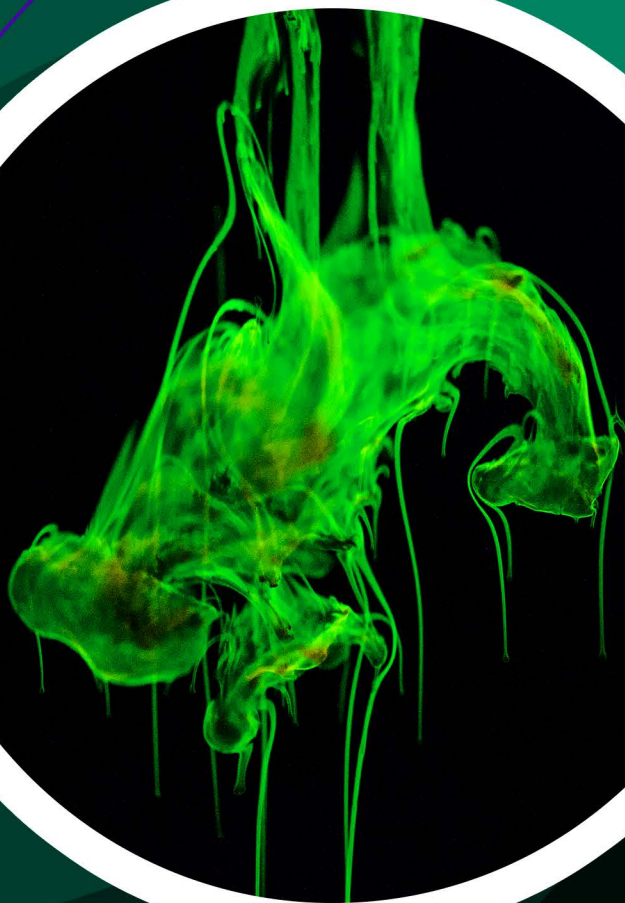
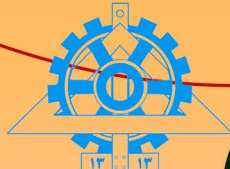




نشریه

میم



نشریه میم، شماره هفدهم، مهر ۱۴۰۰
صاحب امتیاز: انجمن علمی مهندسی شیمی
و پلیمر دانشگاه تهران
مدیر مسئول: علی گلستانی
سردبیر: بردیا ایراجیان
ویراستار علمی: اسماعیل فرمانی قشلاقی
ویراستاران: سحر نیرومند، درسا جمالی
طراح و صفحه آرا: عباس صادق کوهستانی
حروف چینی: بردیا ایراجیان

مصاحبه با دکتر کفاشی
مصاحبه با دکتر نازنین اوچی
آشنایی با چرخه ی تولید و عرضه و تقاضای
محصولات شیمیایی و پلیمری
نامگذاری، طبقه بندی و کاربردهای MOF ها
معرفی دستگاه بنبوری

فهرست

کلیک کنید

بخش مصاحبه

[مصاحبه با دکتر کفاشی](#)
[مصاحبه با دکتر نازنین اوجی \(دانشجوی کارشناسی دانشگاه UCL انگلستان\)](#)

بخش محیط زیست

[مزایا و معایب انرژی‌های تجدید پذیر با رویکرد مقایسه‌ای در نیروگاه‌ها](#)

مقالات تخصصی

[نامگذاری، طبقه‌بندی و کاربردهای MOFها \(چارچوب‌های فلز - آلی\)](#)
[Kinetic study of TWC of automotive exhaust gas: Modeling and Application](#)
[آشنایی با چرخه ی تولید و عرضه و تقاضای محصولات شیمیایی و پلیمری](#)
[محاسبه چگالی، پارامتر انحلال پذیری و دمای انتقال شیشه‌ای پلی اتیلن با کمک دینامیک مولکولی](#)
[مروری بر هیدروژل‌ها](#)
[جذب بیولوژیک عناصر سنگین از محیط آبی به کمک ضایعات کشاورزی و جلبک‌ها](#)

بخش ارتباط با صنعت

[دستگاه بنبوری](#)

سخن سردبیر:

حکایت با یک دست چند هندوانه بلند کردن، می‌شود این شماره! حجم بالا و تنوع مطالب کار، ویراستاری و صفحه آرایی را بقدری طولانی و مشکل کرد که منجر به طولانی شدن زمان انتشار این شماره شد. به هر صورت امیدوارم مطالب مورد استفاده خوانندگان قرار گیرد.

نمی‌خواهم سخنم را با جملات کلیشه‌ای مثل پذیرای تمامی حرف‌های شما هستیم شروع کنم. مسلماً ما پذیرای انتقادات و پیشنهادهاى شما هستیم اما بین انتقاد (منجر به بهبود می‌شود) و حمله (تلاش برای تخریب) تفاوت‌هایی وجود دارد و به نوعی پذیرنده‌ی هر سخنی نیستیم. هر کس در هر جایگاهی حق دارد از عملکردش دفاع کند. مخالفت دائمی و بدون توجه به تغییرات ایجاد شده در کنار پررنگ کردن و بزرگ کردن مشکلات چیزی جز تلاش برای کمرنگ کردن تلاش بقیه برای مهم نشان دادن خود نیست. در کنار این افراد، منتقدان و افراد دلسوزی وجود دارند که برای اصلاح، تنها به سخن اکتفا نکرده و خود دست به کار می‌شوند. فضای نشریه تا کنون فضایی آزاد برای نوشتن و به نوعی محفلی برای گردهمایی علاقه‌مندان بوده است. تمامی مطالب تاکنون با سلیقه و نظر نویسندگان نوشته شده است. تیم نشریه جز ارائه پیشنهاد و راهنمایی به نویسندگان و در کنار آن اصلاح موارد نگارشی و علمی تغییر دیگری در مطالب ایجاد نکرده و هیچ چیز را دیکته نمی‌کند. نشریه در کنار سایر فعالیت و دوره‌های انجمن مصداق این مورد هستند و انجمن در خیلی از موارد فرصت دفاع از خود را نیافته است.

هیچ فرایندی ایده‌آل نیست و این امر از قوانین ترمودینامیک و فرایندهای شیمیایی گرفته تا نوشتن محتوای نشریه برقرار است. اما همواره تلاش می‌کنیم با بررسی مشکلات و تلاش برای بهبود آن‌ها به ایده‌آل نزدیک شویم. از همه کسانی که مشکلات را بیان می‌کنند و برای بهبود آن به ما کمک می‌کنند صمیمانه سپاس‌گزار و قدردانیم. به رسم هر شماره لازم است از تلاش تمامی ویراستاران ادبی و علمی، نویسندگان، صفحه‌آرا و دست‌اندرکاران این شماره (که حجم کاری بسیار بالایی داشتند.) خصوصاً آقای فرمانی که با دقت مطالب را بررسی و گزینش کردند و همچنین آقای پناهی که در اصلاح نیم‌فاصله‌ها و موارد مشابه به ما کمک کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم.

مصاحبه دکتر بابک کفاشی



بردیا ایراجیان

دانشجوی کارشناسی مهندسی پلیمر دانشگاه
تهران



رضا عباسی

دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی، دانشگاه
تهران

با سلام، لطفاً ضمن معرفی خود، زمینه کاری و پژوهشی خود را توضیح دهید.

اینجانب بابک کفاشی هستم. تحصیلات متوسطه را در دبیرستان شهید باهنر تهران را طی سال های ۱۳۶۴-۱۳۶۰ گذراندم. در سال ۱۳۶۴ در کنکور سراسری شرکت کردم و در دانشگاه صنعتی امیرکبیر در رشته مهندسی شیمی پذیرفته شدم. در اردیبهشت ماه سال ۱۳۷۱، با بورسیه تحصیلی وزارت فرهنگ و آموزش عالی برای ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد، عازم کشور استرالیا شدم و در دانشگاه کوپینزلند استرالیا، مشغول به تحصیل شدم. پس از پایان کارشناسی ارشد تحصیل در مقطع دکترا را نیز در همین دانشگاه ادامه دادم. پس از این مقطع، عازم کشور بلژیک شدم و در این کشور، دوره فوق دکترا را گذراندم. مهرماه سال ۱۳۷۷ به ایران بازگشتم و در دانشگاه تهران، استخدام شدم و فعالیت آموزشی و پژوهشی خود را تاکنون ادامه داده‌ام.

زمینه کاری و پژوهشی که از دوره کارشناسی ارشد و دکترا شروع می شود و شخص در این زمان بر روی موضوعی متمرکز می شود و آن را ادامه می دهد. در دانشگاه کوپینزلند استرالیا، زمینه کاری استاد راهنما بنده، رئولوژی بود و من هم در حوزه رئولوژی مشغول به کار و تحقیق شدم. رئولوژی شاخه های مختلفی دارد تحقیق روی رئولوژی را پس از بازگشت به ایران نیز با دانشجویان مقطع دکترا خود ادامه دادم و زمینه کاری بنده بیشتر روی رئولوژی محلول ها، سوسپانسیون ها و مذاب پلیمرها و نانوکامپوزیت هاست.

به نظر شما مهندسی شیمی و پلیمر چگونه می توانند در جهت تکمیل خود قدم بردارند؟ وجود دانشکده های مجزا برای رشته

مهندسی پلیمر را چگونه ارزیابی می کنید؟

رشته مهندسی شیمی یک رشته ترکیبی است. وقتی در کارخانه های صنایع شیمیایی آمریکا این نیاز حس شد که به مهندسان مکانیکی که تا حدی به علم شیمی هم آشنا باشند نیاز است، مهندسی شیمی متولد شد. مهندسی پلیمر، به سه رشته مهندسی مکانیک، شیمی و مهندسی مواد مرتبط است و اشتراکی از این سه را دارد؛ در واقع این سه رشته، رئوس مثلثی را تشکیل می دهند که رشته مهندسی پلیمر درون مثلثی قرار گرفته است. در زمان تحصیلات خود در دانشگاه امیرکبیر، پلیمر به عنوان یک گرایش در بطن دانشکده مهندسی شیمی بود. برنامه درسی که برای مهندسی شیمی وجود داشت شامل گرایش های مختلفی بود که پلیمر یکی از آن ها بود. گرایش پلیمر تعداد واحدهای تخصصی بیشتری داشت (حدود ۴۰ واحد)، سایر گرایش ها به این صورت نبود. همین موضوع باعث می شد که دانشجویان مهندسی پلیمر برخی از دروس مهندسی شیمی را نگذارند. دروسی همچون انتقال حرارت ۲ و عملیات واحد ۲ از برنامه ایشان حذف شده بود. همین موضوع خود باعث ایجاد تقابلی میان اساتید و دانشجویان مهندسی پلیمر و شیمی شد. در نهایت باعث شد تا در سال ۱۳۷۳ دانشکده های

مجزا برای مهندسی پلیمر تشکیل شود. علت اینکه دانشجویان مهندسی پلیمر بسیاری از دروس مهندسی شیمی را می‌گذرانند، بعلت اشتراک محلی (دانشکده‌ای) این دو رشته بوده است. البته به نظر من، این دو رشته باید جدا باشد و دلیلی ندارد به دلیل نزدیکی موضوع این دو رشته، در یک دانشکده فعالیت کنند. در مورد دروس مشترک بین دو رشته، به نظر من چون مثال‌ها و کاربرد دروس در دو رشته متفاوت است، حتی دروس با عناوین مشترک مثل کنترل فرآیند، انتقال حرارت یا انتقال جرم بایستی که با دید مهندسی پلیمر و با مثال‌های مهندسی پلیمر همراه باشد.

در رابطه با انجمن رئولوژی ایران و اهداف آن لطفاً توضیح دهید.

انجمن‌های رئولوژی در تمام قاره‌ها و بعضی کشورهای دنیا بصورت تخصصی وجود دارد. در ابتدا این انجمن در آمریکا تشکیل شد و از همه دنیا در آن انجمن، عضو می‌شدند. پس از تشکیل انجمن رئولوژی آمریکا، دیگر کشورها نیز به فکر تشکیل انجمن رئولوژی در کشور خود افتادند. انجمن رئولوژی ایران، با کمک خانم دکتر گوهرپی و دیگر همکاران تشکیل شد. هدف انجمن‌های علمی، کمک به بنیادهایی در جامعه است که به آن علم، به شکل تخصصی نیاز دارند و در آن حوزه فعالیت می‌کنند. جامعه هدف ما، در واقع افرادی است که با خواص ویسکوزیته و رئولوژی و سیالیت و تغییر شکل پذیری مواد و سامانه‌های مختلف سروکار دارند. آن شامل بخش‌های داروسازی، صنایع پلیمری و شیمیایی می‌شود. انجمن برای دانشجویان و شرکت‌ها و صنایع، همایش‌ها، کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها و... را فراهم می‌کند. انجمن رئولوژی ایران تا به حال سه کنفرانس داخلی و یک کنفرانس بین‌المللی برگزار کرده است و در آذرماه ۱۴۰۰ نیز کنفرانس دیگری را در پیش داریم.

هدف انجمن رئولوژی، متمرکز کردن فعالیت‌ها در این زمینه علمی است. این انجمن و سایر انجمن‌ها با توجه به نیاز جامعه تشکیل می‌شوند و فعالیت‌های مورد نظر آن‌ها بر مبنای نیاز جامعه و صنعت است که در جهت پیشرفت و توسعه آن زمینه، قدم بردارند. این انجمن‌ها پذیرای دانشجویان، اساتید و افراد مختلف مربوط به آن حوزه هستند و امکانات خود را در اختیار آن‌ها (بسته به نیاز آن‌ها) قرار می‌دهند. از دیگر اهداف انجمن‌ها، انتشار نشریات مختلف در حوزه تخصصی خود و یا چاپ کتاب است که در این دو مورد، هم دانشجویان و اساتید مختلف، میتوانند فعال باشند.

ارکان انجمن‌های علمی مانند صنایع و دانشگاه‌ها باید تمامی امکانات خود شامل آزمایشگاه‌ها، کتابخانه و سایر امکانات خود را در اختیار اعضای خود قرار دهند و صرفاً به برگزاری کنفرانس‌ها و همایش‌ها اکتفا نکنند.

جایگاه مهندسی پلیمر را چه در سطح ملی و چه در سطح جهانی چگونه ارزیابی می‌کنید و آینده این رشته به چه سمتی

خواهد رفت؟

درباره پیشرفت‌ها و سیر تحولی مهندسی پلیمر در تاریخ باید گفت که با پیشرفت تکنولوژی، توانسته‌ایم که پلیمرهای جدیدتر و بهتری را بسازیم. تا سال ۱۹۸۰، تنها تولیدات محدودی در کل جامعه استفاده می‌شد و تولیدات، محدود به همین مواد خاص بود. بعد از آن دوره، استفاده از پلیمرهای طبیعی سرعت گرفت و تأثیر تولید پلیمرهای نفتی بر محیط زیست مورد توجه قرار گرفت. دهه ۱۹۸۰-۱۹۹۰ دوره‌ای با بیشترین مصرف پلاستیک بود. اما امروزه دیگر به آن صورت نیست؛ من خود در زمان فرصت مطالعاتی، مشاهده کردم که دیگر در فروشگاه‌ها، کیسه‌های پلاستیکی نمی‌دهند و مشتری باید کیسه یا جعبه به همراه داشته باشد. استفاده از پلاستیک منوط به این است که قابل بازیافت باشد. همچنین پلاستیک‌هایی طبیعی با کاربرد خاص که قیمت و ارزش افزوده بالایی دارند تولید شوند که در کشور تولید ثروت کند. طبیعی است که این گونه پلیمرها و سامانه‌ها دشوار هستند و نیاز به انجام تحقیق و توسعه بیشتر حس می‌شود. امروزه

بازار بایوپلیمرها در آمریکا رقمی بالغ بر ۲۰ میلیون دلار است. در واقع می‌توان گفت تولید پلیمر به سمت تخصصی شدن و استفاده از فناوری‌های مدرن پیش می‌رود.

با توجه به تخصصی‌تر شدن پلیمرها، بازار کار این حوزه نیز افت پیدا کرده و محدودتر شده است؛ من در سال پایانی تحصیل دوران کارشناسی خود، در دو بخش مشغول بودم؛ در جهاد دانشگاهی و در شرکت لاستیک سهند که پس از دوره کارآموزی خود در آنجا مشغول به کار شدم. این به دلیل نیاز جامعه به مهندسين پلیمر در آن دوران بود. در بدو استخدام، تا قبل از میانه دهه هشتاد شمسی، کمتر دانشجویی از مقطع کارشناسی ارشد را می‌توانستیم در دانشگاه ببینیم؛ چون اکثر دانشجویان در صنایع پلیمری مشغول به کار بودند. از اواخر دهه هشتاد بود که بازارکار این رشته محدود شد و دانشجویان در دانشگاه ماندند و تولید مقالات ISI رواج یافت. به نظر من این وضع، برای جامعه دانشجویی مفید نیست.

نباید صرفاً به مدرک توجه کرد؛ بسیاری از همکلاسی‌های بنده نیز در خارج از کشور، مدرک خود را دریافت کردند و به سراغ مشاغل غیر مرتبط با رشته خود از جمله نرم افزار، کارهای فرآیندی و... رفتند. رشته مهندسی پلیمر، با توجه به مواردی که ذکر شد بازارکار محدودی دارد و مهندسی شیمی، بازار کار نسبتاً بهتری دارد و جز در آمریکا، بازار کار رشته مهندسی پلیمر، به آن صورت مناسب نیست؛ زیرا متقاضی کم شده است. کار بر روی پلیمرها به صورت تخصصی نیاز به دستگاه‌ها و امکانات وسیعی دارد که هر دانشگاه یا صنعتی این امکانات را ندارد. دانشگاه‌های زیادی در اقصی نقاط کشور، رشته پلیمر را بدون اساتید تخصصی و امکانات مورد نیاز راه اندازی کرده‌اند که به ضرر رشد این رشته در کشور است. این بدیهی است که هر رشته‌ای که متقاضی بیشتری داشته باشد، بازارکار به نسبت بهتری هم خواهد داشت. امروزه در ایران نیز این محدودیت بازار کار مشاهده می‌شود، اما در اینجا به یک موضوع کلی اشاره می‌کنم:

اگر شما یک رشته دانشگاهی را گذرانده‌اید، اجباری بر این نیست که حتماً در حوزه مربوط به همان رشته مشغول به کار شوید؛ بهتر است به دنبال کاری که در ذهن خود دارید و به آن تعلق خاطر دارید بروید؛ حال ممکن است مربوط به رشته تخصصی شما باشد و یا مربوط به آن نباشد. لزومی ندارد هر رشته‌ای را که شروع کرده‌اید، حتماً عمر کاری خود را با آن زمینه تخصصی به پایان برسانید.

جمله‌ای که همیشه در کلاس‌های مقطع ارشد خود از بزرگی به کار می‌بریم این است: "بی سوادهای قرن ۲۱ ام کسانی نیستند که نتوانند بنویسند و بخوانند؛ بی‌سواد کسی است که نتواند آموخته‌های خود را فراموش کند تا به سراغ زمینه‌های جدید برود". اگر در زمینه رشته خود موفق نشدید بروید موارد دیگر را امتحان کنید. در کشورهای غربی به سراغ مهندسان دیگر کشورها می‌روند و فرزندان خودشان و نوابغ خودی را به سمت علوم انسانی سوق می‌دهند. نخبگان خود را در این علوم پرورش می‌دهند. بهترین مهندسان و متخصصان را از دیگر کشورها وارد می‌کنند.

اگر من بخواهم بهترین رشته‌ها را معرفی کنم، برترین رشته‌ها مربوط به رشته‌هایی در ارتباط با علوم انسانی و اجتماعی است؛ این رشته‌ها هستند که بر روی مغز و فکر آدمی، کار می‌کنند و از این منظر، علوم برتر محسوب می‌شوند.

نظر شما در مورد گرایش پلیمر رشته مهندسی شیمی در مقاطع تحصیلات تکمیلی چیست؟

در مورد دوره‌های بین رشته‌ای در مقطع ارشد موافق هستم و این مقطع باید به گونه‌ای باشد که فرد بتواند توان کاری را پیدا کند و به خصوص این مورد در رشته‌های شبیه به هم به کار می‌آید. مهندسان شیمی، به برخی دروس جبرانی نیاز دارند

تا در گرایش پلیمر مشغول به تحصیل بشوند و در نهایت هم می‌توانند پروژه‌های چه در حوزه پلیمر یا حوزه‌های دیگر در دست بگیرند و انگیزه‌هایی همچون ادامه شغل خانوادگی هم در این بخش دیده می‌شود؛ مثلاً اگر پدرتان در زمینه لاستیک و رزین‌ها فعالیت می‌کند، دانشجو تحصیلات خود را در این حوزه ادامه می‌دهد تا بتواند در آن کار، موفق تر عمل کند. به نظر من، در مقطع کارشناسی ارشد باید یک رشته‌ای انتخاب شود که زمینه ای کاری آینده شماست. نباید دوره تحصیلات تکمیلی صرفاً انجام کار تحقیقاتی، که امروزه در جامعه جا افتاده است، باشد. بهتر است تحقیقات علمی تنها در دوره دکترا انجام پذیرد.

به عنوان سخن آخر، اگر توصیه‌ای به دانشجویان دارید، بفرمایید.

دانشجویان باید ببینند که هدفشان چیست و به فکر کار برای خود باشند و ذهنشان را درگیر این کنند که می‌خواهند در آینده چه کاری انجام دهند. این امر جدای از رشته‌ای است که تحصیل می‌کنند. بیشتر جوانان به دنبال ادامه تحصیل در خارج از کشور هستند و البته کار خوبی هم است اما اینکه همه به آن سمت حرکت کنند خیلی جالب نیست. می‌توان در ایران هم با پشتکار موفق شد. دیگر آن زمان که همه انتظار استخدام شدن در یک منصب دولتی و پشت میز نشینی را داشتند، گذشته است و فرد باید بتواند برای آینده اش به عنوان یک کارآفرین برنامه‌ریزی کند.

راه‌های رسیدن به موفقیت، بسیار زیاد است و هر کس باید از دید خود به آن راه نگاه کند. بسیاری از افراد می‌خواهند با راحت طلبی به موفقیت برسند اما دیگر اینگونه نیست و نخواهد بود. همه باید سعی کنیم مهارت‌های جدیدی فرا بگیریم و همواره در پی افزون کردن مهارت‌های خود باشیم.

برای همه شما عزیزان آرزوی سلامتی و تندرستی دارم.



مصاحبه با دکتر نازنین اوجی

دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی دانشگاه UCL کشور انگلستان و دانشجوی در حال حاضر گرایش مهندسی مواد و مهندسی بافت دانشگاه UCL



مصاحبه کنندگان:



□ میلاد پناهی پرچین سفلی
□ دانشجوی ارشد مهندسی شیمی
□ گرایش زیست پزشکی دانشگاه تهران



□ مریم ساریخانی
□ دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی
□ دانشگاه تهران



□ احسان موسوی
□ دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی
□ دانشگاه تهران

سلام خانم دکتر، میتونید خودتون رو مختصراً معرفی کنید؟

نازنین اوجی هستم. ۳۰ ساله، دوره دکتریم رو یکساله که تموم کردم و دوره پست دکتري رو الان دارم می‌گذرونم در دانشگاه UCL. توی قسمت مهندسی زیستی (Bioengineering) هستم البته به پست دکتري کوچیکی در مهندسی شیمی داشتم ولی الان عمده کارم مربوط به مهندسی بافت هستش.

شما دبیرستان را در هم در انگستان و در مدرسه (ST JAMES' CATHO- St James (LIC HIGH SCHOOL) بوده‌اید، آیا در کودکی از ایران مهاجرت کردید؟

من تا دیپلم ایران بودم، ولی چون پیش دانشگاهی رو نخوندم، وقتی که اینجا مهاجرت کردیم، باید اون دوره A Level رو می‌گذروندیم که دو سال بود که یکیش برای مدرک AS و یکیش برای A2 بود که اون موقع، رفتم St James'.

آیا مثل ایران در کشور انگلستان هم برای ورود به دانشگاه باید آزمونی مثل کنکور بدهید؟

ما چهار تا مبحث داشتیم که من ریاضی، فیزیک، زیست و شیمی رو انتخاب کردم و اینجا بر اساس نمره‌هایی که میگیری توی این چهار تا مبحث، میتونی دانشگاه‌های مختلف رو انتخاب کنی. من ۵ تا گزینه داشتم که بین این‌ها، UCL (University College London) و Imperial College London (امپریال کالج لندن) رو انتخاب کردم چون که رنکینگ بالاتری نسبت به دانشگاه‌های دیگه دارن. بعد هم Open day (گردش آزاد) یک گردش آزاد روزی است که در آن به عموم اجازه داده می‌شود که از یک مدرسه، دانشگاه و یا موسسات دیگر بازدید کنند تا ببینند که چه شکلی است. میذارن که با فضا و امکانات دانشگاه آشنا بشی و اینطوری بودش که وارد UCL شدم.

وقتی که تازه وارد دبیرستان St James' شده بودین، چه تفاوت‌هایی رو نسبت به دبیرستان‌های ایران، احساس می‌کردین؟

خیلی تفاوت داشت! از این نظر که مثلاً ما تو ریاضی خیلی از اینا جلوتر بودیم و سطحش طوری بود که من با خواهرم که دو سال از من کوچیک‌تر هستش، با هم A Level رو شروع کردیم. حالا شاید چون من مدرسه دولتی اینجا رفتم، سطحشون اینجوری بود، ولی احساس می‌کنم ایران

تئوری رو قوی کار می‌کنند. من نمی‌فهمیدم که دانشجویایی که کنار من نشستند، چجوری می‌تونن این مطالبی که دارن درس می‌دند رو بفهمند. شاید باز بستگی داره آدم توی چه مدرسه‌ای باشه یا اینکه خصوصی شاید بهتر باشه ولی واقعا سطحی که تو ایران بخصوص تو ریاضی کار می‌کنند، قابل مقایسه نیست. برای فیزیک، این رو میتونم بگم که به آدم این امکان رو می‌دادن که از خلاقیت استفاده کنی و دستگاه‌های مختلف استفاده کنیم. ولی باز موقعی که می‌رسید به قسمت معادلات و تئوری درس، واقعا بنظرم تو ایران، سطحش خیلی بالاتره. ولی چیزی که من خودم برام سخت‌تر بود، زیست بود. با اینکه نمرات درس‌های دیگرم A بود، تو زیست B بودش. چون اونو من همه کتاب رو از صفحه اول تا آخر حفظ کردم ولی اصلاً هیچ ربطی نداشت. یعنی فقط براشون مهم نبود که حفظ بکنی و توی امتحان، اون برام سخت‌تر بود. شیمی هم می‌تونم بگم که نسبتاً سطح اینجا، تقریباً شبیه ایران بود ولی باز میگم توی ریاضی بخصوص، ایران سطح بالاتری داره.

رفتار معلم‌ها با دانش‌آموزها چطور بود و چه تفاوتی داشت؟

من یادمه اولین روز اول که من و خواهرم وارد کلاس شدیم، وقتی که معلم اومد، ما از جامون بلند شدیم بعد همه به ما نگاه می‌کردند که شما چیکار می‌کنید! احترامی که ما برای معلم می‌گذاریم و تو فرهنگمون هست رو ندارند. بیشتر به عنوان یه دوست می‌بینند و الان مثلاً شما به من دکتر می‌گید، برام یکم عجیب هست. اینجا من رو با اسم صدا می‌کنند و من پروفیسورم رو جانانان (Professor Jonathan Knowles) صدا می‌کنم. کلاً رابطه‌ها دوستانه‌تر هست. بخصوص وقتی که تو دبیرستان بودیم. تو دبیرستان راستش یکم از دوستانه هم می‌گذشت و یه حالت بی‌ادبی هم می‌گرفت. یعنی بچه‌ها واقعا براشون مهم نبود که کی وارد میشه کی نمیشه، یعنی اون حالت مودبانه رو اصلاً نداشت ولی خوب شاید از جهاتی خوب باشه. مثلاً من خودم احساس می‌کردم اونطوری راحت نیستم که تو کلاس حرف بزنم و حتماً باید یه چیز درستی رو بگم ولی اینا از بچگی یاد گرفتن که هرچی به ذهنتون میاد رو به اشتراک بذارید و بگین و شاید این از نکات مثبتش باشه ولی خوب برای من خیلی عجیب بود که اون احترامی که ما از بچگی بهش عادت کردیم رو ندارند.

بستگی به رشته داشت. می‌دونم برای پزشکی، اینجا خیلی براشون مهمه که بجز مباحثی که می‌خونی، کارهای دیگه مثل خیریه انجام داده باشی و اینها خیلی کمک می‌کنه ولی برای رشته ی من یه بیانیه شخصی نیاز بود که

چرا مهندسی شیمی رو انتخاب کردید؟

اینو خیلیا بهم میگن چون من نمراتی رو داشتم که می‌تونستم پزشکی هم برم ولی از ایران، تو ذهنم بود که برم مهندسی ژنتیک بخونم. ولی وقتی که open day اینجا رو دیدم و با بیوشیمی آشنا شدم، خیلی برام جالب بود. تو ذهنم این بود که من می‌خوام وارد یه رشته‌ای بشم که بیشتر به پیشگیری کمک بکنم تا به درمان و این ایده رو همیشه

از محیط دانشگاه بیشتر برامون توضیح میدید؟ برخورد اساتید با دانشجویان یا امکانات در دسترس دانشجویان.

فضای دانشگاه خیلی با فضای 'St Jam' فرق داشت چون توی 'St James' همه انگلیسی بودند و همه‌ی انگلیسی‌ها دوست داشتند خارج لندن برونند که تجربه دور بودن از خانواده رو بدست بیارند ولی ما با سیستم ایرانی، همه می‌خواستیم توی یک شهر با خانواده باشیم. پس وقتی که رفتم UCL دیدم خیلی یه دفعه بین المللی شد و می‌تونم بگم، ۶۰ درصد چینی بودن و همشون هم باهم بودند و خیلی گروه گروه بودش و اون تجربه‌ای که میدیدم دوستانم تو ایران تو دوره دانشگاه دارند و چجوری باهم دوست میشن و احساس میکنم تجربه قشنگی رو بجز محیط آکادمیک داشتن رو من نداشتم و برای من اونطوری نبود. خلاصه کلاس‌های

اونوقت همین استقلال رو شما در رابطه با آزمایشگاه‌ها و کلا استفاده از امکانات دانشگاه هم داشتید؟

برای آزمایشگاه، باز فرقش رو توی دوره کارشناسی با دوره فوق درک احساس میکردی که تو فوق دیگه خیلی تو دست خودت می‌شد ولی شما در سال ۲۰۱۲ حدود ۵ ماه در یک شرکت دارویی به نام سانوفی در شهر ردینگ کار کردید. لطفاً از این شرکت و فعالیت‌هایی که در آنجا انجام دادهايد برای ما بگید. از آزمایشگاه‌های این شرکت و اینکه چه فعالیت‌هایی در آنها انجام می‌شه؟ چطور شد که تصمیم گرفتید آنجا کار کنید؟

بله، در Redding medical در جنوب انگلیس یک شعبه‌ای داشت که اونا بیشتر روی درمان سرطان (Cancer therapy) کار می‌کردن ولی من چون مهندسی بیوشیمیایی (Biochemical Engineering) بودیم روی کرماتوگرافی یونی خیلی کار کرده بودیم و از تکنیک‌هایی که یاد گرفته بودیم بیشتر برای Recombinant DNA استفاده می‌کردیم و Vecto‌هایی از E. coli را استفاده می‌کردیم اون چیزی که تو ذهن من بودش نبود راستش، اینکه الان میری و کلی کارهای بزرگ انجام میدی! بیشتر اینجور کمپانی‌ها اینجوری هستن که مثلاً یه تکنیکی رو که بلد هستی که برای من اون موقع کرماتوگرافی یونی بودش، بهت نمونه‌ها رو میدن و شما مثلاً از ساعت ۹ تا ۵ براشون مثل موش آزمایشگاهی براشون کار میکنی. ولی به هر حال، جالب بود که آدم توی یکی از کمپانی‌های بزرگ باشه و رو هم رفته، تجربه خوبی بود ولی اون چیزی که من فکر میکردم باشه مثل R&D که آدم بتونه تحقیقش رو خودش انجام بده نبودش. بیشتر همون حالت تکنیسین بود ولی خوب شاید بعد دکتری فرق داشته باشه.

بعد این رو به عنوان همون کارآموزی رفته بودین دیگه؟

بله. این امکان رو به دانشجویها میدن که بهش کاریابی (Placement) میگن که قسمتی از رشته تون رو بتونین تو یه کمپانی که مربوط هست بگذرونین که با محیط کاری آشنا بشین.

شما کارشناسی ارشد را در دانشگاه UCL و در گرایش مهندسی بافت ادامه تحصیل داده‌اید. علت انتخاب این گرایش چیست؟

توی بیوشیمی که بودیم، آپشن‌های مختلفی رو بهمون دادند که گفتند بیشتر می‌تونید برین سمت بیوتکنولوژی، یا مهندسی بافت یا وارد مهندسی شیمی بشین. در واقع سه تا شاخه بود که من پروژه‌ام در سال آخر کارشناسیم روی بیوتکنولوژی بود که روی یه دستگاهی کار می‌کردم که بهش پیل سوختی میکروبی (Microbial fuel cell (MFC)) می‌گفتیم که همزمان با تصفیه آب، می‌تونستیم ازش برق هم تولید کنیم. که با اینکه کاربردی بود، احساس کردم که اصلاً علاقه من نیست و موقعی که بیشتر با مهندسی بافت آشنا شدم و برام توضیح دادن و فهمیدم که یکی از گرایش‌هامون این هست، قشنگ برام شبیه یک رویا بود. البته اون تصویری که من داشتم این بود که وارد این رشته می‌شم و می‌تونم اندامی رو بسازم و وارد کمپانی می‌شه. ولی طبیعتاً اینطوری نبود و خیلی خیلی تحقیق محور هستش و بجز یک چندتا که بدونین، نمیدونم بشناسین مثل جاهایی که درست کرده باشند اندام مصنوعی هنوز خیلی می‌شه بیشتر بخش تحقیقاتی. با این حال، فکر و مفهوم اصلی‌ش خیلی برام جالب بود. اینکه آدم بتونه توی آزمایشگاه، جاهایی از بدن رو که احتیاج به ترمیم دارن رو بتونه بسازه و بخاطر همین وارد ارشد شدم.

لطفاً درباره‌ی استاد راهنمای خود و اینکه چطور شد ایشون رو انتخاب کردید برای ما بگید. معیارشون برای انتخاب دانشجو چی هست؟

این رشته‌ای که خوندیم زیست مواد و مهندسی بافت، میرفت به دپارتمان مهندسی مکانیک، یعنی من وارد دپارتمان مهندسی مکانیک شدم و وقتی که درس‌هام تموم شد و وقت این شد که پروژه‌مون رو انتخاب بکنیم، من احساس کردم که همه‌ی رشته‌ها، تمرکزشون روی مهندسی بود و من نمی‌خواستم که وارد مهندسی بشم، می‌خواستم که با مهندسی بافت آشنا بشم و به من گفتن که می‌تونید برید و توی دپارتمان‌های دیگه‌ای دانشگاه UCL انتخاب بکنید و من اون موقع که نگاه می‌کردم، توی بیمارستان رویال فری (Royal Free Hospital)، یه قسمت نانوتکنولوژی بود. موقعی که لیست پروژه‌ها رو دیدم، برام خیلی جالب بود که دیدم پروژه‌هایی بود که همه روی پروژه‌های تقریباً شبیه هم کار می‌کنند. که واقعا پایه‌ش مهندسی بافت بود. اون موقع بود که اومدم به این سمت.

لطفاً درباره‌ی پایان‌نامه‌تون برای ما بگید. اینکه HA-POSS-PCU چی هست و چه کاربردی داره و چرا این موضوع را انتخاب کردید؟

اون موقع از پلیمری استفاده می‌کردیم که POSS-PCU بودش که البته دچار یه مشکلاتی شدش که یه جور بدشانسی بودش که اون تابستونی که من رو این کار می‌کردم، هم استاد راهنمام دچار مشکل شد و کلاً گفتن که این پلیمر خیلی زود وارد این بازار شده و چون دو تا بیمار از این پلیمر استفاده کرده بودن که اولین جایگزینی نای (tracheal replacement) توی دنیا صورت گرفت، از طریق همین پلیمر بود. اونم پلیمری بود که با پودر هیدروکسی آپاتیت (hydroxyapatite) مخلوط می‌کردیم و با استفاده از چاپ سه بعدی هدفمون این بود که بتونیم چاپ کنیم و برای دیسک کمر استفاده بکنیم که باز برام پروژه‌ی خیلی جالبی بود ولی متأسفانه قرار بود اونجا بمونم و همون پروژه رو ادامه بدم ولی مشکلاتی که پیش اومد که آقای دکتر الکساندر سیف علیان بودن که دچار مشکل شدند و از دانشگاه UCL رفتند.

درباره‌ی داربست‌های سه بعدی برامون بگید؟ چه کاربردی دارند؟

مفهوم داربست‌ها این هستش که وقتی که وارد بدن میشه بعد یه مدت از سیستم‌هایی استفاده میکنیم که تجزیه میشه و دارو بیوشیمیایی رو به بدن میده که میتونه درمان سلولی باشه یا بافت رو بازسازی بکنه و جایگذاری بکنه. این مفهومش هستش که خیلی ساده به نظر میاد ولی خیلی خیلی میتونه پیچیده باشه. خوب بستگی داره بافت کجا باشه، بافت سخت یا نرم باشه. اینها چیزایی هستن که خیلی روی چگونگی بازسازی بافت، تاثیر داره. ولی این ایده کلی و اصلیش هستش.

نقش داربست‌ها در تحقیقات تون رو میتونید بیشتر توضیح بدید؟

تحقیقاتی که من انجام دادم بیشتر روی استخوان بود. اول که روی دیسک کمر بود و بعداً توی دکتری، روی صورت. اول از همه، می‌بینیم که چه چیزی باعث میشه که ما این بافت رو نیاز داشته باشیم، میتونه سرطان، میتونه بعد از تصادف یا مشکلات ژنتیکی باشه. بعد بر اساس اون بجای اینکه چندتا عمل انجام بشه، بر اساس سی تی اسکنی که از بیمار می‌گیریم، بتونیم اینو بسازیم و جایگزین بکنیم. اینم باز برمی‌گرده به ماده‌ای که داریم استفاده می‌کنیم، برای همین، من بیشتر تمرکز رو روی زیست مواد کردم که ببینیم چجوری می‌تونیم این ماده رو بسازیم که اولاً وقتی که وارد بدن میشه، زیست‌سازگار باشه که بدن دفعش نکنه و بتونیم موادی رو بهش اضافه بکنیم که زیست فعال (bioactive) هم باشه یعنی به بدن این راهنما رو بده که اول با هم ادغام بشن و بعد، بافت‌ها شروع به بازسازی بکنند. این زیست فعال بودن یکی از مهم‌ترین فاکتورها هستش مثلاً ایمپلنت فلز که توی اورتوپد استفاده میشه، خیلی عالی‌ه ولی فقط توی بدن می‌مونه و میره توی گروه زیست خنثی‌ها (bioinerts). وقتی که روی استخوان رو می‌بینیم، می‌بینیم که این زیست فعال بودن از موادی بنام هیدروکسی آپاتیت (hydroxyapatite) میاد، و ما این پلیمر رو با پوشاندن از هیدروکسی آپاتیت (hydroxyapatite)، میتونیم این امکان رو به بدن بدیم که ترمیم بشه.

از همکاری خودتون با مؤسسه‌ی بهداشت کودک دانشگاه UCL برای ما بگید. وظیفه‌تون در این مؤسسه چی هست؟

اتفاقاً دیروز توی اخبار دیدم اون گروهی که باهاشون کار می‌کردم، یه دوقولویی که سرشون به هم چسبیده بود رو از هم جدا کردند. اونا در قسمت جراحی جمجمه و صورت (craniofacial surgery) بودن که من با یه گروهی کار می‌کردم توی مؤسسه‌ی بهداشت کودک (UCL Institute of Child Health) که با کمپانی آلمانی KLS Martin همکاری داشتیم و این برمی‌گشت به قسمت بایومکانیک. ما سی تی اسکن‌های بیماران Great Ormond street hospital که بیمارستان مخصوص کودکان هستش رو می‌گرفتیم بر اساس اون روی بیماری کار می‌کردید به نام کرانیوسینوستوسیس (Craniosynostosis) که وقتی هست که بخاطر مشکلات ژنتیکی، باعث میشه جمجمه‌ی کودکان دفرمه بشه. ما در واقع روی دستگاهی کار می‌کردیم به نام RED Frame که یک Distractor device هست که با برنامه‌ای به نام میمیکس (Mimics) یا سالدورکس (Solidworks) تعیین می‌کردیم که چقدر نیرو به صورت وارد بشه. اینجا جایی بود که من بیشتر با برنامه‌نویسی آشنا شدم و احساس می‌کنم به عنوان یک مهندس، تا اون موقع، خیلی با برنامه‌نویسی آشنا نبودم و اونجا بود که تنظیم می‌کردیم چقدر نیرو به صورت وارد بشه که چطوری بتونه شکل صورت رو درست بکنه.

از فعالیتهای روزانه‌ی خودتون برای ما بگید. کرونا تا چه حد روی برنامه‌های روزانه‌ی شما تأثیر گذاشت؟

من تقریباً پارسال که آزمایش‌های دکتری‌ام که تموم شد، خوش شانسیم این بود که یه فوق دکتری رو هم‌زمانی که تز ام رو می‌نوشتم از دپارتمان شیمی گرفتم. که هم‌زمان با گرفتن فوق دکتری، یکی از سخت‌ترین دورانم هم بود چون نوشتن تز خودش خیلی کار سختی هستش و اون فوق دکتری رو هم انجام می‌دادم. قبل کرونا، روزم رو تقسیم می‌کردم به نوشتن تز و رفتن به قسمت شیمی که روی آزمایشام کار بکنم. خیلی شلوغ بود و همه چیز عالی بود تا کرونا! کرونا که میشه، تقریباً وقت دفاعم هم بود و من گفتم که می‌خوام صبر بکنم و می‌خوام که رو در رو ارائه بدم و تجربه‌ی ۵ ساعته رو نمی‌خوام آنلاین بدم که چند ماه گذشت و راضی شدم که از طریق مجازی باشه. تا یه مدتی که سعی می‌کردم ترم رو بخونم و بفهمم اصلاً چی نوشتم و وقتی که اون تموم شد و دفاع رو داشتیم، فوق دکتری‌ای که الان شروع کردم با قسمت زیست مواد و مهندسی بافت هستش که یجوری ادامه دکتری خودم میشه و می‌تونم بگم کرونا خیلی زیاد تأثیر گذاشته چون یه بدشانسی که ما داشتیم این بود که اسباب‌کشی داشتیم از یه آزمایشگاه به یه آزمایشگاه دیگه. ساختمان حاضر نبود و خلاصه الان داریم اسباب‌کشی‌ها رو انجام می‌دیدم و همه‌ی دستگاه‌هایی رو که داریم رو وصل می‌کنیم ولی دیگه بیشتر کارها به خصوص که الان فوق دکتری هستم که میشه نوشتن گرانته و نوشتن مقاله، همه از خونه هستش و برای من خیلی سخت هستش و چون من محیط کار بودن رو خیلی ترجیح می‌دم تا اینکه همه چیز از خونه انجام بشه و همش جلسه آنلاین باشه و واقعاً فکر می‌کنم از نظر بهره‌وری هیچ کسی خصوصاً توی دانشگاه‌ها مثل قبل نیستن چون خیلی از کارها هست مثل استفاده از آزمایشگاه، مثلاً می‌گن که اجازه دسترسی رو دارید ولی باید یک قسمتی رو رزرو بکنید و توی اون یک ساعت باید بریم از اون دستگاه استفاده کنیم و طبیعتاً خیلی تأثیر گذاشته.

