



نشریه

میم

نشریه علمی انجمن علمی مهندسی شیمی و پلیمر دانشگاه
تهران، شماره پانزدهم، اردیبهشت ۱۴۰۰

مصاحبه با دکتر توکلی
مقالات علمی و مروری
معرفی نرم افزار Promax
معرفی مشاهیر

فهرست مطالب

انتخاب استاد و موضوع پایان نامه ۴

مصاحبه با دکتر امید توکلی ۵

فناوری حباب فراریز (نانوحباب‌ها) در ساخت امولسیون‌ها ۹

پلی اورتان‌ها و اجزای سازنده آن ۱۶

رزین‌های کومارن-ایندن: معرفی، سنتز و کاربردها ۳۲

مروری بر الیاف متداول، ساختار و کاربردها ۳۶

معرفی نرم افزار Promax ۴۰

معرفی مشاهیر ۴۳

سخن سردبیر

شماره پانزدهم و به عبارتی اولین شماره نشریه میم در سال ۱۴۰۰ در دستان شماست. استقبال دانشجویان در این شماره بیشتر از شماره‌های پیشین بود و این موضوع باعث خرسندی تمامی عزیزانیست که برای این نشریه زحمت می‌کشند. در این شماره بخش‌های متنوع‌تری را پوشش دادیم. امیدواریم نشریه علمی دانشجویی میم، بتواند با تلاش همه علاقه‌مندان به نگارش و پژوهش روز به روز رشد کرده و آغازی بر درخشش همه دانشجویان علاقه‌مند باشد.

در این شماره علاوه بر مقالات علمی، سعی بر ارائه مطالب کاربردی و آموزنده در قالب مصاحبه، معرفی نرم افزار، معرفی مشاهیر و سایر مطالب موجود، شده است. نشریه میم، نشریه ایست برای انتشار مطالب علمی و کاربردی مرتبط با علوم شیمی و پلیمر و مواد.

این نشریه، دست رنج تمامی نویسندگان، اساتید، ویراستاران، طراح، مدیرمسئول این دوره و همچنین سردبیران و نویسندگان پیشین و تمامی عزیزانیست که چه مستقیم و چه غیر مستقیم، به هموار شدن این راه کمک کردند. از تمامی این عزیزان سپاس‌گزاری می‌کنم.

بردیا ایراجیان، اردیبهشت ۱۴۰۰



انتخاب استاد و موضوع پایان‌نامه



اسماعیل فرمانی قشلاقی
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد
رشته طراحی فرآیند دانشگاه
تهران

برای ارائه مقاله در جاهای خوب و ثبت اختراع باید در لبه دانش کار کنیم. برای کار کردن در لبه دانش باید به متخصص آن رجوع کنیم. پس از انتخاب محدوده علاقه، رجوع به متخصص آن موضوع از اهمیت خاصی برخوردار است.

دیده شده دانشجویها با استاد روی موضوعی کار کرده‌اند که اون استاد روی اون موضوع تخصص و تجربه‌ای نداشته. نتیجه این کارکردن مشخصه. این کارها خروجی خوبی ندادن. پس لازمه که مقالات استادی رو که انتخاب کردیم رو بررسی کنیم. ببینیم چه موضوعاتی تخصص اون استاد هستن و تو اون محدوده کار کنیم تا به نتیجه‌های خوبی برسیم.

بحتمون ادامه داره. در شماره‌های بعدی شما رو با نکات دیگه انتخاب استاد آشنا خواهیم کرد...

چطور استاد مناسب برای پایان‌نامه رو انتخاب کنم؟

این بخش بیشتر برای دانشجویهایی نوشته میشه که دنبال انتخاب موضوع پایان‌نامه و استاد هستند. از سؤالات اساسی هر دانشجویی اینکه چطور یک استاد رو انتخاب کنه و موضوع در حد توانایی و علایقش رو با اون استاد جلو ببره.

نکته: تجربه ثابت کرده که برای انتخاب استاد باید سمت استادایی بریم که می‌تونیم تعامل خوبی باهاشون ایجاد کنیم.:

مهم‌ترین نکته اینکه که تعامل استاد(اخلاق اون استاد) با شما و متقابلاً سازگار باشه تا بتونید باهم دیگه تعامل خوبی داشته باشید.

چطور موضوع خوب انتخاب کنیم؟

انتخاب موضوع به عوامل زیادی بستگی داره...

یکی از اون عوامل که می‌تونه شما رو در انتخاب موضوع کمک کنه جذابیت موضوع است. موضوعی که انتخاب می‌شه باید براش گام‌های اجرایی رو متصور بشید. آیا این موضوع انتخاب شده قابلیت اجرا شدن رو داره؟ اگه چالش داره من از پیشش بر خواهم اومدم؟

مصاحبه با دکتر امید توکلی

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تهران



علیرضا رامشینی، دانشجوی
کارشناسی رشته مهندسی پلیمر
دانشگاه تهران

رضا عباسی، دانشجوی کارشناسی
رشته مهندسی شیمی دانشگاه
تهران

در رابطه با جایگاه مهندسی شیمی در ایران برای ما بگویید و اینکه بنظر شما تا چه حدی به این رشته در ایران بها داده میشود؟

رشته مهندسی شیمی به نوعی یک میان رشته محسوب می شود که بسیاری از افرادی که در این رشته مشغول به تحصیل هستند، در دوره های کارشناسی ارشد و دکترا در موضوعات مختلفی کار می کنند، البته می توان گفت این مورد در رابطه با تمامی رشته ای فنی مهندسی صادق است اما به دلیل تنوع گرایش ها در رشته مهندسی شیمی، این موضوع بیشتر به چشم می آید و همین تنوع گرایش ها خود باعث شده است که رشته مهندسی شیمی به یک از رشته های پرطرفدار در دنیا تبدیل شود و فارغ التحصیلان این رشته می توانند در صنایع و حوزه های مختلف مشغول به کار شوند، به طور مثال این رشته در کشور آمریکا، سومین رشته پردرآمد است.

در ایران می توان گفت که اکنون ما با نسل سوم دانشگاه که نسل کارآفرین هم به آن می گویند رو به رو هستیم و در این جا بحث ایده های دانشجویان و اینکه با بهره گیری از این ایده ها چگونه می توان نیازهای کشور را برطرف کرد و در اینجا استارتاپ ها مطرح می شوند که در

سال نو را خدمت شما تبریک می گوئیم و ممنون از وقتی که در اختیار انجمن علمی جهت انجام مصاحبه اختصاص دادید
لطفا در ابتدا خود را معرفی کنید و در رابطه با زمینه کاری خود توضیح دهید.

با عرض سلام خدمت شما و تبریک سال نو و آرزوی سلامتی و موفقیت برای همه مردم ایران. من امید توکلی هستم و در سال ۱۳۷۱ در دانشگاه صنعتی شریف مقطع کارشناسی را آغاز کردم و مقطع کارشناسی ارشد خود را نیز در همین دانشگاه گذراندم. مقاطع دکترا و پست دکترا از سال ۱۹۹۹ میلادی تا ۲۰۰۸ میلادی در کشور ژاپن گذراندم. از سال ۱۳۸۸ در دانشگاه تهران مشغول به فعالیت هستم و زمینه کاری من بیشتر در حوزه محیط زیست و بیوتکنولوژی می باشد. در دو آزمایشگاه نیز فعالیت می کنم که یکی از این آزمایشگاه ها در حوزه محیط زیست فعالیت می کند و آزمایشگاه دیگر که در خارج از دانشگاه فعالیت می کند در حوزه جلبک ها می باشد که با نام بانک ملی جلبک شصناخته می شود که در آن به طور تخصصی در حوزه فرآوری های جلبک و محصولات جلبکی و تجاری سازی آن ها فعالیت می کنیم.

طرز چشمگیری کاهش داشته است و یا اینکه در بحث جذب سرمایه گذارهای داخلی و خارجی در این حوزه موفق عمل نکرده ایم که همه این ها باعث ایجاد این ناهماهنگی شده است.

با توجه به اینکه حوزه کاری شما در رابطه با محیط زیست است، آینده این گرایش را در ایران چگونه ارزیابی میکنید؟

بیشتر دانشجویانی که این گرایش را انتخاب می کنند با هدف ادامه تحصیل در خارج از کشور این گرایش را انتخاب میکنند و ما باید این را قبول کنیم که در کشور ما به محیط زیست توجهات لازم را نداریم، با این وجود که سازمان محیط زیست یکی از سازمان های قدیمی در ایران است و مستقیماً زیر نظر رئیس جمهور است و در بحث نظارت بر محیط زیست، خوب عمل نکرده ایم. به طور کلی وضعیت محیط زیست در ایران، وضعیت مطلوبی ندارد و نه تنها در بخش دولتی که حتی در بخش خصوصی نیز به محیط زیست توجه نمی شود. اگر جریمه های زیست محیطی وجود نداشته باشد حتی آن اندک توجهات هم از بین می رود، زیرا برای آن ها توجیه اقتصادی ندارد و در واقع هدف آن ها سود خودشان است.

به طور مثال در پالایشگاه تهران آلودگی های نفتی بسیاری وجود داشت که ناشی از شکستگی های لوله و نشت نفت به اطراف پالایشگاه و دیگر آسیب های زیست محیطی باعث شده این پالایشگاه را یکی از آلوده ترین سایت های دنیا تبدیل کند اما امروزه با کمک متخصصین ژاپنی از این آلودگی کاسته شده است و ۲۰۰ چاه بهره برداری با کمک ژاپنی ها حفر شده است که این آلودگی ها در این چاه ها تجمع می کنند و حجم آلودگی به قدری بالاست که رزوانه ۲۰ الی ۳۰ متر از این چاه ها از نفت پر می شوند. با این حال این پالایشگاه هر ساله جریمه های زیست محیطی خود را می پردازد و به کار خود ادامه



صورت علاقه دانشجویان به این حوزه و حمایت های لازم از سمت مسئولین، میتوان نتایج خوبی را از این بخش گرفت. دانشجویانی که به این حوزه ها علاقه مند نیستند در حوزه مهندسی شیمی کلاسیک فعالیت خواهند کرد مثل صنایع نفت و گاز.

در ایران تعداد فارغ التحصیلان این رشته افزایش یافته است اما به طور متوازن فرصت های شغلی افزایش پیدا نکرده است و همین خود باعث شده است که در جذب مهندسان شیمی دچار مشکل بشویم. در بهترین حالت فارغ التحصیلان این رشته جذب صنایع پتروشیمی می شوند و برخی دیگر نیز که به عنوان بدترین حالت می توان در نظر گرفت، جذب صنایع نامرتبط با این رشته می شوند. امروزه تلاش بر این است که نسل سوم دانشگاه به گونه ای تربیت شود که به سمت کارآفرینی و ایده های نو بروند و بتوانند استارت آپ هایی را تشکیل دهند و با حمایت های لازم، باعث پیشرفت این صنعت مهم بشوند. این موضوع در رابطه با گرایش های نو مهندسی شیمی مثل محیط زیست بسیار مطرح است که متأسفانه در صنایع دولتی به این گرایش ها توجهی نمیشود.

یکی دیگر از مشکلاتی که باعث عدم توازن فارغ التحصیلان و فرصت های شغلی شده است این است که صنایع ما در این حوزه پیشرفت خوبی نداشته اند، به طور مثال در پالایشگاه ها همچنان مازوت تولید می شود اما در دنیا تولید مازوت به

می دهد و تلاش چندانی برای کنترل یا کاهش این میزان آلودگی نمی شود. البته باید این را هم اضافه کرد در مباحث محیط زیستی، می توان در مقابل صنایع ایستاد و حتی آن ها را متوقف کرد اما عواقب خاص خود را دارد، به طور مثال اگر این پالایشگاه ها متوقف شوند، در آن صورت تولید بنزین در کشور دچار مشکل می شود و همین زنجیره به همین ترتیب ادامه دارد. انتقادی که در این حوزه نیز وارد است، این است که برخی از قوانین زیست محیطی فقط وضع شده اند و اجرا نمی شوند.

در گرایش محیط زیست نیز می توان ایده های بسیاری را تبدیل به استارتاپ های مفیدی کرد و می توان بهره وری های بسیاری را در این حوزه داشت. به طور مثال حتی می توان از زبال ها نیز درآمدزایی کرد که هم مشکل محیط زیست حل می شود و هم به گونه ای اقتصاد کشور را می توان تا حدی بهبود بخشید به طور مثال در المپیک ۲۰۲۲ توکیو کلیپ هایی منتشر شده است که نشان دهنده این است که بخش عظیمی از مدال ها را از بازیافت ساخته اند.

در ایران نیز با ایجاد همین استارتاپ ها، میتوان کم کم شاهد پیشرفت هایی در زمینه محیط زیست باشیم و همین بحث تبدیل ضایعات به پول نیز بسیار مفید خواهد بود.

در رابطه با پژوهش محور بودن دروس در دوران کارشناسی و با توجه به اینکه شما توجه لازم را به این موضوع دارید، به نظر شما چرا این موضوع خیلی مورد استقبال قرار نمیگیرد و مباحث تئوری بیشتر مورد توجه قرار میگیرند؟

قبل از پرداختن به آن موضوع انتقادی که نسبت به بسیاری از دانشجویان مطرح می باشد این است که فقط علاقه دارند سیستم دبیرستان نیز در دانشگاه اجرا شود و فقط اساتید از روی جزوات و کتب مطالبی را بیان کنند و دانشجویان نکته برداری کنند و امتحان بدهند و از کاربرد این دروس بی اطلاع بمانند. من خود علاوه بر درس شیمی فیزیک، در دیگر درس ها نیز برای انجام پروژه ها نمره های در نظر میگیرم اما احساس من این است که دانشجویان علاقه ای به این کار ندارند و فقط از سرناچاری این کار را انجام می دهند و شاید رویکرد خود را عوض کنم.

در رابطه با دانشجویان کارشناسی، بنظر من توانمندی آن ها در این زمینه بیشتر است چون دانشجویان مقاطع ارشد و دکترا دغدغه های متفاوتی را دارند و من خود نیز این موضوع را به خوبی حس کرده ام. من خود در دوران کارشناسی به نسبت به دیگر مقاطع دانشجوی فعال تری بودم، به طور مثال در آن دوره نشریه ای به نام نشریه فرآیند وجود داشت و در آن حوزه فعالیت می کردم و دیگر کارهای فوق برنامه در کنار آن انجام میدادم. از نظر من دانشجویان کارشناسی وقت بیشتری را برای انجام کارهای جانبی و فوق برنامه دارند و این شرایط و وقت کافی برای دانشجویان ارشد و دکترا فراهم نیست.

به نظر من، دانشجویان نباید تک بعدی باشند و فقط فکر درس خواندن و گرفتن نمرات خوب باشند، البته که این مورد بسیار خوب است اما باعث تک بعدی بودن فرد می شود اما با انجام کارهای جانبی، تلاش دانشجویان بیشتر خواهد شد و برخی استعدادها در این راه شکوفا می شود و حتی می توانند هدف بهتری را انتخاب کنند.

به طور کلی وجود پروژه ها در کنار دروس

باعث می شود دانشجو درک بیشتری نسبت به آن درس پیدا کند و می تواند نیروی محرکه ای برای تحقیق و پژوهش خود دانشجو بشود.

هدف من از انجام آن کار در درس شیمی فیزیک برای دانشجویان کارشناسی این است که دانشجو با ساختار گزارش نویسی آشنا بشود اینکه درک بهتری نسبت به دروس پیدا کنند و فقط صرفا حفظ فرمول ها و امتحان دادن در کار نباشد. در دیگر دروس نیز اگر این کار امکان پذیر نیست، به دلیل رعایت چارت درس و اینکه باید طبق قوانین به موضوعات حول آن درس پرداخته شود.

با توجه به اینکه شما مقاطع دکترا و پست دکترا را در ژاپن گذرانده اید، سیستم آن کشور را چگونه ارزیابی میکنید؟

سیستم دانشگاهی در ژاپن با اینجا متفاوت است. در آن جا، سیستم استاد محوری وجود دارد و سیستم رده بندی در آن جا وجود دارد و مشکلات مطرح شده توسط دانشجویان، ابتدا با دانشجویان مقاطع بالاتر مطرح میشود و در صورتی که این مشکلات حل نشوند، با استاد مربوطه مطرح می شود. همچنین مباحثه های علمی و همکاری هایی علمی بسیاری در ژاپن دیده می شود اما متأسفانه در ایران اینگونه نیست و بسیاری از افراد به دنبال این هستند در مقاله، تعداد محدودی در آن مشارکت داشته باشند اما در آن جا چنین چیزی مطرح نیست.

از لحاظ امکانات نیز، ژاپن بسیار پیشرفته است و در آزمایشگاه ها، مواد مورد نیاز دانشجویان به سرعت برای آن ها تهیه میشود و دانشجو را مدتی طولانی منتظر نمی گذارند.

به نظر شما چگونه می توان ارتباط صنعت و دانشگاه را به خوبی فراهم کرد؟

بازدیدهای علمی صنعتی می توانند موثر واقع شوند. در واقع فردی که دروس دانشگاهی را گذرانده و ارتباط این دروس با صنعت را درک کرده، در این بازدیدها می تواند به خوبی موضوع را برای دانشجو تفهیم کند. من خود در دوران دانشجویی بازدیدهای علمی-صنعتی بسیاری را

داشتم.

دانشگاه نیز می تواند با برگزاری همایش ها یا وبینارهای مختلف با حضور افرادی که در صنعت مشغول هستند و دروس دانشگاه را درک کرده اند، می تواند به دانشجویان کمک کند که ارتباط بین دروس و صنعت را درک کنند که در برگزاری این وبینارها خود دانشجویان نیز باید علاقه مند باشند و حتی خود آن ها نیز در این راستا تلاش بکنند. به طور مثال همین انجمن علمی میتواند چنین وبینارهایی را برگزار کند.

به عنوان حرف آخر چه توصیه ای برای دانشجویان دارید؟

توصیه که برای دانشجویان بسیار است اما دو مورد را می گویم.

سعی کنید فردی مبارزه گر باشید. احتمالا جمله یا راهی خواهیم یافت یا راهی خواهیم ساخت را شنیده اید. بسیاری از افراد که به دنبال ادامه تحصیل در خارج از کشور هستند، دیگر به کشور باز نمی گردند. اما هر چه باشد ایران سرزمین ما هست و شما باید این حس مبارزه گری را داشته باشید تا بتوانید با هم کشور را بسازید و به درجات عالی از پیشرفت برسانید و این آغاز پیشرفت باید با شما باشد. این موضوع را نیز بگویم که در خارج از ایران نیز شرایط برای شما به راحتی فراهم نیست و در آن جا نیز باید برای موفقیت تلاش بسیاری بکنید.

توصیه دیگر من این است که سعی کنید از خود یک ردپایی به جای بگذارید. این ردپای شما ممکن است سال ها بعد ایده ای را در دیگری ایجاد کند و یا اینکه سرآغاز پیشرفت دیگری باشد و مسیر جدیدی را ایجاد کند و خیلی ساده از این موضوع نباید گذشت.

این ردپا باعث شناخته شدن شما بعد از سال ها خواهد شد و تاثیر خود را چه بسا این تاثیر کم هم باشد، به نوعی روی جامعه و حتی خانواده داشته اید.

