بار در سال ۱۹۹۴ توسط Ohya به منظور رهایش داروی ضد سرطانی ۵-فلوروراسیل (fluorouracil) تهیه شد [۷]. نانوذرات کیتوسان به طور گسترده‌ای برای اهداف دارورسانی مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد نانوذرات کیتوسان می‌تواند به راحتی اصلاح شود و نیز به دلیل زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری، حامل مناسبی برای انواع داروها شامل داروهای ژنی، داروهای پروتئینی، داروهای شیمیایی ضدسرطانی و آنتی‌بیوتیک‌ها است [۸]. روش‌های مختلفی برای تهیه سامانه‌های حاوی ذرات کیتوسان به کار برده می‌شود. انتخاب هر یک از این روش‌ها به عواملی مانند اندازه ذرات مورد نیاز، پایداری حرارتی و شیمیایی عامل، تکرارپذیری سینتیک انتشار، پایداری محصول نهایی و سمیت پسمانده در ارتباط با محصول نهایی و همچنین به ماهیت فعالیت مولکول و نوع سامانه رهایش بستگی دارد [۹].

### ۳-۱ اتصال عرضی امولسیون

در این روش از اتصال عرضی آمین‌های فعال واکنش‌پذیر گروه کیتوسان با گروه‌های آلدهید به عنوان عامل اتصال عرضی استفاده می‌شود. در این روش، به وسیله امولسیون‌سازی محلول آبی کیتوسان در فاز روغن، امولسیون آب در روغن (W/O) تهیه می‌شود. قطره‌های آبی با استفاده از ماده فعال در سطح مناسب پایدار می‌شوند.

کیتوسان، پلی‌ساکاریدی طبیعی، مشابه ساختار سلولز است و از استیل‌زدایی کیتین به دست می‌آید. کیتین از مهم‌ترین پلی‌ساکاریدهای طبیعی است که اولین بار در سال ۱۸۸۴ شناخته شد. کیتین، دومین زیست‌پلیمر از نظر فراوانی در طبیعت پس از سلولز است که به وسیله بسیاری از موجودات زنده ساخته می‌شود. این ماده، سازنده اصلی دیواره سلولی قارچ‌ها، اسکلت خارجی بندپایانی چون خرچنگ، میگو و حشرات است [۱]. از اوایل دهه ۱۹۹۰ که کیتوسان وارد عرصه‌های دارویی شده است، تیم‌های تحقیقاتی علمی و صنعتی برای ایجاد سامانه جدید درمانی مؤثرتر بر پایه آن‌ها شکل گرفته است. کیتوسان ویژگی امیدوارکننده‌ای به عنوان حامل دارورسانی نشان می‌دهد. در مقایسه با تمام پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر دیگر، تنها کیتوسان ویژگی کاتیونی دارد که آن را منحصر به فرد می‌کند. این خاصیت کاتیونی از حضور گروه آمین نوع اول در پیکره پلیمر کیتوسان ناشی می‌شود که باعث ایجاد خواص مختلفی در سامانه‌های دارورسانی می‌شود [۲]. از جمله خواص کیتوسان، غیرسمیت، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری، قابلیت جذب سطحی روی سطوح باردار منفی به دلیل ماهیت پلی‌الکترولیتی کیتوسان در محیط‌های اسیدی، قابلیت تشکیل ژل، خون‌سازگاری، سازگاری با سلول و بافت، پایداری حرارتی و شیمیایی و اثرات ضدقارچی و ضدباکتریایی و همچنین هزینه کم است که آن را برای انواع فرایندهای علمی و مهندسی مناسب می‌سازد [۳]. وزن مولکولی و درجه استیل‌دار شدن از ویژگی‌های اصلی کیتوسان هستند که بر سایر خواص آن مانند انحلال‌پذیری، گرانروی، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری و خواص زیست‌شناختی مانند زیست‌چسبندگی و ویژگی‌های ضدباکتری، اثر می‌گذارند [۴]. حضور گروه‌های هیدروکسیل و آمین نوع اول در پیکره کیتوسان، اجازه اصلاح شیمیایی آن را به منظور کنترل خواص فیزیکی می‌دهد. وقتی جزء آب‌گریز با مولکول کیتوسان مزدوج شود، ترکیب دوگانه‌دوست ایجاد شده ممکن است نانوذرات خودتجمعی تشکیل دهد که قادر به کپسوله کردن دارو و تحویل آن به ناحیه هدف هستند [۵]. نانوکامپوزیت کیتوسان با مواد کربنی شامل نانو لوله کربن، گرافیت، گرافن یا ترکیب پلیمر با مواد معدنی مانند روی، نقره، مس و فریت‌ها به دلیل این‌که خواص مناسب‌تری نسبت به پلیمر خالص



شکل ۲ طرح‌واره روش انباشت/رسوب [۹]

سولفات سدیم (sodium sulfate) به صورت قطره‌ای به محلول اسیدی کیتوسان حاوی ماده فعال در سطح تحت هم‌زدن و فراصوت اضافه می‌شود. ذرات با گلو تار آلدهید اتصال عرضی می‌دهند. ذرات تولید شده توسط این روش نسبت به سایر روش‌ها پایداری اسیدی بهتری نشان می‌دهند [۹]. شکل ۲ طرح‌واره این روش سنتز را نشان می‌دهد.

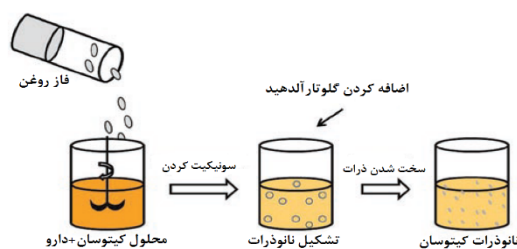
### ۳-۳ خشک کردن پاششی

خشک کردن پاششی به عنوان روش تهیه تک‌مرحله‌ای نانوذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس این روش بر پایه خشک شدن قطرات در جریانی از هوای داغ است. در این روش ابتدا کیتوسان در محلول اسیداستیک حل می‌شود، پس از آن دارو در این محلول حل یا پراکنده می‌شود و سپس، عامل اتصال عرضی مناسب اضافه می‌شود. این محلول به شکل تعلیق یا امولسیون در جریان هوای داغ به قطرات کوچکی تبدیل می‌شود. تبخیر سریع حلال منجر به تشکیل ذرات جریان آزاد می‌شود. خشک کردن پاششی روشی نسبتاً ارزان قیمت، ساده، سریع، تکرارپذیر و دارای تغییر مقیاس آسان است. یکی از محدودیت‌های این روش، نوع عامل کپسوله‌کننده است که باید در سطح قابل قبولی محلول در آب باشد. از محدودیت‌های دیگر این روش می‌توان به ویژگی‌های حلال اشاره کرد که باید از اشتعال‌پذیری کم و فراریت زیاد برخوردار باشد. متغیرهای مختلف فرایند برای رسیدن به اندازه ذرات مورد نظر باید کنترل شوند. اندازه ذرات به اندازه افشانک، سرعت جریان گاز، سرعت جریان مایع، دمای هوای ورودی و خروجی، میزان اتصال عرضی و نیز خواص کیتوسان مانند وزن