از کارآموزی‌های تابستانی که در دانشگاه UCL برگزار می‌شود برای ما بگویید. تا چه حد دانشجویان ایرانی موفق به قبولی در این کارآموزی‌ها می‌شوند؟

از زمان‌های این کارآموزی‌ها اطلاعی دارید؟

اینم باز به چیزی هستش که خیلی به رشته و دانشگاهی که انتخاب کردیم ربط داشت. مثلاً خواهرم معماری می‌خوند و دوستای دیگه‌ای داشتم که میدیدم توی قسمت‌های مختلف بودند، به اون اندازه این امکان براشون نبود و یکی از دلایلی که من خیلی دوست داشتم که مهندسی بیوشیمی رو بخونم و در UCL باشم این بود که یکی از چیزهایی که توی اون روزی که به ما معرفی میکردند گفتند، همین بود که خیلی با کمپانی‌ها و صنعت در تماس هستن و این فکر می‌کنم به چیز تقریباً خاصی برای جایی بودش که من رفتم و باز هم احساس می‌کنم که به اون اندازه که باید باشه، اینجا هم نیست. چون مثلاً اگر بخوایم فکر کنیم، در حومه لندن، خیلی کمپانی هستن که به راحتی دانشجویها میتونند وارد بشوند. ولی بیشتر می‌گذارند دست دانشجوی که خودتون برید و پیدا کنید. این که به شما این پیشنهاد رو بدن، نیست.

شما به مدت ۶ ماه به عنوان دستیار ویراستار (Editorial assistant) در مجله Science, Medicine and Society Network در دانشگاه UCL بوده‌اید. لطفاً درباره‌ی فعالیت‌های خود در این مجموعه برای ما بگویید. اینکه این مجموعه در دانشگاه UCL به چه فعالیت‌هایی مشغول است؟ لطفاً با جزئیات بیشتری توضیح دهید.

این هم دوره‌ای بود که کارشناسی ارشدم تموم شده بود و به دنبال دکتری بودم. تقریباً ۶ ماهش رو در ICH (Institute of Child Health) بودم و بقیه‌اش رو توی این انجمن گذروندم. اون‌ها روی یک مقاله‌ای کار می‌کردند که از مجله The Lancet Commissions چاپ شده بود و من جزو یکی از نویسنده‌ها بودم. می‌دونستم که برای دکتری، خیلی مهم هست که مقاله نوشته باشم و اینجا رفتیم که یک سری از پروفیسورهای بزرگ در UCL رو دور هم جمع بکنیم و بتونیم مقاله رو بنویسیم. عنوان مقاله Stem Cell and Regenerative Medicine و در مجله The Lancet Commissions چاپ شده است.

شما در مراسم Winners Prize and Dinner Society Ramsay 2020 نفر دوم شدید، لطفاً درباره‌ی این مراسم بیشتر توضیح دهید.

این فوق دکتری قبلی که توی قسمت مهندسی شیمی انجام می‌دادم، الهام گرفته از محیط زیست بود. یک گروهی بود که اصطلاحاً از طبیعت الهام می‌گرفتن که ببینن چجوری می‌شه این رو وارد تحقیقات کرد. پروژه‌ای که من داشتم، اسمش شیمی الهام گرفته شده از صدف (Mussel inspired chemistry) بود که از روی یک Mussel (صدف) تحقیق می‌کنیم که چگونه روی یک سطح می‌چسبند. من روی این پروژه کار کردم و این پروژه‌ای که انجام دادم این بود که یک پلیمری به اسم polyhydroxy alkaloid ما با پلی دوپامین کوئت می‌کردیم و این اجازه می‌داد که این پلیمر به سطوح به اصطلاح خیس، بچسبه. من روی ترمیم مخاط دهان Oral mucosal patch برای وارد شدن به دهان و دارورسانی هدفمند (target drug delivery)، کار می‌کردم. یعنی به زخمهایی که در دهان هست بتونه دارورسانی هدفمند داشته باشه. من روی این پروژه ۶ ماه کار کردم و جوری که این پروژه جلو رفت، براشون خاص بود. بخاطر همین، این جایزه رو به من دادند.

شما در مقطع دکتری در زمینه‌ی مواد قابل تجزیه در چاپگرهای سه بعدی در دانشگاه UCL ادامه تحصیل دادید؛ از این دوران و فعالیت‌های خود برای ما

بگویید و اینکه کاربرد فعالیت‌های شما در این مقطع چیست؟

در قسمتی که من روی دکترام کار کردم، در زمینه‌های دندان پزشکی هم کار می‌کردند. و من آشنایی با موادی که آن‌ها باهاش کار می‌کردند رو داشتم. برای پر کردن دندان از یک آغازگر نوری (Photo initiator) استفاده می‌کنند و ما با استاد راهنما فکر کردیم که به راحتی می‌تونیم فرمول آن را کمی تغییر بدیم که بتونیم از اون به عنوان یک پلیمر مناسب برای ترمیم استخوان استفاده کنیم. اینجوری بود که ایده‌اش اومد. بعدش می‌رسه به سنتز پلیمرمون CSMA-1 و CSMA-2 که این با همکاری یه دانشگاهی در کره جنوبی بود. این پلیمر ما یک آغازگر نوری داره و یک Bulk monomer. می‌خواستیم که Bulk monomer حتماً تجزیه پذیر باشه و شیمیدان‌های پلیمری اهل کره، فرمول اون رو ساختند و ما بیشتر روی آغازگر نوری‌اش کار کردیم که در نهایت به تری اتیلن گلیکول دی متاکریلات (Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA)) رسیدیم و این با سعی و خطا، بدست اومده است.

از همکاری خود با Eastman Dental Institute و RAFT برای ما بگویید. ارتباط دانشگاه UCL با آن‌ها چیست و شما چه فعالیت‌هایی را در آنجا انجام

می‌دهید؟ لطفاً با جزئیات بیشتری از فعالیت‌های این مؤسسات و فعالیت‌های خود و نقش مهندسان شیمی در آن‌ها برای ما بگویید.

جایی بود که من دکتری رو شروع کردم و همینطور که گفتم چون قسمت دندانپزشکی هست، امکانات مواد و پلیمرهایی که ما در دندان پزشکی استفاده می‌شوند را داشتیم. و همین، باعث شد تحقیقاتم روی قسمت بازسازی صورت متمرکز شود و همکاری جالبی شکل گرفت و خیلی راحت در آن قسمت به بیمارانی دسترسی داشتیم که می‌خواستند دندان‌شان را پر کنند و ببینند که پلیمر به چه صورت هست. براساس چیزهایی که داشتیم، تونستیم تحقیقات رو به سمت بازسازی صورت و استفاده از پلیمر برای قسمت‌های مختلف صورت ببریم. درکل این دوره که حدود سه سال و نیم درخشان بود، سال اول به پیدا کردن پلیمر مناسب گذشت که در آن دوران تونستم کنفرانس‌های مختلفی برم و یکی از بهترین دوران در قسمت آکادمیک برای من بود؛ چون تونستم با جاهای خیلی مختلفی آشنا بشم و این شامل همکاری و آشنایی با دانشگاه‌های مختلف شد.

از دوران پساکتری خود و فعالیت‌های خود در مرکز مهندسی Nature-Inspired برای ما بگویید. فعالیت‌های این مرکز چیست و شما چه مسئولیت‌هایی

در این مرکز دارید؟

این دوران برای من خیلی جالب بود؛ به خاطر اینکه احساس می‌کنم خیلی با کارهایی که تا اون مقطع انجام داده بودم، متفاوت بود و بیشتر وارد شیمی می‌شد. برام جالب بود که با ساختن یک محلولی که شامل پلی دوپامین بود می‌تونستیم این پلیمر و چسبناک بکنیم که بتونه به جاهایی که در دهان هست، بچسبه. این پروژه من تقریباً شش ماه بود. یک قسمتیش مختص به ساختن پلیمر و محلول بود و بعد آزمایش‌های مختلف که ببینیم این پلیمر چطوری کار می‌کند.

از دانشکده‌ی مهندسی شیمی دانشگاه UCL برای ما بگویید. اینکه چه درس‌هایی برای شما در کارشناسی ارائه شد و چه فعالیت‌هایی در دوران کارشناسی

انجام دادید؟

می‌تونم بگم قسمت شیمی یکی از قوی‌ترین قسمت‌های UCL می‌تونه باشه؛ به خاطر اینکه می‌تونم با کمپانی‌های مختلف در ارتباط باشم و فقط محدود به ریسرچ نیست و این برام خیلی جالبه. کلاً تو هر قسمتی که می‌رفتم، چه نفت و گاز باشه یا داروسازی یا ...، و آزمایش‌هایی که انجام می‌دادم، با یک هدف نهایی بود و این چیزی هست که احساس می‌کنم توی دیپارتمانی که الان هستم، کمتر دیده شده و صرفاً، آزمایش‌هایی که اینجا توی East-man Dental Institute انجام میشه برای اینه که یک مقاله قشنگ بیرون بیاد. ولی چیزی که تو شیمی دوست داشتم این بود که با هدف نهایی، هر چیزی رو برنامه ریزی می‌کردند.

آیا مسابقات علمی برای مهندسی شیمی مانند کمیکار در دانشگاه UCL سالانه برگزار می‌شود؟ از آزمون‌هایی مثل المپاد در دانشگاه UCL برای ما

بگویید.

من آشنایی ندارم. یعنی تنها چیزی که برگزار می‌شه برای دانشجویان بین المللی هست که براساس نمره‌ای که دارند و فعالیت‌هایی که در دانشگاه انجام دادند، می‌تونن برای این رویداد اقدام بکنند و هرکسی که سطحش بالاتر باشه می‌تونه یک کمک هزینه تحصیلی دریافت کنه یا اینکه شهریشون پوشش داده بشه.

از ارتباط صنعت و کار در دانشگاه UCL برای ما بگویید. آیا بستر برای اشتغال دانشجویان بعد از فارغ‌التحصیلی فراهم است؟

این موضوع خیلی بستگی داره به قسمتی که هستید. من حس می‌کنم اگر در قسمت مهندسی بیوشیمی یا مهندسی شیمی ادامه می‌دادم باز به دلیل اینکه با کمپانی‌ها رابطه بیشتری دارند، امکان بیشتری برای اشتغال وجود دارد. ولی من به سمت مهندسی بافت رفتم؛ چون علاقه‌ام در این زمینه بود. این زمینه خیلی وارد قسمت آکادمی و ریسرچ میشه و امکان وارد شدن به کمپانی‌ها کمتره؛ مگر اینکه با کارهایی که قبلاً انجام دادم بتونم یا اینکه فلوشیپ بگیرم و برای استاد شدن رقابت بکنم و این کار، خیلی خیلی رقابتیه و سخته. احساس می‌کنم دانشگاه هم خیلی نمی‌تونه شمارو حمایت کنه؛ مگر اینکه مقاله‌های زیادی بنویسید و کارهای زیادی انجام بدید تا بتونید اپلیکیشنتونو قوی بکنید.

از زندگی در کشور انگلستان برای ما بگویید. تفاوت فرهنگ مردم انگلستان با مردم ایران چیست؟ برخورد آنها با یک ایرانی چطور است؟

در لندن انقدر افراد از همه جا هستند که اصلاً تفاوت‌ها احساس نمیشه. ولی خب حس می‌کنم این موضوع فقط توی لندن اتفاق افتاده و شهرهای

دیگه ممکنه کمی سخت‌تر باشه؛ به خصوص سمت شمال انگلیس شاید زیاد راحت نباشه. با این حال من تا حالا تجربه خیلی خوبی داشتم و هیچوقت رفتار بدی رو احساس نکردم.

از دانشجویان و اساتید ایرانی در دانشگاه UCL که در حال تحصیل و تدریس هستند برای ما بگویند و اینکه سالانه چه تعداد دانشجو به دانشگاه

UCL اپلای می‌کنند و معیار پذیرش دانشگاه و اساتید برای این دانشجویان چیست؟

در UCL تقریباً تعداد دانشجویهای ایرانی زیاد هست و معیارشون، بیشتر نمره‌ها و معدل هست و اینکه بتونن نشون بدن چرا واقعا می‌خوان رشته مورد نظرشون رو در این دانشگاه بخوندند. این در قسمت اپلیکیشن خیلی مهمه براشون؛ یعنی فقط به نمره نگاه نمی‌کنند و دوست دارند هدفشون رو کامل بدونند.

سوالات تخصصی

شما در یکی از مقالات خود CSMA-1 و CSMA-2 با استفاده از (2-hydroxyethyl) isosorbide را سنتز کرده‌اید، لطفاً درباره‌ی این ماده و نحوه‌ی

سنتز آن برای ما توضیح دهید و بگویند که کاربرد این ماده چیست و نحوه‌ی سنتز این ماده چگونه است؟

خوب این پلیمر برای اولین بار هست که تولید میشه و ما در مراحل نهایی ثبت اختراع اون هستیم. فقط در همین حد می‌تونم بگم که اون قسمت BHIS که قبلاً روش کار می‌شده، از طریق دانشگاه دنکوک (Dankook) در کره کامل شد و کار ما بیشتر ایجاد کردن یک پلیمری بود که در حین سختی، می‌تونه اون کشسانی و سیالیت رو داشته باشه. و این رو هم می‌گم که با بررسی سیستم‌های مشابه بود که ما آخر TEGDMA رو انتخاب کردیم و ما می‌خواستیم یک کامپوزیت خیلی ساده باشه که با استفاده از این دو مخلوط، بتونه به ما این اجازه رو بده که ما از سیستم پودری مثل کلسیم فسفات‌های مختلف استفاده بکنیم. نحوه دقیق سنتز در ثبت اختراع هست که وقتی که ثبت بشه، انشالله می‌تونم بهتون بگم.

شما مقاله‌ای درباره‌ی سلول‌های بنیادی و داروی احیا کننده دارید، لطفاً درباره‌ی این مقاله و از مسئولیت خود در این مقاله بگویند.

این توی ژورنال لنست که یکی از بزرگ‌ترین ژورنال‌ها هست. و مربوط به اون زمانی می‌شد که نقش ما این بود که به سختی، همه‌ی پروفیسورهای بزرگ UCL رو کنار هم بیاریم؛ افرادی که خیلی تو این دانشگاه مطرح هستن و هیچوقت، وقت برای کسی ندارن! ما سعی کردیم دنبالشون بکنیم که اینا کنار هم بیان. چیزی که من توی اون قسمت نوشتیم، درباره مقررات و قوانین حول سلول‌های بنیادی بود که می‌خواستیم مقایسه کنیم توی جهان، تا چه حدی میشه از سلول‌های بنیادی استفاده کرد. اتفاقاً خیلی جالب بود که توی جلسه‌هایی که داشتیم، من از خاورمیانه می‌گفتم و اینکه تو ایران، با تمام مشکلات، انقدر سلول‌های بنیادی پیشرفته هست و کلی تحقیق انجام می‌شه و نسبت به کشورهای منطقه، از قوانین راحت‌تری نسبت به این موضوع برخوردار هست و این موضوع خیلی براشون جالب بود.

در اینجا سوال‌های ما به پایان می‌رسد. در پایان کلماتی مطرح می‌شود که لطفاً با یک کلمه یا در قالب یک جمله حس خود را نسبت به آن کلمه بگویید.

➤ ST JAMES' CATHOLIC HIGH SCHOOL ؟

روزهای پر از آرزو

➤ دانشگاه UCL ؟

بهترین و سخت‌ترین روز های زندگی

➤ نیلوفر اوجی ؟

بهترین دوست و خواهر

➤ دکتر Elena García-Gareta ؟

یک استاد راهنمای پشتیبان

➤ سهیل امیرانی ؟

➤ زندگی در انگلستان ؟

تلخ و شیرین

➤ ایران ؟

نوستالژی

➤ روزی بازگشت به وطن ؟

امیدوارم

➤ حرفی مانده که نپرسیده باشم و دلتان بخواهد بگویید ؟

خیلی ممنون که این فرصت رو در اختیار من قرار دادید و امیدوارم در آینده بتوانیم باهم همکاری داشته باشیم و در تماس باشیم.

مزایا و معایب انرژی‌های تجدیدپذیر با بررسی مقایسه‌ای در بخش

نیروگاه‌ها

منابع تجدیدپذیر با وجود پیشرفت‌ها و توسعه‌هایی که داشتند، همچنان منبع اصلی تأمین انرژی نیستند و در سبد انرژی، جایگاه واقعی خود را به دست نیاورده‌اند؛ با این حال، هم‌اکنون در برخی از کشورهای توسعه‌یافته، سهم قابل توجهی را در تأمین برق دارند. در حال حاضر، تصور بر این است که حدود ۲۰ درصد از انرژی جهان از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود و این آمار، در حال رشد است. منابع انرژی تجدیدپذیر در صنعت برق به عنوان یک منبع تأمین انرژی ثانویه و به گونه‌ای در اولویت‌های بعدی صنعت برق در حوزه تأمین انرژی قرار دارد. اصلی‌ترین دلیل برای توسعه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، حفظ محیط‌زیست و پایداری این نوع منابع انرژی است..



رضا عباسی

منابع تجدیدپذیر به عنوان منبع مکمل تأمین انرژی، در صنایع برق به کار گرفته می‌شوند؛ با این حال در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، به عنوان یک منبع اصلی تأمین انرژی نیز به کار گرفته می‌شوند. منابع تجدیدپذیر در تولید انرژی برق مانند سوخت‌های فسیلی، تولید گازهای گلخانه‌ای را به همراه ندارند و استفاده از سوخت‌های فسیلی را در آینده در این صنعت، محدود می‌کند. همین خود اصلی‌ترین دلیل برافزایش منابع انرژی تجدیدپذیر و سرمایه‌گذاری برای گسترش آن‌ها، می‌باشد.

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر که در واقع جایگزین سوخت‌های فسیلی خواهند بود، در اقتصاد ملی-فردی نیز تأثیرات خود را دارد و حرکتی رو به رشد خواهد بود.

منابع انرژی تجدیدپذیر



در حال حاضر، سوخت‌های فسیلی بخش اعظمی از انرژی را فراهم می‌کنند. با این حال، با توجه به محدودیت‌های منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های

زیست‌محیطی ایجاد شده بر اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی این امکان را فراهم ساخته تا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، در آینده جنبه عمومی پیدا کند.

بدین ترتیب، برای اینکه جهان آینده مملو از انرژی‌های تجدیدپذیر باشد و ظرفیت مواجهه با آن را داشته باشد، باید مقدمات آن را فراهم کرد تا در آینده به راحتی بتوان انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر را کاملاً جایگزین سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدید ناپذیر کرد.

تعریف دقیق منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، امری چالش‌برانگیز است؛ زیرا منابع تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار گسترده است و همچنین کاربرد و استفاده‌های متعددی را دارد. ساده‌ترین تعریف به صورت مقابل است: "منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، منابع انرژی‌های جایگزین انرژی‌های فسیلی هستند."

تعریف دیگری نیز می‌توان در نظر گرفت: "منبع انرژی تجدیدپذیر، به عنوان منبع هرگونه انرژی که به صورت طبیعی تجدید می‌شود، می‌گویند که به وفور در طبیعت یافت می‌شود و نرخ تولید انرژی از آن‌ها قابل مقایسه با میزان مصرف انرژی آن‌ها می‌باشد."

منابع انرژی تجدیدپذیر، هیچ‌گاه از بین نمی‌روند و حتی اگر در فرآیند تولید انرژی از آن‌ها، وقفه‌ای ایجاد شود، موقتی است و دوباره می‌توان فرآیند تولید انرژی از

آن‌ها را راه‌اندازی کرد. منابع انرژی تجدیدپذیر، موجب حفظ محیط‌زیست نیز می‌شوند و از هرگونه وابستگی به سوخت فسیلی، دور هستند؛ البته باید به این نکته توجه کرد که در راه‌اندازی و نصب ابزار تولید انرژی تجدیدپذیر، سوخت‌های فسیلی دخیل خواهند بود و به گونه‌ای می‌توان گفت که هیچ‌گونه انرژی کاملاً پاک نداریم.

افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر، رشد زیادی داشته است که محققان دلیل رشد استفاده از این نوع انرژی‌ها را بیان کرده‌اند که به شرح زیر است:

۱- از جنبه چشم‌انداز انرژی، منابع انرژی‌های تجدیدپذیر این امکان را فراهم می‌سازد که بتوان سوخت‌های مختلف و متنوعی را ایجاد کرد.

۲- استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، موجب کاهش تولید کربن‌دی‌اکسید و در نتیجه کاهش آلودگی هوا و حفظ محیط‌زیست می‌شود.

۳- منابع انرژی تجدیدپذیر موجب احیای اقتصاد جهانی و مقابله با رکود حال حاضر اقتصاد دنیا می‌شود.

۴- منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان یک راه‌حل مؤثر در جهت دسترسی آسان به انرژی می‌باشند.

منابع انرژی تجدیدپذیر به موارد زیر تقسیم می‌گردد:

انرژی بادی، انرژی خورشیدی، انرژی آبی، انرژی زیست‌توده (بیو مس)، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی اقیانوس که شامل انرژی جزر و مد و انرژی موج و انرژی جریان آبی می‌شود.

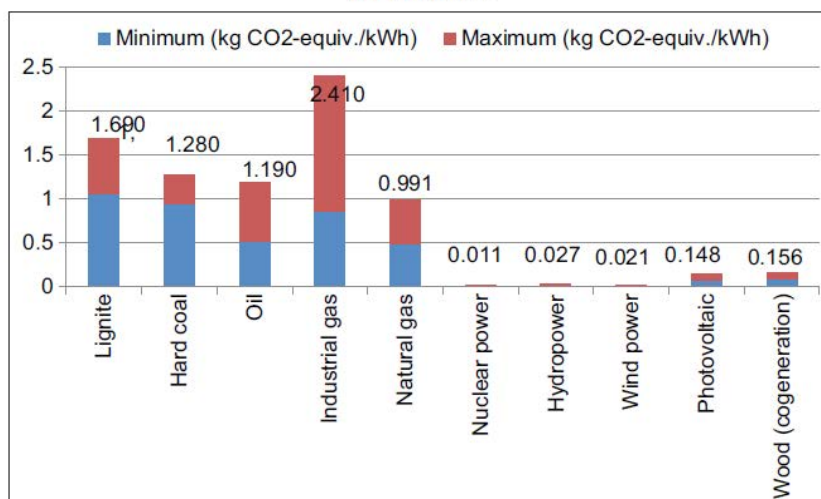
میزان مصرف انرژی جهان از منابع تجدیدپذیر در دهه‌های گذشته افزایش قابل‌توجهی داشته است و در حال حاضر ۲۰ درصد افزایش را نسبت به دهه‌های گذشته در جهان داشته‌ایم و همچنان رو به رشد است.

مزایای استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر

علاوه بر استقبال جهانی از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش در دسترس بودن این منابع، در حال حاضر همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز بیان شد، به‌عنوان یک منبع ثانویه در صنعت برق امروزه عمل می‌کند. استفاده از مواد طبیعی و نامحدود در منابع انرژی‌های تجدیدپذیر که این مواد را به انرژی‌های مختلف همچون برق تبدیل می‌کند که در فرآیند تولید، کمترین میزان تولید آلودگی را به همراه دارد. در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، در درجه اول حفظ محیط‌زیست و کاهش انواع آلودگی‌ها، به چشم می‌آید. منابع انرژی تجدیدپذیر، مقدار ناچیزی از گازهای گلخانه‌ای را منتشر می‌کنند. بررسی چرخه فعالیت و تولید برق نیروگاه‌ها، میزان گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در طول دوره‌ای مشخص را به ما ارائه می‌دهد. گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یک محصول زائد در نیروگاه‌های تولید برقی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، به وجود

می‌آید درحالی‌که در نیروگاه‌های هسته‌ای، منتشر نمی‌شود؛ بدین ترتیب می‌توان گفت که انرژی هسته‌ای در زمره انرژی‌های تجدیدپذیر (طبق تعاریف) قرار دارد و ما در تولید برق با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، انتشار گازهای گلخانه‌ای را مشاهده نخواهیم کرد؛ با تمامی موارد ذکرشده، باید توجه داشت که زباله‌های هسته‌ای در صورت عدم رعایت نکات ایمنی لازم، تأثیر بسیار مخربی بر سلامت انسان و محیط‌زیست خواهد داشت. بدین ترتیب، اگر در چرخه تولید برق در نیروگاه‌ها، از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شود، میزان گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در محیط بسیار ناچیز خواهد بود که در شکل زیر آن را مشاهده می‌کنید. این میزان گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در محیط با استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، مورد تأیید سازمان‌های مربوطه است.

Graph 1: Greenhouse gas emissions during the entire life cycle of a power plant



شکل ۱. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه زندگی یک واحد نیروگاهی

منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، وابستگی به واردات برق را کاهش می‌دهد و همچنین از سوخت‌های فسیلی، در جهت تولید برق استفاده‌ای نخواهد شد. اساسی در استفاده از منابع تجدیدپذیر، خودکفایی در تولید انرژی، اشتغال‌زایی و کارآفرینی، تشویق جامعه به استفاده از فناوری‌های نوین می‌باشد.

دیگر مزیت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، افزایش فعالیت در حوزه‌ی انرژی و بهبود اقتصاد کشور و در نتیجه اقتصاد جهانی می‌شود. منابع تجدیدپذیر، تأثیری مثبت در کشورهایی دارد که توانایی ساخت و راه‌اندازی دستگاه‌ها و ابزارهای موردنیاز جهت تولید انرژی از این منابع را دارند و صنعت آن‌ها را شکوفا می‌کند.

• طراحی و تحقیق

• توسعه و تولید

• ساخت و نصب تجهیزات

• تعمیر و نگهداری

• تجهیز مجدد یا توقف طرح

که هرکدام از بخش‌های مختلف، قواعد خاص خود را دارد که در متون تخصصی، بررسی می‌شود.

مزیت مهم استفاده از منابع تجدیدپذیر در این است که نوآوری‌ها و فناوری‌های نوینی که به همراه خود دارند، تأثیر بسزایی در بازار و اقتصاد کشور دارند؛ درواقع این فناوری‌ها در رشد اقتصادی کشور و بهبود فرآیندهای تجاری، تأثیر می‌گذارند. همچنین ورود فناوری‌های جدید، در زمینه اشتغال مستقیم و غیرمستقیم نیز تأثیر دارد که در رشد اقتصادی کشور، تأثیر به‌سزایی دارد. همچنین اقدامات سیاسی در این راستا، موجب حفظ محیط‌زیست و توسعه پایدار می‌شود. بنابراین اهداف

با تمامی مواردی که ذکر شد، انرژی‌های تجدیدپذیر همیشه بهترین راه‌حل برای تأمین برق نیستند و کاستی‌هایی ممکن است در بعضی مواقع داشته باشند.

معایب منابع انرژی‌های تجدیدپذیر

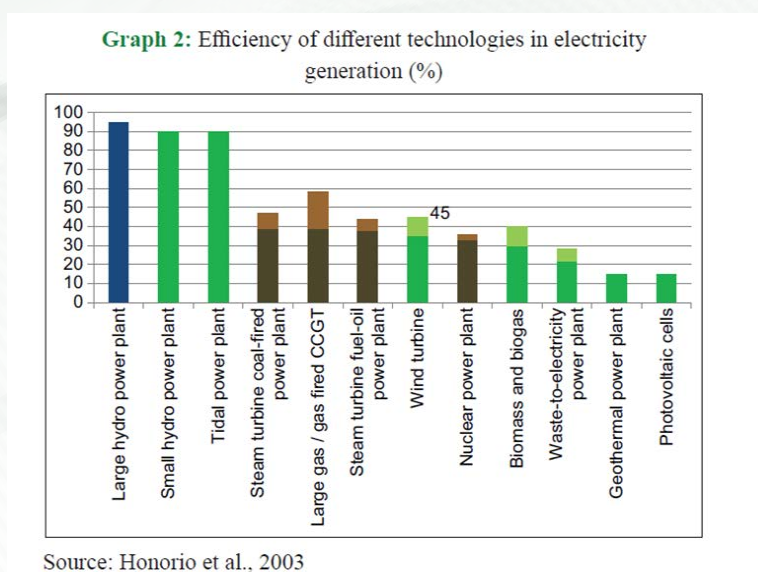
در کنار مزیت‌های چندگانه‌ای که در بخش قبل مطرح شد، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، معایب خود را نیز به همراه دارد. در درجه اول، یکی از معایب منابع تجدیدپذیر، وابستگی کامل آن‌ها به شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی که در نتیجه برای ما محدودیت دسترسی به آن‌ها را به همراه دارد.

منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی، از ظرفیت کمتری برای تولید برق در نیروگاه‌ها برخوردارند و به اندازه سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها، برق تولید نمی‌کنند. برای جبران این کمبود ظرفیت، دو راهکار را در پیش داریم: اولاً می‌توان در فناوری‌های مورداستفاده شده در نیروگاه‌های تجدیدپذیر، بازنگری نمود و آن‌ها را توسعه داد تا ظرفیت بالایی برای تولید برق پیدا کنند. ثانیاً می‌توان تعداد نیروگاه‌های تجدیدپذیر را افزایش داد تا ظرفیت موردنظر را به دست آوریم. باید صرفه اقتصادی دو راهکار پیشنهادی را بررسی نمود تا اجرایی شدن یکی از آن‌ها، به تصویب برسد.

مورد دیگری که در این بخش به چشم می‌آید، مساحت زیادی است که نیروگاه‌های تجدیدپذیر نیاز دارند؛ این نیروگاه‌ها با میزان تولید یکسان برق با نیروگاه‌های حرارتی، مساحت بیشتری را نیاز دارند.

همچنین نیروگاه‌های تجدیدپذیر، بازدهی انرژی کمتری نسبت به نیروگاه‌های حرارتی دارند؛ البته نیروگاه‌های آبی و بادی از این قاعده مستثنا هستند. بازدهی انرژی در این بخش بدین صورت تعریف می‌شود: نسبت خروجی انرژی (برق) از نیروگاه به میزان و ارزش منابع انرژی مصرف‌شده جهت تولید این میزان انرژی.

بازدهی انرژی نیروگاه‌ها با منابع انرژی مختلف را در شکل ۲، مشاهده می‌کنید.



شکل ۲. بازدهی انرژی نیروگاه‌ها با منابع انرژی مختلف

یکی دیگر از معایب قابل توجه نیروگاه‌های تجدیدپذیر، هزینه بالای ساخت و راه‌اندازی آن‌ها نسبت به نیروگاه‌های حرارتی می‌باشد. آمارها نشان می‌دهد که هزینه ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر نسبت به نیروگاه‌های حرارتی بسیار بالاست که این هزینه به دلیل فناوری‌های خاص و بعضاً محل‌های خاص منابع انرژی می‌باشد؛ البته که در اینجا نیز برای انرژی بیهوش استثنایی داریم که هزینه بالاتری ندارد و آمارها هرساله با توجه به پیشرفت فناوری‌ها، متغیر است. در نیروگاه‌های بادی، این هزینه بیش‌ترین مقدار را به اختصاص داده است و مجموع این هزینه‌ها شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، مدیریت و نگهداری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

منابع تجدیدپذیر، مزایا و معایب متعددی دارند که تأثیر آن در تولید برق در نیروگاه‌ها به صورت ویژه بررسی شد. منابع تجدیدپذیر از آنجاکه با محیط‌زیست سازگار هستند، در آینده اهمیت ویژه‌ای پیدا خواهند کرد؛ زیرا این منابع نامحدود هستند و نگرانی بابت اتمام آن‌ها وجود ندارد. می‌توان به این نتیجه رسید که به گونه‌ای می‌توان از معایب منابع تجدیدپذیر چشم‌پوشی نمود و در آینده جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی خواهند بود.

نامگذاری، طبقه‌بندی و کاربردهای MOF ها (چارچوبهای فلز - آلی) در دارورسانی و مهندسی بافت همراه با چشم‌اندازهای آینده در زیست‌پزشکی: یک جمع‌بندی کلی

میلاد پناهی پرچین سفلی^۱، شیما اُستوار^۲، نسترن مقدس جعفری^۳، بهاره درزی^۴، هدیه تقی‌زاده^۵

چکیده:

فناوری نانو، به عنوان یک زمینه‌ی در حال پیشرفت علم، دائماً نقش خود را در زیست‌پزشکی با معرفی نانوپلتفرم‌های جدید در طول زمان گسترش می‌دهد. چارچوب‌های فلز-آلی در مقیاس نانو (sFOMN) جامدات ترکیبی (هیبریدی) متخلخل و متشکل از لیگاندهای آلی و یون‌های فلزی یا خوشه‌های فلزی از طریق پیوندهای کئوردینانسی به هم متصل شده‌اند که این مواد بلوری بوده و حاوی تخلخل زیاد هستند. چارچوب‌های فلز-آلی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود از جمله حجم منافذ زیاد، سطح ویژه بالا، اندازه‌ی منافذ قابل تنظیم، قابلیت چندکاره‌ای، ترکیب شیمیایی، اندازه، شکل، عامل‌دار کردن آسان سطح، سنتز آسان، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری، حلالیت در آب، ترکیب‌بندی بسیار متنوع، پایداری شیمیایی بالا و راندمان بالای بارگذاری دارو توجهات زیادی را به خود جلب کرده و به یک ماده‌ی امیدوارکننده در زمینه‌ی زیست‌پزشکی تبدیل شده‌اند. طبقه‌بندی FOM ها در حالت کلی بسیار محدود صورت گرفته است، اما در اینجا توضیح مفصلی از بکارگیری FOM در داروسازی، درمان بیماری و سیستم‌های انتقال دارو پیشرفته داده شده است؛ بخصوص، خلاصه‌ای از داروسازی زیستی و کنترل کیفیت سیستم-های دارورسانی مبتنی بر این مواد، به همراه موضوعات مهمی که باید به آن پرداخته شود، ارائه شده است. در این مقاله، یک مرور کلی از سیستم‌های دارورسانی (sSDD) مبتنی بر FOM، به همراه چشم‌اندازهای آن ارائه می‌دهیم؛ که با نامگذاری و طبقه‌بندی این مواد براساس نوع فلزات و لیگاندهای تشکیل‌دهنده‌ی آن صورت گرفته است. سپس، روش‌های بارگذاری دارو، کاربردها، داروسازی زیستی ذکر می‌شود. همچنین در پایان به طور مختصر به ایمنی و ارزش افزوده‌ی FOM ها در مقایسه با مواد تعیین شده برای کاربردهای بالینی پزشکی ترمیمی پرداخته می‌شود، زیرا به ندرت به جنبه‌های ترمیم بافت یا ترکیب بهتر با ایمپلنت FOM ها پرداخته شده است.

ش. استوار، ب. درزی

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشگاه تهران

گروه مهندسی شیمی

bahareh.darzi@ut.ac.ir ; Ostovar.shima@ut.ac.ir

ن. مقدس جعفری

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشگاه تهران

گروه مهندسی پلیمر

nastaran.moghadas@ut.ac.ir

م. پناهی پرچین سفلی

دانشکده‌ی علوم و فنون نوین

گروه مهندسی علوم زیستی

دانشگاه تهران

ش. استوار، ن. مقدس جعفری، ب. درزی، ه. تقی‌زاده

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشگاه تهران

ش. استوار، ب. درزی

گروه مهندسی شیمی

دانشگاه تهران

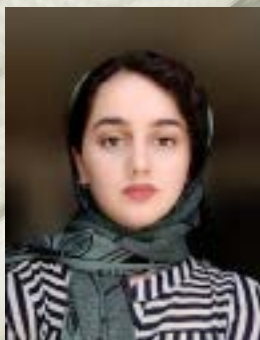
ن. مقدس جعفری، ه. تقی‌زاده

گروه مهندسی پلیمر

دانشگاه تهران

فهرست

۱- مقدمه	۱
۲- نامگذاری MOF ها	۲
۳- طبقه‌بندی MOF ها	۳
۳-۱- طبقه‌بندی براساس یون‌های فلزی	۳
۳-۱-۱- Cr-MOF ها	۳
۳-۱-۲- Fe-MOF ها	۳
۳-۱-۳- Zn-MOF ها	۳
۳-۱-۴- Zr-MOF ها	۳
۳-۱-۵- K-MOF ها	۳
۳-۱-۶- Cu-MOF ها	۳
۲-۱- طبقه‌بندی براساس لیگاندهای آلی	۱
۴- کاربردهای MOF ها در درمان و داروسازی	۴
۴-۱- سیستم‌های MOF برای درمان بیماری‌ها	۴
۴-۲- کاربردهای دارویی	۴
۵- کاربرد MOF ها یا مواد زیستی مبتنی بر MOF در مهندسی بافت و پزشکی ترمیمی (TERM)	۵
۵-۱- MOF برای ایمپلنت‌های ارتوپدی	۵
۵-۱-۱- زیست فعالی طبیعی MOF ها و تأثیر بر بیولوژی بافت استخوان	۵
۵-۱-۲- افزایش فعالیت بیولوژیکی MOF ها از طریق بارگذاری دارو برای بازسازی استخوان	۶
۵-۲- MOF ها برای ایمپلنت‌های قلبی عروقی	۵
۵-۳- مواد بیولوژیکی مبتنی بر MOF برای مراقبت از زخم پوستی	۵
۵-۴- MOFs برای مهندسی بافت عصبی و ایمپلنت ها	۵
۶- بحث و نتیجه‌گیری همراه با چشم‌اندازهای	۶
۷- مراجع	۷



شیما استوار دانشجوی ارشد مهندسی بیوتکنولوژی در پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران در ایران می‌باشد. وی برگزیده‌ی چهارمین دوره‌ی نانو استارت‌آپ ستاد ملی نانو است که در این مسابقه با طرح «بیوپار به عنوان خوراک دام» با شرکت دانش‌بنیان ارشیا گستر همکاری کرده است. در حال حاضر، او در زمینه‌های زیادی از جمله کاربرد میکرونی‌دیل در داروسازی زیر نظر **دکتر احمدی** در بیمارستان قلب تهران، سنتز ژلما به عنوان چسب زیستی (به عنوان زخم‌پوش) زیر نظر **دکتر زینب صالحی و دکتر رضوانی** و بیوسنتز نانوذرات (به خصوص مس) زیر نظر دکتر زینب صالحی در آزمایشگاه بیوتکنولوژی پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران در حال تحقیق و پژوهش می‌باشد.



میلاد پناهی پرچین سفلی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش زیست‌پزشکی در دانشکده‌ی علوم و فنون نوین دانشگاه تهران در ایران می‌باشد. تحقیقات کارشناسی ارشد وی بر روی طراحی و ساخت دستگاه‌های میکروفلوئیدیک برای سنتز نانوذرات برای استفاده در مهندسی بافت عصبی متمرکز است. در حال حاضر، او زیر نظر **دکتر فاطمه یزدیان** در دانشگاه تهران و **دکتر امیر شاملو** در دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، آزمایشگاه زیست فناوری دانشگاه صنعتی شریف و همچنین زیر نظر **دکتر منا نوائی نیگجه** در دانشکده‌ی داروسازی دانشگاه علوم پزشکی تهران یک پژوهشگر تحصیلات تکمیلی است. همچنین او بر روی اصلاح کامپوزیت‌های دندانی برای مهندسی بافت استخوان با دکتر نازنین اوجی و دکتر فاطمه یزدیان به صورت مشترک بین دانشگاه تهران و دانشگاه لندن UCL در حال تحقیق و پژوهش است. علایق تحقیقاتی وی میکروسیالات، اندام روی تراشه، چاپگر زیستی سه‌بعدی برای مهندسی بافت و کاربردهای چارچوب‌های فلز-آلی می‌باشد.



نسترن مقدس جعفری دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر گرایش فراورث در پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران در ایران می‌باشد. از جمله پژوهش‌های وی در حوزه‌های زیستی در دوره‌ی کارشناسی ارشد می‌توان به ساخت زخم پوش‌های پوستی الکترواکتیو برپایه پلیمرهای زیست‌سازگار زیر نظر **دکتر سید حسن جعفری امان آبادی و دکتر وهاب الدین گودرزی** و همچنین تحقیقاتی در زمینه داروسازی هدفمند از طریق دندیرمها اشاره کرد. علاقه‌مندی‌های تحقیقاتی وی پیچ‌های میکروسوزنی پوستی، پرینت سه‌بعدی داربست‌های پلیمری، پلیمرهای خود ترمیم شونده و دارای حافظه‌ی شکلی و نیز چارچوب‌های فلز-آلی می‌باشد.



بهاره درزی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی داروسازی در پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران در ایران می‌باشد. وی در داروخانه‌ی دکتر روحانی، مدتی را به ساخت و بررسی داروهای ترکیبی و فرمولاسیون محصولات دارویی پرداخته است. در حال حاضر، فعالیت‌های پژوهشی وی در زمینه‌ی «ساخت بستر بیولوژیکی حامل داروهای موضعی» زیر نظر **دکتر محمدرضا مهرنیا** و همچنین «پیزوالکتریک‌های مورد استفاده در بافت قلب و عصب» زیر نظر **دکتر زینب صالحی** می‌باشد. از زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه‌ی وی می‌توان به بیوتکنولوژی دارویی، مهندسی بافت و سیستم‌های دارورسانی اشاره کرد.