در پایان نیز آرزو میکنم این ویروس منحوس به زودی ریشه کن شود و بتوانیم تمام شما را در کلاس های حضوری ببینیم.

فناوری حباب فراریز (نانوحباب‌ها) در ساخت امولسیون‌ها

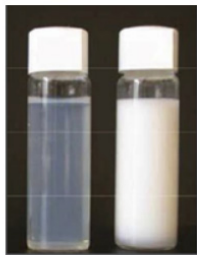


کیمیا سینیان، دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی شیمی، دانشگاه تهران



ثمین تکاسی، دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

تلفیق علم نانو و امولسیون چه محصولی می‌تواند باشد؟ امولسیون‌هایی که اندازه قطرات آن‌ها در حدود نانومتری و به‌طور معمول در محدوده ۲۰ تا ۲۰۰ نانومتر قرار می‌گیرد را نانوامولسیون می‌نامند. نانوامولسیون‌ها، سامانه‌های غیرتعدادی هستند که به‌صورت خودبه‌خودی تشکیل نمی‌شوند و اعمال انرژی برای تولید آن‌ها مورد نیاز است. به‌واسطه ویژگی اندازه، نانوامولسیون‌ها با چشم غیرمسلح به‌صورت شفاف یا نیمه‌شفاف قابل مشاهده‌اند و پایداری بالایی دارند. ساختار و ویژگی‌های منحصر به فرد نانوامولسیون‌ها در مقایسه با امولسیون‌های معمولی مزیت‌هایی را برای کاربرد گسترده آن‌ها در بسیاری از صنایع، از جمله صنایع آرایشی و بهداشتی و غذایی، ایجاد کرده است. همچنین، به‌واسطه ریز بودن قطرات، نانوامولسیون‌ها سطح ویژه زیادی دارند و به همین دلیل قابلیت نفوذ خیلی بالایی خواهند داشت که این ویژگی آن‌ها را به سامانه‌های انتقالی مؤثر تبدیل کرده است. [۱]



شکل ۳. مقایسه ظاهری نانوامولسیون (چپ) و ماکروامولسیون (راست) به ترتیب با قطراتی به ابعاد ۳۵ نانومتر و ۱ میکرومتر [۴]

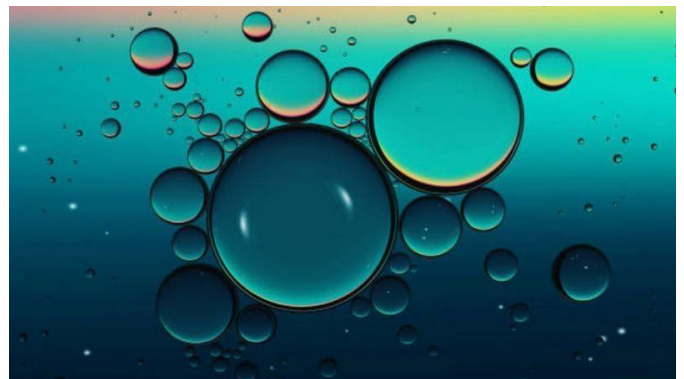
شکل ۲. مقایسه ظاهری نانوامولسیون (چپ) و ماکروامولسیون (راست) به ترتیب با قطراتی به ابعاد ۳۵ نانومتر و ۱ میکرومتر [۲]

به‌واسطه اندازه قطرات، نانوامولسیون‌ها پایداری بالایی در برابر پدیده‌های رسوب کردن و خامه‌ای شدن دارند. هرچه مقیاس حباب‌های تولیدی کوچک‌تر باشد، پایداری امولسیون نیز افزایش پیدا خواهد کرد. طولانی بودن دوره پایداری نانوامولسیون‌ها در قیاس با امولسیون‌ها منجر به کاهش مصرف‌گرایی و آسیب به محیط‌زیست می‌شود چراکه به مدت

معرفی

«رهنشان» یکی از مسابقات مسئله محور طرح شهید بابایی و زیرمجموعه بنیاد ملی نخبگان است که در ۵ حوزه آب و محیط‌زیست، انرژی، حمل‌ونقل، زیست‌فناوری و هوشمند سازی برگزار می‌گردد. دانشجویان هر مقطعی می‌توانند در این مسابقه ثبت‌نام کرده و از میان پروژه‌های مطرح‌شده یکی را به دلخواه برگزینند. مقاله پیش رو، در سومین دوره مسابقات رهنشان با عنوان پروژه استفاده از فناوری حباب فراریز در ساخت امولسیون‌ها در حوزه آب و محیط‌زیست، شرکت داده شده است.

یک امولسیون از دو مایع امتزاج‌ناپذیر (معمولاً روغن و آب) تشکیل شده است که یکی از آن‌ها به‌صورت قطرات ریز در دیگری پراکنده است. به‌منظور پراکندگی این ذرات، از جزء سومی به نام امولسیون کننده استفاده می‌شود. امولسیون کننده ماده‌ای است که با افزایش پایداری سینتیکی، موجب پایداری یک امولسیون می‌شود که دارای دو سر آب‌دوست و آب‌گریز می‌باشد. امولسیون‌ها را از روی اندازه قطرات امولسیون، به میکرو (۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر)، مینی یا نانو (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر) و ماکرو (۰.۵ تا ۱۰۰ میکرومتر) تقسیم می‌کنند.



شکل ۱. قطرات امولسیون

بیشتری نانوامولسیون‌ها می‌توانند مورد مصرف قرار گیرند. [۱]



شکل ۵ نمونه یک نانوامولسیون برای مرطوب کردن پوست صورت در صنعت آرایشی و بهداشتی



شکل ۳ سمت راست نانوامولسیون شفاف را در قیاس با امولسیون‌های با اندازه ذرات بزرگتر [۳]

۲. صنعت غذایی

متخصصان صنایع غذایی در طی سال‌های اخیر در پی استفاده از این ساختارهایی برای یکپارچه‌سازی ترکیبات فراسودمند آب‌گریز (چربی‌دوست) در شبکه‌های غذایی هستند. البته لازم به یادآوری است که به‌رغم مزایا و خواص منحصر به فرد نانوامولسیون‌ها، کاربرد آن‌ها در سامانه‌های غذایی هنوز با چالش‌هایی از جمله فرایند تولید، به‌ویژه هزینه تولید، توصیف نانوامولسیون‌های حاصل و نیز پذیرش و سلامت سامانه‌های غذایی که نانوامولسیون‌ها در آن‌ها به کار می‌روند، روبه‌رو است. [۱]



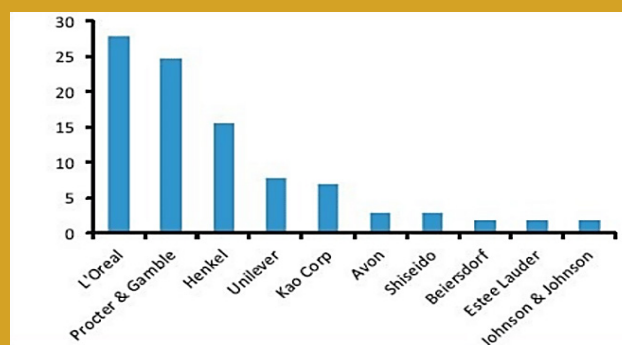
شکل ۶ نمونه‌ای از امولسیون‌ها در صنایع غذایی

کاربردهای نانوامولسیون در صنعت

نانوامولسیون‌ها نیز مانند امولسیون‌ها در صنایع مختلفی کاربرد دارند؛ در اینجا چند صنعت را به‌طور مختصر بررسی می‌نماییم.

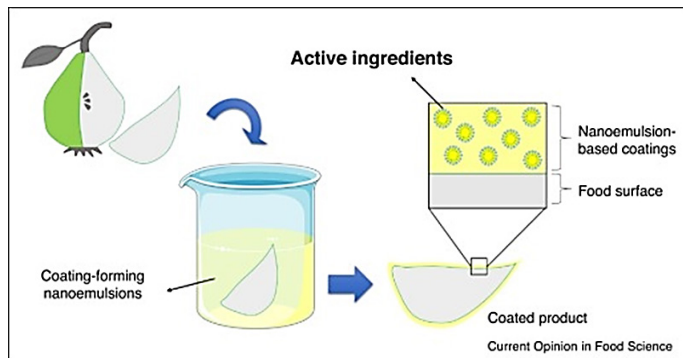
۱. صنعت آرایشی و بهداشتی

گرچه علاقه به نانوامولسیون‌ها از حدود ۲۰ سال پیش افزایش یافته است، بیشترین کاربردهای مستقیم نانوامولسیون‌ها در محصولات مصرفی مربوط به فرآورده‌های دارویی و آرایشی بوده است. امروزه در قیاس با گذشته، مصرف‌کنندگان از کیفیت و مواد مصرفی در محصولات آرایشی و بهداشتی آگاهی بیشتری دارند. این آگاهی مشتریان را به سمت استفاده از محصولاتی که کارایی بیشتری دارند، سوق می‌دهد. نانوامولسیون‌ها در صنعت آرایشی و بهداشتی کاربردهای فراوانی دارد. به‌طور مثال، نانوامولسیون‌ها به‌عنوان کرم‌های ضد چروک و پیری نفوذ مؤثرتری نسبت به امولسیون‌ها در پوست دارند که منجر به بازدهی بیشتر محصول در رساندن مواد مؤثره به پوست می‌شود. [۴][۱]



شکل ۴ میزان مصرف شرکت‌های مختلف آرایشی از فناوری نانو در سال ۲۰۱۲ [۵]

پیش‌بینی می‌شود. استفاده از فناوری نانو در ساخت امولسیون‌ها جدیدترین و بروزترین فناوری موجود در صنایع غذایی است. در سال‌های اخیر، با افزایش نمایی جمعیت جهان که به همراه آن نیاز غذایی افزایش می‌یابد، انتظار می‌رود نیاز به انواع جدید امولسیون‌کننده‌ها در صنایع غذایی افزایش یابد. با وجود اینکه ابتکار این تکنولوژی منجر به افزایش هزینه کنونی تولید می‌گردد، اما رشد و کاهش هزینه‌های آتی بهره‌گیری و نصب بیشتر تولیدکنندگان محلی از این فناوری را به دنبال خواهد داشت. [۶]

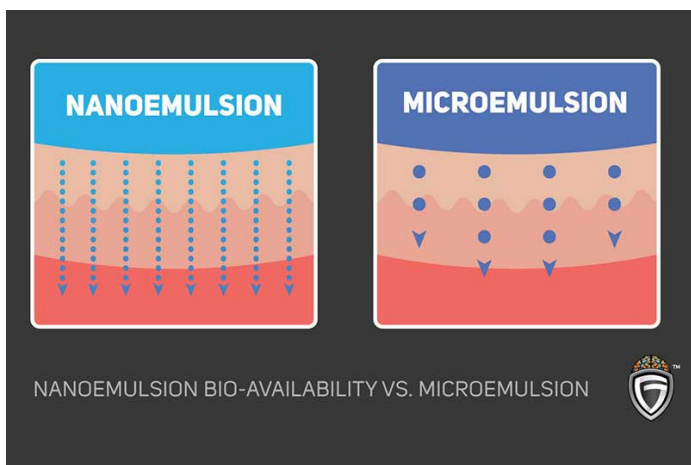


شکل ۷ نانوامولسیون‌ها به عنوان پوشش‌های خوراکی [۷]

۳. صنعت دارویی

تعداد فزاینده‌ای از شرکت‌های دارویی زیستی علاقه‌مند به استفاده از نانوامولسیون در واکنش‌ها هستند. تحقیقات و آزمایشات نتایج مثبتی را برای استفاده از این محصول در بازار واکنش‌ها نشان داده است. این واکنش‌ها برای درمان عفونت‌های مزمن و بیماری‌های سرطانی از طریق درمان‌های هدفمند تولید می‌شوند. [۸][۹]

نانوامولسیون‌ها به عنوان نانو واکنش‌گرها نیز اهمیت زیادی در فرمولاسیون‌های دارویی و بهداشتی دارند. آن‌ها در کنترل و انتشار دارو، رهایش مناسب ترکیبات فعال در سراسر پوست، هدف‌گیری دارو در بخش‌های ویژه در بدن، دریافت واکنش‌ها، حمل‌کننده‌های ژن و اعمال داخل وریدی، به سبب انجام اهداف دقیق در مسیر اجرا، مفید هستند. همچنین، برای تحویل دارو یا پلاسمیدهای DNA از میان پوست بعد از اعمال جلدی مناسب هستند. [۱]



شکل ۸ مقایسه تحویل دارویی میکروامولسیون‌ها (سمت راست) با نانوامولسیون‌ها (سمت چپ) [۱۰]

۴. صنعت پاک‌کننده‌ها و شوینده‌ها

شوینده‌ها حاوی سورفکتانت و یا مواد فعال سطحی هستند که مثل یک پل بین فاز آلی و آبی عمل می‌کنند و یا با کمک سورفکتانت و ماده فعال، سطح را از آلودگی پاک خواهند کرد. همچنین با استفاده از نانوامولسیون‌های شوینده ضمن صرفه‌جویی چشمگیر در مصرف آب، می‌توان از مخاطرات ناشی از مصرف شوینده‌های موجود در بازار از جمله شوینده‌های الکلی پیشگیری نمود. [۱]

شایان ذکر است این فناوری و محصول در تصفیه پساب، کشاورزی، اکسیژن‌رسانی به آبیان نیز کاربرد دارد که باعث بهبود و تسریع فرایند هرکدام در جهت کمک به حفظ محیط‌زیست می‌شود.

چشم‌انداز آینده در صنایع پایین‌دستی

با توجه افزایش روزافزون جمعیت، شاهد افزایش چشمگیر تقاضا برای انواع محصولات مصرفی، مواد غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی و... در صنعت هستیم. به‌طور کلی در ایران اکثر امولسیون‌کننده‌ها به کشور وارد می‌شوند، این واردات موجب خروج ارز از کشور می‌شود. با ساخت نانوامولسیون‌ها میزان نیاز کشور به امولسیون‌کننده‌ها کاهش می‌یابد و این اتفاق موجب حفظ ارز می‌شود. از سوی دیگر با ساخت نانوامولسیون‌ها در صنایع مختلف در دنیا مورد نیاز هستند که با صادرات به نقاط مختلف دنیا می‌توان ارزآوری کرد.

با توجه به مزیت فناوری حباب فراریز در کاهش چشمگیر استفاده از امولسیفایر و پایداری و کیفیت بیشتر محصولات تولیدی و در نهایت کاهش قیمت تمام‌شده و هزینه‌های تولید، این فناوری می‌تواند در صنعت فراگیر شود و بازاری حداقل بین ۲۵ تا ۵۰۰ میلیاردی را تصاحب کند. [۱۱][۱۲] افزایش

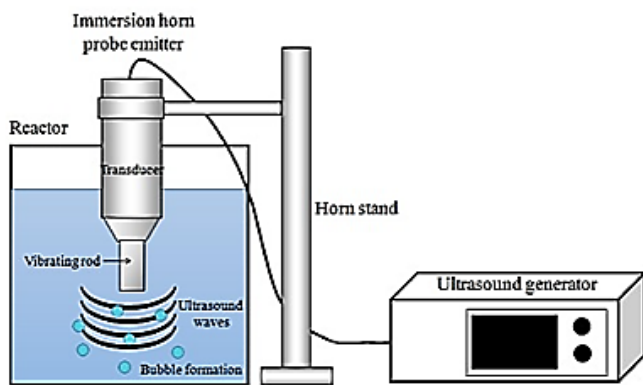
دستگاه تولید کاویتاسیون به روش التراسونیک تبدیل انرژی الکتریسته به امواج مافوق صوت و انتقال آن به یک مایع است. جریان برق شهری با عبور از قسمت منبع تغذیه دستگاه به جریانی با ولتاژ بالا تبدیل می شود. این جریان از طریق صفحات فلزی (که معمولاً از جنس مس هستند) به حلقه‌های پیزوسرامیک (پیزوسرامیک: سرامیکی که خاصیت پیزوالکتریکی معکوس دارد، یعنی در اثر اختلاف ولتاژ به ارتعاش درمی‌آیند) منتقل می‌شوند. [۱۴]

قیمت ماشین‌آلات جدید و هزینه بالای تولید امولسیون کننده‌ها مانع رشد هر چه بیشتر بازار امولسیون‌ها می‌شود. با کاهش هزینه‌هایی مانند هزینه ماشین‌آلات، رشد بازار از سطح داخلی را مشاهده‌گر خواهیم بود. [۶]

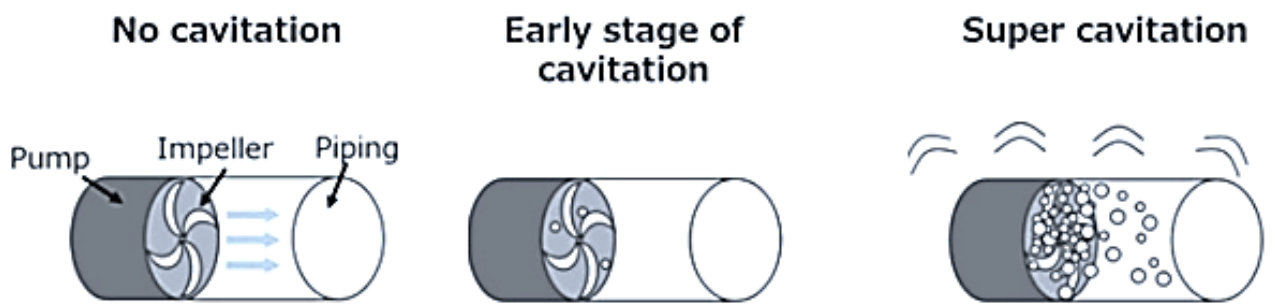
تکنیک‌های مختلفی برای تولید نانوامولسیون‌ها وجود دارد که هر یک از آن‌ها باعث تولید نانو امولسیون‌هایی با ویژگی‌های متفاوت می‌شود و هر یک دارای مزایا و معایبی است. [۱]

روش ایجاد نانو حباب‌ها (کاویتاسیون)

کاویتاسیون فرآیندی است که طی آن در ناحیه‌ای از مایع با فشار پایین، حباب بخار شکل می‌گیرد. کاویتاسیون مشابه پدیده جوشش است، با این تفاوت که جوشش به صورت عمومی، در نتیجه افزایش دمای مایع به وجود می‌آید ولی کاویتاسیون در اثر کاهش فشار ایجاد می‌شود. در بسیاری از سیستم‌ها (پمپ) به علت استهلاک بالا و صدای گوش‌خراش کاویتاسیون را پدیده‌های منفی تلقی می‌کنند درحالی‌که در برخی فناوری‌ها من جمله ایجاد حباب در ابعاد میکرو و نانو این فناوری بسیار با ارزش می‌باشد. [۱۳]



شکل ۰۱ ایجاد حباب در روش کاویتاسیون التراسونیک



شکل ۹ پدیده کاویتاسیون در پمپ‌ها

معایب این روش:

کاویتاسیون به روش التراسونیک (Ultrasonic Cavitation)

یک روش شناخته‌شده کاویتاسیون، روش التراسونیک با ایجاد امواج شدید فشاری در یک محیط مایع، است. در اصل وقتی موج التراسونیک در یک محیط مایع منتشر می‌شود، الگوی تکراری «تراکم شدن و کاهش تراکم» موجب حرکت موج صوت می‌شود و به علت کاهش فشار، حباب‌های خیلی ریز در نواحی‌ای که کاهش تراکم رخ می‌دهد، شکل می‌گیرند. [۱۴].