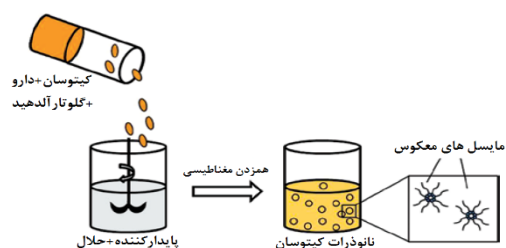
این امولسیون پایدار با اتصال عرضی به وسیله عامل اتصال عرضی مناسب مانند گلو تار آلدهید (glutaraldehyde) به قطرات کوچک جامد تبدیل می‌شوند. اندازه نهایی ذرات محصول علاوه بر سرعت تکان دادن در طول تشکیل امولسیون به میزان عامل اتصال عرضی مورد استفاده در جامد شدن بستگی دارد. از اشکالات این روش این است که روشی خسته‌کننده و پیچیده است و همچنین استفاده از عامل اتصال عرضی درشت، ممکن است واکنش‌های شیمیایی با عامل فعال ایجاد کند. حذف کامل عامل اتصال عرضی واکنش داده نشده در این فرایند دشوار است. در حقیقت مشخص شده است که گلو تار آلدهید سبب ایجاد سمیت می‌شود. بنابراین کاربرد این روش برای به دست آوردن نانوذرات کیتوسان کمی محدود می‌شود [۱۰]. شکل ۱ طرح‌واره این روش سنتز را نشان می‌دهد.

### ۲-۲ انباشت/رسوب

در این روش از ویژگی فیزیکی-شیمیایی کیتوسان استفاده می‌شود چون کیتوسان در محیط قلیایی نامحلول است، بنابراین وقتی در تماس با محلول قلیایی باشد انباشتگی/رسوب اتفاق می‌افتد. این روش اولین بار برای تهیه میکروکره‌های کیتوسان توسط Berthold به کار رفت [۱۱]. بهبود این روش تولید نانوذرات کیتوسان را قادر می‌سازد. در این روش ذرات توسط افشاندن محلول کیتوسان به محلول قلیایی مانند هیدروکسید سدیم (sodium hydroxide) یا اتان-دی‌آمین (ethane diamine) با استفاده از افشانک هوای فشرده برای ایجاد قطرات توده شده تولید می‌شوند. با تغییر فشار هوای فشرده شده یا قطر اسپری افشانک، اندازه ذرات کنترل می‌شود. با استفاده از عامل اتصال عرضی برای سخت شدن ذرات می‌توان انتشار دارو را کنترل کرد. از مزیت‌های روش انباشت می‌توان به استفاده نکردن از حلال‌های سمی و آلی اشاره کرد. در روش دیگری، محلول

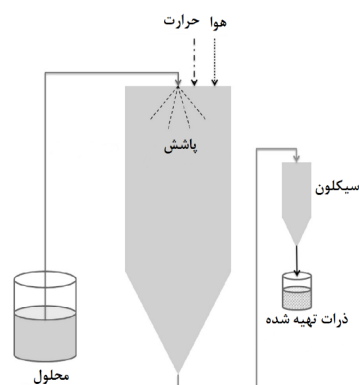


شکل ۱ طرح‌واره روش اتصال عرضی امولسیون [۱۰]



شکل ۴ طرح‌واره روش میسل معکوس [۱۰]

گروه‌های عاملی آمینی است، در محیط اسیدی با دریافت یون هیدروژن، به حالت کاتیونی در آب حل می‌شود. بنابراین، وجود آنیون چندظرفیتی در محیط، بر اساس جاذبه الکتروستاتیکی میان بارهای مثبت و منفی، تشکیل هیدروژل را به وسیله این پلیمر امکان‌پذیر می‌سازد. روش ژل شدن یونی بر اساس تعاملات یونی بین بار مثبت گروه‌های آمین نوع اول کیتوسان و بار منفی گروه‌های پلی‌آنیونی است. سدیم‌تری‌پلی‌فسفات (TPP) پلی‌آنیونی است که به دلیل غیرسمی و چندظرفیتی بودن به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. صمغ عربی (arabic gum) نیز پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر و زیست‌سازگار با محل‌های تعاملی زیاد با بار منفی است که برای تعامل با پلیمرهای کاتیونی مانند کیتوسان استفاده می‌شود. در اتصال عرضی فیزیکی نه تنها از عامل اتصال عرضی شیمیایی و عامل امولسیون‌کننده که اغلب سمی هستند استفاده نمی‌شود بلکه مانع صدمه احتمالی به دارو و به ویژه عوامل زیستی می‌شود. در روش ژل شدن یونی برای به دست آوردن کاتیون کیتوسان، کیتوسان در محلول اسیدی حل می‌شود. سپس این محلول به محلول پلی‌آنیونی تحت هم‌زدن ثابت اضافه می‌شود. به دلیل ایجاد کمپلکس بین گونه‌های با بار مخالف، کیتوسان دستخوش ژل شدن یونی شده، به شکل ذرات کروی رسوب می‌کند. از آنجا که ژل شدن، گروه‌های آمین پروتون‌دار شده کیتوسان را شامل می‌شود، کارایی روش به میزان استیل‌زدایی کیتوسان بستگی دارد. به دلیل استفاده از حلال‌های مبتنی بر آب و بدون نیاز به حلال‌های آلی، شرایط ملایم واکنش، ساده و مقرون به صرفه بودن و پایداری بالای ذرات سنتز شده، روش ژل شدن یونی به طور گسترده‌ای برای ساخت نانوذرات کیتوسان استفاده می‌شود. پایداری بالای نانوذرات در روش ژل شدن یونی تا



شکل ۳ طرح‌واره روش خشک کردن پاششی [۱۲]

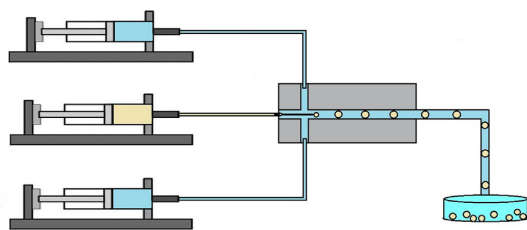
مولکولی و درجه استیل‌زدایی بستگی دارد [۱۲]. شکل ۳ طرح‌واره این روش سنتز را نشان می‌دهد.