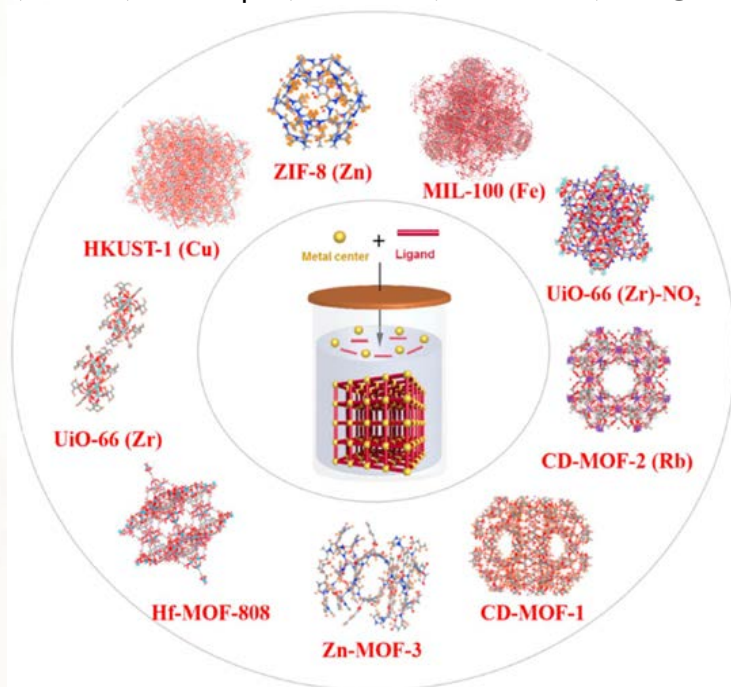
هدیه تقی‌زاده دانشجوی کارشناسی پلیمر در پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران در ایران می‌باشد. علاقه‌مندی‌های او در حوزه‌های کاربرد پلیمرها در زیست‌پزشکی، پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر، مهندسی بافت و چارچوب‌های فلز-آلی می‌باشند.

۱- مقدمه

با توسعه روزافزون فناوری نانو و نانوپزشکی، تلاش‌ها برای ساخت نانو پلتفرم‌هایی برای رهایش کنترل شده داروها به منظور بهبود اثربخشی درمانی و به حداقل رساندن عوارض جانبی متمرکز شده است. پیشرفت فزاینده در علوم مواد، توانمندسازی طراحی ساختارهای جدید نانوساختار از طریق روش‌های سنتز جدید برای کاربردهای پیشرفته‌ی زیست‌پزشکی است. تاکنون، مواد مختلفی برای دارورسانی از جمله مواد آلی (مانند لیپوزوم‌ها، ذرات پلیمری، پلیمرها، دندریمرها، سیکلودکستین و...)، مواد معدنی (مانند گرافن، نقاط کوانتومی، اکسید آهن و غیره) به کار برده شده است. مواد آلی معمولاً دارای خواصی مانند زیست‌تخریب‌پذیری خوب، سمیت کم، قابلیت اصلاح شیمیایی و غیره هستند، اما در کنترل میزان رهایش داروها مناسب نیستند. برعکس، مواد معدنی دارای خروجی فوتون بالا، ثبات نوری و خواص مغناطیسی مطلوبی هستند، اما زیست‌سازگاری آن‌ها اغلب نیاز به بررسی بیشتر دارد. درحالی‌که زیست‌سازگاری و بازده بارگذاری بالا حامل‌های آلی مانند لیپوزوم‌ها و مایسل‌ها آن‌ها را به کاندیدای کارآمدی برای دارورسانی تبدیل کرده است و هزینه تولید بالا، رهایش دارو، اکسیداسیون و هیدرولیز فسفولیپید مورد استفاده و نیمه عمر کوتاه هنوز به عنوان چالش‌های اصلی چنین حامل‌هایی باقی‌مانده است. علاوه بر این، نانوحامل‌های غیرآلی، مانند سیلیکای مزوپور و MOF ها، دارای پایداری بیشتر، مساحت سطح زیاد و ظرفیت بارگذاری مطلوب دارو هستند. چارچوب‌های فلز-آلی (MOFs) مواد بلوری متخلخل پیشرفته‌ای هستند که با پیوند کئوردینانسی بین خوشه‌های فلزی مختلف (مانند رأس‌ها) و لیگاندهای آلی چندوجهی (چند موضعی) در یک آرایه نامتناهی ساخته شده‌اند که نوعی ماده ترکیبی آلی-معدنی اند. چارچوب‌های فلز-آلی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود از جمله حجم منافذ زیاد، سطح ویژه بالا (Brunauer-Emmett-Teller (BET)، اندازه‌ی منافذ قابل تنظیم، قابلیت چندکاره‌ای، ترکیب شیمیایی، اندازه، شکل، عامل دار کردن آسان سطح، سنتز آسان، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری، حل‌الیت در آب، ترکیب‌بندی بسیار متنوع، پایداری شیمیایی بالا و راندمان بالای بارگذاری دارو توجهات زیادی را به خود جلب کرده و به یک ماده‌ی امیدوارکننده در زمینه‌ی زیست‌پزشکی تبدیل شده‌اند. عملکرد کپسولاسیون عالی چارچوب‌های فلز - آلی، آن‌ها را به یک بستر منحصر به فرد برای بارگذاری داروهای مختلفی مانند DOX، 5-Fu (5-fluorouracil)، بتاستروایدول، ید، نیتریک‌اکساید تبدیل کرده است. همچنین، در دسترس بودن مواد اولیه آن‌ها و فرایند سنتز ساده، آن‌ها را به فرمولاسیون‌های مقرون به صرفه برای کاربردهای زیست‌پزشکی تبدیل کرده است. به علاوه، داروها می‌توانند از طریق پیوندهای شیمیایی یا فیزیکی و از طریق فعل و انفعالات مختلف در حامل‌ها، از جمله پیوند هیدروژنی، نیروهای واندروالس، اثر π - π بین حلقه‌های آروماتیک، فعل و انفعالات الکترواستاتیک، پیوندهای کئوردینانسیونی، پیوند کووالانسی

و غیره متصل شوند و مولکول‌های زیستی معمولاً از طریق روش‌های گوناگون در چارچوب‌های فلز - آلی گنجانده می‌شوند، از جمله اتصال سطحی، پیوند کووالانسی، کپسوله شدن در منافذ، کپسوله شدن درجا، تشکیل dio-MOF (چارچوب‌های فلز - زیست‌مولکول). در این بین MOF‌های پاسخگو به محرک‌ها دارای مزیت و پتانسیل زیادی برای کنترل رهایش محتویات خود در تماس با محرک‌های داخلی یا خارجی هستند. تمایل انتشارات، افزایش نمایی مرتبط با MOF‌ها را در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ آشکار می‌کند. این روند نشان می‌دهد که MOF‌ها، سیستم‌های جدید جذاب با پتانسیل بالا در دارورسانی هستند. امروزه بیش از ۲۰۰۰ چارچوب متنوع MOF در پایگاه داده Cambridge گزارش شده است. در سال‌های اخیر، مطالعات گزارش داده‌اند که برخی از چارچوب‌های فلز-آلی نه تنها می‌توانند به عنوان حامل دارو استفاده شوند، بلکه به دلیل یون‌های فلزی آزاد شده همزمان با تخریب چارچوب آن‌ها، دارای اثرهای دارویی درمانی خاصی هستند. این مواد در جنبه‌های مختلف مانند ذخیره مواد، جداسازی، تصفیه، کاتالیز، سنجش، تصویربرداری زیستی، ذخیره انرژی، دارورسانی (درمان انواع بیماری‌ها از طریق دارورسانی به چشم، ریه)، حسگرهای زیستی، حسگرهای نوری الکترونیکی / الکترومغناطیسی، مهندسی بافت (استفاده در کامپوزیت‌های دندان، ترمیم بافت استخوان، استفاده در ترمیم پوست) و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، در شرایط *in vivo* کپسوله‌سازی و رهایش ناکارآمد دارو از چارچوب‌های فلز - آلی در محل تومور از جمله چالش‌های اصلی برای کاربرد زیست پزشکی آن‌ها است. برای غلبه بر این مشکل، بسیاری از انواع محرک‌ها، از جمله PH، HSG، گلوکز، ATP، یون، نور، H_2S ، مغناطیسی، حرارتی، فشار و غیره به کار گرفته شده‌اند. اخیراً نیز مطالعه‌هایی درباره‌ی تمرکز بر روی MOF‌ها به عنوان جزء زیست فعال برای کمک به مهندسی بافت و تقویت بالینی یا درمان‌های آینده در پزشکی ترمیمی صورت گرفته و خلاصه‌ای از روش‌های سنتز مناسب برای آزمایشگاه‌های پزشکی ترمیمی (TERM) و ویژگی‌های مهم MOFs مربوط به مواد زیستی ارائه شده است. استفاده از MOF‌ها براساس اندام مورد نظر (استخوان، عروق قلبی، پوست و بافت عصبی) و اینکه آیا MOF‌ها به عنوان مواد ذاتی زیست فعال یا به عنوان وسیله انتقال دارو مورد استفاده قرار می‌گیرند، طبقه‌بندی می‌شود. یک چارچوب ترکیبی معمولی، $\text{dobdc}(\text{Mg-MOF-74})$ ، $\text{dobdc}(\text{2,5-dihydroxyterephthalic acid})$ و Zn^{2+} و $[\text{M}_2^{2+} = \text{Mg}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Cu}^{2+}]$ ، می‌تواند منیزیم (Mg) را در محلول آزاد کند که منیزیم یکی از مهم‌ترین عناصر در بدن انسان است، یک حامل حیاتی برای سنتز طبیعی ماتریس استخوان می‌باشد. منیزیم در ایجاد چسبندگی، رشد، تکثیر استئوبلاست‌ها و کانی‌سازی بیش‌تر استخوان شرکت می‌کند. علاوه بر این، منیزیم می‌تواند التهاب را با کاهش عوامل پیش التهابی و تنظیم بیش‌تر سایتوکین‌های ضدالتهابی از بین ببرد. از زمانی که برای اولین بار مطرح شدند، توجهات گسترده‌ای را به خود جلب کردند. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که Mg-MOF-74 حامل خوبی برای رساندن منیزیم و کتوپروفن است. کتوپروفن به عنوان داروی مورد تأیید استفاده بالینی توسط سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) بیش از ۳۰ سال است که مورد استفاده قرار گرفته است و از نظر اکوتوکسیکولوژیکی ایمن می‌باشد. با این حال مقاله‌های منتشر شده در زمینه‌ی مهندسی

بافت و پزشکی ترمیمی ماهیتی توضیحی دارند، اما تجزیه و تحلیل سیستماتیک محیط‌کشت انجام شده است و یک دید کلی از جهت تحقیق در حال ظهور تا نقطه نگارش به مخاطب ارائه می‌دهند. با اینکه تعدادی از مطالعه‌های عالی منتشر شده است، مطالعه‌های آینده باید ایمنی و ارزش افزوده MOFها را در مقایسه با مواد تعیین شده برای کاربردهای بالینی TERM به وضوح مشخص کند. گستره‌ی مقاله‌های منتشر شده به وضوح از «کاربرد زیست‌پزشکی» عمومی MOFها که عمدتاً بر رهایش دارو یا کاربردهای تشخیصی محدود شده است و جنبه‌های ترمیم بافت یا ترکیب بهتر ایمپلنت را شامل نمی‌شود.



نمایی از انواع چارچوب‌های فلز-آلی و اجزای تشکیل دهنده‌ی آن

۲- نامگذاری MOFها

چارچوب‌های فلز - آلی ابتدا توسط ریچارد رابسون و همکارش در سال ۱۹۸۹ به عنوان چارچوب‌های پلیمری نامحدود متشکل از بخش‌های میله مانند سه‌بعدی مطرح شد. سپس، یاگی و همکاران، یک ترکیب کئوردینانسی دو بعدی را که از یک لیگاند آلی صلب، تری‌مسیک اسید (BTC) و یک فلز واسطه‌ی Co (کبالت) سنتز شده بود، در سال ۱۹۹۵ آن را چارچوب‌های فلز - آلی (MOF) نامیدند. این اولین بار بود که مفهوم چارچوب فلز - آلی به طور رسمی پیشنهاد شد از آن زمان، MOFها به سرعت رشد کردند و بسیاری خانواده‌ی چارچوب‌های فلز - آلی (معروف به سری چارچوب‌های فلز - آلی) به وجود آمدند. اگرچه انواع مختلفی از سری چارچوب‌های فلز - آلی وجود دارد، اما هیچ استاندارد مستقیمی برای طبقه‌بندی و نامگذاری MOFها وجود ندارد. نامگذاری عمدتاً چهار جنبه را دنبال می‌کند: (۱) ترکیب مواد؛ (۲) گروه‌های عاملی؛ (۳) ساختار؛ (۴) آزمایشگاه/مؤسسه. به طور کلی، سری‌های یکسان چارچوب‌های فلز - آلی اغلب با یک روش یکسان تهیه می‌شوند و نام اعضا در قسمت ابتدا یکسان است، در حالی که در عدد آخر برای تمییز دادن، متفاوت هستند. به عنوان مثال، یاگی و همکاران سری MOF بیضوی (IRMOF) تهیه کردند، در این سری "IR" مخفف "isorecticular" است و معمولاً "IRMOF-n" نامیده می‌شود. بدیهی است که نامگذاری IRMOF-n براساس عملکرد MOF و عدد "n" براساس ترتیب آماده‌سازی است. با این حال، همه نامگذاری‌ها به این شکل نیستند. به عنوان مثال، "MIL" در "MIL-n" مخفف "Materials of Institute Lavoisier" است، این روش نامگذاری توسط برخی از محققین پذیرفته شده است. در بیش‌تر موارد، عدد "n" نشان‌دهنده

شماره سریال آماده‌سازی است، در حالی که گاهی اوقات این عدد به صورت دلخواه انتخاب می‌شود. به عنوان مثال، MOF-5 با توجه به ساختار رئولیت MSZ-5 نامگذاری شده است.

۳- طبقه‌بندی MOF ها:

MOF ها با استفاده از پیوند دهنده‌ها و فلزات متنوع ساخته می‌شوند که ساختار و ویژگی‌های پلی‌تروپیک آن‌ها را تعیین می‌کنند (شکل ۳). علاوه بر این، پیونددهنده و خوشه‌ی فلزی با پیوندهای سست کئوردیناسیون تجمع یافته و در نتیجه تجزیه‌پذیری زیستی را افزایش می‌دهند. با این حال، یک تعادل ظریف بین تجزیه‌پذیری و پایداری کافی در محیط‌های بیولوژیکی باید تضمین شود. با انتخاب مناسب یون فلزی و پیوند دهنده آلی، به کاربردهای خاصی می‌توان دست یافت؛ مانند پاسخگویی به محرک‌ها در دارورسانی، به pH، مولکولی، گرما و فشار. در ادامه، MOF هایی که بیش‌تر برای DDS ها مورد بررسی قرار گرفتند، براساس وجود اجزا و ویژگی‌های مشخص در فرمولاسیون، طبقه‌بندی می‌شوند.

۳-۱- طبقه‌بندی توسط یون‌های فلزی

از آنجا که انتخاب لیگاندها و یون‌های فلزی عملاً نامحدود است، انواع یون‌های فلزی و پیونددهنده‌های آلی برای سنتز هزاران MOF طراحی و انتخاب شدند. وقتی از MOF ها در زمینه‌ی SDD ها استفاده می‌شود، زیست‌سازگاری و سمیت که ارتباط نزدیکی با درصد ترکیب دارند، باید از قبل به طور جامع مورد مطالعه قرار گیرد. متوسط دوز کشنده (DL₅₀) معمولاً برای ارزیابی سمیت فلزات استفاده می‌شود. علاوه بر این، فلزات توصیه شده برای SDD با MOF عبارتند از: پتاسیم، روی، زیرکونیوم و آهن با DL₅₀ خوراکی به ترتیب ۵۱۲/۰، ۵۳/۰، ۴/۱، ۵۴/۰ گرم بر کیلوگرم. امروزه MOF های مبتنی بر آهن، زیرکونیوم، پتاسیم و روی بیش‌ترین استفاده را در SDD دارند و انواع ضد سرطان، آنتی‌بیوتیک‌ها و داروهای ضدویروسی در تخلخل آن‌ها بارگذاری می‌شود. نکته قابل توجه این است که می‌توان داروها را در چارچوب‌های محفظه مانند MOF بارگذاری کرد که منجر به هم‌افزایی در مبارزه با بیماری‌ها می‌شود. بسیاری از نمونه‌های دیگر MOF ها به عنوان حامل‌های دارویی در زمینه داروسازی گزارش شدند که امکان دستیابی به پیوندهای بالای دارو، افزایش حلالیت آن، بهبود پایداری، توانایی‌های هدف‌گیری و فراهمی زیستی بهتر را فراهم می‌کند.

۳-۱-۱ Cr-MOF ها

شواهد بارگذاری دارو در MOF ها در سال ۲۰۰۶ با استفاده از دو سیستم مدل، MOF های مبتنی بر کروم (Cr-MOF) با نام‌های (Cr)-MIL-۱۰۰ و (Cr)-MIL-۱۰۱ که MIL مخفف Materials of Institute Lavoisier است، که از تریمرهای هشت‌وجهی فلزی و دی یا تری‌کربوکسیلیک اسید تشکیل شد نشان داده شدند. (Cr)-MIL-۱۰۰ شامل یون‌های (III) Cr و ۵، ۳، ۱- بنزن تری‌کربوکسیلیک اسید (BTC) یا تری‌مسیک اسید بود، در حالی که (Cr)-MIL-۱۰۱ از ۴، ۱- بنزن‌دی‌کربوکسیلیک اسید (BDC) یا ترفتالیک اسید و (III) Cr تشکیل شد. ایبوپروفن (IBU)، یک داروی مدل متداول، در Cr-MOF ها بارگیری شد و ظرفیت بالای بارگیری دارو را نشان می‌داد که به ۱/۴ گرم IBU در هر گرم (Cr)-MIL-۱۰۱ آبگیری شده رسید، در حالی که (Cr)-MIL-۱۰۰ فقط ۵۳/۰ گرم IBU جذب کرد.

۳-۱-۲ Fe-MOF ها

به دلیل سمیت Cr، MOF هایی که در بالا ذکر شدند، برای مصارف زیست‌پزشکی سازگار نیستند. بنابراین، MOF های

مبتنی بر آهن (Fe-MOF) که MIL-53 (Fe) نامیده شده و براساس Fe (III) هشت وجهی و آنیون‌های ترفتالات بودند، بالافاصله سنتز شدند. به دلیل سمیت پایین، انعطاف‌پذیری در ترکیب‌بندی و زیست‌تخریب‌پذیری، این مواد خود به خود به عنوان کاندیدهای آینده در دارورسانی ظاهر شدند. اولین Fe-MOF‌های با اندازه‌ی نانو، با موفقیت برای بارگذاری داروهای ضدتوموری یا رتروویروسی مورد استفاده قرار گرفت و در شرایط *In vitro* و *In vivo* مشخصه‌یابی شد، که قابلیت تجزیه‌پذیری، ایمنی زیستی و ویژگی‌های تصویربرداری آن‌ها را اثبات می‌کند. با توجه به انعطاف‌پذیری Fe-MOF‌ها، Leng و همکارانش، MIL-53 (Fe) غیرسمی و زیست‌سازگار را برای بارگذاری داروی ضدسرطان اوریدونین انتخاب کردند که ظرفیت بارگذاری دارو می‌تواند تا ۲۵/۵۶٪ (وزنی/وزنی) با زمان رهایش پایدار بیش از ۷ روز برسد. علاوه بر این، Fe-MOF‌ها به منظور بارگذاری دارو و تصویربرداری مغناطیسی/فلورسانس به طور همزمان مورد بررسی قرار گرفتند. Fe-MOFs-5-NH₂ توخالی با ظرفیت بارگذاری دارو تا ۳۵٪ (وزنی/وزنی)، خاصیت رهایش کنترل‌شده با pH را نشان داد. با توجه به وجود یون Fe (III)، MOF‌های به دست آمده عملکرد برجسته‌ای را در تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) نمایش دادند، و پس از اصلاح با اسید فولیک (FA) و معرف فلورسنت، به دارورسانی هدفمند و تصویربرداری فلورسانس تحقق بخشیده شد. علاوه بر این، MIL-100 (Fe) به منظور ترکیب دو مهار کننده فعال ترانس کریپتاز معکوس نوکلئوزید تری فسفات، آزیدوتیمیدین تری فسفات و لامیوودین تری فسفات، به طور همزمان برای بهبود کارایی آنتی ویروس نقص ایمنی انسان (HIV) استفاده شد. نسبت آزیدوتیمیدین تری فسفات/لامیوودین تری فسفات در MIL-100 (Fe) برابر بود که در بین درمان سه‌گانه‌ی تجاری سازی شده‌ی فعلی بر اساس پیش داروهای HIV، بارگذاری کلی دارو ۶/۹٪ (وزنی/وزنی) بود. پس از خشک کردن انجمادی، ذرات حامل دارو را می‌توان به مدت ۲ ماه حفظ کرد و خواص فیزیکوشیمیایی مشابه را نگاه داشت.

۳-۱-۳ Zn-MOF-۳

MOF‌های مبتنی بر روی (Zn-MOF)، به صورت چهار MOF روی پیرازولات ایزو رتیکولار ZnBDP_X، که متشکل از Zn (II) و پیوند دهنده‌های آلی عامل‌دار شده ۱,۴-bis(۱H-pyrazol-۴-yl)-۲-X-benzene (H₂BDP_X، X = H، NO₂، NH₂، OH) می‌باشد، توسط Rojas و همکارانش در سال ۲۰۱۶ برای مصارف خوراکی و تزریق داخل وریدی (کم‌تر از ۲۰۰ نانومتر) توسعه یافت. این خانواده ZnBDP_X دارای شکل تتراگونال (چهار گوشه) و کانال‌های مربعی با دهانه آزاد منافذ ۱۱ آنگسترومی می‌باشد. آزمایش‌های *In vitro* دوام ساختاری و چسبندگی مطلوبی را در شرایط بیولوژیکی مربوطه نشان داد. سپس، دو نوع داروی ضدتومور، یعنی میتوکسانترون و (RAPTA-c) (۱,۳,۵-triaza-۷-phosphaadamantane) Ru (p-cymene) Cl₂ در منافذ ZnBDP_X محصور شد تا تأثیر ساختار عاملی مختلف بر بسته‌بندی و انتقال دارو بررسی شود.

به منظور افزایش پایداری آبی و فعالیت درمانی MOF‌ها، Bag و همکاران، یک لیگاند بی‌کربوکسیلات محکم، (HYCDDDB) dibenzoic acid (۹-H carbazole-۳,۶-diyl) را برای تولید Zn-MOF‌ها ساختند. از طریق واکنش HYCDDDB و Zn (NO₃)_۲·۶H₂O در دی متیل فرمامید (DMF)، یک MOF متخلخل [Zn₈(O)_۲(CDDDB)_۶(DMF)_۴(H₂O)] با قابلیت بارگیری عالی ۳/۵۳٪ (وزنی/وزنی) برای ۵-فلوروراسیل (۵-FU) ساخته شد. این MOF می‌تواند تا سه هفته در آب پایدار بماند. همچنین، سنجش MTT برای رده‌ی سلولی هیپاتوبلاستوما‌ی انسان (HepG۲) و سرطان سینه داکتال انسان (۴۳۵S-MDA-MB) به مدت ۲۱ ساعت انکوباسیون، ایمنی زیستی این MOF را نشان داد.

یکی دیگر از Zn-MOF ها به نام Zn-cpon-۱ با چارچوب توپولوژیکی سه بعدی، با استفاده از آنیون ClO_4^- به عنوان تمپلیت و H_2cpon (۴-کربوکسی فنوکسی) نیکوتینیک اسید به عنوان پیوند دهنده آلی تهیه شد. این Zn-cpon-۱ با ارائه یک رفتار تحریک مضاعف و پاسخگو به pH، یک مجرای دارورسانی قابل تحسین بوده و ظرفیت بارگیری FU-۵ در Zn-cpon-۱ می تواند به ۴۴/۷۵٪ (وزنی/وزنی) برسد. مخصوصاً، رفتار آزادسازی دارو به خوبی با مدل توزیع Weibull مطابقت دارد، که می تواند توسط pH و حرارت دوگانه تحریک شود.

چارچوب های زئولیتیک ایمیدازولات (ZIF)، یک زیر خانواده از Zn-MOF ها، که با استفاده از Zn (II) و ایمیدازولات یا مشتقات آن متصل شدند، به طور گسترده ای در DDS ها استفاده می شوند [۴۸-۶۸]. Sun و همکارانش، از ZIF-۸ برای بسته بندی سوکسینات فرار و آبگریز α -D-توکوفرول، توسط فرآیند یکجا استفاده کردند و نسبت بارگیری دارو به ۴۳/۰۳٪ (وزنی/وزنی) رسید. α -tocopherol succinate@ZIF-۸ به دست آمده، به دلیل پاسخگویی ZIF-۸ به pH، سریعاً در محیط اسیدی تجزیه می شود. در نتیجه آن، رهایش براساس نیاز دارو برای شیمی درمانی تومور انجام می شود.

۳-۱-۴ Zn-MOF ها

از زمان کشف (UiO-۶۶) $\text{Zr}_6(\mu_3\text{-OH})_4(\text{BDC})_6$ (که UiO مخفف University of Oslo است) با خوشه های $\text{Zr}_6(\mu_3\text{-OH})_4(\text{CO}_2)__{12}$ و $\text{Zr}_6(\mu_3\text{-OH})_4(\mu_3\text{-OH})_4(\text{BDC})$ ، بنزن-دی کربوکسیلات (BDC)، توسط Cavka و همکاران در سال ۲۰۰۸، MOF های مبتنی بر زیرکونیوم (Zr-MOF)، عمدتاً $\text{Zr}_6(\text{VI})$ کربوکسیلات ها، توجه روزافزونی به خود جلب کردند. با توجه به عدد اکسایش بالای Zr (VI) در Zr-MOF و پیوندهای کئوردیناسیون قوی بین لیگاندهای کربوکسیلات و Zr (VI) در اکثر Zr-MOF های مبتنی بر کربوکسیلات، این مواد دارای ثبات بی نظیری، به ویژه در پایداری هیدروترمال، هستند. بنابراین، بسیاری از MOF-Zr ها پایداری خود را در حلال های آلی و آب، و حتی در محیط های اسیدی، حفظ می کنند. علاوه بر این، با توجه به توزیع وسیع زیرکونیوم در طبیعت و سمیت In vivo کم (دوز کشنده خوراکی LD_{۵۰} تقریباً ۱/۴ گرم/کیلوگرم)، برای زیست پزشکی مناسب تلقی می شوند.

Zr-MOF ها در حوزه زیست پزشکی استفاده می شوند. به عنوان مثال، Abanades و همکارانش دریافتند که تحویل هم افزای دی کلرواستات و Zr-MOF از FU-۵ به سلول های سرطانی می تواند سمیت سلولی را در شرایط In vitro تقویت کند. تنظیم اندازه ذرات، و مهم تر از همه، شیمی سطح می تواند سمیت سلولی را با تسریع اندوسایتوسیز توسط نفوذ در منفذ و دارورسانی سیتوپلاسمی بهبود بخشد. علاوه بر این، Li و همکارانش، UiO-۶۶ دارای گروه های عاملی NH_2 - و NO_2 - را معرفی کردند تا تفاوت ظرفیت بارگذاری دارو و رفتار رهایش را بین آن ها مطالعه کنند. به طور جالبی، نتایج نشان داد که UiO-۶۶- NH_2 دارای بیشترین بارگذاری کتوپروفن بوده و کمترین میزان رهایش را به دلیل قدرت بالای پیوند هیدروژنی و ویژگی های قلیایی NH_2 - نشان می دهد.

نوع دیگری از Zr-MOF، که Zr-fum نامیده می شود، از یک پیوند دهنده فومارات درون زا (ترشح تولید شده در داخل بدن) تشکیل شده و ساختار آن شبیه UiO-۶۶ است. Zr-fum می تواند در محلول های آبی پایدار بماند، که پتانسیل بالای این ماده به عنوان DDS را نشان می دهد یک مولکول ضد سرطانی دی کلرواستات به عنوان تعدیل کننده با اندازه کنترل شده، با پیلود ۲۰٪ (وزنی/وزنی) در طول فرآیند ساخت به Zr-fum وارد شد. برخلاف Zr-fum، UiO-۶۶ نشان داد که زیست سازگاری

به دلیل پیونددهنده فومارات درون‌زا افزایش یافته است. همچنین، کالسئین (calcein) تقلیدکننده دارو به طور مؤثرتری به سلول‌های هلا انتقال می‌یابند.

۳-۱-۵-MOF-Kها

Smaldone و همکارانش، ابتدا یک MOF خوراکی، تجدیدپذیر، بسیار متقارن و متخلخل، با سطح فوق‌العاده بالا را گزارش دادند که فقط با مواد خوراکی تهیه شده بود: یون‌های پتاسیم (K)، الکل (اتانول) و سیکلودکستین، که به آن چارچوب‌های فلز-آلی مبتنی بر سیکلودکستین (CD-MOF) می‌گویند. با توجه به ویژگی‌های ذاتی متخلخل آن‌ها، به جز ماهیت محلول در آب و غیرسمی، CD-MOFها کاربردهای وسیعی در زمینه زیست‌پزشکی دارند، که توجه بسیاری را به خود جلب کرده و به سرعت در حال توسعه است. تا به امروز، با استفاده از اشباع‌سازی، آسیاب کردن و کریستالیزاسیون همزمان، داروها با موفقیت در MOF-DCها بارگذاری شدند. به عنوان مثال، MOF-DCهای تعبیه شده با لانسوپرازول، با استفاده از یک روش کریستالیزاسیون همزمان بهینه که از طریق مونتاژ با γ -CD در حضور یون‌های K و با بارگذاری دارو تا ۲/۲۳٪ (وزنی/وزنی) انجام می‌شود، تولید شد. علاوه بر این، MOF-DCها می‌توانند فراهمی زیستی و حلالیت داروهای نامحلول را به طرز چشمگیری بهبود بخشند. He و همکارانش، گزارش دادند که آزیلسارتان (AZL) در CD-MOFها بارگذاری شده و فراهمی زیستی AZL در موش‌های (SD) Sprague-Dawley، ۷/۹ برابر افزایش یافت. همچنین، در مقایسه با داروهای خالص، حلالیت ظاهری AZL/CD-MOF، ۳۴۰ برابر افزایش داشت. علاوه بر این، قابل توجه است که از CD-MOFها در DDSهای خوراکی، داخل وریدی و حتی ریوی استفاده شده است.

۳-۱-۶-MOF-Cuها

MOFهای مبتنی بر مس (Cu-MOF) به دلیل دسترسی زیاد سایت‌های فلزی غیراشباع کئوردیناتیو، که جایگاه‌های اتصال قوی برای محتویات میهمان ایجاد می‌کنند، به عنوان میزبان‌های مناسبی برای سیستم‌های کامپوزیتی و guest@MOF زیستی منظم مورد بررسی قرار گرفتند. Sun و همکاران، لیگاند‌های ترکیبی Cu-MOFها، MOF-۲ و MOF-۳ را برای تحویل IBU و دوکسوروبیسین هیدروکلراید (DOX) ابداع کردند که با روش هیدروترمال و تغییر منطقی در نسبت دو لیگاند (BTC و ایزوفتالیک اسید) تهیه شده بودند. آن‌ها برای سلول‌های طبیعی انسان، سلول‌های ۲۹۳A جنینی کلیه (HEK ۲۹۳A) سمی نبودند و می‌توانستند دارو را بارگذاری کنند. آزمایش بارگذاری دارو نشان داد که MOFهای دارای لیگاند مخلوط، نسبت به MOFهای تک لیگاند ظرفیت بهتری در DDSها داشته و MOF-۲ با ۴۰٪ BTC و ۶۰٪ اسید ایزوفتالیک، دارای بهترین عملکرد در قابلیت دارورسانی بودند. با استفاده از ویژگی‌های Cu-MOFهای عامل‌دار شده با آمین، یک استراتژی مبتنی بر تلفن هوشمند (smartphone-based) برای تشخیص بصری فسفاتاز قلیایی توسط Hou و همکاران طراحی شد، که دارای تقلید اکسیداز و رفتار فلوئورسانس است. این روش مبتنی بر فلورسنت می‌تواند برای تشخیص فسفاتاز قلیایی در نمونه‌های سرم مورد استفاده قرار گیرد، و چشم‌انداز وسیعی را برای تشخیص سایر نشانگرهای زیستی در نمونه سرم‌های بالینی، براساس ارزیابی ایمونوسوربنت (ماده‌ی جذب‌کننده‌ی سیستم ایمنی) مرتبط با آنزیم براساس واسطه فسفاتاز (آنزیم موجود در بافت-های بدن) قلیایی، ایجاد کرد. همچنین، Cu-MOFها می‌توانند برای درمان آنتی‌باکتریایی استفاده شوند. برای نمونه، MOF-Cuهای متشکل از اسید گلووتاریک و مشتق پیریدین، فعالیت‌های ضدباکتریایی فوق‌العاده‌ای را بر انواع مختلف باکتری‌ها با

حداقل غلظت ضدباکتری بسیار کم انجام می‌دهند.

۳-۲- طبقه‌بندی براساس لیگاندهای آلی

یکی از مزیت‌های اصلی MOF ها تنوع آن‌ها از نظر درصد ترکیب فلزات و پیونددهنده‌های آلی تشکیل‌دهنده است. مخصوصاً، پیونددهنده‌های آلی نقش اصلی در سازمان‌دهی سه‌بعدی سوپرامولکولی MOF ها و همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها دارند. کربوکسیلات‌ها و دیگر آنیون‌های آلی شامل فسفونات، سولفونات و ترکیبات هتروسیکل رایج‌ترین پیونددهنده‌های آلی هستند. در حقیقت، مشخص شده است که دامنه انتخاب پیونددهنده‌های احتمالی بسیار گسترده است. در میان آن‌ها، MOF های متشکل از لیگاندهای کربوکسیلات، تقریباً نیمی از تمام مواد سنتز شده را تشکیل می‌دهند. در مورد MOF های DDS، انتخاب اتصال‌دهنده نه تنها نقش تعیین‌کننده‌ای در طبیعت فیزیکی و شیمیایی MOF های حاصله دارد، بلکه در پایداری آن‌ها در محیط‌های بیولوژیکی، تجزیه‌پذیری، فراهمی زیستی و سمیت نیز نقش دارد.

انتخاب اتصال‌دهنده منجر به کاربردها و ویژگی‌های منحصر به فرد MOF می‌شود. برای مثال، پیونددهنده‌های مبتنی بر پلی‌کربوکسیلیک اسید یا ایمیدازول به دلیل سمیت نسبتاً کمی که دارند، عمدتاً از ترشح متابولیسم و قطبیت بالا در شرایط فیزیولوژیکی ناشی می‌شود، به طور گسترده‌ای برای تهیه MOF در نظر گرفته می‌شوند. کربوکسیلات آهن همولوگ را می‌توان به طور ایمن از نظر زیستی، سنتز کرد. به شکل مشابهی، میزان بارگذاری دارو در MOF ها و الگوهای رهایش تحت تاثیر پیونددهنده‌های آلی و گروه‌های عاملی مختلف قرار دارند. جالب این است که مولکول‌های فعال به عنوان پیونددهنده برای سنتز اصطلاحاً BioMOF ها استفاده می‌شدند. این استراتژی نه تنها پیلودهای زیاد دارو را به دلیل خود-مونتاژی ذاتی مولکول‌های فعال ارائه می‌دهد، بلکه امکان زیست‌سازگاری خوبی را نیز فراهم می‌کند.

در واقع، انواع مولکول‌های زیستی، از جمله آمینو اسید، نوکلئوبازها یا قندهایی که به راحتی یا به طور طبیعی در دسترس هستند، می‌توانند به عنوان واحدهای سازنده مورد استفاده قرار گیرند. تا جایی که ما می‌دانیم، Gramaccioli و همکارانش، در سال ۱۹۶۶ با ترکیب Zn (II) و گلوتامات، یک انتقال‌دهنده عصبی مهم، اولین MOF های سه بعدی زیست‌سازگار مبتنی بر اسید آمینه را سنتز کردند. با این حال، کاربردهای زیست‌پزشکی BioMOF ها به دلیل مطالعه ناکافی در مورد پایداری این سیستم‌ها در محیط‌های بیولوژیکی، به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. تنها چند نمونه از BioMOF هایی که می‌توانند داروها را جذب و آزاد کنند گزارش شده است. با توجه به اینکه بسیاری از مولکول‌های درمانی دارای چندین گروه کمپلکس در ساختار خود هستند، گزارش‌های زیادی در مورد استفاده از مواد سازنده فعال برای ساخت BioMOF وجود دارد. اولین نمونه از یک مطالعه درباره BioMOF مبتنی بر دارو در ۲۰۱۰ گزارش شد، که از آهن درون‌زا و ویتامین B^۳ فعال از نظر درمانی، به همراه ویژگی‌های آنتی لیپید، اتساع عروق و درمان پلاگرا تشکیل شد. به طور مشابه، اولسالازین، عاملی که معمولاً برای درمان کولیت اولسراتیو و سایر اختلالات گوارشی مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند به عنوان یک لیگاند برای ساخت مجموعه‌ای از MOF های مزوپور جدید مورد استفاده قرار گیرد و عملکرد هماهنگ‌کننده‌ای شبیه به دی‌هیدروکسی ترفتالیک اسید، که در کامپوزیت‌های خانواده CPO-۲۷/MOF-۷۴ استفاده شد را نشان دهد.

۴- کاربردهای MOF ها در درمان و داروسازی

۴-۱- سیستم‌های MOF برای درمان بیماری‌ها

به دلیل ویژگی‌های مفید MOF ها در دارورسانی، آن‌ها به عنوان DDS هایی محبوب، برای بیماری‌های زیادی از جمله عفونت‌ها،

بیماری‌های ریوی، دیابت شیرین، بیماری‌های چشمی و تومورها که در سال‌های اخیر پیشرفت چشم‌گیری داشته‌اند، مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته‌اند.

۲-۴- کاربردهای ضد باکتریایی

رهایش هوشمند عامل ضد باکتریایی در حیطه مقاومت باکتری و عفونت باکتریایی در جراحی و فرآیند جراحی، مورد علاقه زیادی واقع شده‌است. حامل‌های غیرآلی و حامل‌های پلیمری آلی برای DDSهای ضدباکتریایی مطرح شده‌اند اما ناپایداری آن‌ها، زیست‌سازگاری ضعیف و رفتارهای انتشار کنترل‌نشده، کاربردهای آن‌ها در ضد باکتری را محدود می‌کند. اخیراً MOFها با چارچوب‌های ترکیبی آلی و غیرآلی، برای درمان ضد باکتری مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌است. MOF-53(Fe) تشکیل شده از یون‌های آهن و BDC به دلیل پایداری شیمیایی خوب در محیط اسیدی، به عنوان یک حامل برای عامل‌های ضد باکتریایی توسط لین و همکاران بررسی شده است. آنتی‌بیوتیک‌های درشت‌مولکول گلیکوپپتید، وانکومیسین با NPهای MOF-53(Fe) به صورت جذب فیزیکی ترکیب شده‌اند. بارگذاری داروی وانکومیسین می‌تواند به ۲۰٪ (w/w) برسد. علاوه بر این، MOF-53(Fe) یک پروفایل رهایش آرام‌تر و قابل کنترل دارو با ۳/۹۹٪ کارایی ضد باکتریایی در مقابل استافیلوکوکوس اورئوس تحت شرایط عفونت باکتریایی (pH = ۵/۵) نشان داد. ضمناً، MOF-53(Fe)@vancomycin یک پایداری شیمیایی ایده‌آل و زیست‌سازگاری عالی در محیط In vitro به نمایش گذاشت.

عفونت‌های باکتریایی بین سلولی به سختی درمان می‌شوند چرا که عوامل بیماری‌زا می‌توانند درون اجزا سلول مخفی شوند و در نتیجه سیستم ایمنی نمی‌تواند آن‌ها را نظارت کند. گیلان و همکاران از ZIF-8 برای بارگذاری سفنازیدیم، یک سفالواسپورین طیف گسترده نسل سه، استفاده کرده‌اند. بارگذاری موفق سفنازیدیم در ZIF-8، با نقشه‌برداری عنصری STEM-EDS با وضوح بالا بررسی شده است. تست رهایش دارو در PBS نشان داد که حدود ۷۰٪ از سفنازیدیم، در pH = ۰/۵ آزاد شد در حالی که ۵۰٪ آن، در pH = ۰/۷ در طول روز اول، آزاد شد. قابلیت‌های ضد باکتریایی ZIF-8 تازه و ذرات ZIF-8@ceftazidime در برابر Gram-negative E. coli اندازه‌گیری شده بودند. جالب توجه است هیچ تفاوتی بین آن‌ها بعد از ۲۴ ساعت مشاهده نشد اما ZIF-8@ceftazidime تقریباً رشد زیادی در بازاریندگی E. coli در ۵۰ μg/mL نشان داد در حالی که ZIF-8 طبیعی و دست‌نخورده، بعد از ۷۲ ساعت دوره نهفتگی هیچ اثر ضد باکتریایی نداشت و این نشان می‌دهد که اثرگذاری ضد باکتریایی به تجزیه ZIF-8@ceftazidime بستگی دارد. هم‌چنین داخلی‌سازی سلولی ذرات به طور مستقیم با میکروسکوپ کانفوکال مشخص شد که از این سیستم می‌توان برای از بین بردن باکتری‌های داخل سلولی استفاده کرد. یک کاربرد دیگر ZIF-8 برای ضد باکتری، توسط ژانگ و همکاران گزارش شد. هنگام سنتز FIZ-8، تتراسایکلین به صورت تک‌مرحله‌ای درون MOF کپسوله‌سازی شد. هم‌چنین هیالورونیک اسید (HA)، از طریق هماهنگی برای هدف‌گیری فعال باکتری درون سلول روی ZIF-8@tetracycline قرار گرفته بود. این نانوکامپوزیت (TZH) ZIF-8@HA@tetracycline توانست یک انتشار آنتی‌بیوتیک پاسخگو به Hp را تحقق بخشد. مهم‌تر از آن، Zn(II) و ضد باکتریایی‌های آزاد شده از ZIF-8 توانستند به یک اثر ضد باکتریایی هم‌افزا برسند. به علاوه با کمک HA، TZH موفق شد باکتری‌های داخل سلولی را به طور مؤثرتری از بین ببرد و مقدار آنتی‌بیوتیک را به طور قابل توجهی کاهش دهد. در نهایت، میزان تصفیه باکتری‌های داخل سلولی توسط TZH بیش‌تر از ۸۹٪ بود.

تاکنون، در مورد MOF های بررسی شده در زمینه ضد باکتریایی به عنوان حامل های دارو، مطالعات کمی بحث کردند که قطر، شکل و اصلاح سطح MOF ها روی داخلی سازی سلولی آن ها تاثیر گذاشته است. گواو و همکاران، ذرات LIM-۸۸ (A) و LIM-۱۰۱ (eF) که هر دو برای هدف گیری فعال با مانور ترکیب شدند و به ترتیب به شکل میله و کره طراحی شدند را به عنوان یک روش امیدوارکننده ی تحویل تقلیدکننده های باکتری برای عفونت های داخل مجموعه ای مورد بررسی قرار دادند. شکل LIM-۸۸ (eF) یک میله با یک محور بلند به طول 735 ± 8263 nm با نسبت طول به عرض ۵:۱ بود در حالی که قطر LIM-۱۰۱ (eF) کروی $301/9 \pm 7/2$ nm بود. تست داخلی سازی سلول نشان داد که NP های (Fe) MIL-۱۰۰ سریع تر داخلی سازی شدند اما مانوسیلایسون، جذب (Fe) MIL-۱۰۰ را افزایش نداد زیرا میزان و وسعت جذب آن بسیار بالا بود؛ در حالی که جذب سلولی (Fe) MIL-۸۸۸ به شدت افزایش یافته بود. هم چنین ثابت شد که میکروپینوسیتوز یا میکروفاگوسیتوز (خردقطره خواری یا خردبیگانه خواری) راه داخلی سازی اولیه برای جذب ذره MOF هستند.