امواج فراصوت (التراسونیک) به دسته‌ای از امواج مکانیکی گفته می‌شود که فرکانس نوسان آن‌ها بیشتر از محدوده شنوایی انسان (20-Hz-20KHz) است. اساس کار

۱. امواج فراصوت دارای اثرات مضر روی فازهای ثانویه‌اند؛ به‌طور مثال در زمانی که فاز روغنی و فاز آبی داریم، امواج فراصوت بر روی فاز روغنی اثر کرده و دچار تغییراتی مخرب بر روی مولکول‌های این فاز می‌شوند هرچند در فاز آبی این‌گونه نیست. این اثر مخرب شیمیایی بر روی فاز ثانویه سبب می‌گردد تا کاربرد آن در صنایع کاهش یابد. در واقع بر کیفیت محصولات دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی اثر منفی دارد.
۲. استفاده از این روش به صورت ممتد باعث بالا رفتن دمای امولسیون شده و در مواردی که جزءهای روغنی حساس به دما باشند، استفاده از این روش با محدودیت همراه است.
۳. برق مصرفی در این روش در مقایسه با روش‌های دیگر، بسیار پرهزینه است.

در راکتور کاویتاسیون هیدرودینامیک براساس نوع فازهای روغنی و آبی، هندسه های گوناگونی قابلیت استفاده دارند، اجزایی مانند پمپ، مخازن و... نیز بسته به نوع فازهای روغنی و آبی به گونهای انتخاب می شوند تا گستره وسیعی از محصول را در بر بگیرند. [۱۶] روش مکانیکی یا کاویتاسیون خود به چند صورت قابل انجام است که نقطه مشترک بین همگی آنها این است که عمدتاً ساده هستند و نیازی به تجهیزات پیچیده‌ای ندارند چند روش معمول در کاویتاسیون هیدرودینامیک از قرار زیر است [۱۶]: استفاده از جریان چرخشی، ونتوری، اجکتور و همزن.

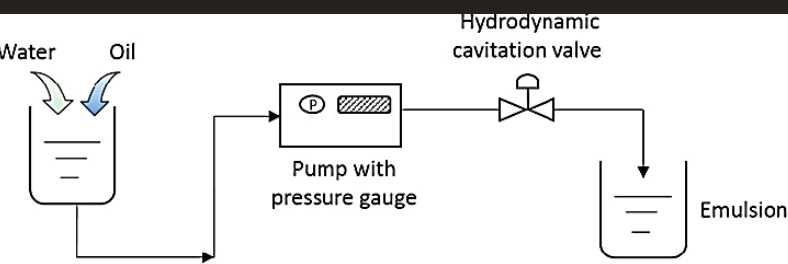


Fig. 1. The schematic diagram of the hydrodynamic cavitation emulsification process.

شکل ۱۲ اجزای اصلی تشکیل دهنده کاویتاسیون هیدرودینامیک

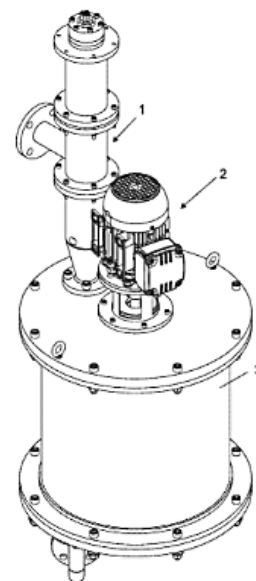
پارامترهای موثر در روش کاویتاسیون هیدرودینامیک: [۱۶]
[۱۵]

۱. هندسه راکتور کاویتاسیون هیدرودینامیک: هندسه راکتور نقش مهمی در میزان افت فشار و در نتیجه تولید حباب‌ها ایفا می‌کند. به همین منظور لازم است، با هر فاز روغنی و آبی راکتورها متناسب ساخته شود.
۲. فشار ورودی به راکتور: با در نظر گرفتن افت فشار یکسان در راکتورها، فشار ورودی بر قطر حباب‌ها، چگالی حباب‌ها و در نتیجه میزان اختلاط فاز روغنی و آبی تاثیر بسزایی دارد.
۳. تعداد دفعات عبوری فازهای روغنی و آبی از راکتور: امولسیون با هر بار عبور از کاویتاسیون، شفاف تر می شود. این بدین معنی است که اندازه ذرات در هر بار عبور کاهش می یابند و ریزتر می شوند.
۴. نسبت فاز روغنی به فاز آبی: فاز روغنی تا درصد مشخصی قابلیت حل در فاز آبی را داشته و در صورت اشباع، به صورت فاز ثانویه در امولسیون باقی میماند.
۵. درصد سرفکتانت: در برخی از کاربردهای دارویی، آرایشی بهداشتی و ... به منظور افزایش ماندگاری، از سرفکتانت ها با درصد بسیار کمی استفاده می شود.

پدیده کاویتاسیون هیدرودینامیک هنگامی ایجاد می شود که سیال ورودی در هنگام حرکت از هندسه های مخصوص مانند ونتوری و یا اریفیس دچار کاهش فشار شود. در این حالت حباب های بخار آب به وجود آمده و در مراحل بعدی با جبران فشار از دست رفته، حباب ها منفجر می شوند. ادامه فرآیند مشابه فرآیند کاویتاسیون التراسونیک است، که موجب پایداری فاز روغن در فاز آب می شود. [۱۵]

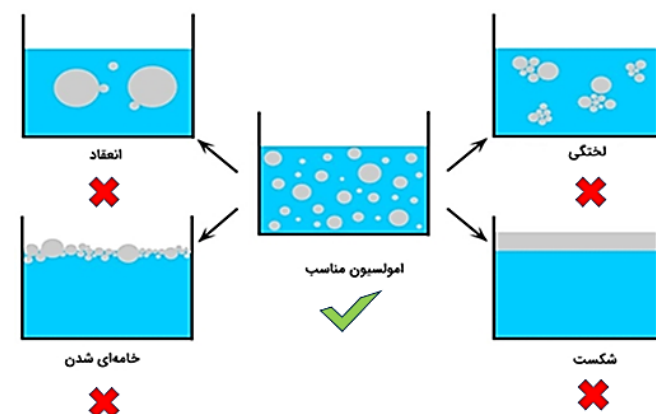
مزایا استفاده از کاویتاسیون هیدرودینامیک در مقایسه با کاویتاسیون التراسونیک عبارتند از:

۱. قابلیت استفاده در مقیاس های بالا (Scale-up)
۲. مصرف انرژی به مراتب کمتر (تجهیزات برقی کم مصرف تر)
۳. پایداری بیشتر (کاهش اندازه ذرات و قرارگیری در بازه مناسب پتانسیل زتا)
۴. استفاده کمتر امولسیفایر نسبت به روش های مشابه
۵. مدت زمان مناسب (نسبتاً کم) تولید
۶. توزیع اندازه یکنواخت حباب ها برای ساخت نانوامولسیون



پایداری نانوامولسیون ها

یکی از اصلی ترین و مهم ترین ویژگی های محصول نهایی پروژه، پایداری بلند مدت آن است. مفهوم پایداری به معنای توانایی یک سیستم در مقابله با تغییر مشخصات آن سیستم در گذر زمان است و در امولسیونها منظور از پایداری، جلوگیری از بروز عوارض لختگی، انعقاد و خامهای شدن فاز پخش شونده است. هر یک از عوارض نام برده شده، در نهایت منجر به جدایی دو فاز تشکیل دهنده امولسیون میشود. [۱۷]



شکل ۱۳ مقایسه امولسیون پایدار و ناپایدار

شرایط و عوامل مختلفی در پایداری مناسب امولسیون تاثیر گذار هستند. از جمله ی این عوامل، میتوان به مقدار پتانسیل زتا اشاره کرد. پتانسیل زتا، معیاری برای میزان پتانسیل الکتروستاتیکی در مواد شیمیایی همچون کلئیدها و امولسیونها است. در امولسیونها، اگر قدر مطلق این عدد از ۳۰ میلیولت بیشتر باشد (چه مثبت و چه منفی) پایداری مناسبی در امولسیون وجود خواهد داشت. در پتانسیل زتای بالای ۶۰ میلیولت، پایداری بسیار قوی خواهد بود. البته پتانسیل زتا به تنهایی کافی نیست زیرا که مقدار آن به میزان اسیدی یا بازی بودن (مقدار pH) و نیز قدرت یونی محلول وابستگی زیادی دارد. [۱۸]

عامل دیگری که در پایداری امولسیون موثر است، اندازه ی حبابهای فاز پخش شونده ی امولسیون است. طبق بررسیها، نانوامولسیونها که دارای حبابهای مقیاس نانو (حدود ۱۰۰ نانومتر) هستند، به صورت سینتیکی پایدار هستند. این امولسیونها بدون اضافه کردن هیچگونه مواد فعال سطحی، به دلیل سائز حبابهای موجود، تا یک سال پایداری قابل قبولی خواهند داشت و در صورت افزوده شدن مواد نگهدارنده، پایداری آنها بالطبع افزایش چشمگیری پیدا خواهد کرد. [۱۸]

تاثیر اقتصادی تولید و تجاری سازی نانوامولسیونها:

پیش از ارائه هر مطلبی باید اشاره شود که خروجی پروژه حاضر بیشتر به گسترش یک فناوری در حوزه ی علم نانو

می پردازد که حوزه ی کاربرد آن محدوده ی بسیار گسترده ای از محصولات در صنایع مختلف را شامل می شود و میتواند به عنوان نسل جدیدی از همزنها و هموژنایزرها برای ساخت امولسیون مورد استفاده قرار بگیرد. [۱۰]

حال به بررسی آمار صادرات و واردات امولسیونها و مهمتر از آن امولسیفایرها میپردازیم، [۱۱] [۱۲] میدانیم امولسیفایرها مواد با ارزش و گران قیمتی هستند که استفاده بهینه از آنها منجر به کاهش قیمت محصول نهایی میگردد. همچنین کیفیت امولسیونهای ایجاد شده با فناوری حباب فراریز را افزایش خواهند داد.

جدول ۱ هزینه و جرم امولسیفایر ورودی به کشور

سال	مجموع هزینه ها (دلار)	کل جرم امولسیفایر ورودی به کشور (کیلوگرم)
1390	11189089	3053143
1391	13612084	3246378
1392	12796817	3516499
1393	12374053	3391659
1394	14584613	5687905
1395	13153263	5808560
1396	12717140	5365293
1397	12388423	5078599

این واردات موجب خروج ارز از کشور می شود. با ساخت نانوامولسیونها میزان نیاز کشور به امولسیفایرها کاهش می یابد و این حفظ ارز را به دنبال دارد. از سوی دیگر با ساخت نانوامولسیونها در صنایع مختلف در دنیا مورد نیاز هستند. با صادرات این فناوری به نقاط مختلف دنیا می توان ارزآوری کرد.

برخلاف واردات وسیع و چشمگیر امولسیفایر دور از انتظار نیست که نرخ صادرات آن بسیار ناچیز باشد زیرا در این بخش نیاز بسیاری به شرکتها و کارخانه های تولیدکننده احساس می شود. ایران به دانش تولید امولسیفایر های صنایع غذایی دست یافته است، شرکت پارس بهبود آسیا اولین تولیدکننده امولسیفایرهای خوراکی در ایران است. [۱۹]

سخن آخر

هدف اصلی از انجام این پروژه، ساخت دستگاهی است که با استفاده از فناوری حباب فراریز (کاویتاسیون هیدرودینامیک)، نانوامولسیونهایی با اندازه ذرات کمتر از ۲۰۰ نانومتر و با پایداری مناسب تولید کند. که به این جهت فرضیاتی منطقی در روند ساخت پیاده شد و شبیه سازی های مکانیکی لازم صورت گرفت و طرح مکانیکی دستگاه نهایی تهیه گردید و



نمونه اولیه پمپ و تجهیزات ساخته شد در نهایت به کمک آزمون‌های سنجش کیفیت موارد مهمی نظیر تراکم، سایز ذرات و پایداری‌شان آنالیز گردید، نتیجه حاصل حاکی از کیفیت رضایت‌بخش امولسیون بود. امید است با بهره‌گیری از این فناوری محصولات بسیاری تهیه و به بازار وارد شوند تا علاوه بر افتخارات علمی تأثیر مثبتی بر وضعیت اقتصادی کشور و تولید ملی داشته باشیم.

تقدیر و تشکر

با سپاس فراوان از راهبر پروژه شرکت راصد، دکتر ابوذر سهرابی، و تمامی اعضای تیم که با تلاش و همکاری توانستیم این پروژه را به سرانجام برسانیم.

منابع و مراجع

- [۱] عادل میرمجیدی، سلیمان عباسی. نانوامولسیون‌ها؛ معرفی، "تولید، کاربرد. ماهنامه فناوری نانو. ۱۳۹۲، شماره ۱۹۳
- [۲] C. Solans, P. Izquierdo, J. Nolla, N. Azemar, and M. J. Garcia-Celma, "Nano-emulsions," *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, vol. 10, no. 3–4. Elsevier, pp. 102–110, Oct. 01, 2005, doi: 10.1016/j.cocis.2005.06.004.
- [3] "https://embarknano.com/." .
- [4] "Özgün, Sinan. Nanoemulsions in Cosmetics. *Nanomaterials and Nanotechnology Lecture*. 2013." .
- [5] S. Raj, S. Jose, U. S. Sumod, and M. Sabitha, "Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges," *Journal of Pharmacy and Bio-allied Sciences*, vol. 4, no. 3. Wolters Kluwer -- Medknow Publications, pp. 186–193, Jul. 2012, doi: 10.4103/0975-7406.99016.
- [6] Aniket Kadam , Roshan Deshmukh. Nanoemulsion Market by Type (Small-molecule Surfactant, Protein-stabilized Emulsions, and Polysaccharide) and Application (Beverage, Dairy, and Bakery): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast 2019-2026 (market re. .
- [7] A. Acevedo-Fani, R. Soliva-Fortuny, and O. Martín-Belloso, "Nanoemulsions as edible coatings," *Current Opinion in Food Science*, vol. 15. Elsevier Ltd, pp. 43–49, Jun. 01, 2017, doi: 10.1016/j.cofs.2017.06.002.
- [8] W. Cao et al., "An oil-in-water nanoemulsion enhances immunogenicity of H5N1 vaccine in mice," *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 12, no. 7, pp. 1909–1917, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.nano.2016.04.005.
- [9] S. H. Wang et al., "A novel combination of intramuscular vaccine adjuvants, nanoemulsion and CpG produces an effective immune response against influenza A virus," *Vaccine*, vol. 38, no. 19, pp. 3537–3544, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.vaccine.2020.03.026.
- [10] "http://guardianathletic.com/." .
- [11] "https://tpo.ir/." .
- [12] "http://irica.ir." .
- [13] and M. Z. S. M. M. Modarres-Gheisari, R. Gavagsaz-Ghoachani, M. Malaki, P. Safarpour, "Ultrasonic emulsification: An overview on the preparation of different emulsifiers-stabilized emulsions," *University of Melbourne*.
- [14] and A. G. A. Saady, P. Sudhakar, M. Nassir, "Ultrasonic assisted synthesis of styrylpyridinium dyes: Optical properties and DFT calculations." *Ultrason - Sonochemistry journal*, p. vol. 67, doi: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105182.
- [15] D. Panda, V. K. Saharan, and S. Manickam, "Controlled hydrodynamic cavitation: A review of recent advances and perspectives for greener processing," *Processes*, vol. 8, no. 2, 2020, doi: 10.3390/pr8020220.
- [16] J. J. Zhiliang Zhang, GuangquanWang, Yong Nie, "Hydrodynamic cavitation as an efficient method for the formation of sub-100 nmO/W emulsions with high stability." *Chinese J. Chem. Eng.*, 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.04.011.
- [17] D. A. Nelson, R. L. Kirkwood, and J. M. Douglas, "MAKING STABLE EMULSIONS, A Guide to Formulation and Processing," *Simulation Series*, vol. 20, no. 4. *Colloid and interface science in pharmaceutical research and development*, ELSEVIER Science. Ch.8, P157.
- [18] H. K. Kumar, "Ultrasonication assisted formation and stability of water-in-oil nano-emulsions: Optimization and ternary diagram analysis." *Ultrasonics - Sonochemistry*, p. Pages 79-88, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.022.
- [19] "http://parsbehbood.com/." .

پلی اورتان ها و اجزای سازنده آن



بردیا ایراجیان

دانشجوی کارشناسی رشته کارشناسی
مهندسی پلیمر دانشگاه تهران

چکیده:

پلی اورتانها، دسته ای از ترکیبات هستند که در ساختار آنها گروه کاربامات دیده می شود. این مواد از واکنش دی ایزوسیانات و پلی ال (polyol) بوجود می آیند. علاوه بر این دو جز اصلی، مواد دیگری برای افزایش سرعت، بهبود خواص رئولوژیکی، مکانیکی و شیمیایی به آنها افزوده میشود. این مواد بسته به کاربرد محصول (فوم، چسب، پوشش و...) اضافه میشود.

در ابتدا به تاریخچه و کاربردهای پلیاورتانها میپردازیم و سپس مواد مورد استفاده را مورد بررسی قرار میدهیم. سپس مورد نیاز و قابل اندازه گیری برای کنترل میزان مواد را بررسی میکنیم. این پارامترها در کنترل کیفی محصولات بدست آمده نیز مفید است. در نهایت روند محاسبات مورد نیاز برای فرمولاسیون را بررسی میکنیم.

۱- مقدمه:

پلی اورتان ها پلیمرهایی هستند که در زنجیر اصلی آنها گروه کاربامات (NHCO_2) قرار دارد. این پلیمر ها از واکنش بین یک دی ایزوسیانات و پلی اول ایجاد می شود. خواص مکانیکی این مواد میتواند با تغییر شرایط تولید و مواد به کار رفته، تغییر کند. [۱] در کنار این مواد از یک کاتالیزور هم استفاده می شود. استفاده از انواع پلی اول و ایزوسیانات خواص منحصر به فردی به پلیمر میدهد و از این رو کنترل خواص ممکن است. [۲] این پلیمرها به خاطر خواص مکانیکی مناسب و مقاومت در برابر ترک شناخته میشوند. بسیاری از خواص آنها به خاطر ساختار کوپلیمری و در نتیجه آن جدایی فازی آنهاست. [۳] این پلیمرها به صورت گستره در عایق بندی ساختمان ها، پوشش دهی سطوح، چسب، پلاستیک های جامد و لوازم ورزشی کاربرد دارد. [۱]

۲- تاریخچه:

کشف پلی اورتان ها به دهه ۱۹۳۰ باز میگردد. پروفیسور اوتو بایر (تصویر ۱) این پلیمرها را کشف کرد. انواع مختلفی از پلی اورتان وجود دارد که از نظر ظاهری کاملاً با هم متفاوتند. همین موضوع سبب تولید محصولات متنوعی میشود.