### ۳-۴ میسل معکوس

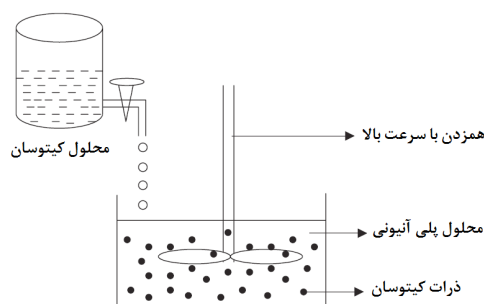
اولین بار Mitra و همکارانش تولید نانوذرات کیتوسان به روش میسل معکوس را گزارش کردند [۱۳]. میسل معکوس مخلوط پایدار ترمودینامیکی از آب، روغن و ماده فعال در سطح است. در این روش، برای تهیه میسل معکوس ماده فعال در سطح در حلال آلی مناسب مانند n-hexane حل می‌شود و بعد به آن محلول آبی حاوی کیتوسان، دارو و گلو تار آلدهید با چرخش ثابت برای جلوگیری از هر گونه کدوری اضافه می‌شود. از مزیت روش میسل معکوس تولید نانوذرات فوق‌العاده کوچک حدود ۱۰۰ nm یا حتی کم‌تر با توزیع اندازه باریک است. از معایب این روش می‌توان جداسازی دشوار نانوذرات و احتیاج به مقادیر زیاد حلال را ذکر کرد [۱۰]. شکل ۴ طرح‌واره این روش سنتز را نشان می‌دهد.

### ۳-۵ ژل شدن یونی

در میان روش‌های مختلف موجود برای تهیه نانوذرات کیتوسان، روش ژل شدن یونی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. با توجه به اینکه روشی غیر سمی است و در آن از حلال آلی استفاده نمی‌شود و همچنین روشی راحت و قابل کنترل است. اولین بار Calvo و همکارانش از روش ژل شدن یونی از طریق تعامل با بار مثبت کیتوسان و بار منفی تری‌پلی‌فسفات (TPP) برای تهیه نانوذرات کیتوسان استفاده کردند [۱۴]. از آنجاکه کیتوسان دارای



شکل ۶ طرح‌واره روش میکروفلوئیدیک [۱۷]



شکل ۵ طرح‌واره روش زل شدن یونی [۹]

## ۴ نانو کامپوزیت بر پایه کیتوسان

### ۴-۱ نانو مواد معدنی مغناطیسی

نظریه دارورسانی مغناطیسی توسط Widder برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ معرفی شد [۲۰]. با کاربرد نانوذرات مغناطیسی در دارورسانی می‌توان مسیر دارو را تحت میدان مغناطیسی خارجی برای رهایش در محل‌های مشخص شده کنترل کرد. با توجه به بی‌ثباتی نانوذرات مغناطیسی در محلول‌های آبی، نمی‌توان آن‌ها را به عنوان حامل دارو به تنهایی استفاده کرد. روش مؤثر برای حذف یا به حداقل رساندن این مشکل، استفاده از برخی پوشش‌ها است. نانوذرات کیتوسان با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردشان، یکی از امیدوارکننده‌ترین پوشش‌های محافظتی برای نانوذرات مغناطیسی هستند. نانوذرات مغناطیسی کیتوسان دارای هسته مغناطیسی و پوسته کیتوسان زیست‌تخریب‌پذیر است. هسته مغناطیسی برای رهایش دارو به محل مشخص و پلیمر برای بارگذاری، انتقال و انتشار دارو استفاده می‌شود. به طور کلی نانوذرات مغناطیسی فعالیت شیمیایی بالایی دارند و به راحتی در حضور هوا اکسید می‌شوند، در نتیجه خاصیت مغناطیسی آن‌ها از بین می‌رود. هنگامی که این ذرات مغناطیسی با کیتوسان پوشش داده می‌شوند، نه تنها از اکسید شدن محافظت می‌شوند بلکه منجر به کاهش سمیت، کاهش تجمع و افزایش پایداری می‌شود. جالب توجه است که پوشش کیتوسان علاوه بر محافظت و پایداری ذرات مغناطیسی، به عنوان سطحی برای عامل‌دار کردن بیشتر، با توجه به حضور فراوان گروه‌های آمین، هیدروکسیل و کربوکسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. کیتوسان می‌تواند به آسانی با فرایندهای شیمیایی و فیزیکی به منظور تهیه مشتقات کیتوسان اصلاح شود [۲۱].

حدی به اتصال عرضی یونی بار مثبت کیتوسان با بار منفی پلی‌آنیون مرتبط است [۱۵]. شکل ۵ طرح‌واره این روش سنتز را نشان می‌دهد.