جلوگیری از عفونت و ترویج پیوند استخوانی، دو هدف مهم در پزشکی استخوان (ارتوپدی) هستند. یو و همکاران، NP های MOF بارگذاری شده با نارینژین را برای پوشاندن کلاژن معدنی شده طراحی کرد. با کمک NP های MOF، سینتیک رهایش نارینژین، می تواند کنترل شود تا پیوند استخوانی را تقویت کرده و از عفونت باکتریایی جلوگیری کند. نتایج، یک عملکرد فوق العاده در اثر کوئتینگ برای سلول های بنیادی مزانشیمی از جمله اتصال، تکثیر، تمایز استخوانی و کانی سازی نشان دادند. در ضمن، اثرگذاری ضد باکتریایی در مقابل *S. aureus* نیز افزایش یافته بود که کاربرد احتمالی این پوشش استخوانی را برای مواد کشت داده شده تایید کرد.

مطالعات فراوانی نشان دادند که NP های نقره ی فرانرم (Ag)، به دلیل رهایش یون های Ag (I) و تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS)، عوامل ضد میکروبی امیدوارکننده ای هستند. با این حال، NP های Ag فرانرم، معمولاً ناپایدار هستند و به آسانی انبوه می شوند. شایکا و همکاران، سنتز NP های Ag فرانرم به کمک قالب با اندازه ای حدود ۲ nm و با استفاده از بینابینی γ -CD-FOMs در یک ظرف که باعث افزایش پایداری NP های Ag شد، را گزارش داد. هم چنین Ag@CD-FOMs با پتید GRGDS برای بهبود انعقاد خون در محل زخم، پیوند عرضی و اصلاح سطح داده شد. تست ضد باکتری مانند تست انعقاد خون ثابت کرد که GS5-CL-Ag@CD-FOMs به دست آمده، استراتژی خوبی برای ترکیب انعقاد خون و آنتی بیوتیک ها بود. به دلیل کارایی محدود ضد باکتریایی، استفاده از دوز بالا و ضد عفونی آرام در روش باکتری کشندگی تک مدل پیشنهاد می شود و این ضروری است که یک سیستم باکتریایی دوگانه توسعه داده شود. یانگ و همکاران یک نانوکامپوزیت مشتق شده از FOM/Ag شامل Zn فلزی و یک چارچوب شبیه cgraphitic با توانایی عالی رهایش یون های فلزی و قابلیت تبدیل نور گرمایی قوی برای خنثی سازی هم افزایی سنتز کرد. وقتی در معرض تابش نزدیک به مادون قرمز قرار گرفت، گرمای زیادی برای از بین بردن غشای باکتریایی تولید شد. هم زمان، مواد داخل سلولی باکتریایی به دلیل مقدار زیاد یون های Zn (II) و Ag (I) خارج شده از نانوکربن نشأت گرفته شده از MOF، خراب شدند. به علاوه، کامپوزیت، سمیت سلولی کم تر با اثر ضد باکتریایی عالی در آزمایش های اصولی ضد باکتریایی نشان داد.

۳-۴- درمان بیماری های ریوی

رهایش ریوی داروها می تواند به هدف دارو درمانی با کارایی بالا برای بیماری های ریوی مانند آسم، عفونت های دستگاه

تنفسی، بیماری‌های مزمن انسدادی ریه و سرطان ریه منجر شود. با توجه به ساختار قابل‌تنظیم و متخلخل، اندازه قابل استنشاق، MOF‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل‌های رهایش داروی ریوی مورد استفاده قرار گیرند. به تازگی، هیوت و همکاران از MOF-CD- γ برای بارگذاری بودزونیید که با کلسترول (CHO) و لوسین پلوکسامر برای اسپری تنفسی (dry power inhaler) اصلاح شده بود، استفاده کرد. توزیع اندازه ذرات نشان داد که بیش از ۹۰٪ ذرات در قطر مناسب ۱-۵ μm برای مصرف استنشاقی بودند. علاوه بر این، اصلاح با CHO می‌تواند با موفقیت قابلیت جریان‌پذیری و خواص آیرودینامیکی MOF-CD را در شرایط آزمایشگاهی بهبود بخشد. از همه مهم‌تر، آزمایش‌های *In vitro* روی حیوانات نشان داد که دستگاه استنشاقی نیروی خشک (dry power inhaler) برپایه MOF-CD-CHO ممکن است یک حامل تحویل ریوی امیدوارکننده باشد.

در تحقیق دیگری که توسط محمد و همکاران گزارش شده است، از MIL-۸۹ PEGylated (MIL-۸۹ PEG) و MIL-۸۹ به‌عنوان حامل‌های تحویل فشار خون شریانی ریوی استفاده شده است. هر دوی آن‌ها دارای اندازه ذرات، در محدوده ۱۵۰-۵۰۰ nm، با اکثریت اندازه ذرات 38 ± 100 nm بودند. پس از MIL-۸۹ PEG، افزایش همگن و یکنواختی شکل و بهبود پایداری را نشان داد. آزمایشات سلولی نشان داد که هیچ کدام از MIL-۸۹ و MIL-۸۹ PEG برای سلول‌های اندوتلیال سمی نیستند. علاوه بر این، هر دو آن‌ها اثر ضد التهابی را در ماکروفاژها نشان دادند. علاوه بر این، آزمایشات *in vivo* نشان داد که MIL-۸۹ در مدت کوتاهی به خوبی تحمل می‌شود و در ریه‌ها انباشته می‌شود، که ممکن است حامل‌های مناسبی برای داروهای فشار خون شریانی ریوی باشند.

درمان بیماری سل برای دستیابی به یک کنترل بهتر و درمان انفرادی به ترکیبی از دارورسانی و تصویربرداری نیاز دارد. برای جلوگیری از قرار گرفتن در معرض تماس گسترده و عوارض جانبی، تحویل ریوی داروی ضد سل یک استراتژی ایده‌آل برای حفظ غلظت‌های درمان مؤثر موضعی است. برای جلوگیری از در معرض قرار گرفتن تماس گسترده و عوارض جانبی، تحویل ریوی داروی ضد سل یک استراتژی ایده‌آل برای حفظ غلظت‌های مؤثر درمان موضعی است. بنابراین، نانوذرات MIL-۱۰۱-NH₂-Fe به‌عنوان حامل‌هایی برای کنترل رهایش ایزونیازید (INH) و عامل کنتراست MRI توسط Wyszogrodzka و همکاران استفاده شد. آزمایشات سمیت سلولی *In vitro* ایمنی Fe-MIL-۱۰۱-NH₂ را تأیید کرد و مطالعات درونی‌سازی سلول‌ها از پتانسیل کاربردی آن در درمان سل حمایت کرد. برای بهبود خواص آیرودینامیکی MOF بارگذاری شده با (MOF-INH) INH، از ریزذرات (PLGA) (poly (lactide-co-glycolide)) آبگریز برای بارگذاری MOF-INH از روش خشک کردن با اسپری (drying spray) استفاده شد، سپس با میکروذرات leucine D بارگذاری شده در MOF-INH خشک شده با اسپری مخلوط شد. در نهایت، PLGA/LC بارگذاری شده در MOF-INH، ویژگی‌های آیرودینامیکی عالی، رهایش کنترل شده INH و درونی‌سازی خوب درون ماکروفاژها را بیان کرد. علاوه بر این، یون‌های Fe در MOF-INH می‌توانند عامل کنتراست MRI برای ردیابی ذرات پس از استنشاق باشند. علاوه بر این، سیمون یارزا و همکارانش در سال ۱۹۵۵ دریافتند که MOF nanoهای برپایه polycarboxylate Fe(III) به دلیل حساسیت منحصربه‌فرد pH و خاصیت تجمع برگشت‌پذیر، قادر به هدف قرار دادن بافت ریه هستند. پس از استعمال داخل وریدی، تحت pH خنثی خون، MOF nanoها ریزتجمعاتی را تشکیل دادند که در مویرگ‌های ریه نگهداری می‌شدند. در طول ۲۴ ساعت، آگلو موریت‌ها (تجمع‌ها/توده‌ای شدن‌ها) تجزیه شده و شروع به تخریب می‌کنند، که منجر به رهایش دارو با اثر درمانی بهتر در مقایسه با داروی آزاد و کاهش متاستاز می‌شود. به ویژه، زمان مناسب تجمع/تجزیه تجمع برگشت‌پذیر با فیزیولوژی بافت سازگار بود و از مسائل مربوط به سمیت به دور بود.

دیابت هنوز یک مشکل جدی بهداشتی در سراسر جهان است. مدیریت دیابت نوع ۱ برای حفظ قند خون به تزریق مداوم انسولین نیاز دارد. ایجاد یک سیستم تحویل مؤثر و پیشرفته انسولین از اهمیت بالایی برخوردار است. بیشترین مطالعه سیستم‌های تحویل انسولین مبتنی بر GOx برای درک واکنش‌پذیری (پاسخگویی) گلوکز است که معمولاً با مواد پاسخگو به Hp اصلاح سطح می‌شوند. دوان و همکاران یک روش ساده برای ساخت یک سیستم رهایش انسولین پاسخگو به گلوکز پیشرفته را بررسی کردند، جایی که انسولین ۸-ZIF/GOx توسط مخلوطی از Zn (II)، ۲- متیل ایمیدازول، GOx و انسولین خود مونتاژ می‌شد. هنگامی که سطح گلوکز خون بالاتر از حد طبیعی بود، GOx گلوکز را به گلوکونیک اسید کاتالیز می‌کرد، سپس تغییر pH موضعی منجر به تجزیه ۸-ZIF و در نتیجه باعث رهایش انسولین می‌شد. علاوه بر این، هنگامی که سطح قند خون به شرایط نرمال گلیسمی رسید، رهایش انسولین از ۸-ZIF کاهش یافت و از افت قند خون (هیپوگلیسمی) جلوگیری شد.

به تازگی، یک استراتژی جدید توسط یانگ و همکاران، با استفاده از ۸-ZIF-Co چند آنزیمه دربردارنده انسولین و GOx به عنوان مخزن ذخیره برای ترکیب با میکرونییدل‌ها برای انتقال انسولین از طریق پوست طراحی شده است. یون‌های Co (I) در ۸-ZIF-FOM به عنوان یک کاتالاز تقلیدگر زیستی برای تجزیه H_2O_2 اضافی به منظور جلوگیری از آسیب محتمل به بافت طبیعی طراحی شده‌اند. در همین حال، یون‌های Co (I) آزاد را می‌توان با اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید SiO_2 -NP‌های اصلاح شده در میکرونییدل‌ها chelate کرد، سپس با لایه برداری میکرونییدل‌ها حذف شد. نتایج نشان داد که میکرونییدل‌های برپایه MOF عملکرد آزادسازی انسولین خوبی را بسته به غلظت گلوکز بدون نشت H_2O_2 و Co (I) نشان دادند. زخم پای دیابتی یک مشکل جدی برای مبتلایان به دیابت است و هیچ درمان موثری وجود ندارد. شیائو و همکارانش برای اصلاح زخم‌های درمان ناپذیر مزمن MOF-CU‌های (۱-HKUST-F) اصلاح شده با FA را توسعه دادند. FA (فرمیک اسید) هنگام سنتز ۱-HKUST برای کند کردن رهایش یون‌های Cu (II) اضافه شد و در نتیجه سرعت التیام زخم بهبود یافته و سمیت آن کاهش یافت. تست‌های in vivo نشان داد که ۱-F-HKUST می‌تواند باعث ایجاد رگ‌زایی، رسوب کلاژن و اپی‌تلیالیزاسیون مجدد (بازسازی مجدد بافت پوششی اپی‌تلیال) و افزایش سرعت بهبود زخم شود.

۴-۵- درمان بیماری‌های چشمی

داروهای چشمی که به صورت قطره چشمی تهیه می‌شوند، معمولاً سریع از چشم خارج می‌شوند، بنابراین فراهمی‌زیستی (bioavailability) چشمی آن‌ها را که معمولاً کم‌تر از ۵٪ است، محدود می‌کند. بنابراین، کیم و همکاران از ۸۸-MIL-NH₂ (Fe) برای رهایش مداوم و پایدار بریمونیدین برای افزایش فراهمی‌زیستی چشم استفاده کردند بریمونیدین از طریق جذب فیزیکی درون منافذ بزرگ داخلی (Fe) ۸۸-MIL-NH₂ قرار داده شد. علاوه بر این، با توجه به گروه‌های آمینه و لیگاند‌های آلی غنی از هیدروژن در این MOF، پیوندهای هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل طبیعی زنجیره‌های موسین ایجاد شد، سپس خواص چسبندگی مخاطی ایجاد کرده و در نتیجه افزایش نگهداری و ماندگاری داروها را در چشم به دنبال دارد. تست In vitro یک روش رهایش مداوم داروی انکپسوله شده در (Fe) ۸۸-MIL-NH₂ را نشان داد. علاوه بر این، در مقایسه با محصول موجود در بازار بریمونیدین (Alphagan-P)، فراهمی‌زیستی بریمونیدین در (Fe) ۸۸-MIL-NH₂ در تست in vivo افزایش یافت. شایان ذکر است، اگرچه این MOF می‌تواند در مایع فیزیولوژیکی در طول نیم روز به طور کامل به Fe (III) و

۲- آمینو BDC تجزیه شود، اما حضور طولانی مدت Fe (III) ممکن است برای ایمنی چشم تهدید کننده باشد.

یک تحقیق دیگر با استفاده از UiO-67 برپایه Zr بارگذاری شده با brimonidine tartrate و فیلم های نانوکامپوزیت پلی اورتان به عنوان داروهای جدید درمانی چشم توسط Gandara Loe و همکاران توسعه یافته است. این دستگاه پلیمری چشمی مبتنی بر MOF عملکرد جذب و رهایش عالی برای تارتارات بریمونیدین را به دلیل دارا بودن منافذ بزرگ چهار ضلعی و هشت ضلعی UiO-67 به نمایش گذاشت و رهایش داروی قابل کنترل و طولانی مدت را در درمان گلوکوم تحقق بخشید.

۴-۶- کاربردهای ضد توموری

توسعه DDS های جدید برای بهبود اثربخشی شیمی درمانی و کاهش عوارض جانبی برای درمان تومورها بسیار مهم است. به عنوان نانوحامل هایی با بارگذاری زیاد دارو و اصلاح آسان، MOF ها برای افزایش انباشت و تراکم داروها در تومورها مورد استفاده قرار گرفته اند. به منظور غلبه بر اثر مقاومت چنددارویی، ژانگ و همکاران از ZIF-8 برای تحویل همزمان داروهای شیمی درمانی P-glyco-protein (P-gp) و DOX مهار کننده وراپامیل هیدروکلراید (VER) استفاده کردند و متوجه افزایش غلظت دارو در سلول های توموری مقاوم به چنددارو شدند. DOX و VER از طریق یک استراتژی one-pot درون ZIF-8 گنجانده شدند، سپس ZIF-8@DOX ± VER با استفاده از پلی (اتیلن گلیکول)-فولات (PEG-FA) از طریق کئوردینانسیون برای تشخیص گردش خون طولانی مدت و هدفگیری فعال، که نشان دهنده افزایش کارایی درمانی و خواص بسیار ایمن تر نسبت به DOX آزاد، عامل دار شد.

درمان ضعف کردن ناشی از سرطان مبتنی بر GOx به عنوان یک روش امیدوارکننده برای درمان تومور در نظر گرفته شده است. با این حال، اثربخشی رهایش GOx و اثر درمانی خود محدودکننده، کاربرد آن را محدود کرده است. بنابراین، ژانگ و همکاران از ZIF-8 به عنوان حامل دربردارنده GOx و پیش داروی تیراپازامین استفاده کردند، سپس با غشای سلول های قرمز بسته بندی می شود تا یک غشای بیومیمتیک (شبه بیولوژیکی) نانو - راکتوری از erythrocyte@ZIF-8-GOx-tirapazamine ایجاد شود. حفره های بزرگ ZIF-8 می تواند به بارگذاری بالای GOx منجر شود و GOx را از لیچینگ، تجمع (توده ای شدن) و از دست دادن فعالیت کاتالیزوری، محافظت می کند. غشای سلول قرمز می تواند به ایمنی فراری (escape immunity) و طولانی شدن گردش خون کمک کند و سپس با تحویل GOx به سلول های توموری به تخلیه گلوکز درون سلولی و O₂ کمک کند. هاپیوکسی (کاهش اکسیژن رسانی) به تومور منجر به آغاز فعالیت بیش تر تیراپازامین برای تقویت درمان تومور روده بزرگ شد. در مطالعه دیگری که توسط جیانگ و همکارانش گزارش شده است، ZIF-8 برای تحویل همزمان کورستین به عنوان داروی ضد تومور و PN-SuC ها به عنوان عامل درمانی فتوترمال (PTT) برای تقویت درمان هم افزایی تومورها استفاده شده است. استفاده از ZIF-8 برای ادغام با کوئرتستین که یک عامل ضد سرطان امیدبخش با حلالیت ضعیف در آب و ناپایداری شیمیایی است، می تواند تا حد زیادی بر عیب و اشکال کوئرتستین غلبه کند.

PTT به دلیل حداقل تهاجمی بودن و گزینش پذیری بالا، توجه فوق العاده ای را به خود جلب کرده است. در این زمینه، هوانگ و همکاران ساخت درجا نانوکامپوزیت های ساخته شده از MIL-53 (Fe) با بهره وری از اکسیداسیون مونومر پیرول در قفس برای تولید NP های پلی پیرول را بررسی کردند. پس از پلیمریزاسیون، مساحت سطح زیاد، تخلخل ها و ساختار اولیه MIL-53 بدون تغییر بود، که به آن اجازه می داد تا DOX را برای شیمی درمانی بارگذاری کند. در همین حال، یون های Fe در MIL-53 به عنوان عامل کنتراست T₂ MRI برای ردیابی توزیع کامپوزیت ها عمل می کنند. نتایج نشان داد که PPy@MIL-53/DOX به دست آمده با قابلیت بارگذاری بالای دارو و اثر فتوترمال، هم افزایی درمانی خوبی را نشان می دهد. علاوه بر شیمی درمانی

و PTT، درمان فوتودینامیکی (PDT) با توانایی تولید سمیت سلولی اکسیژن واحد (۱۰۲) توسط حسگرهای نوری (PS) نیز یک روش امیدبخش برای مدیریت تومور بدخیم است. با این حال، مصرف اکسیژن ناشی از درمان PDT منجر به متاستاز برگشت ناپذیر تومور و مقاومت دارویی می شود. بنابراین، توسعه ی مواد جدید تولیدکننده ی O₂ برای تأمین O₂ در ریزمحیط (محیط میکرومتری) تومور، کارایی PDT را در برابر تومور هیپوکسی بسیار افزایش می دهد. اندازه منافذ قابل تنظیم MOF ها، مساحت سطح با تمایز زیاد و چارچوب متخلخل ظرفیت خوبی را برای ذخیره ی گاز به آن ها اعطا می کند. با الهام از این ها، گائو و همکاران یک نانوپلتفرم PDT-evolving O₂ (O₂ در حال تکامل) شبه بیولوژیکی (O₂@UiO-66@ICG@RBC) را، با استفاده از UiO-66 به عنوان مخزن ذخیره سازی O₂، و سپس با ایندوسیانین سبز (ICG) ترکیب (مزدوج) کردند. سرانجام، یک کوئتینگ (یک لایه ی پوششی) با غشای سلول قرمز (RBC) به منظور فرار ایمونولوژیک (immunologic escape) به دست آمد. هنگامی که در معرض تابش لیزری ۸۰۸ nm قرار می گیرد، ۱۰۲ تولید شده از ICG غشای RBC را تخریب کرده و رهایش O₂ را از UiO-66 تسهیل می کند و بنابراین اثرات PDT را بهبود می بخشد. غلظت GSH، که یک آنتی اکسیدان حیاتی درون سلولی است، در پاسخ به آسیب درون سلولی ناشی از O₂ ۱۰۲ حفظ هموستاز ردوکس کاهش یافت. شایان ذکر است که مصرف GSH مربوط به فروپتوز که یک مرگ سلولی وابسته به آهن است، می باشد که به طور کلی با سایر مرگ های سلولی متفاوت است. در مطالعه دیگری، منگ و همکاران یک نانوحامل برپایه MOF برای ترکیب PDT با فروپتوز، با استفاده از دی سولفید حاوی ایمیدازول به عنوان یک لیگاند ارگانیک و Zn (II) به عنوان یون های فلزی کئوردینه را طراحی کردند و سپس یک حسگر نوری کلر ۶e را انکپسوله کردند. پس از تابش نور، تحلیل GSH ناشی از MOF بارگذاری شده از کلر ۶e از طریق واکنش دی سولفید تیول منجر به غیرفعال شدن گلوپتاتین پراکسید ۴ شد که به فروپتوز نسبت داده شد، در نهایت، دستیابی به افزایش ضد تومور PDT از طریق نانوحامل MOF حاصل گشت.

مطالعه دیگری که PDT را با درمان ضدسرگزیایی ترکیب می کند، با استفاده از نانو ساختار MOF porphyrinic به عنوان حامل دارورسانی ضدسرگزیایی و عامل PDT توسط مین و همکاران گزارش شد، که با لایه MnO₂ اصلاح شده بود تا GSH اضافی در تومور را برای بهبود فرایند درمان PDT خنثی کند سپس توسط غشای سلول های سرطانی سینه ی موش (۴T۱) از قابلیت دستیابی به توانایی هدف قرار دادن تومور برخوردار گشت. پس از تزریق داخل وریدی، porphyrin Zr-MOF چندعاملی به صورت انتخابی در تومور از طریق هدف قرار دادن همولوگ (متشابه) به واسطه استتار غشای سلول های توموری تجمع می یابد، سپس PDT با مصرف GSH افزایش می یابد و رهایش داروی ضدحساسیت آپاتینیب (apatinib) به طور مشترک درمان تومور را بهبود می بخشد. علاوه بر این، Mn (II) رهایش یافته از MnO₂ می تواند برای تصویربرداری تومور درون بدن به عنوان خاصیت کنتراست MRI مورد استفاده قرار گیرد.

به تازگی، حداد و همکاران یک DDS مبتنی بر MOF که میتوکندری را هدف قرار می داد که برای درمان سرطان استفاده می شد، با استفاده از UiO-66 به عنوان حامل های باگذاری داروی ضدسرطان دی کلرواستات ایجاد کردند، سپس آن را با تری فنیل فسفونیوم برای هدف قرار دادن میتوکندری ترکیب کردند. آزمایش های میکروسکوپی سوپررزولوشن به طور مستقیم نشان داد که رده های سلولی سرطان سینه انسان سلول های MCF-۷ تحت درمان با MOF به دست آمده، تغییر مورفولوژی میتوکندری را به دنبال داشت که با اتوفاژی و مرگ سلولی همراه بود. علاوه بر این، آنالیز ترانسکریپتوم ژن نشان داد که بیان ژن سلولی هنگام درمان با MOF مورد نظر به طور گسترده ای تغییر کرده است، که نشان دهنده روش ارزشمند این MOF ها

درباربر میتوکندری است.

همانطور که می‌دانیم، مونوکسید کربن (CO) به دلیل تمایل بیش‌تر به هموگلوبین نسبت به اکسیژن برای مردم مضر است، که می‌تواند برای درمان تومورهای بدخیم در ترکیب با شیمی‌درمانی و PTT استفاده شود. لازم به ذکر است که رهایش درون سلولی CO و بسته به تقاضا رهایش به دلیل سمیت آن ضروری است. برای پی بردن به طیف-سنجی مادون قرمز با ترکیبی از گاز درمانی CO و شیمی‌درمانی، یک دستورالعمل جدید توسط یائو و همکاران پیشنهاد شد که با استفاده از نانو MOF های برپایه MIL-100 (MIL-100) PEGylated Fe (III) اصلاح شده با Mn carbonyl، نانوذرات کربن مغناطیسی (MCM@PEG-CO) را کپسوله کرد. در این استراتژی، Mn (CO)5Br به عنوان منبع CO انتخاب شد در حالیکه نانو FOM MIL-100 ظرفیت بارگذاری بالای دارو DOX را اجازه می‌دهد. در همین حال، MIL-100 اصلاح شده با 4,4'-diamino-2,2'-bipyridine (DABPY)، باعث آزاد شدن Mn (CO) 5Br برای رهایش کنترل شدهی CO می‌شود. علاوه بر این، پیدایش هسته کربنی مغناطیسی نه تنها می‌تواند درمان PTT را با تابش طیف‌سنجی مادون قرمز انجام دهد، بلکه همچنین MRI T2 را که به MCM@PEG-CO قابلیت تصویربرداری حالت دوگانه توموری، از جمله تصویربرداری فتوآکوستیک و MRI می‌دهد، تقویت کرد.

اخیراً، یک مطالعه نشان داد که اولین کاربرد تقویت‌کننده‌های رادیویی ساخته شده از MIL-100 با داروی ضدسرطان حساس به رادیویی MEG انجام شده است. چارچوب متخلخل معمولی MIL-100 با برش‌دهنده‌های اکسوسنتور Fe جدا شده در حدود 5 Å² (اتصال‌دهنده‌های تریمسات (trimesate)) قادر بود الکترون‌های انتشار یافته از نانو MOF ها را به دلیل فعال شدن اشعه ی پراکنده کند. به نوبه خود، این باعث تحریک رادیولیز آب و ظهور رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود و به سلول‌های سرطانی آسیب می‌رساند. علاوه بر این GEM، MIL-100 آن‌ها را درون سلول‌های سرطانی حمل می‌کرد. با نمایش مکانیسم‌های مختلف عمل، GEM و MIL-100 هر دو به افزایش اثر تابش به صورت هم‌افزایی کمک کردند. این مطالعه راه‌های جدیدی را برای پروژه PN های مهندسی شده باز کرد که در آن هر جزء از طریق پرتودرمانی در درمان تومور نقش داشت.

۲-۴- کاربردهای دارویی

۱-۲-۴- افزایش حلالیت و فراهمی زیستی داروها

در کشف داروها، تقریباً ۷۰٪ از نامزدهای داروهای جدید حلالیت کمی در آب نشان می‌دهند، که ممکن است کاربردهای بالینی آن‌ها را برای جذب ضعیف محدود کند. به دلیل ساختار بسیار متخلخل، MOF ها دارای ظرفیت بارگذاری بی‌حد و حصر برای داروهای نامحلول هستند، که نمایانگر حامل‌های مؤثر برای حلالیت آبی و بهبود فراهمی زیستی برخی از داروهای آبگریز هستند. در صورت تخریب سریع ذرات در محیط آبی، یک دارو ممکن است بلافاصله آزاد شود. در مقایسه با لفلونومید، استفاده از MOF های متخلخل MOF-DC-7 به عنوان ظرف دارویی برای بارگذاری لفلونومید می‌تواند حلالیت لفلونومید را به میزان قابل توجهی ۸۰ برابر افزایش دهد. MOF-DC-7 ها می‌توانند داروهای نامحلول از جمله AZL، والسارتان و FA را بارگذاری کرده و به ترتیب حلالیت را تا ۳۴۰، ۵/۳۹ و ۱۴۵۳ بار افزایش دهند و برای فراهمی زیستی به ترتیب ۷/۹، ۹/۱ و ۵/۱ بار به دست آمد. به طور مشابه، نتایج فارماکوکینتیک (سینتیک دارویی) نشان داد که IBU@CD-MOF می‌تواند میزان جذب IBU را با حداکثر غلظت پلاسما در عرض ۲۰ دقیقه افزایش دهد و در مقایسه با نمک پتاسیم IBU۲۳۰، نیمه‌ی عمر طولانی‌تری در خون داشته باشد.

۲-۲-۴- پیشرفت‌های پایداری دارویی

پایداری ضعیف توسعه، ذخیره سازی و کاربرد داروها را محدود می کند. بسیاری از داروها به اسیدها، بازها، گرما، نور، اکسیژن و رطوبت حساس هستند و باعث اکسیداسیون، پلیمریزاسیون، تخریب و بلورینگی می شوند. تعدادی از مطالعات نشان داده اند که می توان از MOF برای بهبود پایداری داروها استفاده کرد.

می دانیم که کورکومین در شرایط خنثی و بازی ناپایدار است. به منظور حل این مشکل، کورکومین در منفذ MOF های MOF- γ -CD قرار داده شد. برخلاف کورکومین آزاد و کمپلکس حاوی کورکومین- γ /DC، پایداری کورکومین در pH ۵/۱۱ به طور قابل توجهی از طریق MOF- γ -CD ها حداقل ۳ بار بهبود یافت. از سوی دیگر، MOF- γ -CD نیز می تواند به عنوان حامل برای جلوگیری از تخریب و بلورینگی دارو در طول ذخیره سازی طولانی مدت استفاده شود. لانسوپرازول در محیط های مرطوب به سرعت تجزیه می شود و تمایل زیادی به بلورینگی دارد. لی و همکاران، لانسوپرازول را در طول سنتز MOF- γ -CD، انکپسوله کردند که می تواند تا دو سال ذخیره شود و ویژگی های طیفی خود را حفظ کند. MOF-DC ها همچنین می توانند به عنوان حامل پالمیتات ناپایدار ویتامین A استفاده کرد. آزمایشات پایداری نشان داد که MOF- γ -CD ها پایداری ویتامین A پالمیتات انکپسوله شده را بدون هیچ آنتی اکسیدانی بهبود بخشید، پایداری آن بهتر از پودر ویتامین BASF-A موجود در بازار بود و نیمه عمر ویتامین A تا ۶/۱ بار افزایش یافت. کاربردهای دارویی آنزیم ها به دلیل پایداری ضعیف آن ها در دمای بالا و شرایط شدید Hp با مشکل مواجه می شود. از آنجا که ساختار فعال سه بعدی آنزیم ها عمدتاً توسط برهم کنش های غیر کووالانسی ضعیف تر حفظ می شود، عوامل استرس زای حرارتی، pH و شیمیایی می توانند فعالیت را تغییر داده یا از بین ببرند. چارچوب های آلای فلزی (MOF)، که مواد شبکه متخلخل گسترده ای هستند که با رویکرد بلوک ساختمان از گره های پایه ی فلزی و پیوندهای آلای مونتاژ شده اند، می توانند برای حفاظت از آنزیم ها مورد استفاده قرار گیرند. هنگامی که MOF در حضور مولکول زیستی سنتز می شود، می توان از ساختارهای خود مونتاژ MOF برای محصور کردن یک آنزیم در فرآیندی به نام تجزیه و ترکیب کردن استفاده کرد. از طرف دیگر، آنزیم ها را می توان در ساختارهای مزوپور MOF نفوذ داد یا سطح را از طریق فرایندهای کووالانسی یا غیر کووالانسی متصل کرد. ترکیب مواد و آنزیم های MOF به این ترتیب باعث محافظت می شود و به آنزیم اجازه می دهد فعالیت خود را در شرایط چالش برانگیز حفظ کند (به عنوان مثال، عوامل تغییر شکل دهنده، افزایش درجه حرارت، pH غیر طبیعی و حلال های آلای). به تازگی، MOF ها برای تثبیت و بی حرکت کردن آنزیم ها توجه زیادی را به خود جلب کرده اند که پایداری شیمیایی/حرارتی آنزیم ها را بسیار بهبود می بخشد. او و همکاران لیپاز ترموفیلک را درون ZIF-۸ با رویکرد خود مونتاژی انکپسوله کردند که باعث افزایش پایداری شیمیایی و حفظ فعالیت کاتالیزوری لیپاز شد. در مقایسه با lipase@ZIF-۸ بدون درمان با تریپسین، lipase@ZIF-۸ می تواند ۹۱٪ فعالیت کاتالیزوری را پس از درمان با تریپسین حفظ کند. پایداری بیشتر لیپاز همچنین در آزمایش تحمل Hp تشخیص داده می شود که در آن lipase@ZIF-۸ می تواند ۹۰٪ فعالیت کاتالیزوری را پس از انکوباسیون در ۵/۰، ۷/۰ و ۹/۰ به مدت ۲۰۰ دقیقه حفظ کند. لیانگ و همکاران پایداری اوره آز تعبیه شده در ZIF-۸ را با استفاده از یک استراتژی one-pot مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در محدوده ۲۳-۸۰ °C urease@ZIF-۸ در مقایسه با آنزیم آزاد، سرعت واکنش شروع را به طور قابل توجهی بهبود بخشید.

۴-۲-۳- کنترل رهایش دارو

MOF ها با اجتناب از "حالت تخریب انفجاری" و طولانی شدن زمان کپسوله سازی دارو، رهایش دارو را کنترل می کنند. سدیم دیکلوفناک (DS) کپسوله شده در MOF ها یک رفتار رهایش پایدار را اجازه می دهد. DS@ZIU-۸۰۰ فشرده شده با فشارهای

مختلف نامزدهای مناسبی برای دارورسانی بودند. در مقایسه با سینتیک رهایش 800-ZIU@DS که ۲ روز در PBS طول می‌کشد ($pH=7/4$) زمانی که فشار به ۱۰ و ۳۰ مگاپاسکال افزایش یافت، رهایش دارو می‌تواند به ترتیب به ۵ و ۸ روز افزایش یابد. علاوه بر این، 7-CD-FOM می‌تواند رهایش DS را تحت شرایط فیزیولوژیکی شبیه‌سازی شده دستگاه گوارش ($pH=2/1$) کنترل کند. 7-CD-FOM@DS حدود ۲۰٪ DS را در ۲ ساعت اول آزاد کرد. در مقابل، DS آزاد رهایش انفجاری نشان داد، با بیش از ۷۰٪ دارو که در ۵/۰ ساعت اول منتشر شد.

علاوه بر این، MOF ها همچنین حامل‌های عالی برای رهایش کنترل شده IBU بودند. پس از اینکه $53\text{-MIL@Fe}_2\text{O}_3$ ، IBU را کپسوله کرد، رفتار رهایش در محلول نمکی به سه مرحله تقسیم شد، ابتدا حدود ۳۰٪ IBU سریع در ۳ ساعت اول آزاد شد؛ سپس، IBU ۵۰ ظرف ۲ روز آزاد شد. در آخر، بقیه ۲۰٪ دارو به آرامی در ۵ روز آزاد شد. 53-MIL و 101-MIL و 100-MIL همچنین رهایش کنترل شده بهتری از IBU ارائه کردند. سینتیک رهایش نشان داد که کل رهایش IBU از 100-MIL پس از ۳ روز، از 101-MIL پس از ۶ روز و از 53-MIL پس از ۲۱ روز اتفاق افتاد.

MOF های غیرسمی مبتنی بر $Fe(III)$ پتانسیل رهایش کنترل شده دارو را دارند. داروی فسفریله شده، آزیدوتیمیدین تری‌فسفات، درون 100-MIL زیست‌سازگار کپسوله شد. رهایش تدریجی آزیدوتیمیدین تری‌فسفات از نانوذرات $100\text{-MIL}(Fe)$ عمدتاً توسط یون فسفات در محیط انکوباسیون تحریک و ایجاد شد. سینتیک رهایش سه مرحله مختلف را نشان داد: چند درصد دارو در ۴ ساعت آزاد شد؛ سپس، حدود ۹۰٪ آزیدوتیمیدین تری‌فسفات به PBS ($pH=7/4$) با FBS ۱۰٪ در مدت ۳ روز آزاد شد. در نهایت، ۱۰٪ باقی‌مانده‌ی دارو به آرامی در ۳ روز آزاد شد. جالب اینجاست که توپوتکان (یک داروی فعال شیمی‌درمانی) می‌تواند از طریق برهم‌کنش‌ها مبتنی بر روش "انتقال تحت فشار" درون منافذ 100-MIL تجمع یابد، تا زمانی که سیستم به برانگیختگی دو فوتونی ارسال شود، دارو آزاد نمی‌شود. در کنار این‌ها، 100-MIL متخلخل به عنوان نانوحامل DOX، با بارگذاری ۹٪ (وزنی/وزنی) و رهایش کل در ۱۴ روز استفاده شد.

۵- کاربرد MOF ها یا مواد زیستی مبتنی بر MOF در مهندسی بافت و پزشکی ترمیمی (TERM)

۵-۱-۵ MOF برای ایمپلنت‌های ارتوپدی

بیش‌تر گزارش‌های مربوط به استفاده از MOF در کاربردهای پزشکی ترمیمی (TERM) بر بهبود ایمپلنت‌های ساختاری استخوان متمرکز است. در حقیقت، بخش کوچک اما قابل توجهی از ایمپلنت‌های بالینی به دلیل محیط نامساعد و غیرقابل ترمیم زخم که ممکن است توسط عفونت باکتریایی تشدید شود، شکست می‌خورد.

۵-۱-۱-۵ زیست‌فعالی طبیعی MOF ها و تأثیر بر بیولوژی بافت استخوان

مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که مقاومت آلیاژهای منیزیم در برابر خوردگی با کوئت کردن 1-bio-MOF ، شامل یون‌های روی و آدنین و همچنین پیوند دهنده‌های $4,4\text{-biphenyldicarboxylate}$ به طور قابل توجهی بهبود یافته است. علاوه بر مهندسی مقاومت در برابر خوردگی برای یکپارچگی ساختاری بهتر، توانایی جلوگیری از عفونت باکتریایی برای ترکیب موفق ایمپلنت‌های استخوانی بسیار مهم است. $rS\text{-AH}$ (هیدروکسی آپاتیت جایگزین Sr) با 4FOMY توانایی‌های فوق‌العاده‌ای را برای مهار باکتری‌های $S. Aureus$ و $E. Coli$ نشان داده و همزمان باعث ایجاد آپوپتوز (مرگ سلولی برنامه‌ریزی شده) در سلول‌های سرطانی 2-Saos می‌شود درحالی که تکثیر و رشد استئوبلاست‌های اولیه را افزایش می‌دهد.

تأثیر یون‌های مختلف فلز بر کانی‌سازی و استخوان‌سازی استخوان از مدت‌ها قبل شناخته شده است و شناخت مکانیکی

از یون‌هایی مثل روی یا منیزیم به دست آمده است. در نتیجه، MOF ها تمایز استخوانی را در محیط *In vitro* نشان می‌دهند که نشان‌دهنده‌ی شاخص بهتر ایمپلنت‌های استخوانی است. کوئت کردن ZIF-8 روی ایمپلنت‌های تیتانیوم باعث افزایش فعالیت ALP، کانی‌سازی ماتریس خارج سلولی بهتر و تنظیم بیان ژنی استخوانی در سلول‌های ۳۶GM می‌شود، در حالی که از تکثیر استریپتوکوکوس موتانس جلوگیری می‌کند. گذشته از روی و منیزیم، Ca Sr MOF می‌تواند بیان ALP را تنظیم کند، در حالی که رهایش همزمان Ca و Sr سیگنال‌های القاء کننده‌ی استخوان را فراهم می‌کند. علاوه بر این، رهایش همزمان یون‌های کلسیم و استرانسیوم و همچنین پیونددهنده‌های بیس فسفونات (bisphosphonate) به منظور کانی‌سازی بهتر استخوان مورد توجه قرار گرفت. در زمینه پزشکی احیاء کننده، MOF/Mg/HCOOH برای درمان آرترروز مورد بررسی قرار گرفت. نشان داده شد که این MOF بیان OCN، Axin2 را تنظیم می‌کند و iNOS و IL-1 β را تنظیم می‌کند، که نشان‌دهنده یک اثر بالقوه‌ی مطلوب برای کاهش آرترروز است.

۵-۱-۲- افزایش فعالیت بیولوژیکی MOF ها از طریق بارگذاری دارو برای بازسازی استخوان

تحقیقات *in vivo* کمتر گزارش می‌شوند، که نشان می‌دهد زمینه MOF ها برای کاربردهای ارتوپدی در ابتدای تحقیقات است. Mg/Zn FOMY4، سمیت کم، ویژگی‌های ضدالتهابی و ضدباکتریایی طبیعی را نشان می‌دهد، در حالی که پیشرفت اولیه استخوان‌سازی و رگ‌زایی را در داخل بدن بهبود می‌بخشد. فعالیت بیولوژیکی MOF ها از طریق بارگذاری دارو برای بازسازی استخوان افزایش یافته است. فعالیت زیستی به دست آمده به هرگونه اثر بیولوژیکی اضافی اشاره دارد که از خود MOF سرچشمه نمی‌گیرد، که می‌تواند از طریق کپسوله کردن داروها، یون‌ها یا سایر عوامل زیست‌فعال به دست آید.

حامل‌های دارویی مبتنی بر MOF برای کوئت‌های ایمپلنت ارتوپدی به دلیل ظرفیت بالای کپسوله‌سازی دارو با رهایش زودرس ناچیز جالب هستند. مطالعات *In vitro* نشان داد که داربست‌های پلی‌لکتیک اسید لاکتیک (PLLA) که با مس 8-ZIF کوئت شده‌اند، تمایز استخوانی را در مقایسه با داربست‌های PLLA خالص افزایش می‌دهند در حالی که از عفونت باکتریایی در حضور یون‌های Zn^{2+} و Cu^{2+} جلوگیری می‌کند. فراتر از رهایش یون‌ها، MOF ها دارای قابلیت رهایش پایدار منحصربه‌فردی برای داروهای با وزن مولکولی کوچک هستند. رهایش پیوسته‌ی دگزامتازون به مدت 4 هفته از طریق ترکیب دگزامتازون بارگذاری شده با 8-ZIF در نانوکامپوزیت‌های سلولز هیدروکسی آپاتیت پیش‌بینی شده برای کاربردهای ارتوپدی تحمل بار انجام شد. یک رویکرد مشابه منجر به مواد کامپوزیتی ابریشم (SF-DEX@ZIF-8-Ti) imidazolate frame-8-titanium fibroin-dexamethasone@zeolitic شده است. سلول‌های پیش‌ساز استئوبلاست MC3T3-E1 کشت داده شده بر روی SF-DEX@ZIF-8-Ti تمایز استخوانی را افزایش داد. از این رو، تحقیقات فعلی نشان می‌دهد که پتانسیل خوبی از MOF ها برای تسهیل استخوان‌سازی ایمپلنت‌های استخوانی و در نهایت بهبود نتیجه بالینی آن‌ها وجود دارد. نمونه‌هایی برای درمان بیماری‌های استخوانی عبارتند از: رهایش نارینژین، که باعث بهبود استخوان‌سازی و جلوگیری از عفونت باکتریایی می‌شود، ارائه داروهای ضدسل برای درمان سل مفصلی و ترشح وانکومایسین برای درمان التهاب مغز استخوان. تنوع حامل‌های دارویی مبتنی بر MOF اساساً اجازه می‌دهد تا مکانیسم‌های پیچیده‌ای برای رهایش داروی متناسب با محرک‌های خاص طراحی شود. با این حال، تنها یک مطالعه رهایش وابسته به pH و یون Ca^{2+} داروها به محیط استخوان را با استفاده از Zr-MOFs که با شبه روتاکسان‌های مبتنی بر CP5 احاطه شده است، توصیف می‌کند.