تصویر ۱ - پروفیسور اتوبایر و فوم پلی اورتان

در خلل جنگ جهانی دوم، لاستیک بسیار گران و کمیاب بود و از این رو نیاز فراوانی به جایگزینی لاستیک وجود داشت. پلیاورتان ها در این دوران توانستند با جایگزینی در جهان شناخته شوند. در جنگ کاربردهای متنوعی برای پلی اورتان ها به خصوص در زمینه پوشش، پیدا شد.

در دهه ۱۹۵۰ چسب، الاستومر و فوم های سخت پلی اورتان مورد استفاده قرار گرفت. چند دهه بعد فوم های انعطاف پذیر پلیاورتان نیز مورد استفاده قرار گرفت. امروز زندگی ما و پلی اورتان ها گره خورده و در هر کجا آنها را مبینیم. جهان بدون وجود پلی اورتان ها قابل تصور نیست. [۴]

۳- کاربردها:

۳-۱- ورزش:

در ورزش از پلی اورتان ها برای ساخت کفش های مخصوص دویدن استفاده میشود زیرا انعطاف پذیری خوبی دارد. علاوه بر این در ساخت سایر لوازم ورزشی مثل توپ فوتبال، تشک های جودو و... کاربرد دارد. از پلی اورتان ها در ساخت وسایل اسکی نیز استفاده می شود. زیرا این وسایل باید علاوه بر قدرت مکانیکی مناسب، توانایی کار در دمای پایین را داشته باشند. سطوح زمین دو و میدانی نیز با پوششی از پلی اورتان ساخته میشود. پلی اورتان در کنار گرانول های لاستیک خرد شده پوشش را ایجاد میکند. ذرات لاستیک به وسیله پلی اورتان کنار هم قرار میگیرند. [۱]

۳-۲- زیستی:

پلی اورتان های زیست پایا (biostable) در ایمپلنت های پزشکی و قطعات پزشکی کاربرد فراوانی دارد. علاوه بر این در ساخت سَند، گرفت (graft) های عروقی و بالن های کمکی قلب قابل استفاده است. اخیرا از پلی اورتان های تجزیه پذیر در بدن استفاده میشود. این پلیمر ها به اجزای بی خطر تبدیل شده و از آنها برای پیوند زدن بافت ها، چسب بافتی و دارورسانی استفاده میشود.[۳]

این پلیمر، یک پلیمر مناسب برای کارهای زیستی است. بسته به فرم فیزیکی، به دو شکل الاستومر ترموپلاستیک و فوم (سخت و نرم) مورد استفاده قرار میگیرد و اولین کاربرد زیستی و تجری پلی اورتان در سال ۱۹۶۰ بود. در این زمان الاستومری به نام Biomer برای کاربرهای قلبی عروقی معرفی شد.[۵]

۳-۳- ساخت و ساز:

خواص زیر، منجر به موثر بودن استفاده از پلی اورتان برای حفاظت از بتن است:[۶]

- چسبندگی مناسب
- استحکام کششی خوب
- انعطاف پذیری
- سختی
- مقاومت در برابر ساییدگی
- مقاومت در برابر حلال و روغن
- مقاومت در برابر اوزون و نور UV

استفاده از فوم های سخت پلی اورتان برای عایق بندی دیواره ها و سقف منازل یکی از مهم ترین کاربردهای آن است. در خانه های امریکایی استفاده از این عایق منجر به صرفه جویی در انرژی به میزان ۵۶٪ می شود. علاوه بر عایق حرارتی، میتواند عایق صدا هم باشد. اسپری فوم های پلی اورتان درزگیری مناسب و ضد آب است که برای عایق بندی استفاده می شود و میتواند فضاهای خالی را پر کند. فوم های سلول بسته پلی اورتان میتواند عایق رطوبت و هوا نیز باشد.[۷]

۳-۴- رنگ و پوشش:

تکنولوژی رنگ های پلی اورتانی به دو گونه واکنش دهنده

(reactive) و غیر واکنش دهنده (non-reactive) تقسیم میشوند. انواع پوشش های پلی اورتانی به دو شکل تک جزئی و دو جزئی استفاده می شود.

دو جزئی: این پوشش ها با واکنش پلی ایزوسیانات و پلی آل یا پلی آمین تشکیل می شود.

تک جزئی: این دسته در حضور رطوبت، اکسیژن یا حرارت سخت میشوند. [۸]

در جدول ۱ انواع پلیاورتان بر اساس نوع واکنش پذیری و در جدول ۲ انواع پلیاورتان بررسی شده است.

سیستم	نوع	توضیحات
واکنش دهنده	کوره ای	این دسته بسیار شبیه مواد ۲ جزئی است. این دسته ترکیب ایزوسیانات و پلی آل هاست که گروه های ایزوسیانات آن در دسترس نیست. بنابراین محصول پایدار است. در اثر حرارت گروه های حفاظت کننده جدا شده و واکنش پخت انجام می شود. رنگ های جامد پلی اورتان که ۱۰% کل پوشش های پلی اورتانی را تشکیل می دهند، جز این دسته هستند.
	رطوبتی	این دسته پلی ایزوسیانات هایی با جرم مولکولی بالا و تعداد کم گروه ایزوسیانات هستند. واکنش با رطوبت منجر به تشکیل پیوند های اوره شده و پخت انجام می شود. این دسته تنها ۵% رنگ های پلی اورتانی را تشکیل می دهند.
غیر واکنش دهنده	غیر ایزوسیاناتی	این دسته برای تشکیل فیلم نیازی به واکنش ندارند. برای مثال پلی اورتان های حل شده در حلال، ترکیبات اورتان آکریلات که با تابش خشک میشوند، ذرات پلی اورتان پخش شده و سایر نمونه ها

جدول ۱ - انواع پلی اورتان بر اساس ماهیت واکنش [۸]

پلی اورتان ترموپلاستیک	محافظ کیبرد لپ تاپ، لایه بیرونی گوشی و لوازم الکتریکی، وسایل ورزشی، وسایل پزشکی، صفحه و پروفیل
پلی اورتان انعطاف پذیر	لایه زیری فرش، کمد، اجزای داخلی ماشین، بسته بندی، نانوکامپوزیت ها
پلی اورتان سخت	عایق های صوتی و حرارتی
یونومر پلی اورتان	قلب مصنوعی
پلی اورتان پخش شده در آب	پوشش، چسب، درزگیر

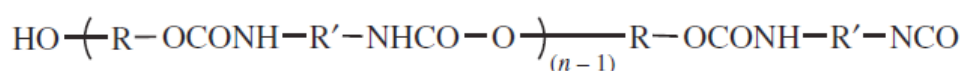
جدول ۲- انواع پلی اورتان و مثال هایش [۹]

۴- شیمی پلی اورتان ها:

ساخت پلی اورتان ها با تشکیل یک گروه کاربامات (اوره) بین یک ایزوسیانات و پلی آل انجام می شود. (واکنش ۱)



واکنش ۱:



علاوه بر این آب هم امکان واکنش دارد. افزودن آب منجر به تولید اوره و گاز کربن دی اکسید می شود. گاز کربن دی اکسید به

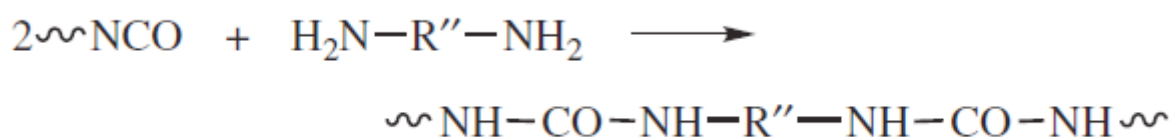
عنوان یک عامل دمنده، موجب تشکیل فوم می شود. فوم بدست آمده انعطاف پذیر است. برای ساخت فوم های سخت از حلال هایی با نقطه جوش پایین مثل فلئورو تری کلرو متان استفاده میشود. (واکنش ۲)

واکنش ۲:



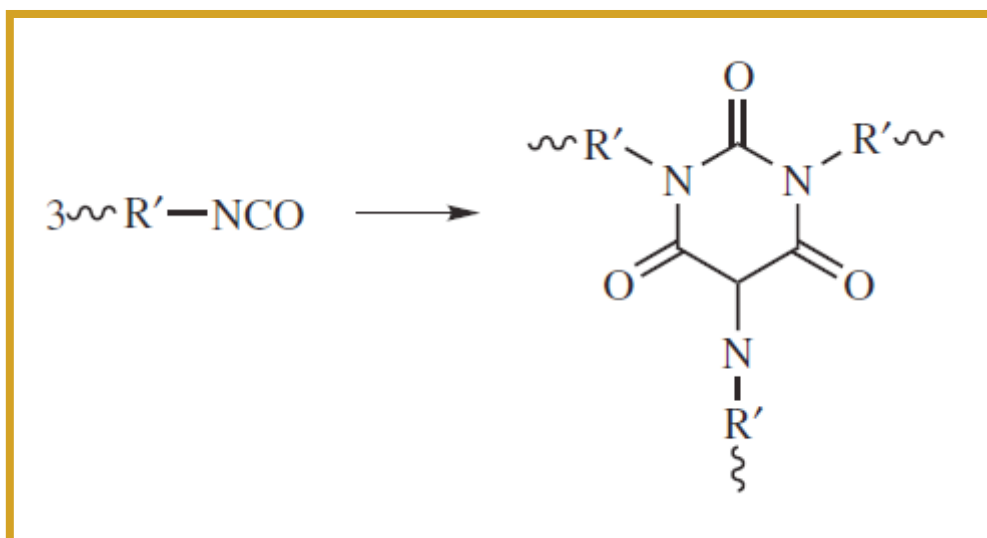
گروه ایزوسیانات میتواند با گروه آمینی هم واکنش دهد و ترکیباتی شامل گروه اوره ایجاد کنند. پلی اورتان های تجاری شامل گروه های اورتانی و اورهای است. (واکنش ۳)

واکنش ۳:



علاوه بر این، گروه های ایزوسیانات توانایی تشکیل تریمر هایی به شکل زیر دارند. تشکیل این تریمر ها منجر به انجام بسیاری از واکنش های کراس لینک و شاخه دار شدن میشود. (واکنش ۴) [۱۰]

واکنش ۴:



واکنش به خاطر عدم اختلاط مناسب فاز پلی آل و قطبی، با فاز دی ایزوسیانات و غیر قطبی کند است. بنابراین از کاتالیست های بازی یا فلزی، برای تسریع انجام این واکنش ها استفاده می شود. این مواد منجر به ایجاد برهمکنش مساعد تری بین ایزوسیانات و پلی آل میشوند. [۹]

۵- مواد مورد استفاده:

۵-۱- پلی ایزوسیانات ها:

۵-۱-۱- متیلن دی فنیل دی ایزوسیانات (MDI):

این ترکیب، یک ایزوسیانات آروماتیک و ارزان است. به صورت خالص و یا سایر مشتقات مورد استفاده قرار میگیرد. MDI به آرامیو در دمای اتاق دimer می شود. [۱۱] در جدول ۳ انواع مختلف MDI بررسی شده است. در بازار ایران MDI پلیمری رایج است.

نوع ایزوسیانات	عاملیت	حالت فیزیکی	کاربرد
MDI مونومری			
MDI خالص	۲	جامد با نقطه ذوب ۳۷ درجه	پریلیمرهای انعطاف پذیر چسب های ۱ جزئی چسب های ترموپلاستیک چسب های پایه حلالی
MDI اصلاح شده			
پری پلیمر اصلاح شده با اورتان	۲	مایع روشن و شفاف زرد رنگ	چسب های دوجزئی انعطاف پذیر چسب های ترموپلاستیک چسب های پایه حلالی
پری پلیمر اصلاح شده با آلفونات	۲	مایع روشن و شفاف زرد رنگ	چسب های دوجزئی انعطاف پذیر
پری پلیمر اصلاح شده با اورتومین	۲.۱۵	مایع روشن و شفاف زرد رنگ	چسب های دوجزئی انعطاف پذیر چسب های پایه حلالی
MDI پلیمری			
درجه پلیمریزاسیون کم	۲.۱-۲.۵	مایع قهوه ای	نیمه انعطاف پذیر، فوم های دو جزئی
درجه پلیمریزاسیون بالا	۲.۶-۳	مایع قهوه ای	چسب های تک جزئی سخت چسب های چوب چسب های ساختمانی دوجزئی

جدول ۳- انواع ایزوسیانات MDI [۱۱]

۵-۱-۲- تولوئن دی ایزوسیانات: (TDI)

معمولاً این ترکیب به فرم دو ایزومر ۲،۴ و ۲،۶ وجود دارد. نمونه تجاری شامل ۸۰٪ ایزومر ۲،۴ و ۲۰٪ ایزومر ۲،۶ است. اگرچه نسبت ۶۵ به ۳۵ هم موجود است. دو گروه ایزوسیانات، واکنش پذیری متفاوتی دارند. سرعت واکنش گروه اول ۸ برابر سرعت واکنش گروه دوم است. TDI پری پلیمرهایی با ویسکوزیته کمتر نسبت به MDI ایجاد میکند. [۱۱]

این ترکیب در اثر تابش نور خورشید ترکیبات پیچیده کینونی ایجاد کرده که منجر به زرد شدن آن میشود. [۱۲]

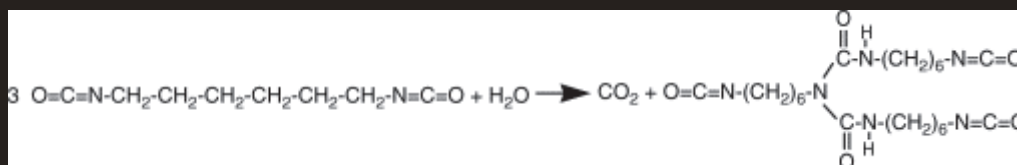
۵-۱-۳- MDI هیدروژن دار شده (HMDI)

این ایزوسیانات آلیفاتیک، همان MDI هیدروژن دار شده است. ویژگی مهم این ایزوسیانات پایداری مناسب در برابر هیدرولیز و تابش نور است. سرعت واکنش این ایزوسیانات نسبت به ایزوسیانات های آروماتیک کمتر است. [۱۳]

۵-۱-۴- هگزامتیلن دی ایزوسیانات (HDI)

این ترکیب به فرم تریمر به نام بیورت به صورت تجاری موجود است. بیورت حاصل واکنش این ایزوسیانات با آب است. تشکیل فیلم انعطاف پذیر از ویژگی های مهم این ماده است. (واکنش ۵) [۱۲]

واکنش ۵:



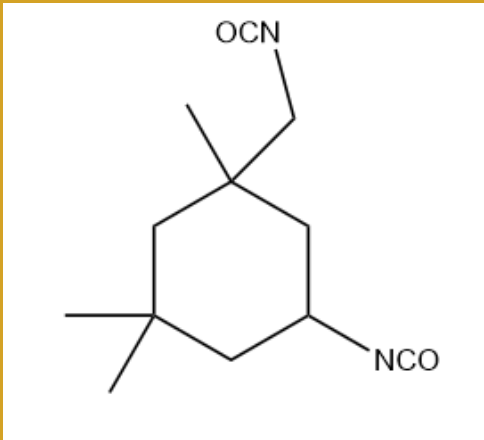
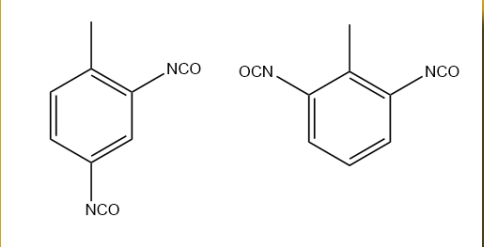
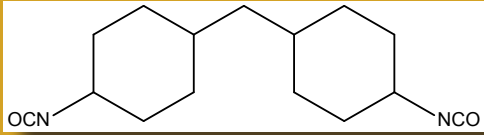
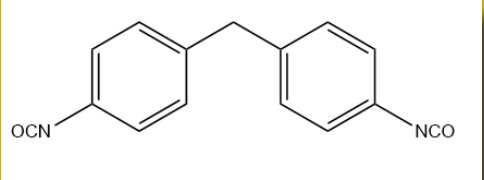
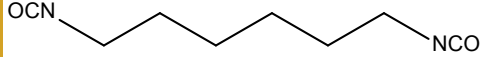
۵-۱-۵- ایزوفورون دی ایزوسیانات (IPDI)

این ایزوسیانات به صورت گسترده در رنگ و پوشش ها استفاده می شود. از آن برای ساخت پلی اورتان پخش شده در آب استفاده می شود. مقاومت بالایی در برابر شرایط جوی دارد و برای ساخت پوشش های شفاف و شیشه ای از آن استفاده میشود. [۱۴]

۵-۱-۶- جمع بندی:

در جدول ۴ مقایسه‌های از ایزوسیاناتهای آلیفاتیک و آروماتیک آورده شده است. در جدول ۵ ساختار آنها را مشاهده میکنید.

انواع ایزوسیانات	
آلیفاتیک	آروماتیک
این دسته به عنوان پوشش و رنگ استفاده میشوند. سرعت واکنش کمتری دارند و وقتی رنگ و ظاهر اهمیت داشته باشد، از آنها استفاده می شود. پایداری بالایی در برابر UV دارند.	به خاطر گروه های آروماتیک در برابر نور پایدار نیستند و زرد رنگ میشوند. بنابراین از این دسته در لایه های زیرین استفاده می شود. این دسته قیمت کمتری دارند

آلیفاتیک	آروماتیک
 IPDI	 TDI
 HMDI	 MDI
 HDI	

جدول ۵- ساختار ایزوسیانات های رایج

۵-۲- پلی آل:

سه نوع پلی آل برای ساخت پلی اورتان ها استفاده می شود:

- (1) پلی اتر
- (2) پلی استر
- (3) پلی آل های آکریلیاتی

آکریلاتها و پلی استرها قیمت بالاتری دارند و برای ساخت پوشش های مقاوم تر استفاده میشوند. کیفیت پوشش پلی اورتان همچنین به میزان گروه های هیدروکسیل نیز وابسته است.

۵-۲-۱- پلی اترها:

پلی اترها از واکنش اپوکسیدها در کنار آغازگر (معمولا آنیونی) بوجود می آیند. آغازگر و ساختار اپوکسید از عوامل تاثیر گذار در خواص آنهاست. [۸] پلی اکسی پروپیلن گلایکول ها (PPG) از جمله پرکاربردترین این مواد هستند. این مواد به صورت مایعات آمورف با ویسکوزیته پایین و جرم مولکولی های مختلف به فروش میرسد. [۱۱]

۵-۲-۲- پلی استرها:

از واکنش تراکم یاسید چند عاملی با الکل چند عاملی بوجود می آیند. این پلی آل به پلی اورتان مقاومت شیمیایی و سایشی بالاتری میدهد. اگرچه قیمت بالاتری داشته و ویسکوزیته بالا، کار با آن را دشوار میکند. دسته دیگری از پلی آل های پلی استری، پایه های طبیعی دارند. آنها از واکنش گلایکولیز PET و یا دی متیل ترفتالات در حضور اتیلن گلایکول بوجود می آیند. [۸] برخی از پلی آل های این دسته، روغن های طبیعی هستند. مثل روغن کرچک، روغن سویا یا روغن پنبه. روغن کرچک برای ساخت فوم های سخت کاربرد دارد. [۹] پلی استرهای کریستالی نقش بسیار مهمی در فرایند کریستالی شدن ایفا میکنند. پلی استرهای کریستالی در پخت پلی اورتان های آبی، پلی اورتانهای ترموپلاستیک و چسب های پلی اورتانی پایه حلالی کاربرد دارند. [۱۱]

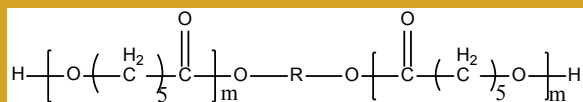
۵-۲-۳- آکریلاتها:

گروهی از پلیمرهای آمورف که از کوپلیمریزاسیون آکریلات ها بوجود می آیند. منبع گروه هیدروکسیل مونومرهای اکریلاتی هیدروکسیل دار مثل هیدروکسی آلکیل آکریلات یا هیدروکسی آلکیل متاکریلات ها هستند. این مواد عملکرد بسیار خوبی در پوشش های پلی اورتانی دارند. [۸]

در جدول ۶ ساختار چند پلی آل رایج آورده شده است. جدول ۷ به بررسی مزایا و معایب انواع پلی آل میپردازد.