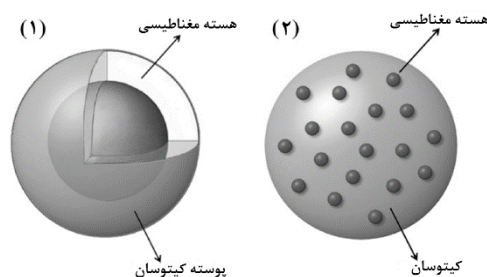
### ۳-۶ روش میکروفلوئیدیک

کنترل اندازه و توزیع اندازه ذرات کیتوسان برای استفاده به عنوان حامل دارو بسیار مهم است و سرعت انتشار و دوز دارو را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اندازه ایده‌آل، سرعت انتشار بهینه را فراهم می‌کند. توسعه روشی با تکرارپذیری فرایند و تولید ذرات با اندازه یکنواخت و کنترل شده در صنایع دارویی ضروری است. روش میکروفلوئیدیک کنترل اندازه ذرات را فراهم می‌کند و دارای مزایای توزیع اندازه باریک، شکل کروی خوب، فراینده ساده و کم هزینه با توانایی بالا است [۱۶]. با توسعه سریع روش میکروفلوئیدیک تهیه مواد با اندازه، ریزساختار و ترکیب کنترل شده امکان‌پذیر شده است. در سال‌های اخیر محققان کره‌های کیتوسان را با روش میکروفلوئیدیک با موفقیت تهیه کردند [۱۷]. Yang و همکارانش از این روش برای تهیه میکروکره‌های کیتوسان استفاده کردند. آن‌ها میکروکره‌های کیتوسان را با روش اتصال عرضی شیمیایی تهیه کردند [۱۸]. در حالیکه Xu و همکارانش کره‌های کیتوسان بسیار کروی با توزیع اندازه یکنواخت را با روش استخراج حلال تهیه کردند [۱۶]. همچنین Xu میکروکره‌های کیتوسان با ساختار و اندازه کنترل شده را در دستگاه میکروفلوئیدیک به وسیله ترکیب اتصال عرضی شیمیایی و روش استخراج حلال تهیه کردند [۱۹]. آن‌ها همچنین دریافتند که با طولانی شدن زمان جامد شدن، کره‌های کیتوسان کوچکتر و فشرده‌تر می‌شوند. شکل ۶ طرح‌واره این روش سنتز را نشان می‌دهد.

کیتوسان-فلز کاملاً ساده، با اضافه کردن پیش ماده فلز به محلول پلیمر و با کاهش پیش ماده فلزی به دست می آید. نانوذرات فلز به وسیله کاهش شیمیایی نمک فلز با عوامل کاهش دهنده مانند  $\text{NaBH}_4$  به دست می آیند. برای اطمینان از کاهش تمام پیش ماده فلزی، مقدار  $\text{NaBH}_4$  ده برابر نمک فلز اضافه می شود [۲۵]. به عنوان مثال نانو ذرات نقره دارای خاصیت ضدباکتریایی هستند و این ویژگی اساس کاربرد گسترده آن‌ها را تشکیل می دهد. آمیختن نانو ذرات نقره با پلیمر و ساخت نانوکامپوزیت یکی از پرکاربردترین روش های استفاده از آن‌ها به شمار می رود. نانوذرات نقره افزون بر خواص ضدباکتریایی، ویژگی هایی از قبیل اثرهای ضدقارچی و ضدالتهابی، سازگاری با محیط زیست، غیرمحرک و غیرحساسیت‌زا بودن، عدم ایجاد مقاومت در برابر ریزموجودات، مقاومت در برابر گرما و پایداری زیاد دارند. به عنوان مثال در سال ۲۰۱۵ دانه های هیدروژل نانوکامپوزیت کیتوسان/ نقره با تشکیل درجا نانوذرات نقره با عامل کاهش دهنده  $\text{NaBH}_4$  در طی تشکیل اتصال عرضی دانه های هیدروژل کیتوسان با سدیم تری پلی فسفات به عنوان اتصال دهنده تهیه شدند [۲۶].

نانو مواد طلا توجه گسترده ای را به دلیل زیست سازگاری بالا، سمیت کم و واکنش پذیری نسبتاً کم در کاربردهای زیست پزشکی به خود جلب کرده است. نانوذرات طلا در طی سنتز، تمایل به تجمع در شکل های مختلف گل، میله و منشور دارند. نانوگل های طلا کاربرد فوق العاده ای به عنوان حسگر، سلول های خورشیدی و در زمینه دارورسانی و مهندسی بافت دارند. در گزارشی نانوکامپوزیت نانوگل های طلا و کیتوسان متصل شده به گلیکولیک اسید (glycolic acid) را برای کاربردهای دارورسانی و مهندسی بافت، سنتز کردند [۲۷]. طرح واره نانوکامپوزیت گلیکولیک-اسید-g-کیتوسان-نانوگل طلا ترکیب شده با داروی ضدسرطانی سیکلوفسفامید در شکل ۸ نشان داده شده است.

این واقعیت که مس و ترکیبات آن دارای خاصیت ضدباکتریایی است از گذشته تا به امروز امری شناخته شده است. از طرف دیگر، مس در مقایسه با سایر فلزات در حالی که سمیت کمتری برای سلول های زیستی دارد، قدرت بیشتری در از بین بردن ریزموجودات دارد. با این حال، نانوذرات مس با وجود شناخته شده بودن، به میزان کافی مورد بررسی قرار نگرفته اند. فعالیت ضدسرطانی فلزهای مختلفی مانند  $\text{Ag}$ ،  $\text{Zn}$ ،  $\text{Se}$ ،  $\text{Si}$ ،  $\text{Cu}$  گزارش شده است. در این میان مس به علت آرایش الکترونی منحصربه فرد و



شکل ۷ ساختار (۱) هسته مغناطیسی پوسته کیتوسان (۲) چند هسته ای مغناطیسی پراکنده به صورت یکنواخت در کیتوسان [۲۲]

همان طور که در شکل ۷ نشان داده شده است روش تهیه منجر به تشکیل نانوذرات مغناطیسی کیتوسان با دو ساختار متفاوت می شود [۲۲]:

(۱) هسته مغناطیسی-پوسته کیتوسان  
(۲) چند هسته ای مغناطیسی پراکنده به صورت یکنواخت در کیتوسان

یکی از بزرگترین مزایای تهیه کامپوزیت مغناطیسی با کیتوسان تهیه آسان آن است. گروه های عاملی در سطح ذرات اکسید آهن به آسانی با کیتوسان یا مشتقات آن واکنش می دهند و منجر به ایجاد نانوساختارهای آب دوست می شوند. از لحاظ تاریخی مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) اولین هسته مغناطیسی استفاده شده در زیست فناوری و پزشکی به عنوان ابزاری برای تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI)، حامل دارو و درمان تومور است. در کنار آهن انواع دیگر عناصر مانند  $\text{Mn}$ ،  $\text{Ni}$ ،  $\text{Co}$ ،  $\text{Zn}$  برای تولید فریت با فرمول عمومی  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  استفاده می شود. در میان فریت های مغناطیسی، فریت  $\text{Mn}$  کاربردهای فراوانی در پزشکی دارد. مهم ترین ویژگی فریت  $\text{Mn}$  نفوذپذیری بالا، مضرات کم، پایداری خوب و نفوذپذیری با دما و زمان است. به عنوان مثال در گزارشی در سال ۲۰۱۷ نانوذرات فریت منگنز پوشیده شده با کیتوسان PEG دار شده را برای رهایش داروی ضدسرطانی حساس به pH متوتروکسات (MTX) تهیه و بررسی کردند [۲۳]. به عنوان مثالی دیگر در سال ۲۰۱۶ نانوذرات ( $\text{Mn}$ ،  $\text{Zn}$ )  $\text{Fe}_2\text{O}_4$  پایدار شده با کیتوسان و بارگذاری شده با داروی ضد سرطان دکسوروبیسیکسین (DOX) را تهیه کردند [۲۴].