مطالعات *in vivo* کمتر گزارش می‌شوند. یک مطالعه مواد ایمپلنت اصلاح شده با ذرات 8-ZIF لوفلوکساسین را مورد

بررسی قرار داد که منجر به چسبندگی، تکثیر و تمایز بهتر استئوبلاست‌ها در محیط *In vitro* شد. توجه خاصی بر انتشار Hp در محیط‌های نسبتاً اسیدی ناشی از التهاب و عفونت باکتریایی شد. اثربخشی این ماده ایمپلنت از نظر استخوان‌سازی و خواص ضدباکتریایی در مدل استخوان ران موش صحرایی تایید شد. در نتیجه، نشان داده شده است که MOF‌ها می‌توانند بهبود استخوان را از طریق خواص طبیعی و یا اکتسابی افزایش دهند. درحالی که مطالعات اولیه ارائه شده دیدگاه‌های بسیار خوبی برای استفاده از MOFs برای ترمیم استخوان ارائه می‌دهد، مطالعات بیش‌تری در مورد کاربرد بالینی آن‌ها مورد نیاز است.

۵-۲- MOF‌ها برای ایمپلنت‌های قلبی عروقی

تقریباً ۴ درصد از جمعیت جوامع صنعتی از بیماری عروق شریان (CAD) رنج می‌برند که نیاز به ترمیم دارد. به طور مرسوم، داروهای ضدانعقاد و اهداکنندگان اکسید نیتریک با وزن مولکولی کوچک که به عنوان رگ‌گشای عروق عمل می‌کنند، برای جلوگیری از انسداد شریان تجویز می‌شوند. در موارد شدیدتر، استنت‌های شست‌وشو دهنده‌ی دارو در شریان کاشته می‌شوند تا از انسداد دائمی جلوگیری شود. MOF‌های مبتنی بر مس اخیراً به عنوان جزء کوئت‌های ضد انعقاد برای ایمپلنت‌های عروق قلبی به وجود آمده‌اند.

در محیط *in-vitro*: Cu-BTC به عنوان کاتالیزوری کارآمد برای تبدیل s-nitroso-cysteine منتقل شده به خون به نیتریک اکسید و سیستمین، به وجود آمد. MOF-Cu‌های پیچیده‌تر بعداً برای تبدیل کاتالیزوری s-ntirosoglutathione مورد بررسی قرار گرفته است. این امر منجر به کار روی مواد کامپوزیتی MOF/پلیمر برای رهایش اکسید نیتریک به عنوان منشأ مناسب برای مواد ایمپلنتی جدید شده است. علاوه بر این مطالعات اولیه، Cu-BTC به طور مستقیم بر روی سطوح استنت به عنوان SURFOM رشد کرد و در محیط *In vitro* نشان داد که سازگاری مطلوبی دارد. در ارزیابی MOF‌های غیر مس برای ایمپلنت‌های قلبی عروقی، یک کامپوزیت (Fe) poly (ϵ -caprolactone) MIL-101 به عنوان ماده‌ای برای استنت‌های بدون فلز، با استفاده از MOF به عنوان تقویت دوباره‌ی خاصیت مکانیکی، ابزاری برای رهایش داروهای پایدار و عامل کنتراست تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، مطالعات کمی وجود دارد که به برهم‌کنش MOF‌ها با سلول‌های ماهیچه‌ای قلبی بپردازد.

در شرایط *in vivo*، Cu-BTC به عنوان اصلاح سطح استنت قلبی عروقی از طریق کوئت کردن به همراه پلی-دوپامین مؤثر نشان داده شد. استفاده از یک MOF مبتنی بر (1H-tetrazol-5-yl)isophthalic acid-5- با یون‌های Ni^{2+} و K^{+} در یک مطالعه دیگر از طریق کاهش تحریک‌پذیری غیرارادی در مدل موش از آریتمی (بی نظمی در ضربان قلب) جلوگیری کرد. مطالعات آینده نیاز به مقایسه‌ی اثربخشی و ایمنی MOF‌ها با مواد مورد استفاده در کلینیک دارد.

۵-۳- مواد بیولوژیکی مبتنی بر MOF برای مراقبت از زخم پوستی

نتیجه درمان بالینی زخم‌های مزمن ناشی از زخم‌های فشاری یا جراحات بیماران دیابتی اغلب نامطلوب است، که این مسئله علایق تحقیقاتی را برای استفاده‌ی بهتر از مواد مراقبتی برای زخم پوستی ایجاد می‌کند. علاوه بر این، دستیابی به هموستاز سریع و خواص ضدباکتریایی برای تجهیزات مراقبت‌های اورژانسی مهم است و نقش بالقوه MOF‌ها برای این دو کاربرد در موارد زیر بیان شده است.

در مطالعات *In vitro* منافذ (مش‌های/دانه‌بندی‌های) پلیمری با محتوی Cu-BTC و مواد زیستی مبتنی بر سلولز با قابلیت رهایش اکسید نیتریک به عنوان پانسمان زخم مورد بررسی قرار گرفت. برای نسبت دادن افزایش تنفس میتوکندری فقط به

اکسید نیتریک، یک MOF مبتنی بر تیتانیوم عاری از فعالیت زیستی طبیعی و با رهایش کنترل شده اکسید نیتریک از پیش بارگذاری شده، جایگزینی بدون مس پیشنهاد شد.

مطالعات *in vivo* تأثیر مثبت Cu-BTC را در ترمیم پوست با استفاده از زخم‌های پوسته‌ای با لایه‌ای ضخیم در جوندگان نشان داده است. شکل‌های (فرم‌های) دوز مصرفی شامل سوسپانسیون‌های بلوری Cu-BTC تثبیت شده با فولات (فولیک اسید) و ترکیبات هیدروژل بود. افزودن یون روی (Zn^{2+}) از ZIF-8 به طور مشابه در غشای کامپوزیت هیدروژل ZIF-8 برای ترمیم زخم مؤثر است. ترکیبی از یون‌های روی و مس در MOF‌ها که مولکول‌های فعال زیستی را بیش‌تر کپسوله کرده است، اطمینان داد که بیش‌ترین تأثیر را خواهد داشت. در ادامه‌ی این تفکر، کپسوله کردن MOF‌های مس/روی حاوی نیاسین در پوسته‌ی آلزینات دارای خواص ضدباکتریایی، آنتی اکسیدانی و رگ-زایی است که منجر به ترمیم قابل توجه بسته شدن زخم در مدل نقص پوستی با لایه‌ای ضخیم می‌شود. مطالعات آینده لازم است تا این اثرات به پتانسیل هم‌افزایی MOF‌ها نسبت داده شود و نه به حضور اجزای جداگانه آن پس از حل شدن.

۴-۵ MOFs برای مهندسی بافت عصبی و ایمپلنت‌ها

آسیب‌های ناشی از صدمه به سیستم عصبی منجر به بازسازی ناکارآمد و از بین بردن گلیال (glial) در یک فرآیند التهابی می‌شود که منجر به از بین رفتن بافت عصبی می‌شود. عوارض آن شامل فلج فیزیکی ماهیچه‌ها، اختلال عصبی یا اختلالات روانی است. این امر موجب توسعه مواد زیستی برای بازسازی بافت عصبی شده است، و MOFs ممکن است برای افزایش بیش‌تر مواد مثبت مشخصه برای این هدف مناسب باشند. این امر توسعه مواد زیستی را برای بازسازی بافت عصبی برانگیخته است، و MOFs ممکن است برای افزایش بیش‌تر مواد مفید خاص برای این هدف مناسب باشند.

In vitro بر ارزیابی پاسخ نورون‌های حسی به نانو ذرات معلق با استفاده از روش رشد نوریت متمرکز شده است، که نشان‌دهنده پتانسیل یک ماده برای ترویج رشد آکسون و در نتیجه بازسازی عصبی است. MOF‌های مورد بررسی شامل نمک‌های آهن و کروم تری‌اسمیک اسید (MIL-۱۰۰) و MOF‌های زیرکونیوم فومارات بودند. این MOF‌ها کاهش غلظت نوریت را در غلظت ۱۰۰ $\mu\text{g/ml}$ نشان ندادند، که نشان‌دهنده مناسب بودن آن‌ها برای کاربردهای رهایش دارو است. در راستای تصور اینکه MOF‌ها با زیست‌شناسی عصبی سازگار هستند، درمان سلول‌های بنیادی عصبی با MOF کبالت *nzenetetra-carboxylic acid* (۳,۳',۵,۵'-azobe (Co-MOF) به عنوان پیونددهنده برای درمان آسیب‌های نخاعی پیش‌بینی شد. این به دلیل مطالعات اتصال مولکولی بود که اتصال بالقوه‌ی MOF را با گیرنده‌ی Akrt نشان می‌داد، که منجر به فعال شدن سیگنالینگ PI3K/Akt و افزایش فاکتور رشد عصبی (NGF) در محیط *in-vitro* شد. NGF مسئول رشد و بقای نورون است. حامل‌های دارورسانی مبتنی بر MOF شامل FOM-۷۴-Fe (III) کاتیونی با سمیت سلولی کم بر روی سلول‌های عصبی PC۱۲ و محتویات (بار) زیاد دارو به دلیل تجمع الکترواستاتیک ایوپروپوفن است که به عنوان کاهش‌دهنده التهاب عصبی شناخته می‌شود و از MOF آزاد می‌شود. نمونه‌ای از فعال شدن ترشح دوپامین با ابزارهای مغناطیسی با استفاده از ذرات اکسید آهن کپسوله شده در MIL-۸۸۸ (iron(III) fumarate) نشان داده شد. یک مکانیسم تحویل دارو که در اثر انتقال سیناپسی (پیوندی مربوط به پیوند یا اتحاد کروموزوم‌های همانند پیش‌هسته نرو ماده) ایجاد می‌شود، می‌تواند با استفاده از رهایش داروها توسط آدنوزین تری‌فسفات (ATP) به دست آید. در اینجا، یک MOF مبتنی بر یون‌های Zr^{4+} و آمینو تریفنیل دی‌کربوکسیلیک اسید با آپتامرهای مخصوص ATP پوشانده شده است، که منجر به اثر آزادسازی هنگام اتصال و رهایش دارو می‌شود. این سه مثال از رهایش داروهای غیرفعال، تحریک شده و هدفمند، تنوع رهایش داروی مبتنی بر MOF را برای کاربردهای نوروبیولوژیکی

نشان می‌دهد. تزریق سیستمیک (تزریق مستقیم به بدن) به ذرات MOF نیاز دارد تا از سد خونی مغزی عبور کنند. به عنوان مثال، ذرات ZIF-8 از طریق عبور از غشای سلول اندوتلیال مغز ${}^3\text{D}/\text{CEMCh}$ مورد ارزیابی قرار گرفت. مطالعات آینده در این راستا از مدل‌های انتقال عروق میکروسیالی (میکروفلوئیدیکی) برای نانوذرات شامل پرسیتها (یک سلول کوچک جنینی در امتداد مویرگ‌ها) برای تقلید بهتر از سد خونی مغزی و مطالعه پاسخ بیولوژیکی انواع دیگر سلول‌ها در التهاب و بهبودی بهره خواهد برد.

در محیط *in-vivo* استفاده از MOF (II) Cu در رویکرد پیونددهنده مخلوط شده با ۵- متیل ایزوفتالیک اسید (yl)propane-۱-bis(۵,۶-dimethylbenzimidazol) ۱,۳- گزارش شده است. این MOF، نورون‌های دوپامینرژیک (تولیدکننده یا دربرگیرنده پیام رسان عصبی دوپامین) را مهار می‌کند، بیان بیان‌کننده‌های دوپامین را کاهش می‌دهد، میزان انتشار دوپامین را کاهش می‌دهد، آپوپتوز (مرگ سلولی برنامه‌ریزی شده) را کاهش می‌دهد و فعال شدن Wnt1 Nkx2/2 را افزایش می‌دهد. MOF احتمالاً در سطح سیستمیک به (موش) $\text{LgDel} \pm \text{mice}$ تزریق شد و اثرات بیولوژیکی به صورت وابسته به دوز تا ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن مشاهده شد. مقایسه اثر بیولوژیکی بر تزریق MOF یا محلول حاوی فقط لیگاند انجام نشد.

در یک مطالعه بسیار الهام بخش از MIL-100 (Fe) به عنوان حامل دارو برای SiSOX9 و اسید رتینوئیک در ترکیب با نانوزیم‌های مبتنی بر سیریا (دی‌اکسید سیریم: CeO_2) برای کاهش استرس اکسیداتیو که به طور همزمان کپسوله شده بود، استفاده شد. این فرمول دارویی پیچیده با سلول‌های بنیادی عصبی (NSCs) جدا شده از موش‌های تازه متولد شده قبل از پیوند CSN در محل زخم‌ها انکوبه شد. رهایش همزمان SOX9 و رتینوئیک اسید باعث تمایز عصبی شده و استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهد و از آپوپتوز سلول‌های عصبی تازه متولد شده جلوگیری می‌کند. این مطالعات با موش‌های ۱۱ ماهه‌ی دارای ژن پیوندی سه‌گانه‌ی $\text{APPsw/PS1M146V/TauP301L}$ که مدلی برای بیماری آلزایمر هستند، انجام شد. اثر مثبت ترکیب دارویی مبتنی بر MOF از طریق بهبود شناختی در آزمایش *Water Maze test* و بهبود بافت‌شناسی نشان داده شد. این آثار الهام بخش در شرایط *In vitro* و *in vivo* پتانسیل واضح MOF‌ها را برای درمان اختلالات عصبی برجسته کرده است. تعداد کمی از مواد زیستی ماکروسکوپی همراه با این تفکر توسعه یافته است و مطالعات آینده باید شامل ارزیابی فرصت برای بهبود سطوح بافت عصبی ایمپلنتی با این مواد باشد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری همراه با چشم‌اندازهای آینده

با ترکیب بلوک‌های ساختاری مولکول‌های عاملی در یک سیستم چند منظوره متخلخل پیشرفته، انتظار می‌رود که چارچوب‌های فلز-آلی استفاده‌های بیش‌تری در دارورسانی پیدا کنند. در چند دهه گذشته، پیشرفت قابل توجهی در سیستم‌های دارورسانی مبتنی بر چارچوب‌های فلزی-آلی صورت گرفته است، اگرچه اکثر تحقیقات در مرحله اثبات مفهوم تا حدی به دلیل مشکل در دستیابی به هم‌نواختی رهایش دارو در محیط *in vitro* و *in vivo* به صورت مکانی و زمانی، باقی‌مانده‌اند. همچنین، برای توسعه چارچوب‌های فلز-آلی با بهینه کردن اندازه منافذ/کانال‌ها، ویژگی‌های سطح (بار، آبدوستی و وجود لیگاندهای پیوندی برای دستیابی به هدف) برای رساندن مواد دارویی بدون ایجاد اختلال در فعالیت آن‌ها، هنوز راه طولانی‌ای در پیش است. سمیت، اولین و مهم‌ترین ملاحظه در بررسی کاربردهای توسعه سیستم‌های دارورسانی کارآمد با استفاده از چارچوب‌های فلز-آلی است. علاوه بر این، کنترل کیفیت سیستم‌های دارورسانی مبتنی بر چارچوب‌های فلز-آلی نیز مطرح می‌شود.

الزامات چارچوب‌های فلزی-آلی برای سیستم‌های دارورسانی بسیار سخت‌گیرانه‌تر از کاربردهای غیرزیست‌پزشکی آن‌هاست و کاربردهای زیست-پزشکی چارچوب‌های فلز-آلی هنوز با چالش‌های زیادی روبرو است. بنابراین، اندازه ذرات، مورفولوژی، اثر بارگذاری دارو، پایداری و سمیت چارچوب‌های فلز-آلی باید به‌طور جامع مشخص شود، اما هنوز موضوعات مهم زیادی هستند که باید قبل از کاربرد بالینی احتمالی آن‌ها در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال، سیستم‌های پاسخگو به محرک ذاتی (مثل pH یا آنزیم)، در مقایسه با سیستم پاسخگو به محرک خارجی کنترل کم‌تری روی انتشار دارو دارند. سیستم‌های پاسخگو به محرک خارجی نیز محدودیت‌های خودشان را دارند. برای مثال در سیستم پاسخگو به حرارت، دمای بالا می‌تواند به بدن انسان آسیب بزند؛ یا در سیستم‌های پاسخگو به نور، نفوذ نور سطحی و کم‌عمق است. در آینده، سیستم‌های پاسخگو باید به‌گونه‌ای طراحی شوند تا در حالی که اثر درمانی را افزایش می‌دهند، این اشکالات را برطرف کنند. به‌علاوه باید برای سنتز MOF‌های پاسخگو به محرک با پایداری کلونیدی خوب و سمیت پایین تلاش بیش‌تری شود. هنوز تحقیقات برای آماده کردن MOF‌های پاسخگو به محرک زیست‌سازگار با پایداری مورد نظر، کافی نیستند. در این رابطه، به کار انداختن روش سنتز «سبز» و انتخاب مؤلفه‌های درون‌زا به‌عنوان پیونددهنده‌های آلی برای کاهش سمیت MOF‌ها می‌تواند ایده‌ی خوبی باشد. برای مثال، MOF‌های مبتنی بر سیکلودکسترتین، زیست‌سازگاری خوبی نشان دادند ولی در ریزمحیط‌های فیزیولوژیکی ناپایدار بودند. سمیت، اولین و مهم‌ترین ملاحظه در بررسی کاربردهای توسعه سیستم‌های دارورسانی کارآمد با استفاده از چارچوب‌های فلز-آلی است، به‌علاوه مطالعات پژوهشی زیادی سمیت MOF In vitro‌ها را بر مبنای رده‌های سلولی ایجاد شده بدون در نظر گرفتن شرایط in vivo، توضیح داده‌اند ولی مکانیسم‌های اساسی رهایش دارو به‌صورت in vivo در سیستم‌های دارورسانی مبتنی بر چارچوب‌های فلزی-آلی هنوز به‌طور کامل کشف نشده اما بسیار مهم هستند و اکثر مطالعات شامل فرضیه‌ای هستند که باید تأیید شوند. هم‌چنین باید مورد توجه باشد که تحقیق و بررسی تجویز خوارکی مبتنی بر MOF‌های پاسخگو به محرک، به ندرت مطالعه می‌شود. در حال حاضر، بیش‌تر سیستم‌های MOF از طریق تزریق داخل وریدی تجویز می‌شوند. در حالی که می‌توان در آینده آن‌ها را به صورت نانوکامپوزیت‌هایی برای دارورسانی خوراکی برای محل خاص در بدن (site-specific) طراحی کرد. هم‌چنین، باید در نظر گرفت که داده‌های موجود در شرایط in-vitro و in-vivo از نظر واکنش بیولوژیکی بسیار خوبی که MOF‌ها در راستای بهبود مثبت در بافت‌ها و کاربردهای مختلف ایجاد می‌کنند، چشمگیر است. با این حال، برای درک پاسخ وابسته به دوز اولیه‌ی انواع سلول‌ها و بافت‌های جداگانه به MOF‌های مختلف، تلاش‌های بیش‌تری لازم است. علاوه بر این، نگرانی‌ها در مورد ایمنی برخی از پیونددهنده‌های ارگانیک MOF باید از بین بروند یا پیونددهنده‌های جایگزین که صرف نظر از کاربردهای بالینی در نظر گرفته می‌شوند، باید در تولید MOF با خواص مشابه مؤثر باشند. این امر ضروری است قبل از اینکه مواد زیستی مبتنی بر MOF برای کاربردهای in-vivo، بهبود نتایج درمانی را در درمان بیماران انسانی آغاز کنند. در این بررسی، تلاش شده است که ابتدا نحوه‌ی نامگذاری MOF‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها صورت بگیرد و در ادامه نیز کاربردهای درمانی بیماری‌ها و دارورسانی و اخیراً نیز کاربردهای مهندسی بافت و پزشکی ترمیمی MOF‌ها به‌صورت مختصر مورد مطالعه قرار گیرد.

سپاس‌گزاری‌ها:

با تشکر از مدیر مسئول نشریه میم، مهندس علی گلستانی دانشجوی دانشکده‌ی مهندسی شیمی دانشگاه تهران، و هم‌چنین سردبیر محترم نشریه‌ی میم، مهندس بردیا ایرجیان، دانشجوی مهندسی پلیمر دانشگاه تهران، بابت حمایت‌ها

و دلگرمی‌ها و همه‌ی زحماتی که در راستای تحقق اهداف انجمن علمی مهندسی شیمی و پلیمر پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران انجام داده‌اند. در پایان نیز از همه‌ی عوامل نشریه‌ی میم کمال تشکر و قدردانی را داریم.

ذکر موارد اخلاقی:

هدف از نوشتن این متن علمی کمک به دانشجویان کارشناسی به‌خصوص دانشجویان ورودی‌های جدید با گرایش زیست‌پزشکی رشته‌ی مهندسی شیمی با استفاده از جدیدترین و معتبرین مقالات روز دنیا می‌باشد و نویسندگان این متن هیچگونه ادعایی مبنی بر نوشتن مقاله در نشریه‌ی میم ندارند و مطالب صرفاً جهت آشنایی دانشجویان با چارچوب‌های فلز-آلی (MOFs) و کاربردهای زیست‌پزشکی آن می‌باشد. تیم حاضر در ادامه‌ی راه در صورت نوشتن مقاله‌ی مروری بدون شک اصول و قواعد کامل نوشتن یک مقاله‌ی مروری را رعایت خواهد کرد. تیم زیست‌پزشکی نشریه‌ی میم تصمیم دارد تا در آینده زیر نظر انجمن علمی مهندسی شیمی و پلیمر دانشگاه تهران، مقالات مروری را در حوزه‌های مختلف زیست‌پزشکی و با درج مراجع در متن اصلی و با رعایت کامل قواعد به چاپ برساند.

۷- مراجع:

- 1- Ge, Yongmei, Kui Wang, Huili Li, Ye Tian, Yutong Wu, Zhaowei Lin, Yangyang Lin, Yansong Wang, Jiarong Zhang, and Bin Tang. 2021. 'An Mg-FOMs based multifunctional medicine for the treatment of osteoporotic pain', *Materials Science and Engineering: C*, 129: 112386.
- 2- He, S., L. Wu, X. Li, H. Sun, T. Xiong, J. Liu, C. Huang, H. Xu, H. Sun, W. Chen, R. Gref, and J. Zhang. 2021. 'Metal-organic frameworks for advanced drug delivery', *Acta Pharm Sin B*, 11: 2362-95.
- 3- Karimzadeh, Shahla, Siamak Javanbakht, Behzad Baradaran, Mohammad-Ali Shahbazi, Mahmoud Hashemzaei, Ahad Mokhtarzadeh, and Hélder A. Santos. 2021. 'Synthesis and therapeutic potential of stimuli-responsive metal-organic frameworks', *Chemical Engineering Journal*, 408: 127233.
- 4- Liang, W., P. Wied, F. Carraro, C. J. Sumby, B. Nidetzky, C. K. Tsung, P. Falcaro, and C. J. Doonan. 2021. 'Metal-Organic Framework-Based Enzyme Biocomposites', *Chem Rev*, 121: 1077-129.
- 5- Morozova, S. M., A. Sharsheeva, M. I. Morozov, A. V. Vinogradov, and E. Hey-Hawkins. 2021. 'Bioresponsive metal-organic frameworks: Rational design and function', *Coordination Chemistry Reviews*, 431: 213682.
- 6- Saeb, M. R., N. Rabiee, M. Mozafari, and E. Mostafavi. 2021. 'Metal-Organic Frameworks-Based Nanomaterials for Drug Delivery', *Materials (Basel)*, 14.
- 7- Shyngys, M., J. Ren, X. Liang, J. Miao, A. Blocki, and S. Beyer. 2021. 'Metal-Organic

Framework (FOM)-Based Biomaterials for Tissue Engineering and Regenerative Medicine', *Front Bioeng Biotechnol*, 9: 603608.

8- Taheri, Mahdiar, Deepu Ashok, Tanuka Sen, T. Gabriel Enge, Naresh K. Verma, Antonio Tricoli, Adrian Lowe, David R. Nisbet, and Takuya Tsuzuki. 2021. 'Stability of ZIF-8 nanopowders in bacterial culture media and its implication for antibacterial properties', *Chemical Engineering Journal*, 413: 127511.

9- Wang, Y., J. Yan, N. Wen, H. Xiong, S. Cai, Q. He, Y. Hu, D. Peng, Z. Liu, and Y. Liu. 2020. 'Metal-organic frameworks for stimuli-responsive drug delivery', *Biomaterials*, 230: 119619.

10- Younis, Sherif A., Neha Bhardwaj, Sanjeev K. Bhardwaj, Ki-Hyun Kim, and Akash Deep. 2021. 'Rare earth metal–organic frameworks (RE-FOMs): Synthesis, properties, and biomedical applications', *Coordination Chemistry Reviews*, 429: 213620.

Kinetic study of TWC of automotive exhaust gas: Modeling and Application

علیرضا صداقت

کارشناسی مهندسی شیمی، دانشگاه شریف



۱- مقدمه

کاتالیست فلزات نجیب^۱ در سال‌های اخیر توجهات بسیاری را از جهت کنترل آلاینده‌های ناشی از اتومبیل‌ها به خود جلب کرده‌است و در این مسیر اقدامات بسیاری اعم از بررسی تاثیرات فرایندهای فیزیکی همانند انتقال حرارت و جرم بر روی کانال و مقیاس مونولیتی^۲ (ساختار لانه زنبوری که متشکل از مجموعه‌ای از کانال‌های موازی است) و واکنش‌های شیمیایی این مبدل‌های سه طرفه انجام شده است. پیش‌بینی‌های دقیق و مناسبی نیز برای عبارت سرعت واکنش‌های موجود در مبدل نیز بدست آمده‌است. مشکل اصلی که در محاسبات و طراحی مربوط به یک کاتالیست جدید و به تبع آن واکنش‌های جدید مربوط به آن وجود دارد، کمبود یا فقدان اطلاعات سینتیکی و زمان بر بودن واکنش‌هایی است که وجود دارد. بنابراین این کمبود اطلاعات مانع از این می‌شود که بتوانیم به سادگی کاتالیست‌های مربوط به یک مبدل را طراحی و آزمایش کنیم. لذا در این مقاله به این هدف پرداخته شده است تا با تحقیق راجع به اکسایش CO و هیدروکربن‌های موجود و احیای NO به طراحی منطقی برای کاتالیست توسعه یافته شده و مبدل بپردازد.

۲- سینتیک و مکانیزم واکنش‌های شیمیایی گاز خروجی

از آن جایی که دانش کافی از ترکیب گاز خروجی خودرو نداریم، اولین فرضی که برای تعیین مکانیزم واکنش‌های شیمیایی رخ داده انجام می‌دهیم این است که فرض می‌کنیم که گاز خروجی نسبت به هیدروکربن ترکیب میانگین ثابتی دارد. فرض دوم آن است که هیدروکربن‌های با رفتارهای خاص را نیز در تعیین مکانیزم و واکنش‌مان در نظر بگیریم. ۴ واکنش معمول و متداول را فرض می‌کنیم که در جدول زیر آورده شده است:

1 Noble Metal catalysts such as: Pt, Rh, Pt, etc.

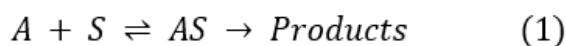
2 Monolith scale

Reactions	$\Delta H(298\text{ K}) (\text{kJ mol}^{-1})$
(1) $\text{CO} + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$	-676.51
(2) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-41.16
(3) $\text{C}_3\text{H}_6 + (9/2)\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	-1820.27
(4) $\text{CO} + \text{NO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2$	-373.36

جدول ۱ - واکنش‌های معمول در مبدل [۲]

واکنش‌های گفته شده، روی کاتالیست فلزات نجیب هم‌چون Pt و Rh مطالعه شده است که یا توسط سیلیکا یا آلومینا پوشیده شده‌است. به عنوان هدف اصلی مقاله، بررسی واکنش‌ها و رقابت‌پذیری آن‌ها در واکنش‌های موجود می‌باشد. فرض شده است که این واکنش‌ها ابتدایی هستند، هم‌چنین واکنش‌دهنده‌ها و مواد میانی و گونه‌های موجود در سطح بر مبنای تئوری Lungmuir-Hinshelwood می‌باشد. از آنجایی که واکنش‌های رخ داده شده روی سطح می‌باشند (حداقل یکی از واکنش‌های موجود، پدیده جذب سطحی است)، دانستن مکانیزم آن‌ها بسیار اهمیت دارد. به طور کلی اگر واکنشی که روی سطح رخ می‌دهد به نحوی باشد که صرفاً یک مولکول روی سطح واکنش دهد، روابط و مفاهیمی تعریف خواهد شد که در ادامه به تفصیل به آن اشاره شده است.

فرض می‌کنیم گونه A ماده‌ای است که روی سطح جذب می‌شود و S سطح جاذب یا مکانی است که در آن جذب اتفاق می‌افتد، لذا واکنش مذکور به صورت زیر خواهد بود:



طبق واکنش مطرح شده عبارت سرعت برای چنین واکنشی به صورت زیر خواهد بود:

$$r = k_2 C_{AS} = k_2 \theta C_s \quad (2)$$

علائمی که در این قسمت بکار می‌رود به صورت زیر می‌باشد:

C_A is the concentration of adsorbate

C_{AS} is the surface concentration of occupied sites

C_s is the concentration of all sites

θ is the surface coverage $\left(\frac{C_{AS}}{C_s}\right)$

k_2 is the rate constant for the surface reaction

k_1 is the rate constant for the surface adsorption

k_{-1} is the rate constant for the surface desorption

لذا طبق تعریفی که برای θ انجام دادیم، توانستیم رابطه ۲ را به دو صورت در بالا مطرح کنیم. طبق تعریفی که برای انجام دادیم بدیهی است که هرچه سطح بیشتری در اختیار داشته باشیم، واکنش سریع‌تر رخ خواهد داد و این همان دلیلی است

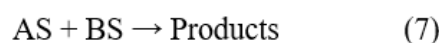
که سعی می‌شود کاتالیست‌های هتروژن سطح موثر بیشتری داشته باشند.
با اعمال تقریب شرایط پایا نسبت به غلظت گونه AS و با توجه به واکنش شماره ۱ خواهیم داشت:

$$\frac{dC_{AS}}{dt} = 0 = k_1 C_A C_S (1 - \theta) - k_2 \theta C_S - k_{-1} \theta C_S \quad (3)$$

و لذا طبق معادله بدست آمده در بالا که ناشی از جذب و دفع و واکنش می‌باشد می‌توانیم مقدار θ را بدست آوریم که به صورت زیر خواهد بود:

$$\theta = \frac{k_1 C_A}{k_1 C_A + k_{-1} + k_2} \quad (4)$$

نتیجه بدست آمده در معادله ۴ حاکی از مدلی است که به مدل مایکل-متن^۳ معروف است. [۳]
از آنجایی که در این مبدل‌ها، واکنش‌های مطرح شده به صورت دو مولکولی می‌باشند (جدول ۱) بنابراین مدل مطرح شده در قسمت قبل نمی‌تواند مدلی صحیح برای واکنش‌های موجود باشد لذا مقاله مکانیزم واکنش‌ها را با استفاده از مکانیزم Langmuir-Hinshelwood بررسی کرده‌است. در ادامه به طور کلی مکانیزمی که لانگموئر ارائه کرده است را برای دو مولکول A, B مورد بررسی قرار داده‌ایم:



ثوابت جذب و دفع برای گونه A و k_2, k_{-2} ثوابت جذب و دفع برای گونه B می‌باشند. ثابت واکنش را نیز با k نمایش می‌دهیم. عبارت سرعت را در چنین حالتی به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$r = k C_A C_B = k \theta_A \theta_B C_S^2 \quad (8)$$

مشابه روندی که در بالا طی کردیم می‌توانیم θ_A را نیز به دست آوریم که به صورت زیر خواهد بود:

$$\theta_A = \frac{k_1 C_A \theta_E}{k_{-1} + k C_S \theta_B} \quad (9)$$

که در این رابطه منظور از θ_E کسر فضای خالی روی سطح جاذب است. زیرا می‌دانیم:

$$C_A + C_B + C_E = C_S \xrightarrow{\div C_S} \frac{C_A}{C_S} + \frac{C_B}{C_S} + \frac{C_E}{C_S} = 1 \rightarrow \theta_A + \theta_B + \theta_E = 1 \quad (10)$$

با فرض آن که مرحله محدودکننده در این عبارت سرعت ماده جذب‌شونده باشد با تعریف $K_i = \frac{k_i}{k_{-i}}$ داریم:

$$\theta_A = K_1 C_A \theta_E \quad (11)$$

که در نهایت با محاسبه θ_E بر حسب θ_A و θ_B خواهیم داشت:

$$r = kC_S^2 \frac{K_1 K_2 C_A C_B}{(1 + K_1 C_A + K_2 C_B)^2} \quad (12)$$

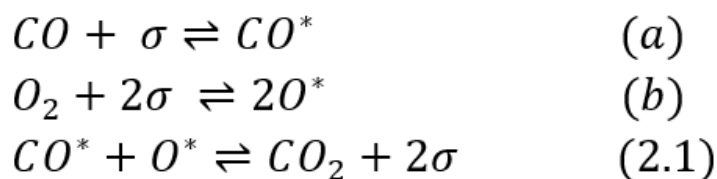
در ادامه در جدول ۲ برخی از واکنش‌ها را مشاهده می‌کنیم که بر روی سطوح کاتالیستی فلزات نجیبی مانند پلاتین، پالادیوم و ... رخ داده است که از مکانیزم مذکور تبعیت می‌کنند.

The reaction	The type of catalyst
$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$	Pt
$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$	ZnO
$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	Cu
$N_2O + H_2 \rightarrow N_2 + H_2O$	Pt
$C_2H_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3CHO$	Pd
$CO + OH \rightarrow CO_2 + e^- + H^+$	Pt

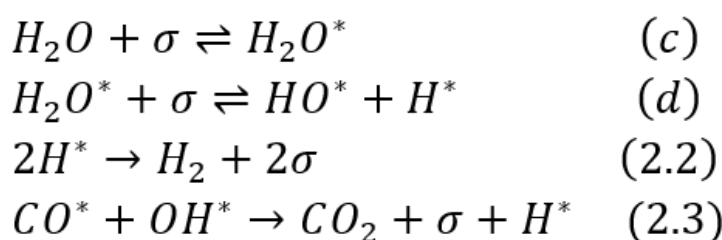
جدول ۲- برخی واکنش‌های پیرو از مکانیزم Langmuir-Hinshelwood [۴]

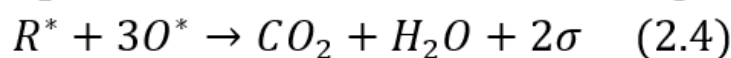
در زیر واکنش‌هایی آورده شده است که طبق گفته مقاله در مبدل‌های کاتالیستی سه طرفه انجام می‌شود. از آنجایی که واکنش‌های میانی ابتدایی برای اکسایش پروپیلن بسیار پیچیده می‌باشد و در منابع نیز در دسترس نیست لذا با تکیه بر نظریه برخورد فرض می‌کنیم که پروپیلن در وهله اول به دو ماده میانی R^* و P_1^* تبدیل شود و سپس به CH_3^* و CH_2^* تبدیل می‌شود که آن را با $2R^*$ نمایش می‌دهیم. در نهایت با اتم‌های اکسیژنی که جذب سطحی شده‌اند واکنش می‌دهد و H_2O و CO_2 تولید می‌کنند.

۱- اکسیداسیون CO :

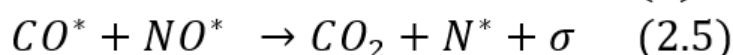


۲- واکنش آب گاز با CO:





۴- واکنش NO با CO :



طبق تعریف (۱۰) به راحتی می‌توانیم رابطه زیر را برای این ۴ واکنشی که روی سطح کاتالیست‌های این مبدل رخ می‌دهد برقرار کنیم:

$$\theta_{CO} + \theta_P + \theta_{P1} + \theta_R + \theta_O + \theta_{OH} + \theta_{H2O} + \theta_H + \theta_{NO} + \theta_N + \theta_V = 1 \quad (13)$$

در رابطه بالا منظور از θ_V قسمت خالی از سطح می‌باشد. در تمام واکنش‌های a-h فرض شده است که گونه‌ها در تعادل باشند بنابراین روابط زیر را طبق مفهوم و منطق رابطه (۱۱) می‌توانیم برقرار کنیم:

$$K_{CO} = \theta_{CO} / (C_{CO}\theta_V) \Rightarrow \theta_{CO} = K_{CO}C_{CO}\theta_V \quad (14)$$

$$K_O = \theta_O^2 / (C_{O2}\theta_V^2) \Rightarrow \theta_O = (K_O C_{O2})^{1/2} \theta_V \quad (15)$$

$$K_{H2O} = \theta_{H2O} / (C_{H2O}\theta_V) \Rightarrow \theta_{H2O} = K_{H2O}C_{H2O}\theta_V \quad (16)$$

$$K_P = \theta_P / (C_P\theta_V) \Rightarrow \theta_P = K_P C_P \theta_V \quad (17)$$

$$\theta_{P1} = K_{P1} K_R^{-1/3} C_P^{2/3} \theta_V \quad (18)$$

$$K_R = \theta_R^3 / (C_P \theta_V^3) \Rightarrow \theta_R = K_R^{1/3} C_P^{1/3} \theta_V \quad (19)$$

$$K_{NO} = \theta_{NO} / (C_{NO}\theta_V) \Rightarrow \theta_{NO} = K_{NO}C_{NO}\theta_V \quad (20)$$

هم‌چنین برای واکنش‌های ۲/۱-۲/۶ می‌توانیم عبارات سرعت را به صورت زیر بیان کنیم:

$$r_1 = k_1 \theta_{CO} \theta_O \quad (21)$$

$$r_2 = k_2 \theta_{CO} \theta_{OH} = k_H \theta_H^2 \quad (22)$$

$$r_3 = k_3 \theta_R \theta_O^3 \quad (23)$$

$$r_4 = k_4 \theta_{CO} \theta_{NO} = k_N \theta_N^2 \quad (24)$$

با کمک روابط ۶۱، ۲۲ و ۳۲ می‌توانیم عبارات زیر را نیز بدست آوریم:

$$\theta_H = (k_2 K_{OH} K_{CO} C_{CO} C_{H_2O} / k_H)^{1/3} \theta_V$$

$$\theta_{OH} = k_H^{1/3} K_{OH}^{2/3} C_{H_2O}^{2/3} (k_2 K_{CO} C_{CO})^{-1/3} \theta_V$$

$$\theta_N = (k_4 K_{CO} K_{NO} C_{CO} C_{NO} / k_N)^{1/2} \theta_V$$

$$\begin{aligned} \theta_V = 1 / & (K_{CO} C_{CO} + K_P C_P + K_{P1} K_R^{-1/3} C_P^{2/3} + K_R^{1/3} C_P^{1/3} \\ & + (K_O C_{O_2})^{1/2} + k_H^{1/3} K_{OH}^{2/3} C_{H_2O}^{2/3} (k_2 K_{CO} C_{CO})^{-1/3} \\ & + K_{H_2O} C_{H_2O} + (k_2 K_{OH} K_{CO} C_{CO} C_{H_2O} / k_H)^{1/3} + K_{NO} C_{NO} \\ & + (k_4 K_{CO} K_{NO} C_{CO} C_{NO} / k_N)^{1/2} + 1) = 1/G \end{aligned}$$

طبق تعاریف بالا و استفاده از قانون آرنیوس می‌توانیم عبارات سرعت را نیز به شکل زیر بر حسب G داشته باشیم:

$$\begin{aligned} r_1 &= k_1 K_{CO} K_O^{1/2} C_{CO} C_{O_2}^{1/2} / G^2 = \bar{k}_1 C_{CO} C_{O_2}^{1/2} / G^2 \\ &= k_{01} e^{-E/RT} C_{CO} C_{O_2}^{1/2} / G^2 \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} r_2 &= (k_2 K_{CO} C_{CO} K_{OH} C_{H_2O})^{2/3} k_H^{1/3} / G^2 = \bar{k}_2 C_{CO}^{2/3} C_{H_2O}^{2/3} / G^2 \\ &= k_{02} e^{-E/RT} C_{CO}^{2/3} C_{H_2O}^{2/3} / G^2 \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} r_3 &= k_3 K_R^{1/3} C_P^{1/3} K_O^{3/2} C_{O_2}^{3/2} / G^4 = \bar{k}_3 C_{O_2}^{3/2} C_P^{1/3} / G^4 \\ &= k_{03} e^{-E/RT} C_{O_2}^{3/2} C_P^{1/3} / G^4 \end{aligned} \quad (27)$$

$$r_4 = k_4 K_{CO} K_{NO} C_{CO} C_{NO} / G^2 = \bar{k}_4 C_{CO} C_{NO} / G^2 = k_{04} e^{-E/RT} C_{CO} C_{NO} / G^2 \quad (28)$$

$$\begin{aligned} G &= K_{CO} C_{CO} + K_P C_P + K_{P1} K_R^{-1/3} C_P^{2/3} + K_R^{1/3} C_P^{1/3} + (K_O C_{O_2})^{1/2} \\ &+ k_H^{1/3} K_{OH}^{2/3} C_{H_2O}^{2/3} (k_2 K_{CO} C_{CO})^{-1/3} + K_{H_2O} C_{H_2O} \\ &+ (k_2 K_{OH} K_{CO} C_{CO} C_{H_2O} / k_H)^{1/3} + K_{NO} C_{NO} \\ &+ (k_4 K_{CO} K_{NO} C_{CO} C_{NO} / k_N)^{1/2} + 1 \\ &= K_{a1} C_{CO} + K_{a2} C_P + K_{a3} C_P^{2/3} + K_{a4} C_P^{1/3} + K_{a5} C_{O_2}^{1/2} \\ &+ K_{a6} C_{H_2O}^{2/3} C_{CO}^{-1/3} + K_{a7} C_{H_2O} + K_{a8} (C_{H_2O} C_{CO})^{1/3} \\ &+ K_{a9} C_{NO} + K_{a10} (C_{CO} C_{NO})^{1/2} + 1 \end{aligned} \quad (29)$$

که عبارت G را نیز می‌توانیم به صورت مقابل داشته باشیم.

$$R_{CO} = r_1 + r_2 + r_4 \quad (30)$$

$$R_{O_2} = r_1 + r_3 \quad (31)$$

$$R_{HC} = r_3 \quad (32)$$

$$R_{NO} = r_4 \quad (33)$$

در نهایت با توجه به روابط و ساده‌سازی‌های بالا می‌توانیم عبارات سرعت زیر را برای تمامی اجزایی که روی سطح کاتالیست واکنشی را انجام می‌دهند داشته باشیم و با دانستن تابعیت آن‌ها از دما استفاده از آن‌ها در مدلسازی ریاضی‌ای که در قسمت ۳ بدان خواهیم پرداخت تسهیل شود.