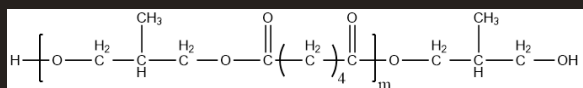
نوع پلی آل	ساختار عمومی
پلی اترها	
پلی اکسی پروپیلن (PPG)	$\text{H}-\left[\text{O}-\underset{\text{H}}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\text{O}\right]_n-\text{R}-\left[\text{O}-\text{CH}_2-\underset{\text{H}}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{O}\right]_m-\text{H}$
پلی تترا متیلن اکسید (PTMEG)	$\text{H}-\left[\text{O}-\left(\text{CH}_2\right)_4-\text{O}\right]_m-\text{R}-\text{O}-\left[\left(\text{CH}_2\right)_4-\text{O}\right]_m-\text{H}$
پلی استرها	
پلی استرهای کریستالی (متقارن)	
پلی هگزامتیلن آدیپات	$\text{H}-\left[\text{O}-\left(\text{CH}_2\right)_6-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\left(\text{CH}_2\right)_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\right]_m-\left(\text{CH}_2\right)_6-\text{O}-\text{H}$

پلی کاپرولاکتون



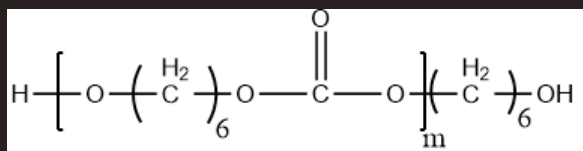
پلی استرهای آمورف (نامتقارن)

پلی (۲-متیل پروپان) آدیپات

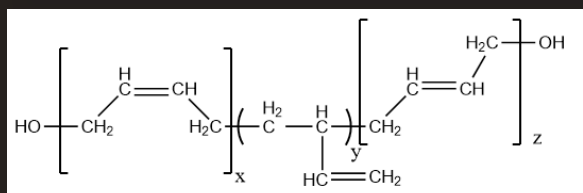


ویژه

پلی هگزامتیلن کربنات



پلی بوتادی ان



جدول ۶- ساختار چند پلی آل [۱۱]

پلی آل	مزایا	معایب
پلی اتر پایه پروپیلن اکسید و اتیلن اکسید	پایداری هیدرولیکی قیمت مناسب ویسکوزیته انعطاف پذیری	پایداری اکسیداسیونی مدول و استحکام ناپایداری حرارتی آتشگیری
پلی استر آلیفاتیک	پایداری اکسیداسیونی مدول و استحکام	ویسکوزیته پایداری هیدرولیکی
پلی استر آروماتیک	ضد حریق مدول و سختی	ویسکوزیته انعطاف پذیری کم
پلی آل های بر پایه تتراهیدروفوران	پایداری هیدرولیکی پایداری اکسیداسیونی مدول و استحکام	پایداری اکسیداسیونی ویسکوزیته قیمت بالا
پلی آل های آکریلیکی	پایداری هیدرولیکی و اکسیداسیونی، سختی	ویسکوزیته قیمت بالا

پلی آل های پلی بوتادی ان	انعطاف پذیری در دمای پایین، مقاومت در برابر حلال	ویسکوزیته اکسیداسیون حرارتی (مگر اینکه هیدروژن دار شده باشد).
قیمت بالا		

جدول ۷- مزایا و معایب انواع پلی آل [۹]

۵-۳- کاتالیست ها:

نمک های قلع (IV)، دی بوتیل قلع دی لورات، از کاتالیست های رایج پلی اورتان هاست. این ترکیبات فرایند تخریب در دمای بالا را نیز تسریع میکنند. نمک های قلع (II) مثل استانوس اکتات کاتالیست بسیار مناسب است. اما در آب به سرعت هیدرولیز شده و عملکرد خود را از دست میدهند بیسموت نئودکانوات گزینش پذیری بالایی در تسریع واکنش هیدروکسیل و ایزوسیانات دارد. طبق آنچه انتظار میرود، واکنش آب با ایزوسیانات نیز تسریع شده و منجر به فوم شدن چسب می شود. [۱۱] برای ساخت درزگیر، پوشش و الاستومرهای پلی اورتانی، ترکیبات جیوه کربوکسیلات بسیار اثرگذارند. اگرچه سمیهستند اما به صورت گزینشی سرعت واکنش پلی آل و ایزوسیانات را تسریع میکنند. [۹]

آمین های نوع ۳ برای ترکیب های تک جزئی، مثل چسب های پخت شوند با رطوبت هوا، بسیار مناسبند. آمین های نوع ۳ به خاطر خصلت بازی بالا میتوانند واکنش های جانبی را تسریع کنند. بنابراین ویسکوزیته به سرعت بالا رفته و ترکیب ژلی میشود. [۱۱] از جمله آنها DABCO، DMEA، DMCHA (TEDA) است. [۹] جدول ۸ ساختار و نام کاتالیستهای آمینی را آورده است.

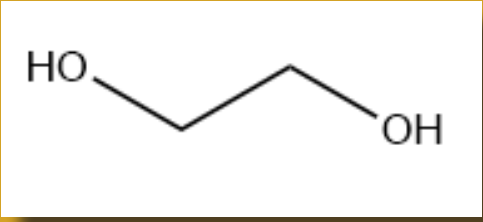
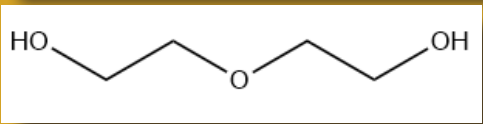
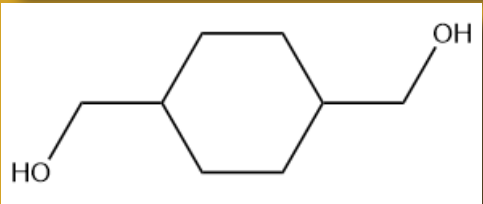
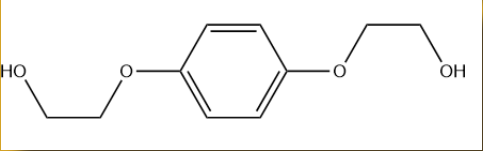
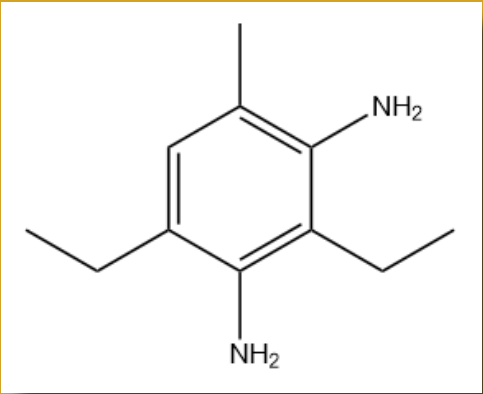
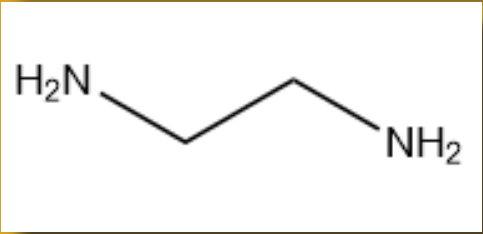
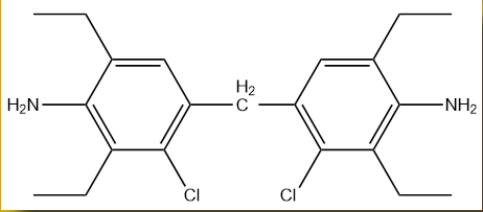
نام	ساختار
TEDA (تری اتیلن دی آمین) یا DABCO	
DMEA	
DMCHA	

جدول ۸- ساختار کاتالیست های آمینی

۵-۴- عامل گسترش دهنده زنجیر و کراس لینک:

عامل گسترش دهنده، دی آمین یا دی آلهای با جرم مولکولی کم و متقارن هستند. مشابه آنچه گفته شد با ایزوسیانات ها واکنش میدهند اما به خاطر جرم مولکولی کم، تعداد زیادی مولکول با پیوند هیدروژنی بهم متصل میشوند و سگمنت های سختی را ایجاد میکنند. [۱۱] عامل گسترش دهنده عاملیت ۲ ($f=2$) و کراس لینک کننده ($f \geq 3$) است. این مواد برای بهبود مورفولوژی چسب، الاستومر، الیاف و سایر مشتقات پلیاورتانی استفاده میشود. به صورت کلی زنجیره پلی اورتان شامل سگمنت سخت (که از ایزوسیانات و گسترش دهنده زنجیر تشکیل شده است) و سگمنت نرم (که از پلی آل با جرم مولکولی بالا تشکیل شده و به راحتی و سادگی حرکت میکند) است. خواص فیزیکی و مکانیکی پلی اورتان با تعدیل این دو قسمت کنترل میشود. [۹]

جدول ۹ ساختار و نام چند عامل گسترش دهنده رایج را بررسی میکند.

نام	ساختار شیمیایی
دی ال	
۱،۴-بوتان دی ال	
اتیلن گلیکول	
دی اتیلن گلیکول	
۱،۴-سیکلو هگزان دی متانول	
بیس (۲-هیدروکسی اتیل) هیدروکینون	
دی آمین	
دی اتیل تولوئن دی آمین	
اتیلن دی آمین	
MCDEA	

جدول ۹- ساختار چند عامل گسترش دهنده زنجیر [۱۱]

۵-۵- سورفکتانت:

این مواد برای بهبود خواص فوم و همچنین مواد غیر فومی استفاده میشوند. انواع مختلف آنها شامل کاپلیمرهای بلوکی از پلی دی متیل سیلوکسان-پلی اکسی آلکن، نونیل فنول اتوکسیلات، روغن های سیلیکون و سایر ترکیبات آلی است. در ساخت فوم برای یکسان کردن اندازه و پایدار کردن سلول های فوم و امولسیون کردن مواد مایع استفاده میشود. در ترکیبات غیر فومی از آنها به عنوان عامل ضد فوم، آزاد کننده هوا و عامل خیس کننده استفاده میشود. همچنین برای اصلاح سطح (مثل جلوگیری از پوست پرتغالی شدن، از بین بردن حفرات و لکه) به کار برده میشوند. سورفکتانت ها دو دسته کاتیونی و غیر یونی دارند. کاتیونیها سطح را در برابر خوردگی شیمیایی مقاوم میکنند. غیر یونی ها غلظت بحرانی تشکیل مایسل ندارند.[۹]

سورفکتانت های سیلیکونی در بهبود سلول های فوم های نرم بسیار کارآمد هستند. هر چه سورفکتانت مقدار بیشتری سیلیکون داشته باشد، کشش سطحی کمتر شده و سبب تشکیل راحت تر حباب های هوا می شود. فوم های دارای سیلیکون بیشتر، حبابهای ریزتری دارند.[۱۵]

۵-۶- حلال:

حلال برای کاهش ویسکوزیته و بهبود فرایند پذیری استفاده میشود. نباید با ایزوسیانات واکنش دهند. مقدار آب حلال نباید از 500ppm بیشتر باشد. استرها، کتونها، اتر استرها و ترکیبات آلیفاتیک یا آروماتیک قطبی با نقطه جوش بین ۵۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد، حلال های رایجی هستند.[۸]

سینتیک پخت پلی اورتان بسیار تحت تاثیر حلال است. قطبیت و تشکیل پیوند هیدروژنی از عوامل موثر هستند. حلال گاه میتواند منجر به افزایش سرعت و گاه منجر به کاهش سرعت شود. [۱۶]

۶-۷- عوامل همتراز کننده (Leveling Agent):

عامل همتراز کننده وظیفه بهبود خواص جریانی سیستم را برعهده دارد. آنها سبب پرشدن خلل و فرج و یکسان شدن سطح پوشش میشوند. از جمله آنها میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- سلولز استات بوتیرات
- رزین های آکرلیکی با جرم مولکولی پایین
- پلی وینیل استات
- کاپلیمر PVC و پلی وینیل استات
- برخی رزین های اوره ای

سیلیکون، سیالات پلیمری و افزودنی های شیمیایی فلوئور دار میتوانند در کاهش کشش سطحی و بهبود پوشش دهی اثر گذار باشند.[۸]

۵-۷- عوامل غلیظ کننده (Thickening Agent):

کاپلیمرهای وینیل استات و وینیل کلرید، سیلیکای رسوب کرده و بنتونیت میتواند برای غلیظ کردن مفید باشند. برای افزایش ویسکوزیته میتوان کاپلیمر وینیل استات و وینیل کلرید را به میزان ۵% تا ۱۰% بر اساس جامد چسبنده، به پلی ال اضافه کرد. سیلیکای رسوب کرده خاصیت تیکسوتروپی ایجاد میکند.[۸]

جدول ۱۰ خلاصه ای از انواع افزودنی و مواد به همراه کاربرد آنها را بررسی کرده است.

افزودنی	دلیل استفاده
ایزوسیانات	واکنش پذیری پلی اورتان و خواص پخت
پلی ال	سگمنت های بلند که پلیمر الاستیک و نرم ایجاد میکند.
کاتالیست	افزایش سرعت ایزوسیانات و پلی ال، کاهش دمای واکنش
پلاستیسایزر	کاهش سختی مواد
رنگدانه	رنگ کردن پلی اورتان
کراس لینک کننده، گسترش دهنده	اصلاح مولکولی و بهبود خواص مکانیکی
عامل دمنده، سورفکتانت	کمک به تشکیل فوم، کنترل تولید حباب ها
پرکننده	کاهش قیمت و بهبود خواص (سختی، مقاومت پارگی)
ضد آتش	جلوگیری از آتش گیری محصول
ضد دود	کاهش سرعت دودزایی ترکیب در زمان سوختن

جدول ۱۰- خلاصه افزودنی ها به محصولات پلی اورتانی [۹]

۶- محاسبات و اندازه گیری:

پلی اورتان از واکنش ایزوسیانات و پلی ال بدست می آید. با توجه به تنوع مواد موجود، شناسایی ساختار این مواد جهت تعیین میزان مورد استفاده حائز اهمیت است. عدد هیدروکسیل، عدد اسیدی و محتوای ایزوسیانات، از جمله پارامترهای مهم برای این کار هستند. [۱۷]

۶-۱- عدد هیدروکسیل (Hydroxyl Value):

عدد هیدروکسیل عبارت است از مقدار پتاسیم هیدروکسید (میلی گرم) مورد نیاز برای خنثی کردن اسید حاصل از استیله کردن ۱ گرم ماده. برای محاسبه عدد هیدروکسیل استاندارد های مختلفی وجود دارد که در جدول ۱۱ بررسی شده است.

منبع	عنوان	استاندارد
[۱۸]	تعیین عدد هیدروکسیل اسید های چرب و روغن ها	ASTM D1957-86(2001)
[۱۹]	تعیین عدد هیدروکسیل با استیله کردن توسط استیک انیدرید	ASTM E222-10
[۲۰]	تعیین عدد هیدروکسیل برای پلی ال پلی اورتان ها	ISO 14900:2017

جدول ۱۱- استاندارد های سنجش عدد هیدروکسیل

به صورت کلی با افزودن استیک انیدرید در حضور پیریدن به ماده، گروه های هیدروکسیل استیله شده و استیک اسید آزاد میشود. اسید در حضور شناساگر فنول فتالین با محلول سدیم هیدروکسید، تیترو می شود. [۱۹]

۶-۲- عدد اسید (Acid Value):

بیانگر میزان گروه های کربوکسیلیک اسید در یک رزین آلکیلی، پلی استر آکریلاتی یا مخلوط آنهاست. به صورت میلی گرم KOH به ازای هر گرم نمونه بیان می شود. نمونه در حلال تولوئن/تانول ۵۰ درصد حجمی، حضور فنول فتالین، با محلول KOH تیترو می شود. [۱۷] برای سنجش این عدد نیز استاندارد های مختلفی وجود دارد که در جدول ۱۲ بررسی شده است.

منبع	عنوان	استاندارد
[۲۱]	میزان اسید در روغن های معدنی	DIN 51558-1
[۲۲]	عدد اسید در استر متیل اسید چرب	BS EN 14104:2021
[۲۳]	عدد اسید در محصولات نفتی	ASTM D664-18e2
[۲۴]	تعیین عدد اسید و بازی پلی آل ها	ASTM D4662-20
[۲۵]	تعیین عدد اسیدی برای پلی آل های پلی اتری	ASTM D7253-16

جدول ۲۱- استاندارد های سنجش عدد اسید

۶-۳- محتوای ایزوسیانات (Isocyanate Content):

به صورت گرم گروه های ایزوسیانات در ۱۰۰ گرم نمونه بیان می شود. نمونه با محلول دی بوتیل آمین خشک در تولوئن مخلوط می شود. آمین اضافه با محلول HCl خنثی می شود. [۱۷] استانداردهای اندازه گیری این عدد در جدول ۱۳ آورده شده است.

منبع	عنوان	استاندارد
[۲۶]	تعیین محتوای ایزوسیانات	ISO 14896:2009
[۲۷]	تعیین میزان گروه های ایزوسیانات های آروماتیک	ASTM D5155-01
[۲۸]	میزان گروه های اورتانی در پری پلیمرها یا مواد	ASTM D2572-19

جدول ۳۱- استاندارد های سنجش محتوای ایزوسیانات

۶-۴- محاسبات تئوری:

به صورت تئوری میتوان فرض کرد تمام گروه های هیدروکسیل پلی آل در واکنش استیل دار شدن شرکت میکنند. همچنین محاسبه محتوای ایزوسیانات با توجه به ساختار به صورت تئوری قابل محاسبه است. جدول ۱۴ و ۱۵ به صورت تئوری این مقدار را به ترتیب برای چند دی آل و پلی آل و ایزوسیانات محاسبه کرده است.