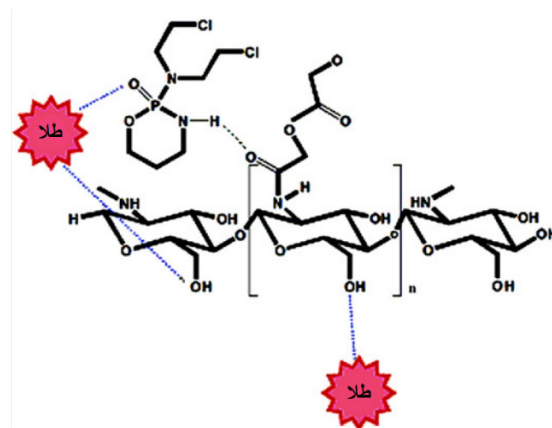
#### ۴-۲ نانو مواد معدنی غیر مغناطیسی

نانو کامپوزیت های مختلف کیتوسان-فلز از جمله نقره، طلا، پلاتین، پالادیم و... تهیه شده اند. تهیه نانو کامپوزیت

عالی، گسترش یافته است. تغییرات سطح اکسیدگرافن برای ساخت سامانه رهایش مؤثر به منظور بهبود بارگذاری دارو و زیست‌سازگاری بسیار مهم است. در این میان پلیمر کیتوسان، پلی‌ساکاریدی کاتیونی و طبیعی با خواص زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری بهتر در مقایسه با سایر پلیمرهای کاتیونی است. در مقایسه با اکسیدگرافن، کامپوزیت اکسیدگرافن-کیتوسان اندازه کوچک‌تر، بارسطحی مثبت و سمیت کم‌تری دارد. به عنوان مثال در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۷ سامانه رهایش جدید CpG ODN<sub>s</sub> (cytosin phosphate Gunin oligodeoxynucleotides) بر پایه کامپوزیت اکسیدگرافن-کیتوسان را توسعه دادند.

CpG ODN<sub>s</sub> پاسخ ایمنی ذاتی را فعال می‌کند و توانایی قوی به عنوان عامل ایمنی درمانی در برابر بیماری‌های مختلف نشان می‌دهد. بنابراین CpG ODN<sub>s</sub> به عامل ایمنی درمانی امیدوارکننده‌ای در برابر بیماری‌های مختلف از جمله سرطان، حساسیت و انواع بیماری‌های عفونی تبدیل شده است [۲۹]. طرح‌واره اکسیدگرافن-کیتوسان برای رهایش CpG ODN<sub>s</sub> در شکل ۹ نشان داده شده است.

نانولوله کربنی (CNT) با توجه به خواص فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی منحصربه‌فرد مانند وزن خیلی سبک، فضای داخلی توخالی، مساحت سطح بالا، توانایی کپسوله کردن بالای دارو و قابلیت بالای نفوذ به سلول به عنوان حامل دارورسانی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال کاربرد نانولوله کربنی اصلاح نشده به دلیل پراکندگی ضعیف در اکثر حلال‌های آبی و واکنش‌های نامطلوب محدود می‌شود. بنابراین اصلاح نانولوله کربنی برای بهبود حلالیت و زیست‌سازگاری آن‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در میان رویکردهای متداول، اصلاح نانولوله کربنی با کیتوسان از طریق تبادل الکتروستاتیکی انجام شده است. به عنوان مثال در سال ۲۰۱۷ گزارشی ارائه شد که در آن

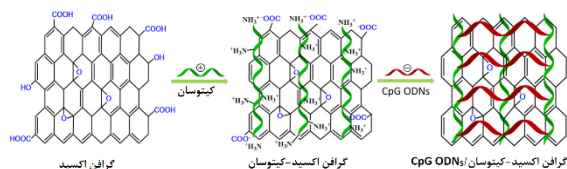


شکل ۸ نانوکامپوزیت گلیکولیک‌اسید-g-کیتوسان-نانوگل طلا ترکیب شده با داروی ضدسرطانی سیکلوفسفامید [۲۷]

مشارکت به عنوان عاملی مؤثر در چرخه اکسایش-کاهش آنزیم‌ها یکی از عناصر جالب است. نقش ضدسرطانی ترکیبات مس مانند CuO و CuS و ... بررسی شده است. اما تحقیقات کمی روی کمپلکس فلزی-آلی برای ارزیابی کارایی آن به عنوان عوامل ضدسرطانی انجام شده است. به عنوان مثال در سال ۲۰۱۶ کمپلکس بیس (پنتان ۲،۴ دی اون) مس (Cu acac) (II) کپسوله شده در نانوذرات کیتوسان را تهیه کردند. Cu(acac) شباهت ساختاری بسیاری به ترکیب ۳،۱ دی کتوکومین (1,3 di-keto curcumin) دارد. ترکیب ۳،۱ دی کتوکورکومین به عنوان عامل ضدسرطان خوب شناخته شده است [۲۸].