۳- فرضیات و مدل سازی ریاضی

مدلسازی ریاضی یکی از مهم ترین روش های تحقیق و طراحی مبدل های کاتالیستی سه طرفه است. در این مقاله مدلسازی انتقال جرم موتور سرد ماشین (قبل از استارت زدن و لحظات اولیه) انجام شده است. بر این اساس یک مدل دینامیکی بر مبنای شرایط ناپایا مورد بررسی قرار گرفته است. در لحظات اولیه که موتور سرد است و در حال گرم شدن است هیچ واکنشی رخ نمی دهد اما به محض آن که دما به محدوده ۲۵۰-۳۴۰ درجه سانتی گراد می رسد واکنش ها شروع می شود و مبدل کاتالیستی فعال می شود.

فرضیاتی که در این مدلسازی در نظر گرفته شده است به شرح زیر است:

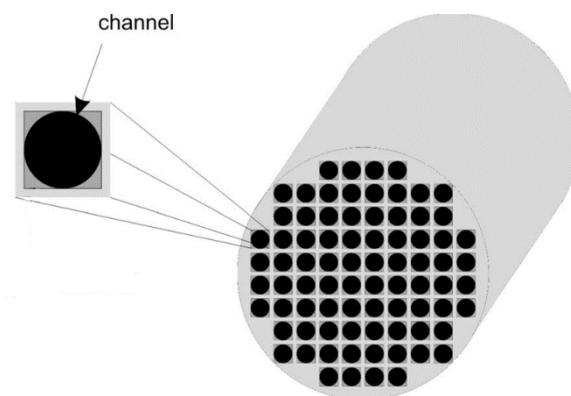
۱- فرض می کنیم عدد پکله که حاصل ضربی از عدد رینولدز و پراانتل است، به اندازه کافی بزرگ باشد. بزرگ بودن عدد پکله تا حد خوبی ناشی از بزرگ بودن عدد رینولدز و جریان متلاطمی است که گاز های خروجی می سازند. لذا از نفوذ و رسانش حرارتی در راستای محور صرف نظر شده است.

۲- جریان در هر سلول کانال مونولیتی به صورت پلاگ در نظر گرفته می شود.

۳- برای همه سلول های کانال دما و غلظت گاز ها یکسان است.

۴- هنگامی که دمای مونولیت به دمای خاموشی

می رسد، واکنش ها رخ می دهند و گرمای واکنش ها مهم خواهد بود و باید در نظر گرفته شوند در غیر این صورت کاتالیست غیر فعال به شمار خواهد رفت.



تصویر ۱- نمایی از یک شبکه مونولیتی [5]

ابتدا موازنه انرژی برای فاز گازی می نویسیم: (بعد از ساده سازی)

$$\delta \rho_g \cdot c_{pg} \frac{\partial T_g}{\partial t} = -\rho_g \cdot u \cdot c_{pg} \frac{\partial T_g}{\partial x} + h \cdot S \cdot (T_s - T_g) \quad (34)$$

هم چنین با نوشتن موازنه انرژی برای فاز جامد (سطح کاتالیست) خواهیم داشت:

$$(1 - \delta) \cdot \rho_s \cdot c_{ps} \frac{\partial T_s}{\partial t} = (1 - \delta) \cdot \lambda_s \cdot \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + h \cdot S \cdot (T_g - T_s) + S_{cat} \sum_{j=1}^5 (-\Delta H_j) \cdot R_j \quad (35)$$

که در روابط بالا منظور از S_{cat} مساحت سطح کاتالیست بر حجم کاتالیست بوده و S مساحت سطح هندسی بر واحد حجم

کاتالیست می‌باشد. اگر واکنشی نداشته باشیم عبارت آخر در رابطه ۳۵ برابر صفر خواهد بود.

حال موازنه جرم را برای مبدل کاتالیستی در فاز گاز برقرار می‌کنیم:

$$\frac{\partial c_{gj}}{\partial t} = -u \frac{\partial c_{gj}}{\partial x} - k_{Dj} \cdot S \cdot (c_{gj} - c_{sj}) \quad (36)$$

همچنین برای فاز جامد موازنه جرم به صورت زیر خواهد بود:

$$S_{cat} \cdot R_j = \frac{\rho_g}{M} \cdot k_{Dj} \cdot S \cdot (c_{gj} - c_{sj}) \quad (37)$$

که در روابط بالا ضرایب انتقال حرارت و انتقال جرم به صورت زیر خواهد بود:

$$h = Nu \cdot \frac{\lambda_g}{d} \quad (38)$$

$$k_{Dj} = Sh \cdot \frac{D_j}{d} \quad (39)$$

که در رابطه ۳۹ مقدار D_j از مرجع [۶] بدست آمده است. شرایط مرزی برای این مبدل کاتالیستی که در مقیاس مونولیت برقرار

است به شکل زیر خواهد بود:

$$\begin{cases} T_g(0, t) = T_g^{in} \\ c_{gj}(0, t) = c_j^{in} \end{cases} \quad \frac{dT_s}{dx}(L, t) = \frac{dT_s}{dx}(0, t) = 0 \quad (40)$$

$$T_s(x, 0) = T_a \quad (41)$$

یکی از گام‌هایی که بعد از اتمام مرحله مدلسازی در این مقاله به آن اشاره شده است ساخت و نصب کاتالیست در محل تعبیه شده برای آن جهت تست و ارزیابی است. از آنجایی که هدف این گزارش به طور عمده پرداختن به بحث مدلسازی این کاتالیست می‌باشد از شرح این قسمت خودداری کرده و علاقه‌مندان می‌توانند با مراجعه به [۷] به تفصیل این قسمت را مورد بررسی قرار دهد. مشخصات کاتالیست ساخته شده به صورت جدول زیر است:

BET surface area (BET)	138.7 m ² /g
Total pore volume (TPV)	0.2631 cc/g
Average pore side (APS)	3.79 nm
Mass density	0.8095 g/ml

جدول ۳ - مشخصات کاتالیست ساخته و استفاده شده در مقاله

ترکیب گاز ورودی به مبدل کاتالیستی به صورت زیر می باشد:

Gas	Concentration (vol%)	Analysis method
CO	1.0-2.0	QGS-08B
C ₃ H ₆	6×10^{-4} to 1.4×10^{-3}	DANI THM411 hydrocarbons controller
O ₂	0.8-1.5	QZS-9601
H ₂ O	10-15	
NO	5×10^{-4} to 1.0×10^{-3}	ML9841A NO _x analysis
N ₂	Equilibrium gas	

	CO (%)	THC (ppm)	NO (ppm)	O ₂ (%)	λ
1	2.0	1400	1000	1.42	0.9
2	1.8	1200	900	1.40	1
3	1.5	1000	800	1.16	1
4	1.3	800	700	0.98	1
5	1.0	600	500	0.82	1.1

$$\lambda = (C_{NO} + 2C_{O_2}) / (C_{CO} + 9C_{C_3H_6})$$

جدول ۴ - غلظت گازهای ورودی و روش آنالیز

پس از تعیین ترکیب غلظت گاز ورودی، گاز را از روی کاتالیست در دمای مطلوب عبور می دهیم. ۵۰ میلی گرم کاتالیست با سایز ذرات ۱ میکرومتر مورد استفاده قرار گرفته است. هم چنین مشخصات موتوری که در این ارزیابی استفاده شده است یک موتور ۴ سیلندر با سرعت ۹۲۰۰ دور بر ثانیه، تندی ۳۵۰۰ تا ۴۵۰۰ بر واحد زمان و نرخ ۳۲ درصد بنزین در حالت باز بودن درب خودرو است.

۴- نتیجه گیری

یکی از اهداف کلیدی این مطالعه، توسعه یک مدل سینتیکی بود که فرآیند واکنش منتهی به یک گاز خروجی موتور واقعی را توصیف کند. داده های تجربی برای اکسیداسیون و کاهش واکنش ها در مخلوط های گازی مصنوعی برای آزمایش مکانیزم های مختلف واکنش و معادلات سرعت سینتیک مربوطه برای تبدیل شدن به یک مبدل کاتالیستی کامل مورد استفاده قرار گرفت. در دمای مشخصی، غلظت گازهای ورودی را تنظیم کرده و با به حداقل رساندن مقدار خطا با نرم افزار maple ۱۰ مقادیر ثابت جذب و واکنش را بدست می آوریم که در جدول زیر مشهود است:

Constant	Adsorption heat, ΔH_a (J mol ⁻¹)	Adsorption factor, K_{a0j}
K_{a1}	-2.423×10^5	2.728×10^{-20}
K_{a2}	57265.2	1.1204×10^9
K_{a3}	-1.252×10^5	2.487×10^{-9}
K_{a4}	7346.5	100.38
K_{a5}	-68184.78	1.481×10^{-5}
K_{a6}	1.783×10^4	8769.19
K_{a7}	3.219×10^4	3.819×10^5
K_{a8}	1.231×10^5	1.361×10^{13}
K_{a9}	-1.199×10^5	7.509×10^{-7}
K_{a10}	-2.775×10^5	1.252×10^{27}

جدول ۵ - مقادیر ثابت جذب

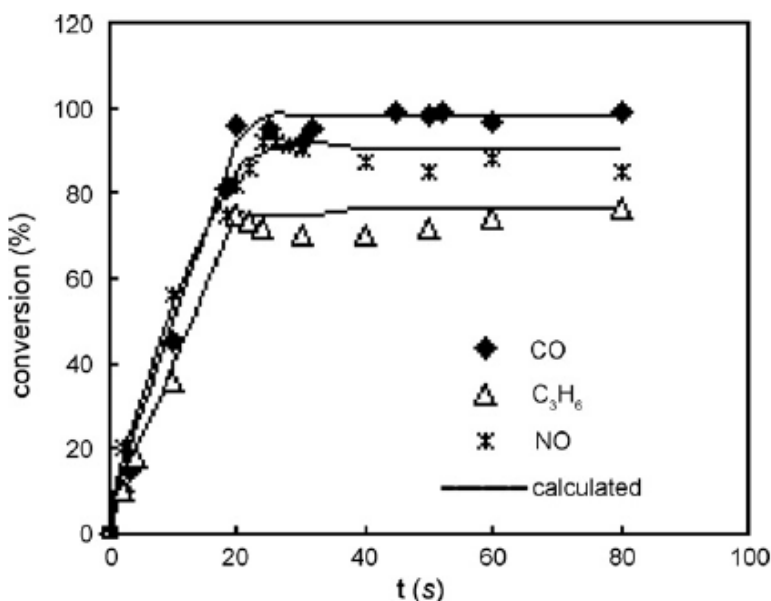
هم چنین با استفاده از قانون آرنیوس می توانیم ثوابت واکنش را بدست آوریم که در جدول زیر مشاهده می شود:

Rate constant	$E_j \text{ (J mol}^{-1}\text{)}$	K_{0j}
$\bar{k}_1$	1.061×10^5	7.573×10^9
$\bar{k}_2$	1.289×10^5	5.037×10^{11}
$\bar{k}_3$	1.211×10^5	1.392×10^{12}
$\bar{k}_4$	1.517×10^5	4.092×10^{14}

جدول ۶- مقادیر ثابت واکنش

با تعیین ثوابت ذکر شده می‌توانیم معادلات سرعت ۳-۴۳ را با معلوم شدن مجهولات کامل‌تر کنیم. با مقایسه درصد تبدیل متوسط CO , NO و C_3H_6 در شبیه‌سازی و مدلی که بدست آورده‌ایم با نتایج واقعی به نمودار زیر

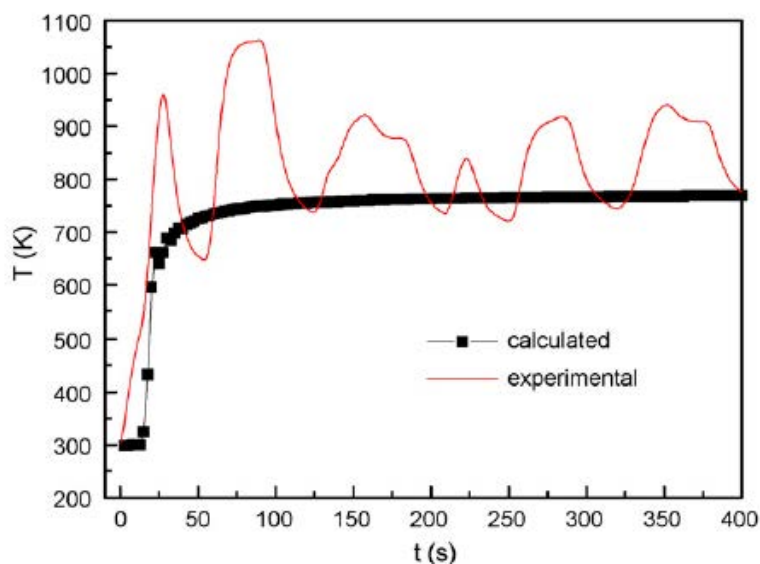
می‌رسیم:



نمودار ۱- مقایسه درصد تبدیل واکنش‌دهنده‌های موجود در دو حالت تجربی و نظری

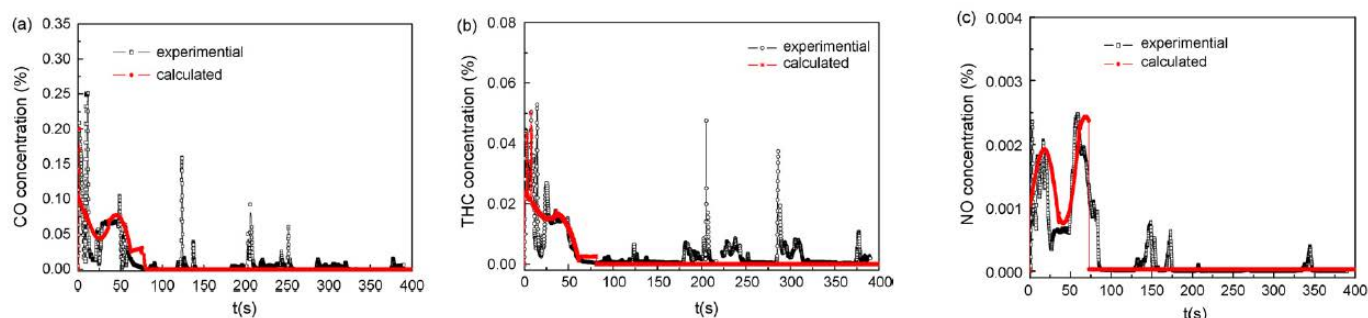
همانطور که مشاهده می‌شود در ۲۵ ثانیه اول که به cold-start معروف است، چون دما به میزان کافی زیاد نیست، واکنشی رخ نمی‌دهد و کاتالیست نیز غیرفعال است؛ اما به محض افزایش تدریجی دما، غلظت گاز خروجی کاهش یافته و درصد تبدیل واکنش‌دهنده‌ها افزایش می‌یابد؛ به نحوی که بعد از ۶۰ ثانیه به مقدار ثابت و یکنواختی می‌رسد که در نمودار ۱ قابل مشاهده است. درصد تبدیل CO , NO و C_3H_6 به ترتیب ۹۸، ۹۰ و ۸۰ درصد خواهد بود.

در نمودار ۲ و ۳ نیز شاهد مقایسه دمای گازهای خروجی در حالت آزمایش و محاسبه شده توسط مدلی که بدست آوردیم، هستیم. در نمودار ۲ مشاهده می‌کنیم که دمای گاز خروجی بعد از استارت موتور به سرعت از ۳۰۰ تا ۸۰۰ کلین افزایش می‌یابد. علت نوساناتی که در منحنی مربوط به آزمایش مشاهده می‌کنیم، چرخه کارکرد موتور در آزمایش و متغیر بودن نسبت A/F یا همان نسبت هوا به سوخت است. چرخه موتور بدین شکل است که در ۶۰ ثانیه سوخت را وارد و مصرف می‌کند و دما بالا می‌رود و سپس به مدت ۵ ثانیه هیچ سوختی نخواهد داشت و در این مدت نسبت هوا به سوخت تغییر می‌کند و دما به مقدار کمی کاهش یافته و نوسانات شکل خواهد گرفت. با تمام این تفاسیر، مدل به دست آمده به خوبی این روند افزایش دما را پیش‌بینی می‌کند.



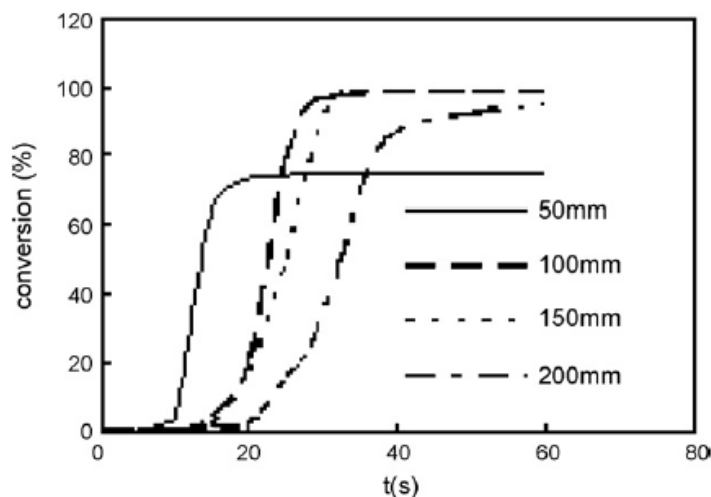
نمودار ۲- مقایسه دمای گاز خروجی از مبدل در حالت آزمایش و محاسبات نظری

در نمودار ۳ شاهد پیش‌بینی تغییرات غلظت واکنش‌گرها در طول زمان هستیم که مشاهده می‌کنیم مدل‌سازی بسیار خوب روند تغییرات را طی می‌کند.



نمودار ۳- مقایسه غلظت گازهای خروجی از مبدل کاتالیستی در حالت تجربی و نظری

در نمودار ۴ زیر مشاهده می‌کنیم که درصد تبدیل CO به محصولات نظیر CO_2 ، H_2O متناسب با طول مبدل متغیر است.



نمودار ۴- تغییرات درصد تبدیل کربن مونوکسید در طول مبدل

از نمودار ۴ درمی‌یابیم زمانی که طول مبدل ۵۰ میلی‌متر باشد بعد از ۱۵ ثانیه درصد تبدیل به ۷۸ درصد، ۱۰۰ میلی‌متر باشد

بعد از ۲۵ ثانیه به ۹۹ درصد و اگر ۲۰۰ میلی‌متر باشد به درصد تبدیل به ۹۰ درصد خواهد رسید. لذا زمان ماند و طول مبدل بازده واکنش را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. بنابراین طول مبدل نه باید کوتاه باشد و نه بلند. بعد از بهینه‌سازی طول مبدل به این نتیجه می‌رسیم که طولی بین ۸۰-۱۲۰ میلی‌متر بهترین بازده را برای واکنش به همراه خواهد داشت و کم‌ترین کربن مونوکسید را در خروجی مشاهده خواهیم کرد.

منابع و مراجع

[۱]: <http://fa.piasanat.com/three-way-catalysts/>

[۲]: J. Shi, Hand-Book of Chemical Engineering, Chemical Industry Press, Beijing ۲۰۰۲ ,

[۳]: https://en.wikipedia.org/wiki/Reactions_on_surfaces

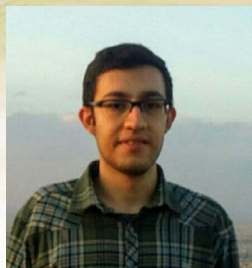
[۴]: Grolmuss, Alexander. "A V: Mechanisms in Heterogeneous Catalysis"

[۵]: Nikolaus Raberger, Michael J. Stutz, Nico Hotz, "Simulation of the Postcombustor for the Treatment of toxic and flammable exhaust gases of a micro-solid oxide fuel cell"

[۶]: R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot, Transport Phenomena, Wiley, New York

[۷]: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2009.07.045>

آشنایی با چرخه‌ی تولید و عرضه و تقاضای محصولات شیمیایی و پلیمری



محمد جواد نصیری
دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی
دانشگاه تهران

فعالیت میکنند که محصولات گوناگونی تولید میکنند. واحدهای پتروشیمی بر اساس نوع خوراک مصرفی دسته‌بندی می‌شوند: الفین که شامل اتیلن، پروپیلن، بوتادین است. آروماتیک مانند بنزن، تولوئن و زایلن و گاز که همان مونواکسید کربن و هیدروژن است.

ابتدا کوتاه به معرفی برخی از صنایع شیمیایی در جهان می‌پردازیم. شرکت اکسون موبیل (ExxonMobil)، دومین شرکت بزرگ جهان برپایه میزان درآمد سالانه و ازجمله بزرگ‌ترین شرکت‌های صنعت نفت و گاز است که در ایالات متحده آمریکا در سه بخش عملیاتی بالادستی (شامل اکتشاف، حفاری و استخراج در بسترهای جغرافیایی گوناگون)، پایین‌دستی (شامل پالایش، بازرگانی، ترابری و انتقال سوخت و روان‌سازها) و صنایع شیمیایی (شامل تولید طیف وسیعی از مواد و محصولات به‌کاررفته در صنایع بسته‌بندی، لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها، صنایع خودروسازی و الیاف پلی‌استر) فعالیت می‌کند. شرکت داو کمیکال (Dow Chemical)، شرکت آمریکایی چندملیتی است که در زمینه صنایع بالادستی و همچنین تولید مواد شیمیایی، کاتالیزورها و کودهای شیمیایی فعالیت می‌کند. ساینوپک (Sinopec)، شرکت نفت و گاز چینی است که عمده فعالیت عملیاتی آن در زمینه پالایش و تولید انواع فراورده‌های نفت و گاز، خطوط لوله و انتقال، تولید بنزین و مواد شیمیایی ازجمله کودهای کشاورزی است. ایرلیکوئید

صنعت پتروشیمی، بخش گسترده‌ای از صنایع شیمیایی است که فراورده‌های شیمیایی را از مواد خام حاصل از نفت یا گاز طبیعی تولید می‌کند. البته برخی از ترکیبات شیمیایی ساخته‌شده از نفت نیز از سایر سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ یا گاز طبیعی یا منابع تجدیدپذیر مانند ذرت و نیشکر به دست می‌آید. تا پیش از وارد شدن نفت با کاربرد و مفهوم امروزی در زندگی انسان، مواد شیمیایی موردنیاز، بر اثر تغییر و تبدیل صنایع گیاهی و جانوری به دست می‌آمد. اما از اوایل قرن بیستم، نفت خام و گاز طبیعی به‌عنوان ماده اولیه برای تهیه بسیاری از ترکیبات موردنیاز صنایع و زندگی روزمره انسان، اهمیت حیاتی و روزافزونی پیدا کرده است.

نفت و مشتقات آن، کاربردهای گسترده‌ای در فرایند فراوری و تولید بسیاری از مواد اولیه و محصولات صنعتی در زمینه‌های مختلف دارند که سبب پیدایش و تکامل بسیاری از صنایع همچون انرژی، تأمین سوخت شبکه حمل‌ونقل، محصولات کشاورزی، صنایع دارویی، آفت‌کش‌ها، پلاستیک‌ها و پلیمرها و... گردیده است. در این نوشته با گوشه‌ای از زنجیره تولید و عرضه و تقاضای محصولات شیمیایی آشنا می‌شویم چراکه تبیین و تحلیل روند دقیق تولید و عرضه و تقاضای محصولات گوناگون، پیچیدگی‌های زیادی دارد. صنایع شیمیایی گسترده‌ای در کشورهای مختلف

(Air Liquide) ، شرکت چندملیتی فرانسوی است که تأمین‌کننده گازهای صنعتی موردنیاز در کارخانه‌هایی چون تجهیزات پزشکی، مواد شیمیایی و قطعات الکترونیکی است.

در ایران پالایشگاه‌های زیادی از جمله پالایشگاه میعانات گازی ستاره خلیج فارس، پالایشگاه تهران، تبریز، لاوان و... نفت را پالایش و نیاز کشور به سوخت موردنیاز و گاز طبیعی و همچنین خوراک مجتمع‌های پتروشیمی را تأمین می‌نمایند. بنزین، گازوئیل، نفتا، انواع پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، متانول، آروماتیک‌ها، اوره، ملامین، انواع محصولات پلی استایرن از جمله محصولات تولیدی صنایع شیمیایی ایران هستند. در ادامه به معرفی برخی از مهم‌ترین محصولات شیمیایی و تولیدکنندگان آن در ایران می‌پردازیم.

لوبکات :

لوبکات (lube cut) جزء اصلی و ماده اولیه روغن‌موتور است که تقریباً ۸۵ تا ۹۵ درصد آن را تشکیل می‌دهد. لوبکات از یکی از برش‌های نفتی به نام برش روغن از پالایشگاه‌های نفت خام تأمین‌شده و پس از انجام عملیات پالایش روی لوبکات، ماده‌ای به نام روغن‌پایه به عنوان ماده اصلی روغن‌های موتور، صنعتی و گریس حاصل می‌شود. در ایران، شرکت نفت سپاهان، نفت بهران، ایرانول از جمله تولیدکنندگان و همچنین صادرکنندگان روغن‌موتور بنزینی، روغن‌موتور دیزلی، روغن‌های صنعتی، اسلاک واکس، پارافین و روغن‌های فرایندی هستند.

وکیوم باتوم: وکیوم باتوم (vacuum bottom)، ماده اولیه تولید قیر است که از پسماند برج تقطیر در پالایش نفت خام به جای میماند. عبور هوا از درون وکیوم باتوم در داخل برج قیر که سبب فرآیند اکسیداسیون می‌شود، خواص و گرانروی آن را بهبود میبخشد و باعث میشود مولکول‌های مالتن به مولکول آسفالتین تغییر یابد که این تغییر باعث می‌شود درجه نفوذ کاهش یافته و نقطه اینرسی افزایش یابد و قیر با درجه نفوذ مطلوب حاصل می‌گردد.

پلی وینیل کلراید: پلی وینیل کلراید (PVC)، نوعی پلاستیک بسیار پرکاربرد و یکی از ارزشمندترین محصولات پتروشیمی است که کاربردهای زیادی در لوله‌کشی آب و فاضلاب، صنعت ساختمان، در و پنجره‌های دوجداره (UPVC)، شکل سخت شده‌ی پلی وینیل کلراید، کارت‌های PVC مانند کارت‌های بانکی، کارتهای پرسنلی و... دارد.

البته نگرانی‌هایی در خصوص تهدیدات زیست‌محیطی و آلودگی‌های آن برای محیط زندگی انسان و طبیعت وجود دارد. پتروشیمی غدیر از جمله تولیدکنندگان و صادرکنندگان این محصول در ایران است و بازارهای ترکیه و روسیه از مقاصد مهم صادراتی ایران برای این محصول به شمار می‌روند. تغییرات قیمت این محصول در بازارهای آسیایی در تصاویر زیر نشان داده شده است .



نمودار ۱ - تغییرات قیمت PVC در بازارهای آسیایی

Asia price assessments published August 04, 2021

	Price	Mid	Change
PVC SUSP CFR FE Asia (\$/mt)	1249.00-1251.00	1250.000	10.000
PVC SUSP CFR SE Asia (\$/mt)	1249.00-1251.00	1250.000	0.000
PVC SUSP CFR South Asia (\$/mt)	1399.00-1401.00	1400.000	40.000
PVC SUSP Ethylene-based China Domestic (Yuan/mt)	9390.00-9410.00	9400.000	-100.000
PVC SUSP Carbide-Based China Domestic (Yuan/mt)	9090.00-9110.00	9100.000	-110.000

جدول ۱- قیمت PVC در بازار آسیا در سال ۲۰۲۱

پلی اتیلن:

پلی اتیلن (Polyethylene)، یکی از پرکاربردترین محصولات صنایع شیمیایی است که در گرید های مختلفی تولید میشود (HDPE، LDPE، LLDPE، UHMWPE، PERT). از جمله کاربردهای آن میتوان به انواع لوازم پلاستیکی در آشپزخانه و ظروف پلاستیکی سبک، بسته بندی در کارخانه های مواد غذایی، مخازن و تانکرهای آب، شبکه های توزیع و انتقال آب و فاضلاب، سیستم های آبیاری تحت فشار (مانند آبیاری قطره ای و بارانی)، پوشش کابل های برق و... اشاره کرد.

آروماتیک ها: آروماتیک (Aromatic)، به خانواده ای از ترکیبات آلی گفته میشود که در ساختار خود دارای حلقه با پیوند دوگانه هستند. آروماتیک ها، دسته وسیعی از ترکیبات را تشکیل میدهند که شامل بنزن و مشتقات آن است. از محصولات آروماتیکی در تهیه و تولید پلی استرها، الیاف مصنوعی، رنگها، رزینها، بطری های یک بار مصرف، نایلون، شوینده ها، ترکیبات دارویی، سموم دفع آفات، حلال های صنعتی و... استفاده میگردد. پتروشیمی نوری، بوعلی سینا و پارس از تولیدکنندگان آروماتیک ها هستند.

اوره و آمونیاک:

اوره و آمونیاک از محصولات مورد استفاده در کودهای شیمیایی و صنعت کشاورزی هستند. صنایع پتروشیمی کرمانشاه، پتروشیمی خراسان، پتروشیمی شیراز، پتروشیمی پردیس از جمله شرکت‌های اوره ساز ایران هستند که علاوه بر تأمین نیاز داخل کشور، محصولات خود را با نرخ‌های جهانی اوره به کشورهای خریدار صادر میکنند. هنگامی که تقاضای بخش کشاورزی در جهان فعال باشد خرید اوره در تجارت جهانی مورد توجه قرار میگیرد و موجب افزایش قیمت این محصول میشود.

عوامل گسترده‌ای بر بازار تجارت محصولات شیمیایی اثرگذار هستند. برخی عوامل درون‌زا (مرتبط با تغییرات درون صنایع و روند تولید) و برخی برون‌زا (ناشی از عوامل محیطی) هستند درواقع برآیند عوامل مختلف همگی در دو کفه‌ی یک ترازو نمایان می‌شوند، یعنی عرضه و تقاضا. برخی از این عوامل به شرح زیر است :

- میزان تولید محصول (عرضه)
- میزان تقاضا برای مصرف
- وجود محدودیت‌ها و موانع بر سر راه تولیدکنندگان اصلی محصول یا محصولاتی خاص در جهان
- عوامل جغرافیایی و محیطی (مانند تغییرات ناگهانی شرایط آب و هوایی که تولید یا حمل و نقل کالاها را با اختلال مواجه کند، همچون باران‌های فصلی، طوفان‌های ساحلی در شرق آسیا یا ایالات متحده که سبب آسیب به انبارها یا بنادر محل بارگیری و تخلیه کالاها و تغییر بااهمیت در میزان ذخایر و موجودی انبارها شوند)
- وضع عوارض یا مشوق‌های صادراتی و وارداتی و افزایش و کاهش آن‌ها
- رخدادهای سیاسی یا تنش‌های نظامی (مانند جنگ تجاری آمریکا و چین)
- سیاست‌های پولی و مالی دولت‌ها و بانک‌های مرکزی در کشورهای اثرگذار
- کاهش یا افزایش ارزش دلار در برابر سایر ارزها مخصوصاً یوان و یورو (تغییرات شاخص دلار)
- رخدادهای پیش‌بینی‌نشده‌ی جهانی یا منطقه‌ای (مانند همه‌گیری کرونا و تعطیلی گسترده‌ی صنایع در اقتصادهای بزرگ جهان)
- رشد تولید در اقتصاد چین به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان مواد اولیه و نفت خام که منجر به تقویت تقاضا میشود.

محاسبه چگالی، پارامتر انحلال پذیری و دمای انتقال شیشه‌ای پلی‌اتیلن با کمک دینامیک مولکولی



بردیا ایرجیان

دانشجوی کارشناسی مهندسی پلیمر
دانشگاه تهران



امیرحسین ابوالحسنی

دانشجوی کارشناسی مهندسی پلیمر
دانشگاه تهران

چکیده:

محاسبات دینامیک مولکولی، امکان پیش‌بینی خواص پلیمرها و بسیاری از مواد را فراهم می‌کند. چگالی به کمک ریلکس کردن تحت دینامیک NPT به دست آمد. برای محاسبه پارامتر انحلال‌پذیری، از محاسبات چگالی انرژی همچسبی (Cohesive Energy Density) انجام شد. مدل ایجادشده نسبتاً سبک بود و درعین حال نتایج خوبی می‌داد. فورس فیلد COMPASS و برای محاسبه چگالی مناسب است. فورس فیلد COMPASS و pcff برای محاسبه پارامتر انحلال‌پذیری نتایج قابل قبولی می‌دهد. درنهایت برای محاسبه T_g از فرایند Annealing تحت دینامیک NPT برای محاسبه چگالی و استفاده از روش دیلاتومتری استفاده شد. فورس فیلد pcff برای محاسبات T_g راهگشا خواهد بود.

۱- مقدمه:

شبیه‌سازی دینامیک مولکولی از ابزارهای مهم حل مسائل پیچیده علوم مختلف به شمار می‌رود. شبیه‌سازی‌های محاسباتی و کامپیوتری جهت درک خواص مجموعه‌های مولکولی (از لحاظ ساختاری و برهم‌کنش‌های میکروسکوپی بین آن‌ها) انجام می‌شود. این محاسبات به عنوان مکمل آزمایش‌های مرسوم ما را قادر می‌سازند تا به مفاهیمی جدیدی برسیم. رسیدن به آن‌ها از روش‌های دیگر غیرممکن است. [۱]

دینامیک مولکولی مسیری برای شناختن ویژگی‌های دینامیکی مستقیم مانند ضرایب انتقال، ویژگی‌های، طیف‌ها و... به ما می‌دهد و یکی از برتری‌های آن است. شبیه‌سازی‌های محاسباتی مانند پلی بین ابعاد میکروسکوپی و مقیاس زمانی و دنیای میکروسکوپی آزمایشگاه عمل می‌کند. در ابتدا حدسی درباره‌ی برهم‌کنش‌های بین مولکولی ارائه می‌دهیم و پیش‌بینی دقیقی از خواص بالک دریافت می‌کنیم. به عبارتی دیگر می‌توان آن را پلی میان مباحث

روش دینامیک مولکولی برای اولین بار توسط آلدو و واین رایت در اواخر دهه ۱۹۵۰ برای مطالعه برهمکنش‌های کره‌های سخت معرفی شد. بسیاری از بینش‌های مهم در مورد رفتار مایعات ساده از مطالعات آن‌ها به دست آمد. گام بعدی در این زمینه در سال ۱۹۶۴ توسط رحمان بود که اولین شبیه‌سازی را با استفاده از یک پتانسیل واقع‌بینانه برای آرگون مایع انجام داد و در نهایت اولین شبیه‌سازی دینامیک مولکولی برای سیستم واقعی آب در سال ۱۹۷۴ توسط رحمان و استیلینگر انجام شد. امروزه تکنیک‌های شبیه‌سازی بسیار گسترش یافته و در علوم مختلف استفاده می‌شود. برای مثال شبیه‌سازی کلاسیک کوانتومی برای مطالعه آنزیم‌ها و پروتئین‌ها و شبیه‌سازی دینامیک مولکولی در روش‌های تجربی مانند کریستالوگرافی اشعه ایکس و تعیین ساختار NMR استفاده می‌شود. [۲]

شبیه‌سازی دینامیک مولکولی این امکان را فراهم می‌آورد که رفتار پلیمرها مورد مطالعه قرار بگیرد و به تحلیل عمیق‌تری از پدیده‌های مختلف فیزیکی برسیم. از دیگر کاربردهای شبیه‌سازی دینامیکی مولکولی می‌توان به فراهم کردن دانش طراحی سامانه‌ها و سیستم‌ها در کاربردهای گوناگون از طریق پی بردن به رفتار مولکول‌ها و زنجیرهای پلیمری اعم از آرایش و برهمکنش آن‌ها، جزئیات ساختاری و دینامیکی مولکول‌ها و به دنبال آن خواص ترمودینامیکی، حرارتی و مکانیکی سامانه اشاره کرد. به علت کاهش هزینه‌های ساخت مواد و ارائه اطلاعات مفید بدون انجام آزمایش‌های پرهزینه، شبیه‌سازی دینامیکی مولکولی به عنوان روشی کارآمد در گسترش و طراحی سامانه‌های مختلف پلیمری نظیر نانوکامپوزیت‌های پای پلیمری، چسب‌ها، حامل‌های دارویی و... معرفی شده است. [۳]

۲- روند اجرا:

برای حل مدل‌ها از نرم‌افزار BIOVIA Material Studio ۲۰۱۷ استفاده شده است.

۲-۱- پارامتر انحلال‌پذیری:

برای محاسبه پارامتر انحلال‌پذیری، سل آمورف با چگالی پیش فرض ($1 \text{ g}/(\text{mc}^3)$) ایجاد می‌شود. پس از بهینه‌سازی هندسی و ریلکس کردن (NVT و سپس NPT)، مقدار چگالی محاسبه می‌شود. یک سل آمورف جدید با چگالی محاسباتی ایجاد شده و مجدد بهینه هندسی و ریلکس می‌شود. (NVT و سپس NVE) در نهایت (Cohesive Energy Density (CED محاسبه شده تا پارامتر انحلال‌پذیری به دست آید.

۲-۲- دمای انتقال شیشه‌ای:

برای محاسبه T_g یک سل آمورف با چگالی تجربی ایجاد می‌شود. ساختار از نظر هندسی بهینه شده و سپس به کمک دینامیک NVT ریلکس می‌شود. برای محاسبه T_g از روش دیلاتومتری استفاده شد و در نتیجه نیاز به محاسبه چگالی در دماهای مختلف داریم. بدین منظور یک سیکل Annealing از نوع NPT با مدت زمان زیاد برای ریلکس

شدن ایجاد می‌شود. چگالی به حجم مخصوص تبدیل شده و در نهایت از داده‌ها در هر گام میانگین گرفته و نقطه تغییر شیب به عنوان نقطه T_g در نظر گرفته می‌شود.

۳- پارامتر انحلال پذیری:

۳-۱- تئوری:

احتمالاً تا به امروز عبارت انحلال دو ماده مشابه را شنیده‌اید. تشابه را از نظر کیفی می‌توان از راه‌های مختلف (برحسب گروه‌ها و قطبیت‌های مشابه) تعریف کرد. اما از نظر کمی می‌توانیم با معادله انرژی آزاد اختلاط آن را بیان کنیم (معادله ۱)

معادله ۱:

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T \Delta S_m$$

ΔG_m منفی حاکی از خود به خودی فرآیند دارد. جمله ΔS_m به علت افزایش آنتروپی همیشه مثبت است بنابراین علامت ΔG_m ، تنها به ΔH_m بستگی دارد. عموماً آنتالپی اختلاط (به جز گروه‌های قطبی متضاد، اسید و بازها و امکان تشکیل پیوند هیدروژنی که آنتالپی منفی است) به خصوص ترکیبات آلی غیرقطبی مثبت است. مقدار آنتالپی فرایند، از معادله ۲ به دست می‌آید.

معادله ۲:

$$\Delta H_M = V_M \left[\left(\frac{\Delta E_1}{V_1} \right)^{1/2} - \left(\frac{\Delta E_2}{V_2} \right)^{1/2} \right]^2 v_1 v_2$$

مقدار E/V چگالی انرژی هم‌چسبی نامیده می‌شود. از معادله بالا درمی‌یابیم که تشابه دو ماده یعنی «برابر بودن مقادیر عددی چگالی انرژی هم‌چسبی آن‌ها». به دلیل اهمیت این چگالی انرژی نقش آن در تعیین حلالیت دو ماده، مطابق معادله ۳، جذر چگالی انرژی هم‌چسبی مشخصه حلالیت نامیده می‌شود. [۴]

معادله ۳:

$$\delta = \left(\frac{\Delta E}{V} \right)^{1/2}$$

یکی از مهم‌ترین کاربردهای پارامتر انحلال پذیری، استفاده از آن برای محاسبه ضریب برهم‌کنش و به دست آوردن چگالی کراس لینک با توجه به درصد تورم پلیمر متورم است. این معادله (معادله ۴) به نام فلوریدا- رینر شناخته می‌شود.

عوامل مؤثر در نظریه تورم تعادلی فلوری- رینر سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- تغییرات آنتروپی ناشی از اختلاط پلیمر و حلال که همیشه مثبت است.
 - ۲- تغییر آنتروپی منفی ناشی از کاهش تعداد اشکال فضایی ممکن زنجیرها
 - ۳- گرمای اختلاط پلیمر و حلال که ممکن است مثبت، صفر و یا منفی باشد.
- معادله حاصل از نظریه فوق به شکل زیر است:
- معادله ۴:

$$- [\ln(1 - v_2) + v_2 + \chi_1 v_2^2] = V_1 n \left[v_2^{1/3} - \frac{v_2}{2} \right]$$

در معادله ۴، v_2 کسر حجمی پلیمر، v_1 حجم مولی حلال و n چگالی اتصالات عرضی است. می‌توان n را در معادله ۵ قرار داده و مدول یانگ پلیمر شبکه‌ای را پیش‌بینی کنیم.

معادله ۵:

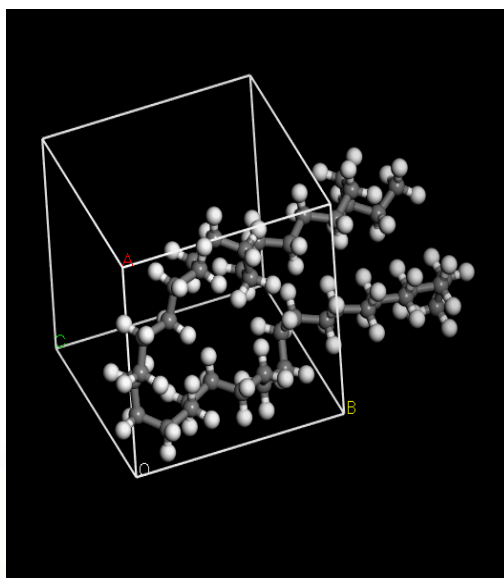
$$E = 3nRT$$

از این جهت معادله فوق می‌تواند یار کاربردی و حائز اهمیت باشد. [۵]

۲-۳- محاسبات:

محاسبات به کمک سه فورس فیلد COMPASS، Universal و pcff انجام شده تا بهترین فورس فیلد انتخاب شود. در تمامی موارد، پلی‌اتیلن شامل ۲۰ مونومر ساخته می‌شود. ساختار از نظر هندسی در ۵۰۰۰ گام در فورس فیلد و دمای اتاق بهینه می‌شود. در تمامی مراحل (به جز سل آمورف) برهمکنش‌ها از نوع group based در نظر گرفته می‌شود. سپس ساختار سل آمورف (برهمکنش‌ها مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار خواهد بود) با چگالی ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب ایجاد می‌شود. ساختار مجدد از نظر هندسی در ۵۰۰۰ گام بهینه می‌شود. ساختار با دینامیک NVT به صورتی velocity scale و در ۵۰۰۰ گام به مدت ۵۰ پیکوثانیه ریلکس می‌شود. فرایند مشابهی برای محاسبه چگالی در ۵۰۰۰ گام و تحت فشار اتمسفری (۱ گیگا پاسکال) تکرار می‌شود. از چگالی به دست آمده میانگین گرفته می‌شود.