نام	چگالی (g/cm ³)	جرم مولکولی (g/mol)	مقدار هیدروکسیل در ۱ گرم (mol/g)	عدد هیدروکسیل (تئوری) (mgKOH/g)
اتیلن گلایکول	۱.۱۱	۶۲.۰۷	۰.۰۳۲۲	۱۸۰۴.۴۱۴
دی اتیلن گلایکول	۱.۱۲	۱۰۶.۱۲	۰.۰۱۸۸	۱۰۵۵.۴۰۹

تری اتیلن گلایکول	۱.۱	۱۵۰.۱۷	۰.۰۱۳۳	۷۴۵.۸۲۱۴
۴۰.۱- بوتان دی ال	۱.۰۲	۹۰.۱۲	۰.۰۲۲۲	۱۲۴۲.۷۸۷
PEG200	۱.۱۲۴	۲۰۰	۰.۰۰۱	۵۶۰
PEG400	۱.۱۳	۳۸۰-۴۲۰	۰.۰۰۵	۲۸۰
روغن کرچک	۰.۹۵۹	*جز اصلی روغن استرهای ریسیلیندیک اسید است که ۹۰% روغن را تشکیل میدهد.	۰.۰۰۲۹	۱۶۰- ۱۶۸*[۲۹] (مقدار تجربی و استاندارد)

جدول ۱۴ - خواص و مقادیر تئوری و تجربی عدد هیدروکسیل چند پلی ال

نام	چگالی (g/cm ³)	جرم مولکولی (mol/g)	مقدار ایزوسیانات در ۱ گرم (g/mol)	محتوای ایزوسیانات g/100g یا درصد وزنی
MDI	۱.۲۳	۲۵۰.۲۵	۰.۰۰۸	۳۳.۵۷
MDI پلیمر شده (pMDI)	۱.۲۳	هر واحد تکرار شامل ۱ گروه ایزوسیانات است.	۰.۰۰۷۶	۳۱.۹۳ ۳۰.۸-۳۲.۸۷۷* (تجربی) [۳۰]
TDI	۱.۲۱	۱۷۴.۲	۰.۰۱۱۵	۴۸.۲۲
IPDI	۱.۰۶	۲۲۲.۳	۰.۰۰۹	۳۷.۷۸
HDI	۱.۰۵	۱۶۸.۲	۰.۰۱۲	۴۹.۹۴
HMDI	۱.۰۶۶	۲۶۲.۱۷	۰.۰۰۷۶	۳۲.۰۴

جدول ۱۵ - خواص و مقادیر تئوری و تجربی چند ایزوسیانات

۷- جمع بندی:

پلی اورتان ها با توجه به تغییر ساختار مواد اولیه میتوانند کاربردهای متنوع و وسیعی داشته باشند. ایزوسیانات و پلی ال دو جز اصلی سازنده پلی اورتان ها هستند. ایزوسیانات های آلیفاتیک برای ساخت پوشش استفاده میشوند. ایزوسیانات های آروماتیک ارزان تر بوده و برای پوشش های داخلی استفاده میشوند. پلی ال انواع مختلفی دارد. ارزان ترین آنها پلی اترها هستند. استفاده از روغن های معدنی مثل روغن کرچک برای ساخت فوم های سخت رایج است. واکنش بین این ۲ جز زمان بر بوده و بنابراین از کاتالیزر هایی استفاده می شود. این کاتالیزر ها به صورت عمده آمین های نوع ۳ یا نمک های فلزی است. عوامل گسترش دهنده زنجیر و کراس لینک کننده منجر به تقویت خواص محصول نهایی میشوند. این مواد با جرم مولکولی کم با ایزوسیانات واکنش داده و سگمنت های سخت را ایجاد میکنند. سورفکتانت موجب توزیع یکسان هوا در فوم ها می شود. استفاده از حلال، پلاستیسایزر، ضد حریق، ضد دود، رنگ و سایر افزودنی ها به محصول ما خواص منحصر به فردی میدهد.

با توجه به تنوع ساختار ایزوسیانات و پلی ال، نیاز به تعیین میزان آنها در ترکیب داریم. برای این کار از پارامترهایی نظیر عدد هیدروکسیل و عدد اسید برای پلی ال و محتوای ایزوسیانات برای ایزوسیانات استفاده میکنیم. استانداردهای مختلفی برای این کار وجود دارد.

منابع:

1. Laad, M.S., *Chapter 15 - Polymers in sports*, in *Polymer Science and Innovative Applications*, M.A.A. AlMaadeed, D. Ponnamm, and M.A. Carignano, Editors. 2020, Elsevier. p. 485-523.
2. *What is Polyurethane?* ; Available from: <https://polyurethane.americanchemistry.com/What-is-Polyurethane/>.
3. Heath, D.E., S.A. Guelcher, and S.L. Cooper, *1.3.2A - Polyurethanes*, in *Biomaterials Science (Fourth Edition)*, W.R. Wagner, et al., Editors. 2020, Academic Press. p. 103-107.
4. *What is polyurethane*. Available from: <https://www.polyurethanes.org/en/what-is-it/>.
5. Kohli, N., et al., *5 - Synthetic polymers for skin biomaterials*, in *Biomaterials for Skin Repair and Regeneration*, E. García-Gareta, Editor. 2019, Woodhead Publishing. p. 125-149.
6. Irfan, M.H., *Polyurethanes in the construction industry*, in *Chemistry and Technology of Thermosetting Polymers in Construction Applications*. 1998, Springer Netherlands: Dordrecht. p. 123-144.
7. *Polyurethane in Building and Construction*. Available from: <https://polyurethane.americanchemistry.com/polyurethane/Introduction-to-Polyurethanes/Applications/Polyurethane-in-Building-and-Construction/>.
8. *Polyurethane Coatings: A Comprehensive Guide*. Available from: <https://coatings.specialchem.com/selection-guide/polyurethane-coatings-complete-guide>.
9. Akindoyo, J., et al., *Polyurethane types, synthesis and applications-a review*. RSC Adv., 2016. 6: p. 114453-114482.
10. ODIAN, G., *PRINCIPLES OF POLYMERIZATION*. Fourth Edition ed.
11. Frisch, K.C., *Chapter 16 - Chemistry and technology of polyurethane adhesives* This chapter is dedicated to my father, Dr. Kurt C. Frisch (1918-2000), urethane pioneer, founder and director of the Polymer Institute-University of Detroit Mercy. *In pace requiescat*, in *Adhesion Science and Engineering*, D.A. Dillard, A.V. Pocius, and M. Chaudhury, Editors. 2002, Elsevier Science B.V.: Amsterdam. p. 759-812.
12. Bulian, F. and J.A. Graystone, *Chapter 3 - Raw Materials for Wood Coatings (1) – Film Formers (Binders, Resins and Polymers)*, in *Wood Coatings*, F. Bulian and J.A. Graystone, Editors. 2009, Elsevier: Amsterdam. p. 53-94.
13. Lei Jiang, Z.R., Wei Zhao, Wentao Liu, Hao Liu and Chengshen Zhu, *Synthesis and structure/properties characterizations of four polyurethane model hard segments*.
14. *Isophorone Diisocyanate (IPDI) Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2017 - 2026*. Available from: <https://www.transparencymarketresearch.com/isophorone-diisocyanate-market.html#:~:text=IPDI%20offers%20exceptional%20weathering%20resistance,polyurethane%20plastics%20and%20enamel%20coatings>.
15. Zhang, X.D., et al., *Role of Silicone Surfactant in Flexible Polyurethane Foam*. Journal of Colloid and Interface Science, 1999. 215(2): p. 270-279.

16. Monaghan, S. and R.A. Pethrick, *Solvent Effects in Polyurethane Cure: A Model Study*. *Macromolecules*, 2012. **45**(9): p. 3928-3938.
17. Metrohm, *Acid value, hydroxyl value, and isocyanates in raw materials for the fabrication of plastics – Determination by automatic potentiometric titration according to various standards*.
18. International, A., ASTM D1957-86(2001), in *Standard Test Method for Hydroxyl Value of Fatty Oils and Acids (Withdrawn 2007)*. 1986: West Conshohocken, PA.
19. International, A., ASTM E222-10, in *Standard Test Methods for Hydroxyl Groups Using Acetic Anhydride Acetylation*. 2010: West Conshohocken, PA.
20. ISO, ISO 14900:2017, in *Plastics — Polyols for use in the production of polyurethane — Determination of hydroxyl number*. 2017.
21. DIN, DIN 51558-1, in *Testing of Mineral Oils; Determination of the Neutralization Number, Colour-indicator titration*. 1979.
22. BSI, BS EN 14104:2021, in *Fat and oil derivatives. Fatty acid methyl ester (FAME). Determination of acid value*. 2021.
23. International, A., ASTM D664 - 18e2, in *Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration*. 2018.
24. International, A., ASTM D4662 - 20, in *Standard Test Methods for Polyurethane Raw Materials: Determination of Acid and Alkalinity Numbers of Polyols*. 2020: West Conshohocken, PA.
25. International, A., ASTM D7253-16, in *Standard Test Method for Polyurethane Raw Materials: Determination of Acidity as Acid Number for Polyether Polyols*. 2016: West Conshohocken, PA.
26. ISO, ISO 14896:2009, in *Plastics — Polyurethane raw materials — Determination of isocyanate content*. 2009.
27. International, A., ASTM D5155-01, in *Standard Test Methods for Polyurethane Raw Materials Determination of the Isocyanate Content of Aromatic Isocyanates*. 2001: West Conshohocken, PA.
28. International, A., ASTM D2572 - 19, in *Standard Test Method for Isocyanate Groups in Urethane Materials or Prepolymers*. 2019: West Conshohocken, PA.
29. Naik, S.N., et al., *Chapter 21 - Potential and Perspective of Castor Biorefinery*, in *Waste Biorefinery*, T. Bhaskar, et al., Editors. 2018, Elsevier. p. 623-656.
30. ONGRONAT® CO 4150. Available from: <http://www.borsodchem-pu.com/getdoc/b8096bbd-9e3e-4eaf-8647-91779652be6f/default.aspx>.

رزین‌های کومارن-ایندن: معرفی، سنتز و کاربردها



مریم امیرپور اقطاعی

دانشجوی کارشناسی رشته شیمی محض
دانشگاه تهران

مقدمه

رزین‌های کومارن-ایندن^۱ بازار جهانی جلادهنده‌ها را از زمانی که اولین رزین‌های نفتی در دهه‌ی ۱۹۴۰ پدیدار شدند، در دست داشتند. امروزه هم هنوز واحدهای صنعتی زیادی نیاز شدیدی به این گروه از محصولات دارند. عملکرد به اثبات رسیده‌ی این رزین‌ها، باعث مصرف عمده‌ی آن‌ها در صنایع رنگ، چسب و پوشش‌ها، مواد ضد خوردگی، ساختمان سازی و ساخت ترکیبات لاستیکی دارای کیفیت بالا شده‌است. این رزین‌های جالب توجه، طی پلیمریزاسیون ترکیبات سیرنشده‌ی استخراج شده از قطران زغال سنگ، با استفاده از کاتالیزگر اسیدی سنتز می‌شوند.

در این مقاله، ابتدا به معرفی این دسته از ترکیبات پلیمری و ویژگی‌های سودمند آن‌ها می‌پردازیم. سپس به تفصیل، یک روش سنتزی موثر برای دستیابی به خواص مطلوب را بررسی می‌کنیم و در نهایت به سراغ کاربردهای تعریف شده تا به امروز، خواهیم رفت.

معرفی

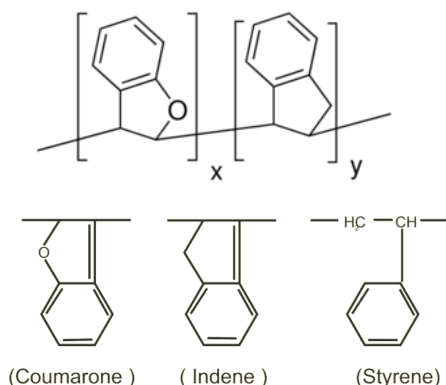
رزین کومارن-ایندن به هر یک از اعضای خانواده‌ی رزین‌های سنتز شده طی پلیمریزاسیون ترکیبات سیرنشده‌ی استخراج شده از محصولات جانبی تهیه زغال کک و محصولات آروماتیک دارای نقطه جوش بالای حاصل از پیرولیز و یا نفتای قطران زغال سنگ گفته می‌شود.

به طور کلی نفتا ابتدا با سولفوریک اسید شسته می‌شود تا بخشی از ناخالصی‌های آن حذف شود. این مرحله اهمیت زیادی دارد؛ چون ناخالصی‌های باقی‌مانده کیفیت رزین را تعیین می‌کنند، که می‌تواند از یک مایع شفاف ویسکوز تا یک جامد تیره رنگ شکننده متغیر باشد. در مرحله‌ی بعد، مخلوط ترکیبات سیرنشده‌ی استخراج شده با گرم کردن در حضور بور فلئورید، آلومینیوم کلرید، استانیک کلرید یا سولفوریک اسید به عنوان کاتالیزگر، پلیمریزه می‌شود. نتیجه، ایجاد موادی ترموپلاستیک با نقطه نرم

1 Coumarone-indene resin

شوندگی^۲ تا حدود 150°C است که تحت عنوان رزین‌های کومارن-ایندن شناخته می‌شوند.

مخلوط ترکیبات یادشده که در واقع مونومرهای این پلیمریزاسیون را تشکیل می‌دهد، شامل حدود ۳۰٪ ایندن، ۱۵٪ کومارن و ۵٪ استایرن^۳ است (شکل ۱). در واقع رزین موردنظر، ترکیب منحصربه‌فردی از این مونومرها است که هر یک نقش مهمی را در عملکرد آن ایفا می‌کنند.



شکل ۱. ساختار مونومرهای پلیمریزاسیون و رزین نهایی

کومارن یک نرم کننده‌ی لاستیک است که به عنوان کمک پردازش عمل کرده و چسبندگی را افزایش می‌دهد. این مونومر با انسجام بالا، باعث به هم پیوستگی بهتر رزین می‌شود. علاوه بر این، دارای مقاومت شیمیایی و مقاومت در برابر آب و خوردگی خوبی است؛ بنابراین می‌تواند برای درزگیری‌ها استفاده شود. ایندن دارای چسبندگی خوبی است، این خصوصیت به هم پیوستگی را افزایش داده و به حفظ ویسکوزیته کمک می‌کند. شفافیت این ترکیب نیز بالاست، که این موضوع برای چسب‌ها اهمیت زیادی دارد. در نهایت، استایرن دارای مقاومت گرمایی خوبی است که باعث افزایش عمر حرارتی رزین می‌شود. این مونومر، در برابر صدا عایق است و نفوذناپذیری گاز را نیز افزایش می‌دهد. خواص نرم کنندگی رزین نیز از آن دیده شده‌است.

ویژگی‌ها

انواع مختلفی از رزین‌های کومارن-ایندن ساخته می‌شود که رنگ آن‌ها در محدوده‌ی زرد روشن تا قهوه‌ای تیره است و نقطه‌ی ذوبی در محدوده‌ی 60°C تا 140°C دارند. حالت فیزیکی رزین کومارن-ایندن می‌تواند از مایعات ویسکوز تا رزین‌های سخت باشد. این رزین، در حلال‌های هیدروکربنی مثل پیریدین، استون، کربن دی سولفید و کربن تتراکلرید انحلال پذیر است و در آب یا الکل حل نمی‌شود؛ البته اخیراً مطالعاتی برای مقابله با این موضوع با تلاش برای پخش کردن آن در الکل صورت گرفته‌است. دستیابی به این اتفاق، کاربردهای رزین موردنظر را گسترش

- 2 Softening point
3 Styrene

خواهد داد.

در ادامه شماری از خواص منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی رزین مورد نظر و برتری‌های حاصل از این ویژگی‌ها را توصیف می‌کنیم. رزین کومارن-آیندن دارای پیوندهای دوگانه‌ای در گروه آلیلی درون زنجیر خود است، که این موضوع مزایایی از قبیل موارد زیر را ایجاد می‌کند:

- چسبندگی فوق العاده که پلیمر و پرکننده‌ها را به هم می‌بافد.
- کاهش زمان مورد نیاز برای مخلوط کردن به دلیل برهمکنش با پیوندهای دوگانه حاضر در زنجیر پلیمری لاستیک که این موضوع باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود.
- پخته شدن^۴ این پیوندهای دوگانه در طول ولکانیزه شدن^۵ که این موضوع به طور موثری خواص فیزیکی ولکانیزه کننده‌ها را بهبود بخشیده و دانسیته‌ی پیوند عرضی را افزایش می‌دهد.

مورد بعد، جرم مولکولی پایین رزین کومارن-آیندن در مقایسه با رزین‌های نفتی است که منجر به پیوستگی سریع‌تر آن به لاستیک و مهاجرت آسان به سطح برای حفظ چسبندگی در طول زمان‌های طولانی (یک پدیده‌ی سطحی) می‌شود.

علاوه بر این، رزین کومارن-آیندن به طور عمده به عنوان یک روان کننده‌ی پلیمری استفاده می‌شود که نقش یک چسبنده، نرم کننده، تقویت کننده و کمک پردازش را در ساخت شماری از لاستیک‌ها از قبیل SBR، S-SBR، NR، BR، CR، EPDM، CSM، CPE و NR، لاستیک‌های آکریلیک بازی می‌کند. این رزین، به خصوص در NBR می‌تواند از مشکل به هم بافتگی که در ساخت حلقه‌های اکسیژن دار، درزگیرها، ترکیبات رول صنعتی و چاپ، شلنگ فشار بالا، تسمه و... بسیار رایج است، جلوگیری کند. این موضوع مزیت بزرگی به حساب می‌آید.

سنتز

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، رزین‌های کومارن-آیندن می‌توانند با پلیمریزاسیون کومارن، آیندن، استایرن و یا سایر مواد قابل پلیمریزه شدن موجود در روغن‌های رزینی به دست آمده از قطران زغال سنگ یا نفت مایع تهیه کرد. معمول‌ترین روش برای تهیه چنین رزین‌هایی شامل تاثیر گذاشتن بر پلیمریزاسیون اجزای قابل پلیمریزه

- 4 Filler
- 5 Curing
- 6 Vulcanization

شدن روغن رزینی به کمک سولفوریک اسید است؛ اما مطابق یافته‌ها، رزین به دست آمده طی افزودن مستقیم سولفوریک اسید به روغن‌های رزینی خام، منجر به یک بو و رنگ نامطلوب می‌شود. بنابراین روش‌های معمول موجود، با محدودیت روبرو هستند.

تولید رزین‌های کومارن-آیندن دارای نقطه جوش پایین (حدود 100°C) و دارای رنگ و بوی مطلوب، به طور مستقیم با حذف اجزای سیکلوپنتادی‌انی و سایر اجزای تشکیل دهنده رنگ از رزین امکان پذیر می‌شود. به این منظور، به نظر می‌رسد مخلوط کردن یک رزین کیفیت بالای دارای نقطه ذوب بالا از نوع کومارن-آیندن با یک روغن حلال سنگین دارای خلوص بالا و نقطه ذوب پایین جوابگو باشد؛ اما رزین‌های تشکیل شده بدین روش انحلال پذیری کمی در حلال‌های پارافینی نشان می‌دهند، عاملی که به محدود شدن دامنه کاربردهای آن‌ها می‌انجامد؛ بنابراین در ادامه به معرفی یک فرآیند برای تولید رزین‌های کومارن-آیندن دارای رنگ و بوی بهبود یافته، نقطه ذوب پایین و انحلال‌پذیری خوب در حلال‌های پارافینی می‌پردازیم.