#### ۴-۳ نانو مواد کربنی

تحقیقات روی نانومواد کربنی شامل نانولوله کربنی، گرافیت، گرافن و ... به دلیل خواص مکانیکی منحصربه‌فرد آن‌ها مورد توجه است. بنابراین با ایجاد مواد کامپوزیت از کربن و پلیمر طبیعی می‌توان از مزایای هر دو ماده بهره برد. به عنوان مثال اکسیدگرافن (GO) نانو ماده دو بعدی تهیه شده از گرافیت طبیعی است. این ماده مساحت سطح زیاد، خواص مکانیکی قابل قبول و چگالی کمی دارد و همچنین دارای هدایت الکتریکی بسیار عالی و استحکام خوبی است. در سال‌های اخیر کاربرد اکسیدگرافن در زمینه‌های زیست‌پزشکی به ویژه دارورسانی به دلیل خواص جذابی مانند مساحت سطح بزرگ و پایداری آبی



شکل ۹ تهیه نانوکامپوزیت گرافن اکسید-کیتوسان برای رهایش CpG ODN<sub>s</sub> [۲۹]

## ۵ نتیجه گیری

سامانه‌های دارورسانی و رهایش هدفمند دارو به منظور کاهش عوارض جانبی و انتشار کنترل شده دارو، رو به توسعه است. نانوذرات کیتوسان حامل مناسبی برای عمده داروها هستند. در این زمینه نانو کامپوزیت‌های بر مبنای کیتوسان در طی سال‌های اخیر به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردشان مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال مطالعات بیشتری در محیط طبیعی و بدن بیمار لازم است؛ زیرا بیشتر مطالعات انجام شده در محیط‌های برون تنی انجام شده‌اند. امید است این سامانه‌ها نسبت به گذشته وضعیت تجاری بهتری پیدا کنند.

کیتوسان-فولات (CS-FA) را به عنوان پلیمری برای ترکیب با نانولوله کربنی به عنوان حامل دارورسانی مناسب برای داروی ضد سرطانی DTX انتخاب کرده‌اند. گیرنده‌ی FA در سطح اپیتلیال انواع سلول سرطانی مانند ریه، روده و کلیه و... بیان می‌شود. ترکیب دارو با FA توانایی جذب و هدف‌گیری آن‌ها را افزایش می‌دهد. مسیر اصلی وارد شدن ترکیب در سلول‌های سرطانی عمدتاً از طریق لیگاندهای FA هستند زیرا این گیرنده‌ها روی سلول‌های سرطانی در مقایسه با سلول‌های سالم افزایش می‌یابد. بنابراین CS-FA را بر اساس عدم سمیت و زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری برای ترکیب با نانولوله کربنی انتخاب کرده‌اند [۳۰].



## مراجع

1. Bajaj M., Winter J., and Gallert C., Effect of Deproteination and Deacetylation Conditions on Viscosity of Chitin and Chitosan Extracted from Crangon Crangon Shrimp Waste, *Biochemical Engineering Journal*, 56, 51-62, **2011**.
2. Bernkop-Schnürch A., and Dünnhaupt S., Chitosan-based Drug Delivery Systems, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 81, 463-469, **2012**.
3. Vaghari H., Jafarizadeh-Malmiri H., Berenjjan A., and Anarjan, N., Recent Advances in Application of Chitosan in Fuel Cells, *Sustainable Chemical Processes*, 1, 16, **2013**.
4. Pillai C. K. S., Paul W., and Sharma C. P., Chitin and Chitosan Polymers: Chemistry, Solubility and Fiber Formation, *Progress in Polymer Science*, 34, 641-678, **2009**.
5. Prabakaran M., Chitosan Derivatives as Promising Materials for Controlled Drug Delivery, *Journal of Biomaterials Applications*, 23, 5-36, **2008**.
6. Al Sagheer F. A., Al-Sughayer M. A., Muslim S., and Elsabee M. Z., Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from Marine Sources in Arabian Gulf, *Carbohydrate Polymers*, 77, 410-419, **2009**.
7. Ohya Y., Shiratani M., Kobayashi H., and Ouchi T., Release Behavior of 5-fluorouracil from Chitosan-gel Nanospheres Immobilizing 5-fluorouracil Coated with Polysaccharides and their Cell Specific Cytotoxicity, *Journal of Macromolecular Science Pure and Applied Chemistry*, 31, 629-642, **1994**.
8. Wang J. J., Zeng Z. W., Xiao R. Z., Xie T., Zhou G. L., Zhan X. R., and Wang S. L., Recent Advances of Chitosan Nanoparticles as Drug Carriers, *International Journal of Nanomedicine*, 6, 765, **2011**.
9. Agnihotri S. A., Mallikarjuna N. N., and Aminabhavi T. M., Recent Advances on Chitosan-based Micro-and Nanoparticles in Drug Delivery, *Journal of Controlled Release*, 100, 5-28, **2004**.
10. Grenha A., Chitosan Nanoparticles: a Survey of Preparation Methods, *Journal of drug targeting*, 20, 291-300, **2012**.
11. Berthold A., Cremer K., and Kreuter J. S. T. P., Preparation and Characterization of Chitosan Microspheres as Drug Carrier for Prednisolone Sodium Phosphate as Model for Anti-inflammatory Drugs, *Journal of Controlled Release*, 39, 17-25, **1996**.
12. Estevinho B. N., Rocha F., Santos L., and Alves A., Microencapsulation with Chitosan by Spray Drying for Industry Applications—A review, *Trends in Food Science & Technology*, 31, 138-155, **2013**.
13. Mitra S., Gaur U., Ghosh P. C., and Maitra A. N., Tumour Targeted Delivery of Encapsulated Dextran–Doxorubicin Conjugate Using Chitosan Nanoparticles as Carrier, *Journal of Controlled Release*, 74, 317-323, **2001**.
14. Calvo P., Remunan-Lopez C., Vila-Jato J. L., and Alonso M. J., Novel Hydrophilic Chitosan-Polyethylene Oxide Nanoparticles as Protein Carriers, *Journal of Applied Polymer Science*, 63, 125-132, **1997**.
15. Anandhakumar S., Krishnamoorthy G., Ramkumar K. M., and Raichur A. M., Preparation of Collagen Peptide Functionalized Chitosan Nanoparticles by Ionic Gelation Method: An Effective Carrier System for Encapsulation and Release of Doxorubicin for Cancer Drug Delivery, *Materials Science and Engineering: C*, 70, 378-385, **2017**.
16. Xu J. H., Li S. W., Tostado C., Lan W. J., and Luo G. S., Preparation of Monodispersed Chitosan Microspheres and in Situ Encapsulation of BSA in a co-axial Microfluidic Device, *Biomedical Microdevices*, 11, 243-249, **2009**.
17. Xu J., Xu X., Zhao H., and Luo G., Microfluidic Preparation of Chitosan Microspheres with Enhanced Adsorption Performance of Copper (II), *Sensors and Actuators B: Chemical*, 183, 201-210, **2013**.