مجدد با چگالی به دست آمده سل آمورف ایجاد می‌شود. ساختار به دست آمده در شکل ۱ قابل مشاهده است. مراحل بهینه‌سازی هندسی و ریلکس کردن NVT تکرار می‌شود. پس از آن ریلکس کردن NVE در ۵۰۰۰ گام انجام می‌شود. در نهایت با محاسبه CED پارامتر انحلال‌پذیری به دست می‌آید [۶]. در جدول ۱ برحسب فورس فیلد های مختلف این مقدار محاسبه شده است.



تصویر ۱- سل آمورف پلی اتیلن بهینه شده پلی اتیلن در pcff شامل ۲۰ مونومر

Force field	Density (g/mL)	Experimental Density (g/mL)	Solubility parameter (MPa) ^{1/2}	Standard error	Experimental Solubility parameter (MPa) ^{1/2}	Relative Error
pcff	0.791	0.85 [7]	15.720	0.047	16.2 [7]	-0.029
COMPASS	0.833		16.764	0.067		0.035
Universal	0.833		21.474	0.058		0.326

جدول ۱ - مقادیر چگالی و پارامتر انحلال پذیری در فورس فیلدهای مختلف

۴- دمای انتقال شیشه‌ای:

۴-۱- تئوری:

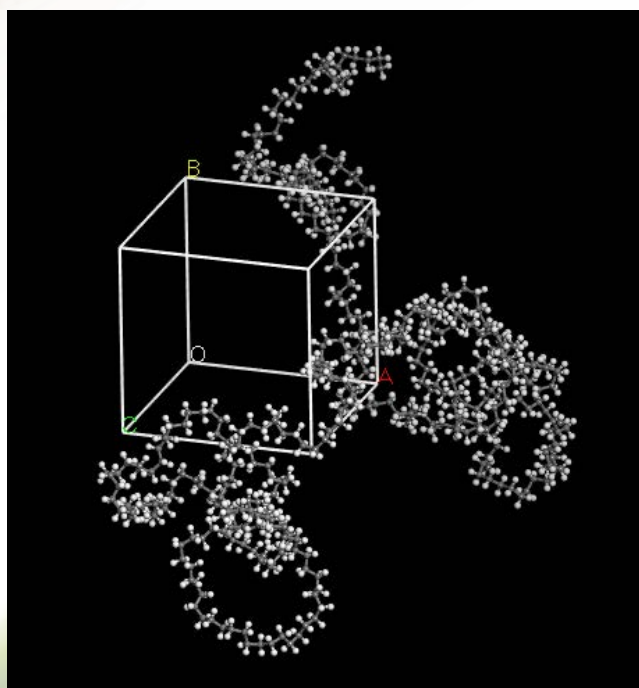
یکی از روش‌های محاسبه دمای انتقال شیشه‌ای روش دیلاتومتری است. در این آزمون تغییرات حجم پلیمر بر اثر تغییرات دما توسط لوله مویین و جیوه محدودکننده ثبت می‌شود. معمولاً محورهای نمودار حجم مخصوص-دما است. پس از ثبت تغییرات و رسم نمودار، نقطه‌ای که در آن شیب خط تغییرات حجم مخصوص با دما تغییر کند را T_g می‌نامیم. [۸]

۴-۲- محاسبات:

برای محاسبه دمای انتقال شیشه‌ای به روش دیلاتومتری، فورس فیلد pcff و محاسبه چگالی در دماهای مختلف به کمک Annealing می‌تواند مناسب باشد. [۹]

یک ساختار پلی اتیلن با ۲۰۰ مونومر ایجاد شد. فورس فیلد انتخابی pcff بوده و برهمکنش‌ها از نوع group based انتخاب می‌شود. ساختار از نظر هندسی در ۵۰۰۰ گام بهینه می‌شود. سپس این مولکول در یک شبکه

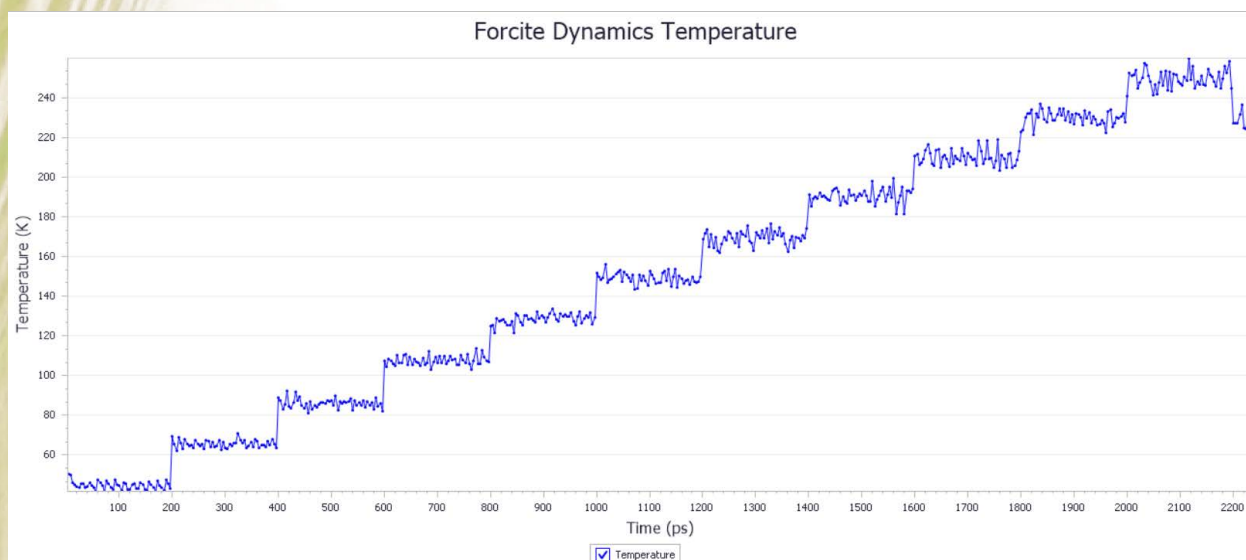
آمورف با چگالی $0.785 \text{ g/(mc}^3\text{)}$ قرار می‌گیرد. مشابه قبل مجدد ساختار از نظر هندسی بهینه می‌شود. (تصویر ۲)



تصویر ۲ - سل آمورف پلی‌اتیلن ایجادشده در فورس فیلد pcff شامل ۲۰۰ مونومر اتیلن

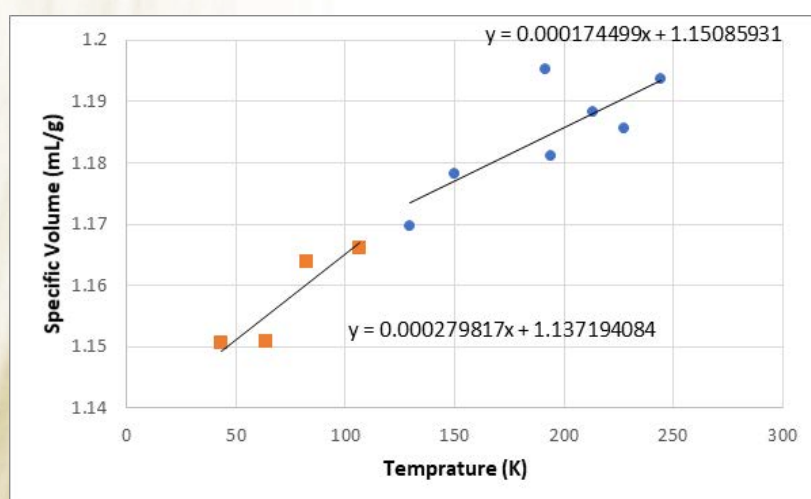
برای ریلکس کردن ساختار، محاسبه دینامیک مولکولی NVT در دمای ۲۹۸ کلوین و در ۵۰۰۰۰ گام معدل ۵۰ پیکوثانیه انجام می‌شود که ترموست از نوع Velocity Scale خواهد بود. ساختار ایجادشده مشابه قبل تحت NVE با ۵۰۰۰۰ گام ریلکس می‌شود.

برای شبیه‌سازی دیلاتومتری، ساختار تحت اثر Annealing قرار می‌گیرد. Annealing بین دمای ۵۰ تا ۲۰۰ کلوین به‌اندازه ۱ سیکل و در ۱۰ مرحله (۲۰ کلوین اختلاف دما) انجام می‌شود. (نمودار ۱) دینامیک فرایند از نوع NPT انتخاب‌شده و در اثر فشار اتمسفری (۰/۱ گیگا پاسکال) قرار می‌گیرد تا قادر به محاسبه چگالی باشد. برای رسیدن به چگالی مناسب هر مرحله در ۲۰۰۰۰۰ گام انجام می‌شود تا زمان کافی برای ریلکس شدن داشته باشد.



نمودار ۱- دمای فرایند Annealing برحسب زمان (ps)

از چگالی های به دست آمده در هر گام میانگین گرفته می شود. مقادیر وارون شده تا به حجم مخصوص تبدیل شود و در نهایت در نمودار ۱ نمایش داده شده است. نقطه ای که تغییر شیب مشهود است تعیین شده و مقدار Tg در محاسباتی و تجربی در جدول ۳ قابل مشاهده است.



نمودار ۲- میانگین دما و حجم مخصوص در هر مرحله

در اثر بر خود دو خط، می توان دمای انتقال شیشه ای را به دست آورد.

MD Tg (K)	Experimental Tg (K)
129.752	143 [7]

جدول ۳ - مقایسه دمای انتقال شیشه محاسبه شده و مقدار تجربی

۵- نتیجه گیری:

محاسبه چگالی و پارامتر انحلال پذیری، با استفاده از مدل های سبک (۲۰ مونومر) و با نتایج قابل قبول انجام شد. فورس فیلد pcff و COMPASS می تواند نتایج خوبی در پارامتر انحلال پذیری بدهد. به خاطر سبک بودن مدل، محاسبات در زمان کمتری انجام خواهد شد.

برای محاسبه Tg استفاده از فورس فیلد مخصوص پلیمرها (pcff) می تواند راهگشا باشد. در هر دما باید زمان

کافی برای ریلکس شدن فراهم شود. به خاطر کافی بودن زمان فرایند Anealing، استفاده از داده‌های نیمه اول سیکل می‌تواند کافی باشد تا زمان محاسبات کمتر شود.

۶- منابع:

1. Theory of Molecular Dynamics Simulation. Available from: https://embnet.vital-it.ch/MD_tutorial/pages/MD.Part1.html.
2. Vollmayr-Lee, K., Introduction to molecular dynamics simulations. American Journal of Physics, 2020. 88(5): p. 401–422.
3. مقبلی، م.ر.، کاربرد شبیه‌سازی دینامیک مولکولی در سامانه‌های پلیمری. irdpt.
4. Dilute Solution Thermodynamics, Molecular Weights, and Sizes, in Introduction to Physical Polymer Science. 2005. p. 71–143.
5. Crosslinked Polymers and Rubber Elasticity, in Introduction to Physical Polymer Science. 2005. p. 427–505.
6. Khakpour. آموزش متر یال استودیو. Available from: <https://faradars.org/courses/fvch9411-basic-simulation-of-molecular-dynamics-using-materials-studio-problem-solving>.
7. Allin, S.B., Introduction to Physical Polymer Science, 3rd Edition (Sperling, L. H.). Journal of Chemical Education, 2001. 78(11): p. 1469.
8. محمدی، ن.، شیمی فیزیک پلیمرها. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
9. Dong, X., et al., Molecular simulation and experimental study on propylene dehumidification through a PVA–PAA blend membrane. Journal of Materials Chemistry A, 2014. 2(39): p. 16687–16696.

مروری بر هیدروژل ها



سید فرزانه تاج بخش فخرآبادی

دانشجوی کارشناسی مهندسی پلیمر دانشگاه فردوسی مشهد



مبین رحمانی دوست

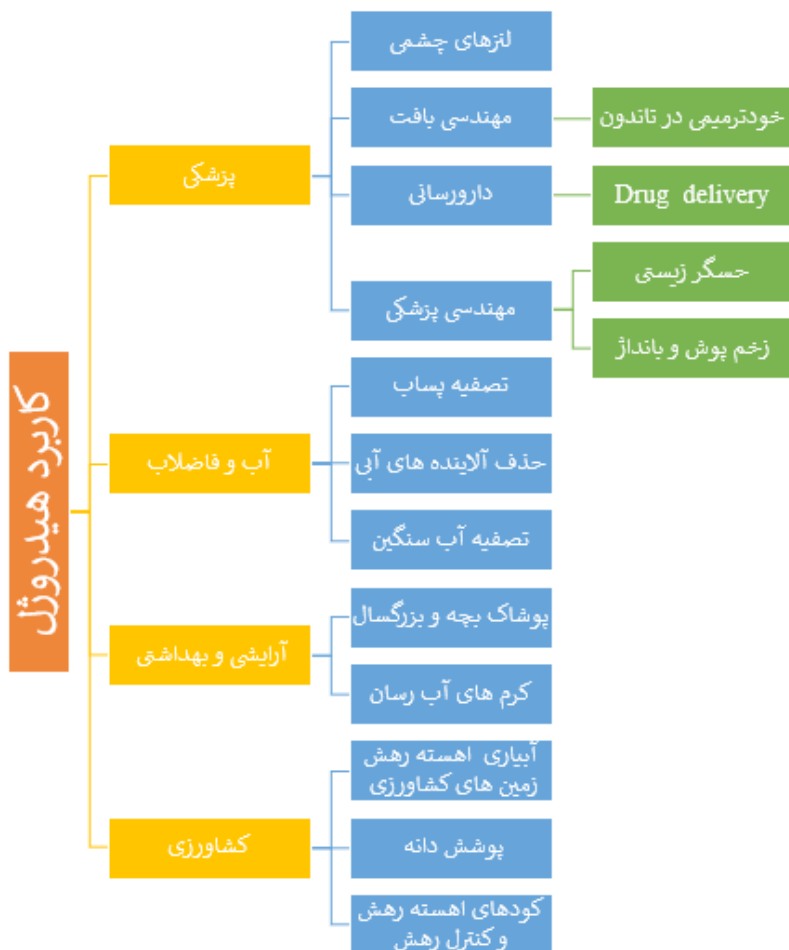
دانشجوی کارشناسی مهندسی پلیمر دانشگاه فردوسی مشهد

پیوندهای عرضی بوده تا یک حالت کشسانی داشته باشد. بنابراین هر فرآیندی که بتواند به ایجاد اتصالات عرضی در ساختار پلیمرها شود، میتواند برای تولید یک هیدروژل استفاده شود. اما یک روش قابل توجه برای شروع واکنش پلیمریزاسیون شامل استفاده از نور به عنوان محرک است. در این روش آغازگرهای نوری، ترکیباتی که با جذب فوتون ها فعال می شوند، به محلول پیش ساز اضافه می شوند. هنگامی که این محلول در معرض منبع قوی نور قرار می گیرد، آغازگرهای نوری فعال شده و رادیکال های آزاد را تشکیل می دهند، که در نتیجه واکنش پلیمریزاسیون شروع گردیده و در صورت حذف منبع نور، واکنش متوقف شده و به این ترتیب میزان تشکیل پیوندهای عرضی در هیدروژل کنترل می شود که عمده تاً در کاربردهای زیستی استفاده می شوند. مهم ترین نکته ای که در هنگام سنتز هیدروژل ها باید به آن توجه کرد این است که خواص نهایی هیدروژل بستگی به نوع و میزان پیوندهای

طبق تعریف، هیدروژلها شبکه های پلیمری هستند که خواص آبدوستی داشته و توانایی جذب آب بالایی را از خود نشان می دهند. اصطلاح «هیدروژل» در سال ۱۸۹۴ ابداع شد. هیدروژلها عموماً بر پایه مونومرهای آبدوست تهیه گردیده ولی بعضاً مونومرهای آبگریز نیز در تهیه هیدروژل برای کاربردهای خاص استفاده میشوند. به طور کلی، هیدروژلها میتوانند از پلیمرهای مصنوعی یا پلیمرهای طبیعی تهیه گردند. پلیمرهای مصنوعی ذاتاً آبگریز بوده و نسبت به پلیمرهای طبیعی از نظر شیمیایی پایداری بهتری دارند. قدرت مکانیکی آنها منجر به نرخ تخریب کندتر و دوام بیشتر می گردد. این دو ویژگی متضاد باید از طریق بهینه سازی طراحی متعادل شوند. همان طور که در قسمت قبلی بیان گردید میتوان از پلیمرهای طبیعی برای تهیه هیدروژلها بهره برد به شرطی که این پلیمرها گروه های عاملی مناسبی داشته یا اصلاح سطح شده باشند. در ساده ترین حالت، هیدروژل یک شبکه پلیمری آبدوست بوده که دارای

عرضی داشته و بسته به کاربرد آن باید مهندسی گردد. هیدروژل ها به دلیل خواص و قابلیت های منحصر به فرد در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی، کشاورزی، محیط زیست و داروسازی به عنوان جاذب برای حذف آلاینده ها و ساخت دستگاه های فنی و الکترونیکی استفاده می شوند.

هیدروژل های نانوکامپوزیت با ترکیب اجزای آلی و معدنی باعث بهبود خواص شیمیایی، فیزیکی، زیستی و متورم شدن آن ها شده است. کاربرد هیدروژل های نانوکامپوزیتی بر اساس نوع نانوذرات به کاررفته در ساختار هیدروژل، به چهار گروه بر پایه های کربن، پلیمر، فلز یا اکسید فلز و مواد معدنی طبقه بندی می شوند. هر گروه از این مواد دارای خواصی است که آن را برای کاربردهای مختلف مناسب می سازد. هیدروژل های نانوکامپوزیتی بر پایه کربن به طور عمده در هدایت الکتریکی و بهبود خواص مکانیکی یا خواص می شود.



تصویر ۱- کاربردهای هیدروژل

در شکل ۱ برخی از کاربردهای گسترده هیدروژل‌ها ذکر شده است.

کودهای آهسته‌رهش:

به دلیل این‌که استفاده از کودهای شیمیایی معمولی هزینه‌های زیادی را به کشاورزان تحمیل کرده از طرفی موجب خسارت اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست می‌شود موجب شده تا محققان بسیاری به بررسی روش‌هایی بپردازند که موجب افزایش کارایی عناصر غذایی شود. امروزه کودهای جدیدی با کارایی بیشتری وجود دارند که توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرند. کودهای آهسته‌رهش، کودهای پوشش‌دهی شده با پلیمر و کودهای زیستی هوشمند، نمونه‌هایی از این کودها هستند.

دانش فنی کودهای آهسته‌رهش و کودهای باقابلیت رهاسازی کنترل‌شده از سال ۱۹۵۰ مورد توجه و پژوهش قرار گرفته و این پیشرفت‌ها با سرعت بیشتری در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ ادامه یافت. کودهای آهسته‌رهش، کودهایی با طراحی هدفمند هستند که مواد غذایی موجود در کود را به صورت کنترل‌شده و مطابق با نیاز گیاه آزاد می‌کنند. بنابراین علاوه بر افزایش عملکرد گیاه، موجب افزایش کارایی جذب عناصر غذایی از خاک نیز می‌شوند. عناصر موجود در این کودها در طول فصل رشد با سرعت کمتری آزاد شده و کمتر در معرض آب‌شویی قرار می‌گیرد، در نتیجه گیاهان قادرند این عناصر را جذب نمایند. از طرف دیگر این کودها نیاز به تقسیط نداشته و سوختگی ناشی از مصرف این کودها حتی در مقادیر بالا، نیز مشاهده نمی‌شود. کودهای آهسته‌رهش ممکن است گران‌تر از کودهای معمولی باشند لیکن منافع حاصل از آن‌ها به‌ویژه در حوزه مسائل زیست‌محیطی و همچنین استفاده برای برخی گیاهان گلخانه‌ای و یا محصولات که مصرف آب بالایی

داشته صرفه اقتصادی داشته است.

استانداردهای مورد استفاده برای تعیین کودهای آهسته‌رهش:

با توجه به کمیته استانداردسازی اروپا رهاسازی عناصر غذایی از کودهای آهسته‌رهش از طریق فرآیندهایی مانند انحلال، هیدرولیز، تخریب و... انجام می‌گیرد که در این فرآیند عناصر غذایی به فرم قابل‌دسترس گیاه تبدیل می‌شوند، درحالی‌که سرعت رهاسازی نسبت به کودهایی که حاوی عناصر غذایی آماده جذب هستند، آهسته‌تر صورت می‌گیرد. میزان رطوبت خاک و فعالیت زیستی ممکن است بر میزان رهاسازی اثر بگذارند. کمیته استانداردسازی اروپا برای توصیف کودهای آهسته‌رهش سه شاخص زیر را در دمای زیر را در دمای ۲۵ پیشنهاد کردند:

- رهاسازی کمتر از ۱۵٪ در ۲۴ ساعت
- رهاسازی کمتر از ۷۵٪ در ۲۸ روز
- حداقل حدود ۷۵٪ رهاسازی در زمان تعیین‌شده باشد

همان‌طور که قبلاً اشاره شد هیدروژل‌ها از مونومرهای قطبی تهیه می‌شوند. یکی از چالش‌های مطرح هزینه تولید هیدروژل بوده که بر اساس مطالب فوق، سعی بر آن است تا از یک روش مناسب برای اصلاح پلیمرهای طبیعی بر پایه نشاسته با استفاده از نانوذرات در ماتریس این پلیمرهای ارزان‌قیمت استفاده گردد و در نتیجه می‌توان پوشش نانوکامپوزیتی با حداقل قیمت تولید کرد که به عنوان حاملی برای ترکیبات مورد نیاز گیاهان به کار روند. با بارگذاری کودهای NPK (مهم‌ترین مواد مغذی که گیاهان بدون آن‌ها قادر به ادامه‌ی حیات نیستند، به عنوان عناصر ماکرو مغذی‌های اصلی (Macronutrient) شناخته می‌شوند که شامل: نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) است) در ساختار

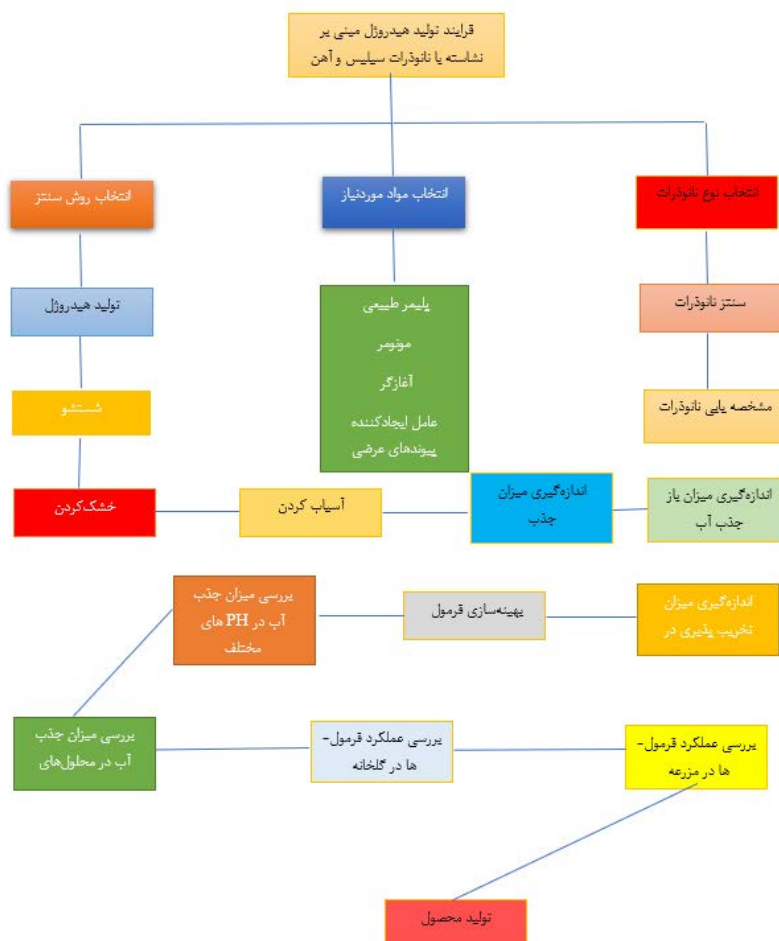
این نانوکامپوزیت‌های، کودهای آهسته‌رهش سنتز کرد. آمفی‌فیلیک است و برای انواع فرآیندها قابل استفاده است.

اگر مستقیم از مونومر های آبدوست و پلیمرهای طبیعی برای تولید محصول استفاده شود محصول تولیدی خواص مکانیکی ضعیفی را دارا خواهد بود. به همین جهت برای بالا بردن خواص مکانیکی از نانو مواد استفاده میگردد تا خواص موردنظر را تقویت ببخشد.

یکی از مهمترین چالشها انتخاب پلیمرهای طبیعی می‌باشد. نشاسته یک پلیمر طبیعی فراوان است که در بسیاری از کشورها موجود بوده و یک منبع تجدیدپذیر، از نظر اقتصادی مناسب و جذاب (از پلیمرهای طبیعی دیگر همچون کیتوسان^۱، سدیم آلژینات^۲ و صمغ زانتان^۳ قیمت کمتری دارد) که تهیه آن با واکنشگرهای نسبتاً ارزان قیمت به آسانی انجام پذیر بوده است؛ همچنین دارای ظرفیت تورم بالا در آب است و یک جاذب پیوندی

چالش بعدی پس از انتخاب پلیمر طبیعی (نشاسته)، تهیه نانوذرات می‌باشد.

در شرایط خشک و نیمه خشک ایران که بارندگی کم و اغلب خاک‌های زراعی آهکی است ترکیبات محلول عناصر ریزمغذی در خاک به شدت کاهش می‌یابد. و به طبع آن غذای مصرفی جامعه نیز دچار مشکل می‌شود. خاکهای زراعی کشور ایران به دلایلی از قبیل آهکی بودن خاک‌ها، بی‌کربنات^۴ بودن آب آبیاری، پایین بودن مواد آلی و مصرف بی‌رویه کودهای فسفات دچار کمبود شدید ریزمغذی‌ها به ویژه روی و آهن می‌باشند. با کاهش میزان رطوبت خاک تحرک عناصر در محلول خاک کاهش یافته و با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به طور مضاعفی با کمبود این عناصر در خاک مواجه خواهد شد. و همچنین نتایج



تحقیقات محققان بیانگر آن است که مصرف کودهای ریزمغذی میتواند مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری را افزایش دهد. عملکرد و کیفیت گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار گرفته‌اند، با تغذیه عناصر معدنی و تنظیم‌کننده‌های رشد و بهبود خواهد یافت و به‌طور کلی گزارش‌های متعددی مبنی بر اثر مثبت عناصر کم مصرف در تعدیل اثرات تنش وجود دارد.

با توجه به توضیحات بالا ایده مطرح‌شده تولید کودهای آهسته رهش NPK از نانوکامپوزیت پلیمری پایه نشاسته به همراه نانوذرات سلولسیم برای مقابله با تنش خشکی، شوری و همچنین نانوذرات آهن میباشد. در آخر الگوریتم زیر را میتوان برای تولید محصول تهیه کرد.

مطالب بالا توضیحات کلی درباره هیدروژل و همچنین اولین کاربرد این محصول در کشاورزی یا همان کودهای آهسته‌رهش می‌باشند. در ادامه به کاربرد دیگر هیدروژل در زمینه دارورسانی^۱ مطالبی را گردآوری کردیم.

در سال‌های اخیر پیشرفت قابل‌توجهی در جهت رفع محدودیت‌های بالینی و دارویی هیدروژل‌ها در دارورسانی صورت گرفته است. اما همچنان چالش‌های اساسی نیز وجود دارند. هیدروژل‌ها به دلیل دارا بودن مقدار قابل‌توجهی آب، دارای انعطاف‌پذیری بسیار مشابه با بافت طبیعی بوده و به‌عنوان «مواد هوشمند» پاسخگو، هیدروژل‌ها می‌توانند سیستم‌های شیمیایی را در برگیرند که با تحریک عوامل خارجی مانند تغییر pH امکان ترشح ترکیبات خاصی مانند گلوکز در محیط را ایجاد نماید.

همان‌گونه که قبلاً اشاره‌شده هیدروژل‌ها دارای کاربردهای بالینی و پزشکی در زمینه مهندسی بافت و

پزشکی ترمیمی، تشخیص بیماری، بی‌حرکتی سلولی، جداسازی ملکول‌های زیستی یا سلول‌ها و تنظیم چسبندگی زیستی می‌باشد. هیدروژل‌ها به دلیل داشتن خواص فیزیکی منحصربه‌فرد در دارورسانی کاربرد بسیاری دارند؛ همچنین به دلیل ساختار بسیار متخلخل‌شان، آن‌ها را می‌توان با کنترل تراکم پیوندهای عرضی در ماتریس ژل، میزان تورم را تنظیم کرد. تخلخل به آن‌ها این اجازه را می‌دهد تا داروها در ماتریس ژل بارگیری شده و سپس با سرعتی که وابسته به ماهیت هیدروژل است آزاد کند. درواقع، مزایای هیدروژل‌ها در دارورسانی ممکن است عمدتاً فارماکوکینتیک (فارماکوکینتیک جنبه‌ای از علم داروشناسی بوده که به بررسی پارامترهایی چون فراهمی زیستی، کلیرانس، م تابولیسیم، نیمه‌عمر، حجم توزیع و اثر عبور اول داروها می‌پردازد. اغلب فارماکوکینتیک به‌صورت مزدوج همراه با فارماکودینامیک مطالعه می‌شود. درواقع اولی اثر بدن بر دارو است و دومی اثر دارو بر بدن) می‌باشد زیرا یک فرمولاسیون تزریقی ایجادشده تا داروها به‌آرامی از بدن خارج گردد و اثرات دوز موضعی بالای دارو در بافت‌های اطراف تا مدت طولانی حفظ شود. خاصیت زیست سازگاری هیدروژل‌ها از طریق زیست‌تخریب‌پذیری یا انحلال ممکن است باعث می‌شود از مسیرهای آنزیمی، هیدرولیتیک و یا محیطی خارجی (به‌عنوان مثال دما یا میدان الکتریکی) طراحی‌شده خارج گردد؛ بنابراین، میزان تخریب بر اساس مقیاس زمان در دارورسانی نمی‌تواند رضایت‌بخش باشد. علاوه بر این، شکل هیدروژل‌ها تغییرپذیر بوده و می‌توانند با نوع سطح مورد استفاده تطبیق پیدا کنند.

خواص چسبندگی زیستی برخی از هیدروژل‌ها می‌تواند در بی‌حرکتی موضعی آن‌ها و یا استفاده از آن‌ها روی سطوح غیر افقی مفید باشد. این خاصیت دارای

محدودیت‌هایی نیز بوده که به دلیل داشتن مقاومت کششی کم، استفاده کم‌تری در تحمل باردارند و حتی می‌توانند به انحلال زودرس یا دور شدن هیدروژل از موضع هدف منجر شوند. این محدودیت ممکن است در بسیاری از کاربردهای معمول دارورسانی چندان مهم نباشد ولی امکان بروز مشکلاتی مربوط به خواص دارویی هیدروژل‌ها می‌باشد.

کمیت و همگنی بارگیری دارو در هیدروژل‌ها ممکن است محدود شود؛ به‌ویژه در مورد داروهای آب‌گریز که

نتیجه‌گیری:

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا و استفاده از هیدروژل‌ها به منظور نگهداری و صرفه‌جویی آب و همچنین نقش سیلیسیم در کاهش اثرات تنش خشکی و شوری و همچنین نقش آهن در رشد گیاه که بیشتر در مناطقی با تنش آبی مشاهده می‌شود، ایده پیشنهادی شامل تولید نانوکامپوزیت پلیمری بر پایه نشاسته حاوی عناصر آهن و سیلیسیم برای به حداقل رساندن اثرات تنش خشکی و شوری می‌باشد. همچنین به‌صورت کلی اعتقاد بر این است که در برخی موارد کودهای آهسته‌رهش نسبت به کودهای معمولی برتری دارند. از نقطه نظر بهبود بازیافت عناصر غذایی توسط گیاهان سه مزیت اصلی برای کودهای آهسته‌رهش عنوان شده است: ۱- کاهش تلفات عناصر غذایی از طریق شستشو ۲- کاهش واکنش‌های شیمیایی و زیستی ۳- کاهش نیترات‌سازی و اتلاف نیتروژن از طریق تصعید گاز آمونیاک و تخریب نیترات‌ها. همچنین در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در استفاده از پلیمرهای قابل تورم در آب در زیست پزشکی به‌عنوان حامل‌های هدفمند برای رهایش دارو، پروتئین و عوامل رشد

محتوای آبی زیاد و اندازه بزرگ منافذ در اکثر هیدروژل‌ها معمولاً به ترشح نسبتاً سریع دارو طی چند ساعت تا چند روز منجر می‌شود. حتی سهولت در استفاده از آن نیز می‌تواند مشکل‌ساز باشد. اگرچه برخی از هیدروژل‌ها برای تزریق بهتر بایستی تغییر شکل دهند، اما برخی دیگر بایستی به‌صورت ایمپلنت استفاده شوند. هر یک از این موارد به‌طور قابل توجهی استفاده عملی از درمان‌های دارویی بالینی مبتنی بر هیدروژل را محدود می‌کنند.

انجام گرفته است. در این میان ماهیت، اندازه حفره‌ها، پایداری و پاسخگویی آن‌ها به محرک‌های خارجی از مهم‌ترین رفتارهای این شبکه‌ها به شمار می‌روند. علاوه بر این، هیدروژل‌ها با فرآیندهای تخریب متفاوت و یا بخش‌های پاسخ‌دهنده محیطی ممکن است در بررسی این مسائل جنبشی کمک‌کننده باشند. نیاز به بهبود مستمر دارورسانی نه‌تنها در مولکول‌های آب‌گریز بلکه در مولکول‌های حساس‌تر همچون پروتئین‌ها، آنتی‌بادی‌ها یا نوکلئیک اسیدها به چشم می‌خورد که می‌توانند از طریق تعامل با ابزار دارورسانی هیدروژل به راحتی غیرفعال شده و یا حتی باز شوند. این امر در مورد هیدروژل‌هایی با اتصالات عرضی صدق می‌کند که در آن‌ها دامنه‌های هیدروفوبیک تشکیل شده در پلیمرهای حرارتی، پلیمرهای شبکه‌ای شده فیزیکی گروه عملکردی که برای تشکیل هیدروژل‌های ژل‌دار به‌طور کاذب استفاده می‌شوند. پیشرفت در هریک از این چالش‌ها یا همه آن‌ها می‌تواند پتانسیل دارورسانی مبتنی بر هیدروژل را برای دارورسانی موفقیت‌آمیز نسل بعدی داروهای طراحی شده با سرعت و موضع مطلوب

به طور کلی اگر بخواهیم مزایای استفاده از هیدروژل به عنوان حامل در سامانه های دارورسانی کنترل شده را ذکر کنیم می توانیم پیامدهای زیر را مشاهده کنیم:

۱: کاهش تکرار مصرف دارو

۲: افزایش تأثیرگذاری دارو

۳: کاهش عوارض

۴: دقت در بهبود کارآیی با توجه به محرک موردنظر

منابع:

- [1] Juan Carlos Quintanilla de Stéfano, Vanessa Abundis-Correa, Sergio Daniel Herrera-Flores and Alejandro J. Alvarez pH-Sensitive Starch-Based Hydrogels: Synthesis and Effect of Molecular Components on Drug Release Behavior *Polymers* 2020, 12, 1974; doi:10.3390/polym12091974
- [2] Moharrami, P., Motamedi, E., Application of cellulose nanocrystals prepared from agricultural wastes for synthesis of starch-based hydrogel nanocomposites: Efficient and selective nanoadsorbent for removal of cationic dyes from water, *Bioresource Technology* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123661>
- [3] Enrica Caló, Vitaliy V. Khutoryanskiy Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products *European Polymer Journal* 65 (2015) 252–267 <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.11.024>
- [4] Motamedi E, Motesharezedeh B, Shirinfekr A, Samar SM, Synthesis and swelling behavior of environmentally friendly starch-based superabsorbent hydrogels reinforced with natural char nano/micro particles, *Journal of Environmental Chemical Engineering* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103583>

- [5] Chan Bai, Sufen Zhang, Lei Huang, Haiyan Wang, Wei Wang, Qingfu Ye Starch-based hydrogel loading with carbendazim for controlled-release and water absorption Carbohydrate Polymers 125 (2015) 376–383 <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.004>
- [6] Jane Ru Choi,^{1,2} Kar Wey Yong, Jean Yu Choi⁴ & Alistair C Cowie Recent advances in photo-crosslinkable hydrogels for biomedical applications BioTechniques 66: 40–53 (January 2019) 10.2144/btn-2018-0083 doi.org/10.2144/btn-2018-0083
- [7] Prathamesh M. Kharkar, Kristi L. Kiick and April M. Kloxin Designing degradable hydrogels for orthogonal control of cell microenvironments The Royal Society of Chemistry 2013 <https://doi.org/10.1039/C3CS60040H>
- [8] J.P. Gong, Y. Katsuyama, T. Kurokawa, Y. Osada, Double-Network Hydrogels with Extremely High Mechanical Strength, Adv. Mater. 1158–1155)2003(15. doi:10.1002/adma.200304907.
- [9] G.R. Mahdavinia, M.J. ZohuriaanMehr, A. Pourjavadi, Modified Chitosan III, Superabsorbency, Salt- and pH-Sensitivity of Smart Ampholytic Hydrogels from Chitosan-gPAN, Polym. Adv. Technol. 180–173)2004(15. doi:10.1002/pat.408.

جذب بیولوژیک عناصر سنگین از محیط آبی به کمک ضایعات کشاورزی و جلبکها

Bio-adsorption of heavy metals from aqueous solution by agricultural wastes, and algae



ثمین تکاسی، فارغ التحصیل کارشناسی
مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

مقدمه و بیان ضرورت:

امروزه توسعه صنایع مختلف (مانند پالایش سنگ معادن، صنایع کود، چرم سازی، باتری سازی، صنایع کاغذ سازی، و ایجاد سموم آفت کش) و افزایش فاضلابهای صنعتی کارخانه ها مشکل جدی برای محیط زیست و انسان ها به حساب می آید. این پساب های صنعتی شامل انواع فلزات سنگین و یون های مختلف اند. خطرناکترین یون ها برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده Cr, Fe, Se, V, Cu, Co, Ni, Cd, Hg, As, Pb, Zn هستند. [۱]

وجود این یون ها در بدن مشکلات جدی برای سیستم عصبی، شش ها، کلیه و کبد ایجاد می کند؛ سرب در بدن بی نهایت سمی است و مشکلات جدی برای سیستم عصبی، کلیه و متابولیسم ویتامین D ایجاد میکند. نیکل سرطان زا است و حضور دائم آن در بدن باعث از دست دادن فعالیت کلیه، شش ها و تحلیل استخوان ها می گردد. [۲]

کروم ماده ای سمی است که با فعالیت هایی چون رنگ رزی، نساجی، پلاستیک سازی و استفاده از سموم وارد محیط می شود و اثرات متعددی بر سلامت انسان دارد. این ترکیب باعث آلرژی شدید مانند خارش پوستی در افراد می شود. با تنفس کروم بینی تحریک شده و خونریزی بینی اتفاق می افتد. سایر اثرات منفی کروم عبارت هستند از: خارش پوستی، زخم معده، مشکلات دستگاه تنفسی، ضعیف شدن سیستم ایمنی بدن، آسیب های کلیوی و کبد، تغییر ژنتیکی، سرطان ریه و مرگ. [۳]

کادمیوم برخلاف بقیه فلزات سنگین در آب حل می شود و با تحرک زیادش، می تواند محیط وسیعی را آلوده کند. جذب کادمیوم در بدن خصوصاً کلیه باعث از کار افتادگی آن می شود. کادمیوم با بعضی از عناصر ضروری در متابولیسم

واکنش می‌دهد و عوارض مختلفی از قبیل کم‌خونی، بیماری استخوانی، کبدی، کلیوی و سرطان ایجاد می‌کند. [۴]

بیان راه حل:

انواع روش‌های فیزیکی و شیمیایی جهت تصفیه این پساب‌ها مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند (روش‌هایی چون اکسیداسیون / احیا، ته نشینی، تبادل یونی، اسمز معکوس، فیلتراسیون غشایی، انعقاد و شناورسازی)؛ اما محدودیت‌هایی چون هزینه، زمان و بازده کاربرد این روش‌ها را محدود کرده‌اند. کربن فعال و جاذب‌های نانو بازده بسیار بالایی در این خصوص دارند ولی هزینه فعالسازی و سنتز نانوذرات بالاست. [۵]

جذب سطحی موثرترین روش برای جداسازی یون‌های سنگین و رنگ‌ها از آب است که ضایعات کشاورزی برای نیل به این هدف بسیار امیدبخش می‌باشند. از مهم‌ترین مزایای این روش میتوان به هزینه پایین، بازدهی بالا، کمینه مصرف مواد شیمیایی و ایجاد لجن، امکان احیا فلزات و تجدیدپذیر بودن جاذب بیولوژیکی اشاره کرد. [۱]

ساختار ضایعات کشاورزی باعث ایجاد پیوند قوی بین یون‌های موجود در آب و سطح جاذب می‌شود. بیومس ضایعات کشاورزی عمدتاً دارای اجزای زیر اند: همی سلولز، لیگنین، لیپید، کربوهیدرات، قندهای ساده و نشاسته [۱] در ادامه چند ماده کشاورزی و کاربرد آن بیان می‌گردد. پارامترهای مختلفی نظیر pH، غلظت اولیه ماده مورد نظر، مدت زمان تماس، دما، حضور یون‌های رقابتی (به طور کلی پارامترهای تعادلی و سینتیکی) و همچنین سایز ذرات جاذب و نوع آن‌ها در این فرآیند موثر است. [۶]

مکانیسم جذب بیولوژیکی (Mechanism of biosorption):

شکل ۱ - مکانیسم جذب بیولوژیکی

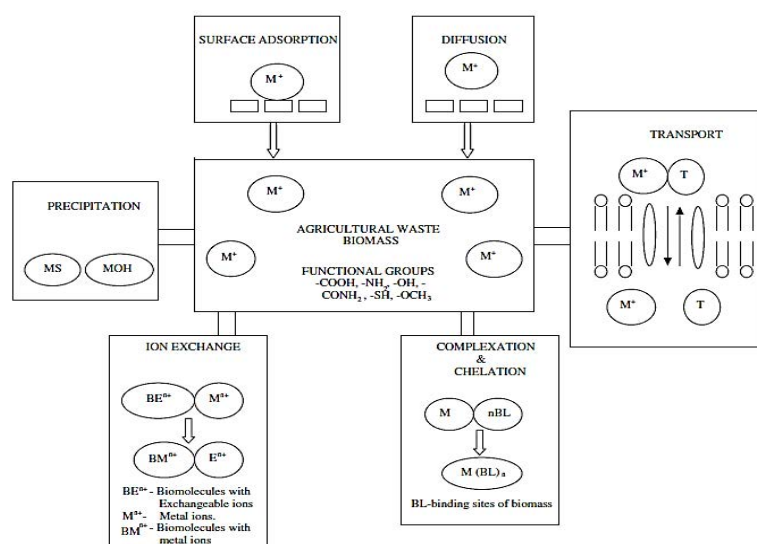


Fig. 1. Plausible mechanism of biosorption.