به طور کلی، این رزین‌ها را می‌تواند با دستکاری روغن رزینی خام از نوع کومارن-آیندن، به منظور حذف اساسی همه اسیدها و بازهای قطرانی و سپس تحت اثر قرار دادن آن در حضور یک کاتالیزگر آریل سولفونیک اسید به میزان حداقل ۱٪ وزن روغن در دمایی کمتر از حدود 110°C تهیه کرد. رزین کومارن-آیندن از این روش را می‌توان با جزء به جزء کردن^۶ قطران‌هایی از قبیل قطران زغال سنگ، قطران آب-گاز و قطران نفت-گاز از نفت مایع یا کک به دست آورد. این قطران‌ها می‌توانند حاوی اجزایی از قبیل کومارن، آیندن، استایرن، متیل استایرن و... باشند؛ این موضوع به محدوده‌ی نقطه جوش قطران، منبع آن و پیش‌فرآوری‌های صورت گرفته بستگی دارد.

در مرحله اول روغن رزین باید به وسیله یک قلیا و سپس یک اسید شستشو داده شود تا به ترتیب اسید و بازهای قطرانی از آن حذف شود؛ برای مثال، روغن می‌تواند با یک محلول ۲۰٪ سدیم هیدروکسید و سپس با یک محلول سولفوریک اسید تا ۵۰٪ شسته شود. سپس به منظور تجزیه و حذف اجزای سیکلوپنتادی‌انی و سایر اجزای تشکیل دهنده رنگ نامطلوب، از سولفوریک اسید به میزان حدود ۳٪ حجمی روغن استفاده می‌شود. سپس، روغن به منظور حذف بیشتر اجزای سیکلوپنتادی‌انی، تحت یک جزء به جزء کردن ۲ مرحله‌ای قرار می‌گیرد که مرحله‌ی اول آن تحت فشار اتمسفری انجام شده و تا رسیدن به دمای تقطیر حدود 150°C ادامه می‌یابد.

پلیمریزاسون رزین کومارن-ایندنی که بدین شکل پیش‌فرآوری شده‌است، می‌تواند با اضافه کردن یک اکی‌والان کاتالیزگر آریل سولفونیک اسید به میزان حدود ۱-۵٪ وزنی روغن، به همراه نگه داشتن دما زیر حدود 150°C صورت گیرد. آریل سولفونیک اسید استفاده شده، به طور معمول بنزن سولفونیک اسید است؛ ولی می‌تواند تولوئن، زایلن، فنول یا کرسول سولفونیک اسید و یا حتی مخلوطی از این‌ها نیز باشد. این عدم محدودیت در انتخاب کاتالیزگر می‌تواند یکی از مزایای این روش به شمار رود.

کاتالیزگر همچنین ممکن است حاوی رقیق‌کننده‌هایی از قبیل متانول یا آب تا حدود ۲۰٪ وزنی اسید موجود باشد که این موضوع روی دمای لازم برای این مرحله از فرآیند تاثیر می‌گذارد. دمای این مرحله، به میزان زیادی به نقطه‌ی ذوب موردنظر برای رزین به دست آمده بستگی دارد. اگر رزین دارای نقطه ذوب بالا مدنظر باشد، نیازی به افزودن هیچ رقیق‌کننده‌ای نیست و دمای شروع در مرتبه‌ی 20°C مناسب خواهد بود؛ اما اگر رزین دارای نقطه ذوب پایین یعنی بین 10°C تا 100°C مدنظر باشد، اضافه کردن رقیق‌کننده تا درصد گفته شده مفید است. در طول پلیمریزاسیون دما تمایل به افزایش دارد، ولی باید آن را در محدوده‌ی 10°C تا 90°C نگه داشت چون دماهای بالاتر اثرات معکوسی روی رنگ رزین نهایی خواهد داشت.

زمان موردنیاز برای تولید یک رزین مناسب با این روش از حدود ۱ ساعت فراتر نمی‌رود. بعد از تکمیل پلیمریزاسیون، به کاتالیزگر اجازه داده می‌شود از روغن خارج شود. در مرحله بعد، محتویات با سودا خنثی و با آب شسته می‌شوند. پس از آن، به منظور حذف هر گونه ترکیب پلیمریزه نشده یا دارای نقطه جوش پایین، محتویات تحت خلاء تقطیر می‌شوند. رزین نهایی حاصل در عین حال که در حلال‌های پارافینی انحلال‌پذیر است، رنگ و بویی عالی دارد؛ ویژگی‌های مطلوبی که از ابتدا به دنبال آن‌ها بودیم.

کاربردها

کومارن-ایندن و مزایای این ویژگی‌ها، جای تعجیبی نیست که از آن‌ها در ساخت شمار زیادی از محصولات از قبیل قطعات رزینی (تخته سنگ‌های رزینی) برای کف ساختمان‌ها، مشمع‌های کفپوش، چسب‌ها، نوارچسب عایق، چرم مصنوعی و جوهر پرنترها استفاده می‌شوند. آن‌ها همچنین به عنوان پیونددهنده در تولید ابزارهای ساینده و به عنوان لقاح برای کاغذها و منسوجات برای اطمینان از پایداری آن‌ها در برابر آب استفاده می‌شوند. علاوه بر این، در تهیه‌ی رنگ و ترکیبات جلا، رزین‌های طبیعی گران قیمت می‌توانند توسط رزین‌های کومارن-ایندن جایگزین شوند.

درخواست جهانی سالانه برای مواد خام سنتز رزین‌های کومارن-ایندن به بزرگی ۱۲۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ تن است؛ این عدد به خوبی گستردگی کاربردهای این رزین را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، رزین‌های کومارن-ایندن وقتی به تنهایی استفاده می‌شوند هیچ کاربرد تجاری ندارند؛ ولی وقتی با سایر رزین‌ها و لاستیک‌ها استفاده شوند به طور عمده به عنوان روان‌کننده، کمک پردازش و اکستندر استفاده می‌شوند.

با توجه به ویژگی‌های گفته شده برای رزین‌های

نتیجه‌گیری

خواص ارزشمند رزین کومارن-ایندن، آن را به یک پلیمر پرمصرف در صنایع مختلف تبدیل کرده‌است. به طور کلی این رزین از مونومرهای کومارن، ایندن و استایرن استخراج شده از قطران سنتز می‌شود ولی دستیابی به خواص مطلوب آن به سادگی ترکیب کردن این مونومرها در حضور کاتالیزگر مناسب نیست. در واقع روش‌های مرسوم موجود سنتزی به بو، رنگ و انحلال‌پذیری نامطلوب می‌انجامد؛ بنابراین در این مقاله یک روش موثر برای دستیابی به رزین نهایی مناسب مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است، روندی که برای آینده‌ی این رزین‌ها در علم پلیمر متصور هستیم، می‌تواند شامل تمرکز مطالعات روی توسعه روش‌های سنتزی بهتر، اصلاح و بهبود خواص و کشف کاربردهای جدید باشد.

با تشکر از سرکار خانم دکتر سپیده خویی

منابع

[1] (2007) Coumarone-indene resin. In: Gooch J.W. (eds) Encyclopedic Dictionary of Polymers. Springer, New York, NY.

https://doi.org/10.1007/978-0-387-30160-0_2940

[2] Litvinenko, M.S., and I.M. Nosalevich. *Khimicheskie produkty koksovaniia dlia proizvodstva polimernykh materialov*. Moscow, 1962.

[3] Edwin L Cline (1944) U.S. patent US2344026A, United States, Process for producing resins of the coumarone-indene type.

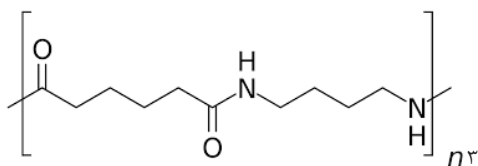
[4] Michael Bratychak, Olena Astakhova, Olena Shyshchak, Jacek Namiesnik, Or-esta Ripak, Serhiy Pyshyev. *Chemistry & Chemical Technology Vol. 15, No. 1*, (2021). Obtaining of coumarone-indene resins based on light fraction of coal tar 1. coumarone-indene resins with carboxy groups

مروری بر الیاف متداول، ساختار و کاربردشان



ستاره سینایی

دانشجوی کارشناسی رشته شیمی کاربردی
دانشگاه تهران



در حقیقت نایلون به خانواده ای از ترکیبات با این زنجیره اصلی خطاب می شوند و بسته به کاربرد های مختلف ترکیبات مختلفی از آنها را می توانیم تولید کنیم.

انواع:

- نایلون ۶۶
- نایلون ۶
- نایلون ۵۱۰
- نایلون ۶،۱

روش تولید:

نایلون ۶۶ (آمید): از ۲ مونومر هگزامتیلن دی آمین و ادیپیک اسید که هر کدام ۶ اتم کربن دارند به روش پلی تراکمی (پلی کندانسیون^۴) سنتز می شود، میزان اکی والان (برابر) از ۲ مونومر همراه با آب در یک راکتور با هم کریستالیزه می شوند تا نمک نایلون را که ترکیبی از آمونیم/کربوکسیلات است بسازند. سپس به مخزن واکنش برای عمل پلیمریزاسیون (به صورت مداوم یا تولید دسته ای) منتقل می شود. آبگیری باعث پیشرفت واکنش به سمت پلیمریزاسیون میشود (از طریق تشکیل پیوند های آمیدی از عامل اسیدی و آمینی) به این طریق نایلون ۶۶ گداخته تشکیل می شود و می توان آن را به صورت گرانول (دانه) درآورد یا داخل اسپینره^۵ به شکل الیاف تابید. کاربرد خاص نایلون ۶۶ در مواردیست که مقاومت مکانیکی بالا و پایداری خوب در مقابل حرارت و مواد شیمیایی نیاز داریم.

مقدمه:

فیبر ها از پلیمر های سنتز شده ی مولکول های کوچک به دست می آیند. ترکیبات مورد استفاده برای سنتز این الیاف ها از مواد خامی مانند مواد نفتی و پتروشیمیایی به دست می آیند که به ماده ای پلیمرایز می شوند که دو کربن کنار هم را به یکدیگر پیوند می دهد.

الیاف های مصنوعی تقریباً نصف تمام مصارف الیاف ها را در بر می گیرند و در تمام زمینه های تکنولوژی الیاف و نساجی کاربرد دارند با اینکه تعداد الیاف های با ارزش کم نیست اما ۴ مورد از آنها بازار بسیار خوبی دارند که عبارتند از: نایلون، پلی استر، اکریلیک و پلی الفین، این چهار مورد ۹۸ درصد حجم کل تولیدی الیاف مصنوعی را به خود اختصاص داده اند (پلی استر به تنهایی ۶۰ درصد حجم تولیدی است)^۱

از مزایای استفاده از الیاف های مصنوعی می توان به مقاومت (در برابر کشش، ضد آب و ضد لک) و قابلیت رنگ پذیری اشاره کرد. یکی از تفاوت های بین الیاف های طبیعی^۲ و مصنوعی زیست تخریب پذیری الیاف های طبیعی است (بنابراین در مقایسه با الیاف های مصنوعی اثرات منفی محیط زیستی کمتری به جا می گذارند)

از معایب آنها می توان به نقطه ذوب پایین اشاره کرد که باعث می شود در مقابل حرارت راحت تر از الیاف های طبیعی تخریب شوند، در برابر اصطکاک سریع تر باردار می شوند و اکثر آنها در تماس طولانی مدت با پوست چسبناک می شوند و لباس راحت نیستند

در ادامه توضیحات کلی راجع به این ۴ الیاف مصنوعی معروف خواهیم داد.

نایلون:

ساختار:

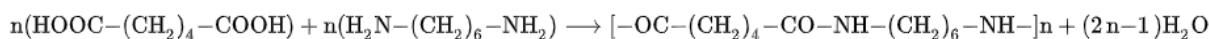
زنجیره آمیدی (پلی آمید)

- 3 شکل متعلق به نایلون ۶۶ است
- 4 نوعی واکنش شیمیایی که در آن از ترکیب ۲ مولکول کوچک یک مولکول بزرگ و یک مولکول کوچکتر مانند آب، آمونیاک، اتانول، استیک اسید یا هیدروژن سولفید و ... حاصل می شود، اگر مولکول از دست رفته آب باشد به واکنش سنتز دی هیدراسیون یا آب گیری نیز می گویند.
- 5 نوعی سرنگ که با استفاده از آن محلول پلیمر یا پلیمر گداخته را به شکل الیاف در می آورند spinneret

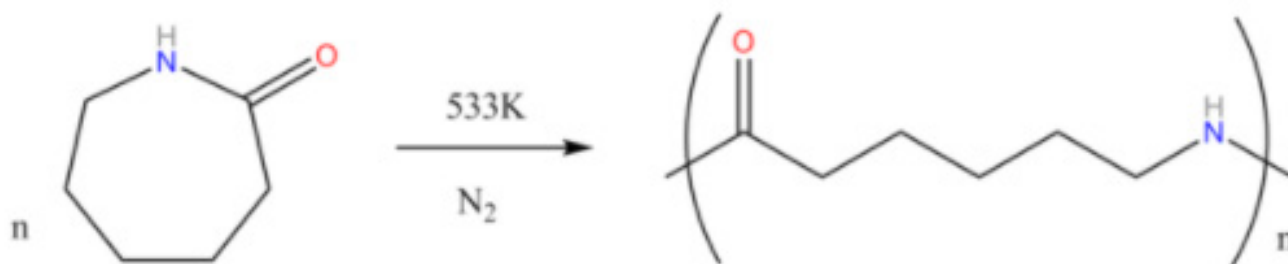
1 Synthetic fibers: Nylon, polyester, acrylic, polyolefin. Woodhead Publishing

2 مانند الیاف های گیاهی، پشم، ابریشم، کلاژن و کراتین

و



نایلون ۶ (آمید حلقوی): پلیمریزاسیون حلقه-باز (ROP) کاپرولاکتام که دارای ترکیبی ۶ کربنی است، هنگامی که این ترکیب را در دمای ۵۳۳ کلوین در محیط بی اثر نیتروژنی در حدود ۴-۵ ساعت حرارت بدهیم حلقه باز و دچار پلیمریزاسیون می شود سپس محصول گداخته از داخل اسپینره عبور می کند و به صورت الیاف درمی آید.



مسواک و سپس در سال ۱۹۳۹ در ساخت جوراب زنان استفاده شد. در طول جنگ جهانی دوم که تقاضا برای پارچه بالا رفته بود مصرف آن به شدت بالا رفت. همچنین جایگزین الیاف های وارداتی از آسیا مثل ابریشم (که آن زمان در ساخت چتر نجات به کار می رفت) شد. غیر از آن در ساخت طناب، خیمه، تایر، پانچو، و سایر ابزار نظامی به کار میرفت و حتی به دلیل کمبود پنبه، چتر نجات ها را بازیافت و از آن لباس درست می کردند. امروزه از الیاف نایلون در ساخت فرش، لباس شنا، زیر انداز، پرده و لباس های نظامی استفاده میشود.

ویژگی خاص این الیاف سختی و مقاومت در مقابل کشیده شدن در عین داشتن الاستیسیته بالا و درخشندگی و رنگ پذیری، ضد چروک، ضد نفوذ در مقابل مواد شیمیایی مثل اسید و باز (البته مقاومت آن در مقابل اسید نسبت به نایلون ۶ کمتر است). حدود ۴،۲٪ جذب آب دارد (بیشتر از نایلون ۶) اما باعث کم شدن مقاومت کششی آن می شود. دمای تبدیل شیشه آن حدود ۴۷ درجه سانتی گراد است.

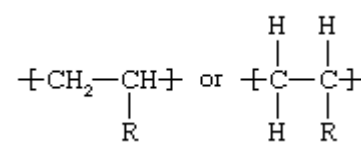
کاربرد:

نایلون به طور کلی اولین بار در سال ۱۹۳۸ در ساخت

از پلیمریزاسیون گاز پروپیلن یا اتیلن همراه با کاتالیزگر مخصوص تولید می شود سپس رنگ مستقیماً به پلیمر اضافه میشود. در تولید با فشار بالای آن (۱۰ تن بر اینچ مربع) فیلم برای مواد قالب گیری تولید می شود اما در تولید فشار پایین و دمای پایین همراه با کاتالیزگر و حلال هیدروکربن که کم هزینه تر نیز هست باعث تولید پلی اتیلن نساجی می شود. این پلیمر در ادامه ذوب می شود، توسط اسپینره در آب تابیده می شود و با هوا خنک می شود و سپس کشیده می شود تا طول آن ۶ برابر شود. روش جدید تر اسپین کردن (نسبت به اسپین ذوبی) اسپین ژلی است که از فرم ژلی پلیمر در پروسه استفاده می شود.

الفین:

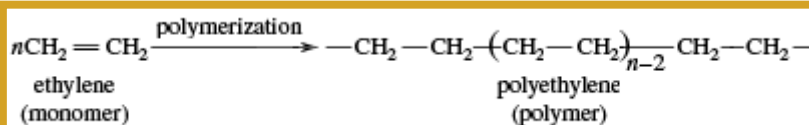
ساختار: پلی الفین



انواع:

- پلی اتیلن
- پلی پروپیلن

روش تولید:



کاربرد:

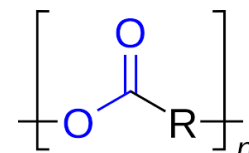
در البسه (جوراب، هودی، لباس زیر حرارتی، لباس ورزش)، لوازم خانه (فرش، پرده، در سطح دیوار و کف زمین و زیرزمین به دلیل خاصیت خشک شدن سریع و ضد قارچ بودن)، خودرو (آفتاب گیر، کاور داخلی، در، صندوق عقب و قفسه های داخل اتومبیل)، صنعت (فرش، طناب، منسوجات تماسی با خاک، پارچه فیلتر، کیف، استحکام بخش سیمان و کیسه چای) استفاده میشود.

پلی استر:

خانواده ای از پلیمر ها اما عموماً به پلی اتیلن ترفتالات (PET) شناخته میشوند.

ساختار:

گروه عاملی استری در واحد تکرار شونده دارند.

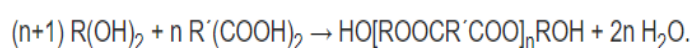


انواع:

بر اساس ساختار شیمیایی به دو دسته ترموپلاستیک و ترموست تقسیم می شوند. ترموپلاستیک رایج ترین آنهاست.

روش تولید:

از واکنش پلی تراکمی یا پلی کندانسیون یک دی ال با دی اسید حاصل می شود. واکنش کلی آن به صورت زیر است:



پلی استر ها را از انواع مختلفی از واکنش ها می توان به دست آورد اما مهم ترین آنها واکنش اسید ها با الکل ها، الکلوسیسی، اسیدولوسیسی استر های سبک، الکلوسیسی آسیل کلرید هستند. روش سنتز PET که مهم ترین پلی استر است به دو روش صورت میگیرد:

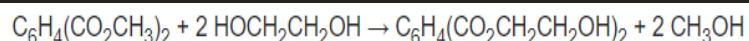
(۱) اتیلن گلیکول و DMT (با واکنش ترنس استر شدن)

(۲) ترفتالیک اسید (با واکنش استری شدن)

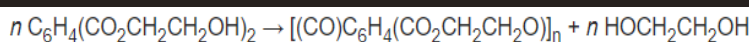
(۱) روش اول:

مرحله اول: دی متیل ترفتالات (DMT) با مقدار اضافی اتیلن گلیکول در دمای ۱۵۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد با کمک کاتالیزگر بازی واکنش میدهند. برای القای پیشرفت واکنش رو به جلو، متانول را به روش تقطیر جدا میکنند. اتیلن

گلیکول اضافی در دمای بالاتر با استفاده از وکیوم جدا می شود.