18. Yang C. H., Huang K. S., Lin P. W., and Lin Y. C. Using a Cross-flow Microfluidic Chip and External Crosslinking Reaction for Monodisperse TPP-Chitosan Microparticles. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 124, 510-516, **2007**.
19. Xu J. H., Zhao H., Lan W. J., and Luo G. S. A novel Microfluidic Approach for Monodispersed Chitosan Microspheres with Controllable Structures, *Advanced Healthcare Materials*, 1, 106-111, **2012**.
20. Widder K. J., Senyei A. E., and Scarpelli D. G., Magnetic Microspheres: A Model System for Site Specific Drug Delivery in Vivo, *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 158, 141-146, **1978**.
21. Elmizadeh H., Khanmohammadi M., Ghasemi K., Hassanzadeh G., Nassiri-Asl, M., and Garmarudi A. B., Preparation and Optimization of Chitosan Nanoparticles and Magnetic Chitosan Nanoparticles as Delivery Systems Using Box-Behnken Statistical Design, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 80, 141-146, **2013**.
22. Reddy D. H. K., and Lee S. M., Application of Magnetic Chitosan Composites for the Removal of Toxic Metal and Dyes from Aqueous Solutions, *Advances in Colloid and Interface Science*, 201, 68-93, **2013**.
23. Karimi Z., Abbasi S., Shokrollahi H., Yousefi G., Fahham M., Karimi L., and Firuzi O., Pegylated and Amphiphilic Chitosan Coated Manganese Ferrite Nanoparticles for pH-sensitive Delivery of Methotrexate: Synthesis and Characterization, *Materials Science and Engineering: C*, 71, 504-511, **2017**.
24. Montha W., Maneepprakorn W., Buatong N., Tang I. M., and Pon-On W., Synthesis of Doxorubicin-PLGA Loaded Chitosan Stabilized (Mn, Zn) Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles: Biological Activity and pH-Responsive Drug Release, *Materials Science and Engineering: C*, 59, 235-240, **2016**.
25. Huang H., Yuan Q., and Yang X., Preparation and Characterization of Metal-Chitosan Nanocomposites, *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 39, 31-37, **2004**.
26. Yadollahi M., Farhoudian S., and Namazi H., One-pot Synthesis of Antibacterial Chitosan/Silver Bio-Nanocomposite Hydrogel Beads as Drug Delivery systems, *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 37-43, **2015**.
27. Kumari S., and Singh R. P., Glycolic Acid-g-Chitosan-Gold Nanoflower Nanocomposite Scaffolds for Drug Delivery and Tissue Engineering, *International Journal of Biological Macromolecules*, 50, 878-883, **2012**.
28. Pramanik A., Laha D., Dash S. K., Chattopadhyay S., Roy S., Das D. K., ... and Karmakar P., An in-vivo Study for Targeted Delivery of Copper-Organic Complex to Breast Cancer Using Chitosan Polymer Nanoparticles, *Materials Science and Engineering: C*, 68, 327-337, **2016**.
29. Zhang H., Yan T., Xu S., Feng S., Huang D., Fujita M., and Gao X. D., Graphene Oxide-Chitosan Nanocomposites for Intracellular Delivery of Immunostimulatory CpG Oligodeoxynucleotides, *Materials Science and Engineering: C*, 73, 144-151, **2017**.
30. Singh R. P., Sharma G., Singh S., Bharti S., Pandey B. L., Koch B., and Muthu M. S., Chitosan-Folate Decorated Carbon Nanotubes for Site Specific Lung Cancer Delivery, *Materials Science and Engineering: C*, 77, 446-458, **2017**.

## انجمن چسبندگی

The Society of Adhesion

هوری میوه چی

عضو هیئت مدیره انجمن پلیمر ایران

### تاریخچه انجمن

شکل‌گیری سازمانی انجمنی که بر مباحث مختلف چسبندگی تمرکز داشته باشد اولین بار توسط چند دانشمند نامی آن زمان در کنفرانس پژوهش گوردون سال ۱۹۷۷ در ایالات متحده صورت گرفت. در سال ۱۹۷۸، نتیجه این تلاش منجر به حذف عنوان «گروه علوم چسبندگی» شد که تا آن زمان در جذب نیروی‌های علاقه‌مند و متخصص موفقیت چندانی به دست نیاورده بود. تا آن تاریخ علوم چسبندگی منحصر به شیمی و مکانیک شکست بود و شرایط جدید ضرورت ایجاد انجمنی، چند بعدی و چند نظامه که «پدیده چسبندگی» را از کلیه جهات علمی و فناوری بیان کند، ایجاد می‌نمود.

مؤسس اصلی آن پروفسور آلن گنت (Alen Gent) از دانشگاه آکرون آمریکا بود که سازمان‌دهی تشکیلاتی انجمن را صورت داد و با جذب اعضای فعال و گسترش فعالیت‌های علمی و اجرایی انجمن در چهارچوب اساسنامه آن موجبات شکوفایی بیش از پیش آن شد. این انجمن از بدو فعالیتش مبادرت به چاپ مقالات سمینارها و خبرنامه‌های تخصصی کرد. در سال‌های آغازین تمرکز انجمن بر نهادینه کردن روش‌های کاری و عملیات اجرایی متمرکز بود که بتواند هویت قانونی آن و موجودیت انجمن را در کشور ایالات متحده از ابعاد گوناگون بشناساند. تشکیل جلسات مرتب سالیانه و نیز جلسات متعدد غیر رسمی فرصت‌های خوبی در جذب اعضای علمی، صنعتی و دانشجویان جوان به وجود آورد. در بین اعضای موثر آن زمان تا سال ۲۰۱۲ تعداد ۱۷ نفر متخصص مشهور به چشم می‌خوردند. سمینارهای سالیانه گاهی تا ۵ روز به طول می‌انجامید و شرکت دانشمندان و متخصصان بین‌المللی از کشورهای فرانسه، ژاپن، بریتانیا، آلمان غربی و سوئیس هویت جهانی را به آن بخشید، تا جایی که تعداد مقالات ارائه شده از ۴۰ مقاله به ۲۰۰ مقاله رسید. حق عضویت دانشجویی کاهش

یافت و جوایز خاص برای بهترین مقاله‌های ارائه شده در نظر گرفته می‌شد. این فعالیت‌ها همچنان با شرکت کشورهای بیشتری در داخل و خارج آمریکا ادامه دارد.