فرآیند جذب شامل دو فاز است: فاز جامد (جامد مورد استفاده) و فاز مایع (شامل ذراتی که جذب خواهند شد). به علت تمایل بالای جاذب با یونهای فلزی فرآیندهای پیچیده‌ای با مکانیسم‌هایی نظیر؛ جذب شیمیایی^۳، جذب سطحی^۴، تبادل یونی، جذب توسط نیروهای فیزیکی، گیرافتادن داخل مویرگهای فیبریلار و فضای بین شبکه پلی‌ساکارییدی در عبور از دیواره و غشای سلول وجود دارند. [۱][۷]

میزان جذب از فرمول زیر به دست آمده است، که در آن C_0 غلظت اولیه و C غلظت نهایی بعد از برقراری تماس با جاذب است و در ادامه به کمک این فرمول قدرت جذب انواع جاذب‌ها بیان خواهد شد.

$$\% \text{ adsorbed} = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100$$

بررسی جاذبهای کشاورزی مطالعه شده:

پوسته برنج (Rice Husk) :

پوسته برنج در کشورهای آسیایی بسیار در دسترس است، نرخ تولید برنج در جهان تقریباً ۵۰۰ تن است که ۱۰-۲۰٪ این نرخ را پوست آن تشکیل می‌دهد. ۷۰-۸۵٪ پوست برنج خشک را مواد آلیای چون لیگنین، سلولز، قندها و غیره تشکیل می‌دهند. در تحقیقات، از پوسته برنج غیراصلاح شده یا اصلاح شده با تارتاریک‌اسید جهت جذب عناصر سنگین استفاده شده است. [۶]

جذب یون‌هایی نظیر Cr^{6+} , Pb^{2+} , As^{5+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} از محیط آبی توسط پوسته برنج قبل از تصفیه کارایی بهتری داشت. به طور مثال قدرت جذب متیلن بلو ۳۱۲ mg/g است. [۵]

جذب مس و سرب در pH بین ۲ و ۳ اپتیمم است و پوسته برنج اصلاح شده با فسفات PRH در جذب عناصر Ni (II) , Zn (II) , Cd (II) و Cr (VI) خوب عمل کرد که برای نیکل و کادمیوم از همه بهتر بودند. در $\text{pH} > 12$ بیش از ۹۰٪ جذب برای کادمیوم گزارش شده است. [۶]

جذب پوسته برنج آسیاب شده برای فلزات Sr , Cd , Ni , Pb , Zn , Co , Cr , As بالای ۹۰٪ بود و جذب Ni ۸۰٪ گزارش شد. طبق نتایج ماکسیمم جذب کروم توسط سبوس برنج خام ۶۶٪ در $\text{pH}=2$ با غلظت اولیه ۷۰ g/L در بازه ۲ ساعته صورت گرفت. [۶]



شکل ۲- استفاده از پوسته‌ی برنج به عنوان جاذب

خاک اره (Saw dust) :

خاک اره یک محصول فراوان در کشاورزی است که از طرق مختلف به دست می‌آید، خاک اره حاصل از درخت منگو برای جذب Cr^{6+} مناسب است که در صورت پیش‌فرآوری به بازده ۱۰۰٪ می‌رسد. [۸] خاک اره اصلاح شده با فسفات (PTS) قدرت جذب بی‌نظیری را در مقایسه با خاک اره بهبود نیافته از خود نشان داد و در $\text{pH}=2$ به جذب ۱۰۰٪ رسید.

[۸]

Table 3. Types of saw dust as adsorbent for heavy metal

Source	Adsorbent	Heavy metal removal efficiency (%)			
		Cr(VI)	Ni(II)	Cu(II)	Zn(II)
[14]	Phosphate treated tree sawdust	100	83	86	86
	Untreated tree sawdust	-	91	86	75.7
[16]	Coconut tree saw dust carbon	98.84	-	-	-

جدول ۱ - بررسی انواع خاک اره به عنوان جاذب بیولوژیک



شکل ۳ - استفاده از خاک اره به عنوان جاذب

مغز هسته‌ها (Coir pith) :

مغز هسته‌های کشاورزی بسیار ارزان و فراوان است؛ پودر هسته‌های میوه‌هایی نظیر هلو، سیب، هندوانه، زردآلود و گیلان و غیره با اصلاح توسط آمونیوم پرسولفات برای جذب Hg^{2+} , Ni^{2+} و Cu^{2+} مناسب‌اند. استفاده از $ZnCl_2$ به عنوان عامل فعالسازی بازدهی را بسیار افزایش می‌دهد. [۹]



شکل ۴ - استفاده از هسته‌های کشاورزی به عنوان جاذب

باگاس نیشکر (Sugarcane bagasse) :

باگاس نیشکر دارای ۵۰٪ سلولز، ۲۷٪ پنتوسان و ۲۳٪ لیگنین است؛ که برای جذب Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} بررسی شده است. [۵]

لیگنین کربوکسیل متیل شده‌ی باگاس نیشکر در $pH=6$ و دمای $30^{\circ}C$ و قدرت یونی 0.1 mol/dm^3 دارای خاصیت جذب انتخابی سرب نسبت به کادمیوم است. [۱۰]



شکل ۵ - استفاده از باگاس نیشکر به عنوان جاذب

پوسته بادامزمینی (Peanut shell):

پوسته بادامزمینی اصلاح شده با کربن فعال بازدهی بالاتری از بسیاری از جاذبهای تجاری داشت. این محصول کمترین ظرفیت بارگیری را در مقایسه با پوست برنج و نارگیل از خود نشان داد. [۵]



شکل ۶ - استفاده از پوسته بادام زمینی به عنوان جاذب

پوست پرتقال (Orange peels):

جذب یونهای Cd^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} و Zn^{2+} اصلاح شده با پایه های مختلف NaOH , NH_4OH and Ca(OH)_2 و پایه های اسیدی بررسی شد که جذب را تا ۱۳۰٪ افزایش داد. حذف یون مس با سدیم هیدروکسید و کلسیم کلرید با موفقیت ظرفیت بارگیری را بیشتر کرد. [۱۱]

پوست سویا، پوست پنبه، سبوس کاه و پوست سبوس برنج (Soybean hulls, cottonseed hulls, rice bran and straw):

پوست سویا بهبودیافته با سیتریک اسید برای جذب یون مس در 120°C و بازه ۹۰ دقیقه در غلظتهای مختلف ۰.۱-۱.۲ اسیدسیتریک و ۰.۱ N سود بررسی گردید که گنجایشی بین ۰.۶۸-۲.۴۴ m moles/g داشتند که بسیار از پوست سویا خام (۰.۳۹ m moles/g) عملکرد بهتری داشت. پوست لوبیا اصلاح شده با سدیم هیدروکسید و تعدیل شده با سیتریک اسید با غلظت ۰.۶M به جذب ۱.۷ m moles Cu^{2+} /g hulls می رسد. [۱۲]

طبق آزمایشات ظرفیت جذب (II) Zn برای جاذبهای ذکرشده به قرار زیر است:

باگاس نیشکر > سبوس برنج > پوست دانه کتان > پوست لوبیا

پوسته هایی که با NaOH یا HCl شسته شدند نسبت به شست و شو با آب جذب بالاتری داشتند، دانه پنبه و پوست سویا حرارت داده شده جذب کمتری از خود نشان دادند و احیا جاذب و دوباره استفاده کردن از آن قدرت جذب را به شدت کاهش داد پس می توان گفت این جاذبها یک بار مصرف اند. [۱۳] به طور خلاصه برخی از جاذبها و میزان جذب نیکل و جیوه را در آنها مشاهده می کنید. [۱۴]

Table 5. Other types of agricultural wastes as adsorbent for heavy metal

Sources	Adsorbent	Heavy metal removal efficiency (%)				
		Cr(VI)	Ni(II)	Cu(II)	Hg(II)	Pb(II)
[15]	Silk cotton carbon	-	64	-	100	-
	Coconut tree sawdust carbon	-	84.3	-	100	-
	Sago waste carbon	-	100	-	100	-
	Maize cob carbon	-	100	-	100	-
	Banana pitch carbon	-	96.40	-	100	-
[17]	Coconut husk	> 80	-	-	-	-
	Palm pressed fibre	> 80	-	-	-	-
[31]	Sago waste	-	-	> 75	-	> 95

جدول ۲ - بررسی انواع جاذب ها در جذب Pbو Cr,Ni,Cu,Hg

استفاده از جلبک:

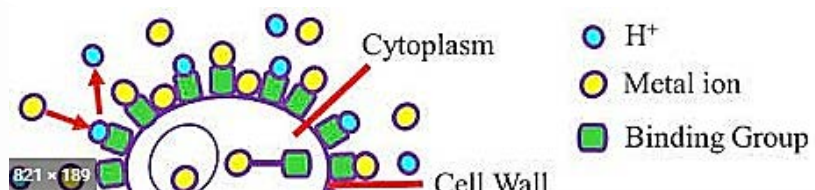
جلبکها چندین کاربرد صنعتی خصوصا برای ایجاد سوخته های زیستی دارند، درکنار این فعالیتها تصفیه پساب و حفظ محیط زیست از دیگر کاربرد جلبکها می باشد. بررسی ساختار سلولی، اصلاح و تغییر ژنتیکی برای بهبود جذب بیولوژیکی مورد بررسی واقع شده است. مواردی نظیر غلظت بیومس، غلظت یون اولیه موجود در محیط، دما، pH، تاثیر سایز یونهای حاضر از پارامترهای موثر بر جذب جلبکها هستند. جلبک در فرآیند جذب بیولوژیکی یونهای سمی و رادیواکتیو روشی ارزان، امن و پربازده است؛ همچنین عناصر ارزشمندی مانند طلا و نقره توسط آن قابل استخراج هستند. [۱۵]

صنعتی، ۸٪ حاصل مصرف خانگی و ۷۰٪ ناشی از فعالیت های کشاورزی اند. در سلولهای جلبک زنده توانایی تصفیه پساب وابسته به سرعت رشد، غلظت بیومس و ظرفیت جاذب است. گزارشات کمی از استفاده جلبک زنده وجود دارد چون زندگی جلبک بسیار تحت تاثیر شرایط محیطی است. جلبک یونهای سنگین در گونه زنده بسیار پیچیده تر می باشد زیرا جذب در فاز رشد اتفاق می افتد و درون سلولی است. در مقابل جلبک های غیرزنده یون ها را روی سطح خود جذب می کنند و فرآیند برون سلولی محسوب می شود که راحت تر کنترل و بهینه می گردد. [۱۵]

ظرفیت گونه های ماکرو جلبک طبق ترتیب زیر برای جذب

با توجه به آمار جهانی ۲۲٪ از آبهای آلوده دارای منشا مس گزارش شده اند: [۱۶]

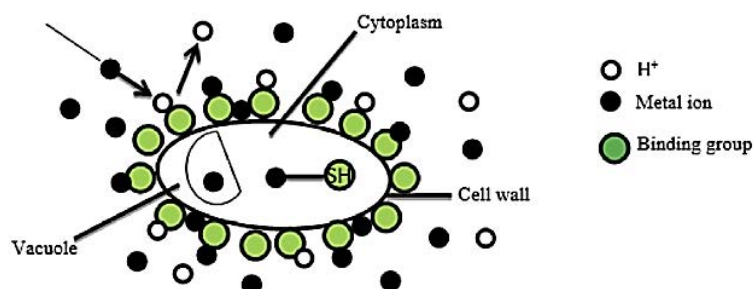
Fucus spiralis > *Ascophyllum nodosum* > *Chondrus crispus* > *Asparagopsis armata* > *Spirogyra insignis* > *Codium ver-milare*



شکل ۷ - نمایی از جذب بیولوژیکی جلبک

بنابر مقاله های پژوهشی و مروری، بالاترین نرخ جذب اسیدیته محیط بر باندهای سطحی یون و بیومس جلبک ها در pH بین ۳ و ۵ اتفاق می افتد (زیرا میزان و ساختار شیمیایی یون ها موثر است) و بیومس

خشک شده جلبک ظرفیت بسیار بالاتری دارد و در ۱۲۰ دقیقه اول بخش عمده جذب صورت خواهد گرفت. تجمع فلزات سنگین در میکروارگانیسم‌ها عمدتاً در دو فاز صورت می‌گیرد؛ فاز اول در سطح سلول اتفاق می‌افتد که جذبی سریع و غیرفعال است و تماماً به متابولیسم سلول وابسته می‌باشد، فاز دوم جذب فعال یون‌ها به درون سیتوپلاسم سلول جلبک که به متابولیسم سلول وابسته است و عنوان دیگر آن جذب درون سلولی نام دارد [۱۵]. جذب فلزات سنگین با گروه‌هایی نظیر هیدروکسیل، فسفوریل، کربوکسیل، سولفوریل، آمینی، سولفات، فسفات و کربوهیدراته روی سطح جلبک صورت می‌گیرد. در دسترس بودن سایت‌های فعال جلبک از طریق آزمایش FTIR مشخص می‌شود. همچنین میزان جذب به تعداد گروه‌های موثر در سلول‌های جلبک، در دسترس بودنشان، جهت‌گیری یون‌های فلزی و وضعیت شیمیایی سایت‌های فعال بستگی دارد. معمولاً گروه‌های عاملی (OH^-) خصوصاً واکوئل قرار دارند و جذب را بهبود می‌بخشند. در شکل زیر این موضوع نشان داده شده است: [۱۷]



شکل ۸ - جذب عناصر فلزی روی سطح سلول جلبک

پروتئین‌های سیتوپلیک انتقال دهنده یون‌ها به درون سلول می‌باشند بنابراین واکوئل اندامکی جهت انباشته کردن یون‌های فلزی است. طبق جدول زیر لیگاندهای مخصوص جذب هر یون را مشاهده می‌کنید:

Ligand class	Ligands	Metal classes
I: ligands Preferred to Class A	F^- , O^{2-} , OH^- , H_2O , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , ROSO_3^- , NO_3^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , ROH , RCOO^- , $\text{C}=\text{O}$, ROR	Class A: Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Sc, Rb, Sr, Y, Cs, Ba, La, Fr, Ra, Ac, Al, Lanthanides, actinides
II: Other Important ligands	Cl^- , Br^- , N_3^- , NO_2^- , SO_3^{2-} , NH_3 , N_2 , RNH_2 , R_2NH , R_3N , $=\text{N}-$, $-\text{CO}-\text{N}-$, R , O_2 , O_2^- , O_2^{2-}	Borderline ions: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Cd, In, Sn, Sb, As
III: Ligands Preferred to Class B	H^- , I^- , R^- , CN^- , CO , S^{2-} , RS^- , R_2S , R_3AS	Class B: Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Au, Hg, Ti, Pb, Bi

سلول‌های دیواره جلبک اولین مانع در برابر جذب هستند، و باتوجه به فراوانی ترکیبات دیواره سلولی در انواع سویه‌های جلبکی^۱ ظرفیت برای جذب فلزات متفاوت خواهد بود. با توجه به تحقیقات، جلبک قهوه‌ای^۲ جاذب بسیار خوبی در این حوزه است. [۱۵]

استفاده از جلبک اصلاح شده (Metal ion sorption by pretreated algae biomass):

با انواع روش‌های فیزیکی و شیمیایی میتوان قدرت و تعداد سایت‌های فعال جلبک را افزایش داد. روش‌های بهبود فیزیکی مثل گرم کردن، جوشاندن، خرد کردن، یخ زدن و خشک کردن معمولاً جذب بیولوژیک را افزایش می‌دهد چون سطح بیشتری برای اتصال پیوندها فراهم می‌کنند و همچنین خارج کردن محتویات سلول امکان ایجاد

1 Algal Strains
2 Brown Algae

پیوندهای فلزی را افزایش می‌دهد. معروفترین اصلاحات شیمیایی با فرمالدهید، CaCl_2 ، NaOH ، HCl و گلوآرآلدئید می‌باشند که تاثیر آن‌ها را در جدول زیر قابل مشاهده است. [۱۵]

اصلاح شیمیایی	تاثیر آن در فرآیند جذب بیولوژیک
CaCl_2	با اتصال کلسیم به جلبک تبادل یونی قوی‌تر می‌گردد.
فرمالدئید	باعث تقویت کراس‌لینک بین گروه‌های موثر (خصوصاً هیدروکسیل و آمینی) می‌شود.
NaOH	فعل و انفعالات الکترواستاتیکی را افزایش داده و شرایط بهتری برای تبادل یونی ایجاد می‌کند.
HCl	یونهای فلزات سبک را با یک پروتون جایگزین می‌کند و پلی‌ساکاریدهای دیواره سلول را حل می‌کند.

جدول ۴ - تاثیر انواع اصلاحات شیمیایی بر جذب جلبک

جلبک‌های میکرو یا ماکرو (Macro vs micro algae):



شکل ۹ - استفاده از جلبک به عنوان جاذب

جلبک‌های دریایی و سبز^۳ و قهوه‌ای و مشتقات آن‌ها قدرت جذب بالایی برای اکثر فلزات دارند. ظرفیت جذب جلبک قهوه‌ای مستقیماً مرتبط است با محتوای جلبکی^۴، در دسترس بودن و ساختار کلان مولکولی^۵ خاص آن. قدرت جذب بیومس جلبک Sargassum برای یونهای Cu^{2+} و Pb^{2+} ، Zn^{2+} ، Cd^{2+} به ترتیب ۷۹، ۲۲۷، ۷۸ و ۵۱ میلی گرم بر گرم می‌باشد. دو جلبک رشته‌ای Spirogyra و Cladophora برای جذب سرب و مس بررسی شدند و قدرت جذب Spirogyra بالاتر بود. جلبک‌های میکرو در تصفیه پیش‌قدم‌اند زیرا در کنار جذب بیولوژیک عناصر سنگین، نیتروژن‌زدایی^۶، فسفرزدایی^۷ و کاهش $\text{COD}^{\text{۸}}$ را نیز به خوبی انجام می‌دهند. [۱۵]

جلبک‌های زنده یا غیر زنده (Living vs non-living algae):

در این خصوص قبلاً مواردی را ذکر کردیم اما برای توضیح بیشتر بازده و قابلیت اجرای این دو گونه را بحث می‌کنیم. یک مزیت بزرگ جلبک‌های غیر زنده امکان استفاده مجدد از بیومس^۹ است که می‌توان از آب دی‌یونیزه‌شده استفاده کرد در حالی که جلبک زنده مقاومت کمی در برابر احیا دارد. یک مزیت دیگر جلبک غیرزنده سهولت استفاده در اصلاح فیزیکی و شیمیایی و عدم نیاز به اضافه کردن مواد مغذی به داخل محیط است. ممکن است در اثر رشد جلبک زنده مواد حاصل از متابولیسم آن در روند جذب اختلال ایجاد کنند. تنها مزیت جلبک‌های زنده قدرت جذب

- 3 Seaweed, Green Macro-Algae
- 4 Alginate Content
- 5 Specific Macromolecular Conformation
- 6 Denitrification
- 7 Dephosphorylation
- 8 Chemical Oxygen Demand (COD) Reduction
- 9 Recycle

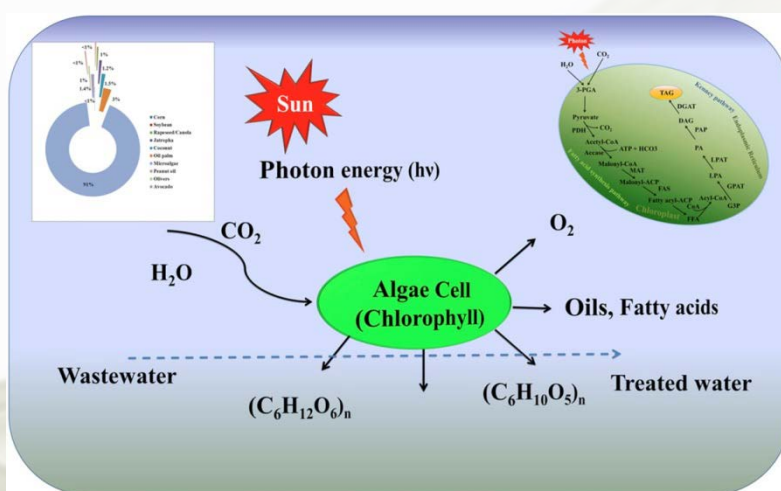
بالا تر و جذب طیف وسیعی از عناصر می باشد. [۱۵]

جلبک های ساکن (Immobilized algae) :

روش های لخته سازی، جذب سطحی، ایجاد پیوند کوالانسی با حامل ها، باندهای عرضی جلبک ها و گیرانداختن جلبک در شبکه پلیمری از روش های ساکن سازی جلبک هستند. بیوپلیمرهای طبیعی مانند آگار و آلژینیت یا مواد سنتز شده مثل سیلیکاژل و پلی آکریل آمید می توانند به عنوان مواد پایه استفاده شوند. پلیمرهای طبیعی مانند کلسیم آلجینیت به علت غیرسمی بودن استفاده گستردهای در ایجاد بستر ساکن برای جلبک ها دارند. از میان پلیمرهای سنتزی پلی آکریل آمید بیشترین استفاده را دارد زیرا مقاومت خوبی را داراست و محیط سمی ایجاد نمی کند و نسبتاً ارزانتر است. [۱۸]

تلفیق تصفیه پساب با ایجاد سوخت (Coupling wastewater treatment and biofuel production) :

هزینه فرآیند ایجاد و نگهداری سوخت زیستی حاصل از بیومس جاذب بسیار کاهش می یابد، تصفیه فاضلاب هیبریدی و کشت جلبک ۲۰-۲۵٪ در هزینه انرژی صرفه جویی می کند چون هزینه آب تمیز و مواد مغذی حذف می شوند. ترکیب کردن جذب بیولوژیکی و تولید سوخت روشی برای مقابله با آلودگی صنعتی و ایجاد انرژی تجدیدپذیر است. ایجاد محصولات جانبی با ارزش مثل بایواتانول و بایودیزل و مواد بایواکتیو از مزایای دیگر جذب بیولوژیکی است. [۱۵]



شکل ۱۰ - تلفیق جذب بیولوژیکی جلبک با ایجاد سوخت

بررسی کربن فعال به عنوان جاذب اثبات شده (heavy metal adsorption on activated carbon) :

کربن فعال یک جاذب موثر برای حذف مواد آلی از آب است، کربن فعال به دو دسته کلی به نام های گروه L و H تقسیم می شود. کربن L جامد اسیدی قویتری نسبت به H است. [۱۹] چگالی جذب گونه های مختلف مواد غیرآلی بسیار به pH وابسته است. برای یون های فلزی کاتیونی، میزان

جذب به طور ناگهانی در مقادیر pH خاصی افزایش می‌یابد ($^{\circ}\text{pH}_{\text{abr}}$). در مورد جذب آنیونی، میزان جذب در مقدار pH پایین تقریباً ۱۰۰٪ است و با افزایش pH کاهش می‌یابد. [۱۹] [۲۰]

جذب کربن فعال حاصل از پوست نارگیل (Heavy metal removal by Activated Carbon Prepared from Coconut Shell)

کربن فعال حاصل از پوسته نارگیل برای جذب مس، آهن، روی و سرب موجود در فاضلاب صنعتی به کار می‌رود. کربن فعال نام‌برده به وسیله کلرید روی بهبود شیمیایی پیدا می‌کند. بهترین مقدار جذب، سرعت

چرخش شیکر، و pH به ترتیب؛ ۱ گرم، ۳۵۰ rpm، و pH ۶ است. نحوه ایجاد کربن فعال از پوسته نارگیل نیز در این مقاله بیان شده که با توجه به عدم ارتباط به موضوع تحقیق از ذکر آن صرف‌نظر می‌کنیم. [۲۱]

آزمایش در فلاسک‌های مخروطی ۱۰۰ mL، با نمونه‌هایی به حجم ۵۰ mL، با وجود ۰/۲ گرم کربن فعال صورت گرفت. این آزمایش در دمای اتاق و شیکر ۱۵۰ rpm در ۱۲۰ دقیقه (برای اطمینان از تعادل) صورت گرفت. از کاغذ صافی Whatman برای فیلتر کردن نمونه‌ها استفاده شد و برای قرائت توسط دستگاه جذب اتمی آماده گردید. [۲۱]

- ✓ برای پی‌بردن به اثر زمان بعد از گذشت ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲۰ دقیقه نمونه برداری صورت می‌گیرد.
- ✓ برای پی‌بردن به اثر مقدار جذب از ۰/۲-۱ گرم کربن فعال در نمونه‌هایی با حجم ۵۰ mL و با زمان تماس ۸۰ min و دور ۱۵۰ rpm و دمای اتاق و pH اولیه ۲ آزمایشات صورت می‌گیرد.
- ✓ برای پی‌بردن به تاثیر pH، ۵۰ mL نمونه آبی را در فلاسک ۲۵۰ mL با ۱g کربن فعال در محدوده pH ۲-۶ (تنظیم با کمک از HCl و NaOH) بررسی می‌کنیم. بازه تماس ۱h و دور شیکر ۱۵۰ rpm است.
- ✓ برای پی‌بردن به تاثیر سرعت هم‌زدن، ۱ گرم جذب و ۵۰ mL نمونه به مدت ۸۰ min و در دمای اتاق و pH برابر ۶ در دوره‌های متفاوت بین ۱۵۰-۳۵۰ rpm بررسی می‌شود.

نتیجه گیری:

وجود عناصر سنگین حاصل از پساب کارخانه‌ها و صنایع تاثیر مخرب شدیدی بر ساختمان موجودات زنده و عملکرد آنها دارد، این عناصر در انسان باعث بروز انواع بیماری‌های سخت کلیوی، عصبی، ژنتیکی و انواع سرطان می‌گردد پس جذب آن‌ها از پساب‌های آلوده حائز اهمیت است. جذب عناصر سنگین به کمک ضایعات کشاورزی (چون پوست میوه‌ها، تفاله چای، کاه برنج و گندم، دوده و کربن فعال حاصل از گیاهان سخت، و دور ریز صنایع کشاورزی) و همچنین جلبک‌ها به علت در دسترس بودن، هزینه بسیار پایین و تاثیر قابل توجه بر حذف آلاینده‌ها روشی مناسب و پربازده و مفید در این حوزه است.

منابع:

- [1] Synthetic Dye Wastewater Using a Bioadsorbent," Water, Air, Soil Pollut., pp. 283-294, 2000, doi: 10.1023/A:1005207803041
- [2] J.L.Gardea-Torresdey J.H.Gonzalez K.J.Tiemann O. Rodriguez G.Gamez, "Phytofiltration of hazardous cadmium, chromium, lead and zinc ions by biomass of Medicago sativa (Alfalfa)," J. Hazard. Mater., vol. 57, p. Pages 29-39, 1998, [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(97\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)00072-1)
- [3] Agency for Toxic Substances and Disease Registry, "Toxicological profile for 1,4-dioxane," 2012. Accessed: Apr. 16, 2021. [Online]. Available: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp187.pdf>
- [4] S. H. & S. B. Masumeh Farasati, "Cd removal from aqueous solution using agricultural wastes." Desalination and Water Treatment, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, doi: 10.1080/19443994.2015.1043588
- [5] R. Lakshmipathy, N. C. Sarada, and N. Jayaprakash, "Agricultural wastes as low cost adsorbents for sequestration of heavy metal ions and synthetic dyes from aqueous solution: A mini review," International Journal of ChemTech Research, vol. 8, no. 5. pp. 25-31, 2015
- [6] S. I. and P. S. Nasim Ahmad Khan, "Elimination of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural Wastes as Adsorbents." Malaysian Journal of Science, 2004
- [7] Kinetic model for lead(II) sorption on to peat, "Kinetic model for lead(II) sorption on to peat," Adsorpt. Sci. Technol., pp. 243-255, 1998, doi: <http://hdl.handle.net/1783.1/25059>
- [8] S. D. Khattri & M. K. Singh, "Colour Removal from
- [9] S. D. Namasivayam C, "Recycling of agricultural solid waste, coirpith: removal of anions, heavy metals, organics and dyes from water by adsorption onto ZnCl2 activated coirpith carbon.," J. Hazard. Mater., pp. 449-452, 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.066
- [10] S. M. Khattri SD, "Colour removal from dye wastewater using sugar cane dust as an adsorbent.," Adsorpt. Sci. Technol., vol. 17, pp. 269-282, 1999
- [11] B. A. Schiewer S, "Biosorption of Pb2+ by original and protonated citrus peels: Equilibrium, kinetics, and mechanism.," Chem. Eng. J., pp. 211-219, 2009, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.034>
- [12] W.E.Marshall L.H.Wartelle D.E.Boler M.M.Johns C.A.Toles, "Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid," Bioresour. Technol., vol. 69, pp. 263-268, 1999, [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00185-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00185-0)
- [13] M. M. Marshall, W.E., and Johns, "Agricultural By-products as Metal Adsorbents: Sorption Properties and Resistance to Mechanical Abrasion.," J. Technol. Biotechnol., vol. 66, pp. 192-198, 1996
- [14] S. P. K Kadirvelu 1, M Kavipriya, C Karthika, M Radhika, N Vennilamani, "Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions," Bioresour Technol., 2003, doi: 10.1016/S0960-8524(02)00201-8
- [15] A. K. Zeraatkar, H. Ahmadzadeh, A. F. Talebi, N. R. Moheimani, and M. P. McHenry, "Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review," Journal of Environmental Management, vol. 181. Academic Press, pp. 817-831, Oct. 01, 2016, doi:

- W. D. Zeyu Lin, Jing Li, Yaning Luan, "Application of algae for heavy metal adsorption: A 20-year meta-analysis." [16]
Ecotoxicology and Environmental Safety, College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China,
.2020
- T. A. Davis, B. Volesky, and A. Mucci, "A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae," [17]
.Water Research, vol. 37, no. 18. pp. 4311-4330, 2003, doi: 10.1016/S0043-1354(03)00293-8
- J. P. C. Jinsong He, "A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, perfor- [18]
mances, chemistry, and modeling simulation tools." Bioresource Technology journal, Department of Civil and
Environmental Engineering, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 119260, Singa-
.pore, pp. 67-78, 2014
- M. O. Corapcioglu and C. P. Huang, "The adsorption of heavy metals onto hydrous activated carbon," Water [19]
.Research, vol. 21, no. 9. pp. 1031-1044, 1987, doi: 10.1016/0043-1354(87)90024-8
- K. Kadirvelu, K. Thamaraiselvi, and C. Namasivayam, "Removal of heavy metals from industrial wastewaters by [20]
adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste," Bioresource Technology, vol. 76,
.no. 1. pp. 63-65, 2001, doi: 10.1016/S0960-8524(00)00072-9
- J. A. and O. J. O. Bernard E., "Heavy Metals Removal from Industrial Wastewater by Activated Carbon Prepared [21]
from Coconut Shell." Research Journal of Chemical Sciences, Department of Chemical Engineering, Federal
.University of Technology, P.M.B. 65, Minna, NIGERIA, 2013

معرفی دستگاه: بنبوری



امین بابایی انبوهی

کارشناسی مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

مقدمه

یک آمیزه در صنعت لاستیک، از یک پایه ی الاستومری که عموماً کائوچو ها هستند و مواد افزودنی دیگری تحت عناوین پرکننده ها، نرم کننده ها، فعال کننده ها، شتابدهنده ها، محافظت کننده ها، عوامل پخت و... تشکیل شده است. تعداد اجزای یک آمیزه در این صنعت معمولاً بین ۱۰ الی ۲۰ جز است. پس از طراحی فرمولاسیون متناسب با خواص مورد انتظار از محصول، این اجزا می بایست در ابتدا با یکدیگر مخلوط شوند.

هدف از فرایند اختلاط لاستیک، تولید محصولی است که اجزا آمیزه در آن به طور مناسب پراکنش و توزیع شده اند به طوریکه با کمترین مقدار مصرف انرژی و زمان دستگاه، در فرآیند های بعدی به آسانی شکل دهی شده، به طور موثر پخت شود و خواص مطلوب را در کاربرد نهایی به دست دهد. [2] یکی از نکات مهم اختلاط، مخلوط شدن کائوچو با دوده (رایج ترین پرکننده) است و اگر کل زمان با انرژی لازم برای اختلاط بررسی گردد، مشخص می شود که بخش عمده ای از زمان و انرژی صرف اختلاط دوده با کائوچو است به همین دلیل یکی از راهکارهای مناسب این است که ابتدا الاستومر با دوده به تنهایی مخلوط شده سپس در مراحل بعدی روغن (رایج ترین نرم کننده) و سایر اجزاء آمیزه افزوده گردد. [۳]

برای اختلاط آمیزه ها دو روش اختلاط برونی و اختلاط درونی رایج است. اختلاط برونی روی غلتک ها رخ می دهد و قدیمی ترین روش اختلاط است که هنوز هم در کار های آزمایشگاهی و برخی تولیدی ها از آن استفاده می شود. اما اختلاط درونی توسط دستگاه هایی همچون بنبوری رخ می دهد. در واقع بنبوری یک دستگاه اختلاط درونی است که توسط Fernley Hope Banbury در سال ۱۹۱۳ اختراع شد. در ادامه به معرفی اجزای این دستگاه پرداخته خواهد شد.

اجزای دستگاه بنبوری

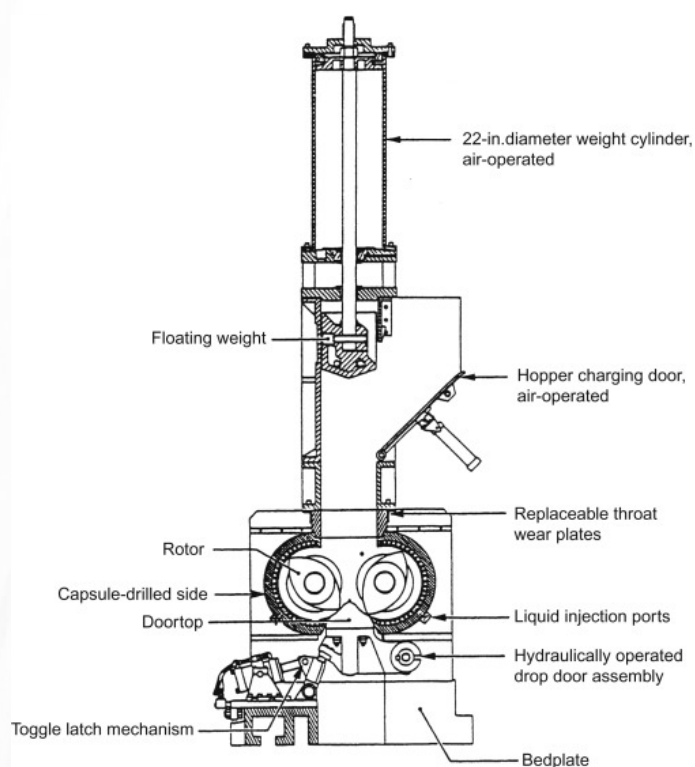
چهارچوب یا اسکلت اصلی: جعبه ای از آهن ریخته گری شده (چدن سخت) یا از ساختاری جوش کاری شده می باشد که یک فضا در وسط آن به منظور تخلیه ی آمیزه در نظر گرفته شده است. [۱]
محفظه ی اختلاط: با طراحی های متنوعی ساخته می شود. دارای یک دیواره ی مقاوم در برابر سایش است، همچنین در داخل دیواره، شبکه هایی برای خنک کردن یا در صورت لزوم گرم کردن این محفظه تعبیه شده است. [۱] این محفظه می تواند به نازل های تزریق روغن ها نیز مجهز باشد که به اپراتور دستگاه کمک ویژه ای خواهد کرد. [۴]

مجرای کانالی تغذیه: به طور عمده از ورقه های فولادی ساخته می شود و دارای یک دریچه است که برای افزودن مواد آمیزه باز می شود و در قسمت بالای حفره ما بین روتور ها مستقر است. مجرای کانالی تغذیه در خلال نرم کردن کائوچو یا فرایند اختلاط توسط یک رام که به صورت پنوماتیکی عمل می کند، مسدود می شود. [۱] بنبوری از جمله دستگاه های اختلاط درونی است که دارای رام می باشد.

رام : هنگام اختلاط از بالا آمدن مواد به داخل کانال جلوگیری می کند. [۱] اصلی ترین عمل رام نگه داشتن اجزا آمیزه در محفظه اختلاط است. هنگامی که فشار رام افزایش می یابد ، هوای محبوس درون مخلوط کاهش یافته ، و لغزش بین لاستیک و سطح روتورها کاهش می یابد. علت این امر این است که با افزایش فشار ، نیروی تماسی بین لاستیک و سطح روتور افزایش یافته و جریان در دما های پایین تر آغاز می شود. نتیجتاً زمان اختلاط کاهش می یابد. این موضوع به خصوص برای پلیمر هایی با گرانروی زیاد که نیازمند یک فشار بچ موثر و زیاد هستند ، صادق است. برای هر دستگاهی یک محدودیت عملی وجود دارد و آن فشار حداکثری است که درزگیر ها می توانند تحمل کنند. [۲]

روتور (چرخانه) : قادرند هم تنش برشی موضعی بالا (عمل شکاف) و هم سرعت برشی پایین تر (عمل همگن سازی) را به مواد تحت اختلاط اعمال کنند. ترکیب این دو اثر ، تنش برشی بالا و تغییر فرم برشی زیاد است که در ایجاد اختلاط پراکنشی و توزیعی مناسب بسیار موثر است. [۲] روتور ها نیز به دونوع مماسی و درهم رو تقسیم می شوند. بنبوری از نوع دستگاه اختلاط درونی با روتور های مماسی است. در این مدل ، اختلاط در فاصله ی روتور ها و بدنه صورت می گیرد اما توزیع مواد نسبت به نوع در هم رو ضعیف تر است. فاصله و فضای بین دو روتور زیاد است ، نتیجتاً دستگاه مواد زیادی را می پذیرد. دمای آمیزه در این نوع نسبتاً زود بالا می رود و می بایست به امر خنک سازی این مخلوط کننده توجه ویژه ای شود.

دریچه تخلیه : مخلوط کن داخلی توسط در یک چهارگوشه که به بدنه لولا شده و قابل گرم یا خنک شدن است ، مسدود می شود. [۱] خروجی از این دستگاه معمولاً یک توده ی بدون شکل و بزرگ است که برای فرایند های بعدی باید خنک شود و به شکل ورقه در بیاید. [۳ و ۴]



تصویر ۱- شماتیک بنبوری

در کنار طراحی فرمولاسیون ، انتخاب شیوه ی اختلاط که نشان دهنده ی ترتیب اختلاط مواد است از اهمیت به سزایی برخوردار است. در کتاب "مقدمه ای بر فرآورش لاستیک [۲]" چهار روش اختلاط معمولی ، افزودن پایانی روغن ، اختلاط معکوس و اختلاط ساندویچی معرفی شده است. در کنار آن به پارامترهای موثر در اختلاط مانند کنترل دما ، سرعت روتور ها ، فشار رام ، اندازه بچ ها و زمان تخلیه بچ نیز اشاره شده است. فرآیندگر پس از انتخاب روش و مشخص کردن پارامترهای مهم ، دستور کاری را تهیه کرده و در اختیار اپراتور های بنبوری قرار می دهد. [۳]

مواد اولیه در یک مرحله قبل تر ، توسط اپراتور های مربوطه مطابق با فرمولاسیون توزین می شوند و در اختیار اپراتورهای بنبوری قرار میگیرند. اپراتور بنبوری نیز متناسب با دستور کار مشخص شده ، شروع به اختلاط مواد می کند. [۳] به عنوان مثال ، در اختلاط به روش معمولی ، شروع اختلاط با افزودن الاستومر ها و نرم کردن آنها با نرم کننده هاست ، سپس پرکننده ها و اجزا مایع افزوده خواهند شد. [۲] اپراتور با بالا آوردن رام ، ورودی به محفظه را باز کرده و مواد (در روش ذکر شده ، ابتدا الاستومر ها و نرم کننده ها) را درون محفظه اختلاط می ریزد. سپس رام پایین آمده و اختلاط شروع می شود. اپراتور متناسب با دستور کار مشخص شده ، دمای محفظه و فشار رام را زیر نظر دارد و در صورت بروز مشکل به فرآیندگر اطلاع می دهد. پس از گذشت زمان مشخص شده در دستورکار ، اپراتور رام را بالا آورده و اجزای دیگر را وارد می کند. این فرایند (بالا آوردن رام ، افزودن مواد ، پایین آمدن رام و گذشت زمان مشخص اختلاط) توسط اپراتور به دفعات مشخص شده تکرار خواهد شد تا آمیزه نهایی تشکیل شود. [۳ و ۴]

منابع و مراجع

- [۱] تکنولوژی جامع لاستیک هافمن ، شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک و شرکت ایران یاسا تایر و رابر ، مترجمان : مریم آبایی ، پیمان ابراهیمی ، پروین اسلامی ، زهرا عابدینی
- [۲] مقدمه ای بر فرآورش لاستیک ، پیتر اس. جانسون ، مترجمان : اعظم جلالی آرائی ، مجید رضائی آبادچی
- [۳] بازدید حضوری از خط تولید شرکت ایران تایر
- [۴] بازدید حضوری از خط تولید شرکت تسمه صنعت آرکا

مسم



فلورسین یک رنگ آلی به شکل پودر نارنجی قرمز است. این پودر در آب و الکل حل شده و اثر تابش نور (بین ۴۹۴ تا ۵۱۲ نانومتر) می‌درخشد. از این ماده برای رنگ آمیزی بافت و سلول‌ها در تصویر برداری، رنگ آمیزی آب و تعیین مسیر حرکت آن و همچنین صنایع آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. فلورسین نخستین بار در سال ۱۸۷۱ توسط آدولف وان بایر از واکنش فتالیک انیدرید و رزورسینول در مجاورت روی کلرید ساخته شد.