### شاخه‌های علمی انجمن

اولین شاخه علمی شکل گرفته داخلی انجمن بنام «چسبندگی ذره» بود. سپس دو شاخه دیگر که از شاخه‌های اصلی علمی انجمن بود تا سال ۲۰۰۷ تشکیل شد. این سه شاخه اصلی همچنان باقی است.

#### ۱ شاخه چسبندگی ذره

بحث چسبندگی ذرات روی سطوح از ابتدای امر تا بحال از موارد بسیار مهم علمی و فناوری محسوب می‌شود، که در صنعت چاپ و تکثیر و الکترونیک کاربرد دارد. از ۱۹۹۴ تا بحال عمده مباحث ارائه شده چسبندگی ذرات عبارتند از:

- طراحی محل اتصال  
از ۲۰۰۷ شاخه‌های یاد شده به بخش‌های ذیل در اساسنامه  
انجمن تبدیل شد:  
- بخش چسب‌های نرم  
- بخش چسب‌های ساختاری  
- بخش زیست چسبندگی

در بخش چسب‌های نرم موضوعاتی شامل سنتز، کاربردها، ارتباط ساختار-خواص، رئولوژی، پوشش‌دهی، آزمون، پیش‌بینی عملکرد، فرمول‌بندی، نظریه‌های چسب‌های فشار حساس مطرح است که این موارد فاصله بین مطالعات دانشگاهی و صنعت را کم کرده است.

در بخش چسب‌های ساختاری علاوه بر سنتز و توسعه چسب‌های ساختاری، به بحث فصل مشترک سطوح چسب ساختاری، رفتار مکانیکی چسب‌های ساختاری، خواص بین سطحی در دراز مدت و پایداری خواص چسب‌های ساختاری، پیش‌بینی طول عمر و خواص چسب ساختاری و مدل‌سازی چسب‌های ساختاری و خواص و طراحی چسب ساختاری اتصالات و مفصل‌ها پرداخته می‌شود.

در بخش زیست چسبندگی به مباحث چسب‌های زیست پزشکی، بافت، سلول یا چسبندگی زیست مولکولی، تشخیص و تشریح پدیده چسب طبیعی و زیست شبیه‌سازی یا طراحی زیست‌الگویی، شناسایی زیست چسبندگی، روش‌های توسعه آزمون تمرکز دارد.

### انتخاب بهترین مقاله و اعطای جوایز

جوایز انجمن چسبندگی مقالات ارائه شده در سمینارها و کنفرانس‌ها به کارهایی اختصاص می‌یابد که از کیفیت خوب علمی و ارائه قوی برخوردارند سهم قابل توجهی در پیشرفت و فهم عمیق تر این رشته داشته باشند.

معیارهای مهم کسب امتیاز برتری به شرح زیر است:  
- سهم علمی که فهم و درک ما را نسبت به پدیده چسبندگی و یا فناوری آن و صنعت چسب داشته باشد.  
- تشخیص دستاورد مقاله در مقیاس جهانی.

امر مسلم اینکه همه مقالات می‌توانند در تصمیم‌گیری مقالات برجسته وارد شوند و برای ارائه دهنده اجباری نیست که عضو انجمن باشد.

از سال ۱۹۸۵ انجمن چسبندگی اقدام به تامین حمایت مالی دانشجویان برای شرکت در سمینارهای سالیانه کرده است که شرکت و علاقه‌مندی بسیاری از دانشجویان در

- چسبندگی ذرات - ذرات  
- رسوب ذرات و برطرف‌سازی آن‌ها  
- پاک کردن سطوح  
- برهم‌کنش‌های تریبو الکترونیک (Triboelectronics)  
- جذب الکتروستاتیکی و الکترومغناطیسی ذرات به سطوح  
- نظریه چسبندگی ذرات و اندازه‌گیری‌ها  
- کلوئیدها و انبوه‌ها  
- سایش و فرسایش

### ۲ شاخه چسب‌های فشار حساس

چسب‌های فشار حساس مواد نرم چکش‌خواری هستند که کاربردهای فراوانی در زندگی روزمره دارند. این شاخه انجمن در سال ۱۹۹۵ شکل گرفت و در سمینار و نشست‌های ۱۹۹۶ تعداد قابل توجهی مقاله به جنبه‌های مختلف این مبحث پرداختند. این شاخه رابطه بین ساختار-خواص، مواد جدید، سنتز و شناسایی آن‌ها را پوشش می‌دهد.

از مباحث اصلی این شاخه به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:  
- پیشرفت در سنتز (مونومرها، افزودنی‌ها و پلیمرهای جدید)

- رابطه بین ساختار و خواص / مواد و شناسایی بین سطحی  
- پیشرفت در فناوری (پوشش‌دهی، پخت و آستردهی)

- روش‌های آزمون جدید / پیش‌بینی عملکردها  
- رهایش مواد و سازوکارها (آستری‌ها، چسبندگی ضعیف - پشت چسب)

- کاربردهای جدید  
- نظریه‌ها و عملکرد چسب‌های فشار حساس

### ۳ شاخه چسب‌های ساختاری

اگرچه از سال ۱۹۷۸ ارائه مقالات روی موضوع چسب‌های ساختاری ادامه داشت ولی این شاخه در سال ۲۰۰۳ رسماً اعلام موجودیت کرد. از مباحث این شاخه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سنتز / توسعه  
- بین سطوح و چسب  
- رفتار مکانیکی  
- روابط بین ساختار و خواص  
- ماهیت بین سطحی در دراز مدت و پایداری خواص  
- پیش‌بینی خواص دائمی (دراز مدت)  
- مدل‌سازی

رشته‌های کلیدی این انجمن را افزایش داده است.

### **انتخابات هیئت مدیره**

انجمن چسبندگی از بدو فعالیتش از سال ۱۹۷۸ تا کنون هر دو سال یکبار انتخابات هیئت مدیره و رئیس آن را اجرایی کرده است. رئیس فعلی انجمن دکتر آناند ژاگوتا

(Anand Jagota) است که از سال ۲۰۱۶ فعالیت خود را آغاز کرده است. در تارنمای انجمن چسبندگی فعالیت‌های برجسته اعضای انجمن و صنایع مرتبط و دستاوردهای آنان تشریح شده است و برنامه‌های کلان انجمن در جذب اعضا و تخفیف حق عضویت دانشجویان و سایر فعالیت‌ها با هدف ارتقای هرچه بیشتر کیفی و کمی انجمن آمده است.