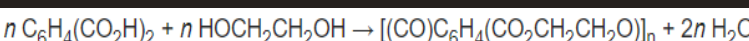


مرحله دوم: دومین مرحله ترنس استر شدن در دمای ۲۷۰-۲۸۰ درجه سانتیگراد انجام میشود. در این مرحله نیز پیوسته اتیلن گلیکول اضافی به روش تقطیر و با استفاده از وکیوم جدا میشود.



(۲) روش دوم:

اتیلن گلیکول و ترفتالیک اسید در فشار ۲،۷-۵،۵ بار و دمای ۲۶۰-۲۷۰ درجه سانتی گراد واکنش استری شدن را انجام میدهند. در این واکنش آب گیری با روش تقطیر انجام می شود.



سپس نوار های پلی استر بدست آمده خشک میشوند تا به حد شکنندگی برسد. سپس آنها را به قطعات کوچک تر برش می دهند و مجدداً خشک می کنند تا محصول نهایی یک دست تر باشد. این قطعات را در دمای ۲۶۰ تا ۲۷۰ درجه سانتی گراد ذوب می کنند و داخل اسپینره می ریزند تا الیاف آن دور قرقره تابیده شود.

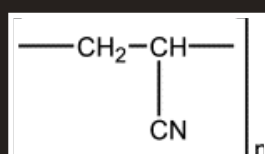
کاربرد:

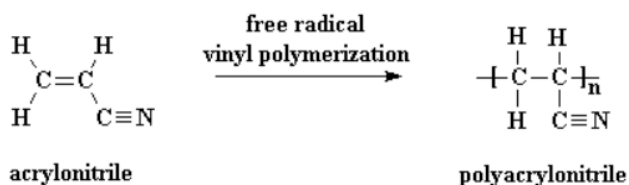
به صورت نخ درمی آید و بافته می شود و در تولید البسه (تی شرت، شلوار، ژاکت، کلاه و...) و لوازم خانگی (ملحفه، پتو، مبلمان، موس پد) استفاده شوند. الیاف و طناب های پلی استر صنعتی در استحکام تایر ماشین، تسمه های نقاله، کمربند ایمنی، پارچه و پلاستیک مستحکم با جذب انرژی بالا کاربرد دارد و بسیار ضد لک هستند. همچنین در ساخت بطری، فیلم، قایق، فیلتر، فیلم دی الکتریک خازن، هولوگرام، لعاب روی لوازم چوبی مثل گیتار و پیانو و داخل قایق به کار برده میشوند.

اکریلیک:

ساختار:

پلی اکریلونیتریل (طبق پروتکل های آمریکا حداقل ۸۵٪ از ساختار پلیمر باید از مونومر اکریلونیتریل باشد تا به آن اکریلیک خطاب شود)





کاربرد:

به صورت نخ کاموا در می آید (نرم و مشابه نخ حاصل از پنبه) و در بخش های مختلف صنعت نساجی کاربرد دارد از جمله: تولید جوراب، کلاه، دستکش، بلوز، پارچه های مورد استفاده در لوازم منزل، لباس بافتنی، لباس بچه.

انواع:

کو-مونومر^۶ های متداول عبارتند: از وینیل استات و متیل اکریلات

روش تولید:

با روش پلیمریزاسیون رادیکال-آزاد در محلول سوسپانسیون تولید می شود. سپس برای تولید الیاف، پلیمر آن را در حلالی مانند DMF یا محلول سدیم تیوسیانات حل میکنند. سپس از اسپینره چند-حفره رد می کنند و خروجی الیاف های حاصله را در حلال اولیه می ریزند (اسپین خیس) یا حلال را با عبور جریانی از گاز بی اثر داغ خشک می کنند (اسپین خشک). در ادامه مراحل شستن، کشیدن، خشک کردن و چروکیدن انجام می شود تا تولید الیاف تکمیل شود. حاصلی الیافی نرم و پنبه مانند است با این تفاوت که به دلیل مصنوعی بودن بید های لباس قادر به هضم آن نیستند (البته قادر به هضم پارچه ترکیبی پنبه و اکریلیک هستند)، سبک، به شدت رنگ پذیر و ضد حساسیت است و نسبت به الیاف های دیگر با دوام تر است اما ممکن است ریش ریش شود و به صورت دانه های ریز در سطح پارچه جمع شود.

6 گفتیم اکریلیک حداقل ۸۵٪ مونومر اکریلونیتریل است، بنابراین تفاوت انواع مختلف آن در باقی مونومر های همراه آن یا کومونومر های آنها است، البته الیاف های مصنوعی دیگری با درصد کمتر اکریلیک مثل modacrylic موجود هستند که حداکثر ۸۵٪ و حداقل ۳۵٪ اکریلونیتریل دارند (ضد آتش هستند و از آن پشم مصنوعی، کلاه گیس، اکستنشن مو و لباس های محافظتی می سازند) اما نمی توان نام اکریلیک تنها را روی آنها گذاشت.

معرفی نرم افزار Promax

معین ورکیانی

دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی شیمی دانشگاه تهران



کاربرد های یک نرم افزار جامع شبیه سازی در مهندسی فرآیند

نرم افزار هایی که برای شبیه سازی فرآیند استفاده میشوند هر کدام

کاربرد هایی داشته که به طور مختصر میتوان گفت:

- پیش بینی رفتار فرآیند
- به حداقل رساندن اشتباهات هزینه بر در طراحی و ایجاد تغییرات لازم در واحدهای فرآیندی
- استفاده از اطلاعات شبیه سازی در طراحی دستگاه ها، تجهیزات مکانیکی، پمپینگ، ابزار دقیق و
- استفاده از قابلیت اتصال نرم افزارهای شبیه سازی به نرم افزارهای طراحی یا کد نویسی برای انجام بهینه سازی، کنترل شبیه سازی و تحلیل های مختلف
- بررسی صحت عملکردهای سیستم های کنترل موجود و طراحی دوباره آنها در صورت نیاز

معرفی نرم افزار Promax



نرم افزار های مختلفی در رشته های مختلف برای شبیه سازی سیستم

ها وجود دارد؛ برای مثال در مهندسی برق شاید پر کاربرد ترین نرم

افزار MATLAB باشد، یا در مهندسی نفت با PDMS بیشتر سر و

اگر دانشجوی مهندسی شیمی، پلیمر یا نفت هستید، قطع به یقین

در مسیر تحصیل خود کلماتی مانند مدل سازی، شبیه سازی، طراحی

فرآیند و ... به گوشتان خورده. اما شبیه سازی چیست؟ ابزار شبیه

سازی چه مواردی هستند؟

در این مقاله ما در مورد توضیح شبیه سازی و مدل سازی و ابزار آن و

معرفی یکی از ابزار های قدرتمند شبیه سازی فرآیند های پالایشگاهی

میسردازیم؛ پس با ما همراه باشید.

مدل سازی؟ شبیه سازی؟ نرم افزار؟ از کجا شروع کنم؟

علیرغم وجود تفاوت های آشکار در معانی این موارد، در بسیاری از

مکالمات عادی و بعضاً تخصصی، این لغات به جای هم به کار برده

میشوند؛ پس شاید بهتر باشد ابتدا با چند مفهوم آشنا شویم:

مدل سازی فرآیند چیست؟

منظور از مدل سازی فرآیند بیان رفتار فیزیکی سیستم توسط معادلات

ریاضی است. این معادلات مجموعه ای از موازنه های اصلی، معادلات

ترمودینامیکی، معادلات فشاری و ... میباشد، که به صورت اطلاعات

کتابخانه ای در همه نرم افزارهای شبیه سازی از پیش تعریف شده اند

که از کنار هم قرار دادن این معادلات، مدل فرآیند به وجود می آید.

شبیه سازی فرآیند چیست؟

منظور از شبیه سازی فرآیند یعنی بدست آوردن اطلاعات خروجی به

کمک حل مدل ریاضی حاکم بر سیستم، که معمولاً به کمک روش

های عددی انجام می شود.

کار داشته باشیم؛ همچنین در مهندسی شیمی میتوان در بسیاری از

موارد نام Aspen plus، Aspen HYSYS و... را بشنوید.

هر کدام از این شبیه سازها مزایای مخصوص به خود و کاربرد های منحصر به فرد خود را دارند گرچه در بسیاری از فرآیندها هم پوشانی

میان امکانات این نرم افزارها وجود دارد که البته توضیح در مورد

هر یک زمان زیادی برده و از حوصله کلام خارج ست. ولی در این

مقاله میخواهیم در مورد یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای شبیه

سازی فرآیندهای پتروشیمی و پالایشگاهی صحبت کنیم: Promax

BR&E یا به اختصار Promax.

نرم افزار شبیه سازی Promax در حال حاضر یکی از قوی ترین

نرم افزارهای موجود برای شبیه سازی فرایندهای پالایشگاهی و

شیمیایی به شمار می آید. از قابلیت های ویژه این نرم افزار می

توان به بانک غنی مواد (یا به اصطلاح کامپوننت) آن و بسته های

ترمودینامیکی (property package) آن، مدل های آماده

برای حل راکتورها و برج های پیچیده که برای فرایندهای شیرین

سازی و بازیافت گوگرد به طور ویژه طراحی شده، اشاره کرد. نرم

افزار Promax دارای ویژگی منحصر به فردی در زمینه معادلات

ترمودینامیکی ویژه فرایندهای شیرین سازی و پالایشگاهی است.

امکانات ویژه این نرم افزار برای فرایندهای شیرین سازی گاز، آن را

متمایز و منحصر به فرد کرده است.

بگذارید با یک مثال برایتان توضیح دهم:

فرض کنید شما تمایل به شبیه سازی فرآیندی صنعتی مانند فرآیند

گوگردزدایی به روش کلاوس را داشته باشید. در نرم افزارهایی مانند

هایسیس، علاوه بر دانستن شرایط عملیاتی، واکنش هایی که در کوره

رخ میدهد و واکنش هایی که در WHB اتفاق می افتد، باید اطلاعات

دقیقی از سرعت انجام واکنش ها و ثوابتی چون انرژی فعال سازی و

دمای کووینچ و... نیز داشته باشید! یعنی به عبارتی کارتان زار ست!

اما در پرومکس چطور؟ کافیست با انتخاب خوراک ورودی و استفاده از

مدل های قدرتمند خود نرم افزار، محاسبات بسیاری از این موارد را به

این بزرگوار بسپارید!

شاید بگویید چطور؟ خب قدرت و تفاوت نرم افزار در همین بخش

مشخص میشود! اما در صورتی که تمایل دارید در مورد روش های

محاسبات خواص بیشتر اطلاع داشته باشید توصیه میکنم کتاب:

Bruce E. Poling اثر properties of gas and liquid

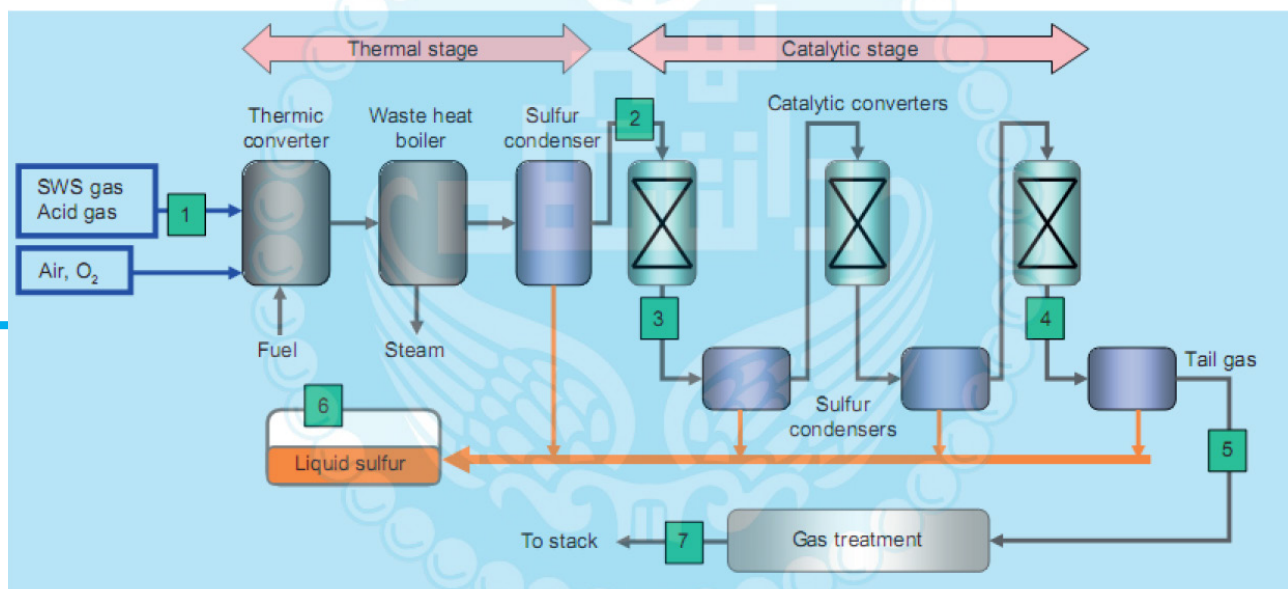
را مطالعه کنید که معمولاً برای درس ترمودینامیک پیشرفته استفاده

میشود. در این کتاب روش هایی برای محاسبه خواص سیستم و مواد

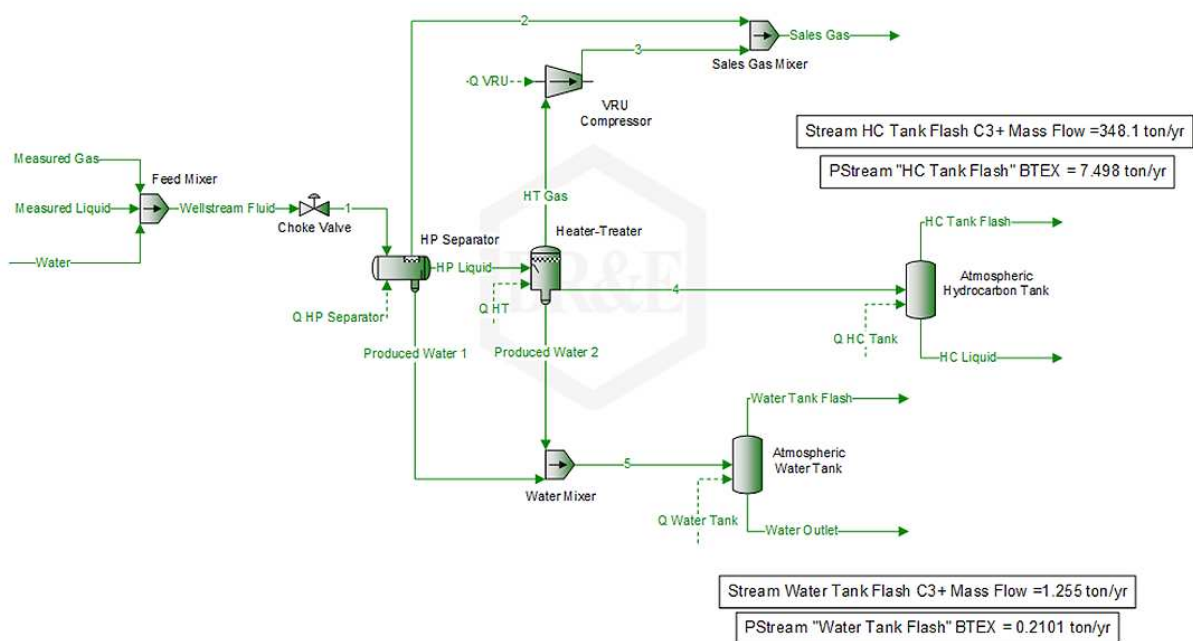
تنها با داشتن اطلاعات جزئی توضیح داده شده که میتواند برایتان

مفید باشد.

شرح فرآیند کلاوس



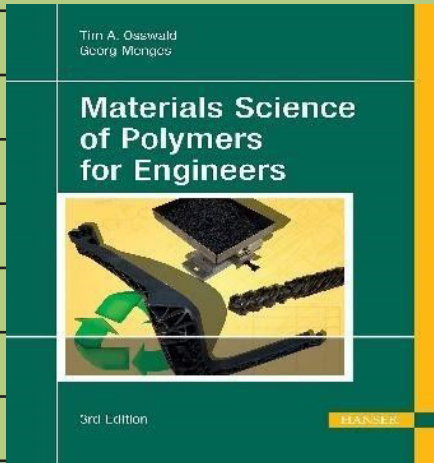
Well Site



راه های زیادی برای یادگیری یک مطلب و به خصوص نرم افزار وجود دارد؛ میتوانید با شرکت دوره های یادگیری شبیه سازی با پرومکس که آکادمی های مختلفی برگزار میکنند اقدام به یادگیری آن کنید، یا با فردی آشنا به نرم افزار برای یادگیری تعامل داشته باشید و یا به صورت خودخوان ، با استفاده از مقالات و کتاب ها و ویدئو های موجود، با نرم افزار آشنا شوید. یادتان نرود که حتی هر کدام از موارد بالا را انجام دهید، باز هم به تمرین و حل نمونه های مختلف برای تسلط به نرم افزار نیاز خواهد بود.

دکتر تیم اسوالد متولد سال ۱۹۵۸، فارغ‌التحصیل رشته مهندسی مکانیک و استاد تمام دانشگاه Wisconsin Madison واقع در ایالات متحده آمریکا، در زمینه شبیه‌سازی فرآیندهای اختلاط پلیمرها می‌باشد.

اسوالد تاکنون ۲۱ کتاب در زمینه مهندسی پلیمر تألیف و منتشر کرده است. تحقیقات وی شامل مدل‌سازی و شبیه‌سازی در فرآیند پلیمر، مهندسی پلاستیک و بایو پلیمرها می‌باشد.



از جمله کتاب‌های ایشان می‌توان به کتاب Materials Science of Polymers for Engineers اشاره کرد که فعالان و متخصصین این حوزه را در مورد خواص مواد و مهندسی فرآیند پلیمرها راهنمایی می‌کند.

وی بنیانگذار و مدیر فعلی مرکز مهندسی پلیمر است. این مرکز از سال ۲۰۰۱ تاکنون به حل مشکلات صنعت پلاستیک از طریق آموزش و تحقیق در دانشکده مهندسی دانشگاه Wisconsin Madison اختصاص یافته است. همچنین ایشان به‌عنوان سردبیر ژورنال Plastics Technology فعالیت می‌کند.

پروفسور اسوالد جوایز بی‌شماری از جمله جایزه پژوهشگر جوان بنیاد ملی علوم و جایزه VDI-K دکتر ریچارد-اسکالز را دریافت کرده است. ایشان در سال ۲۰۰۶ به‌عنوان استاد افتخاری در دانشگاه Friedrich Alexander در کشور آلمان منصوب شد. وی همچنین از بنیان‌گذاران گروه مدیسون و مدیر شرکت فنی مهندسی SIMTEC



دکتر تیم اسوالد
Dr. Tim Osswald

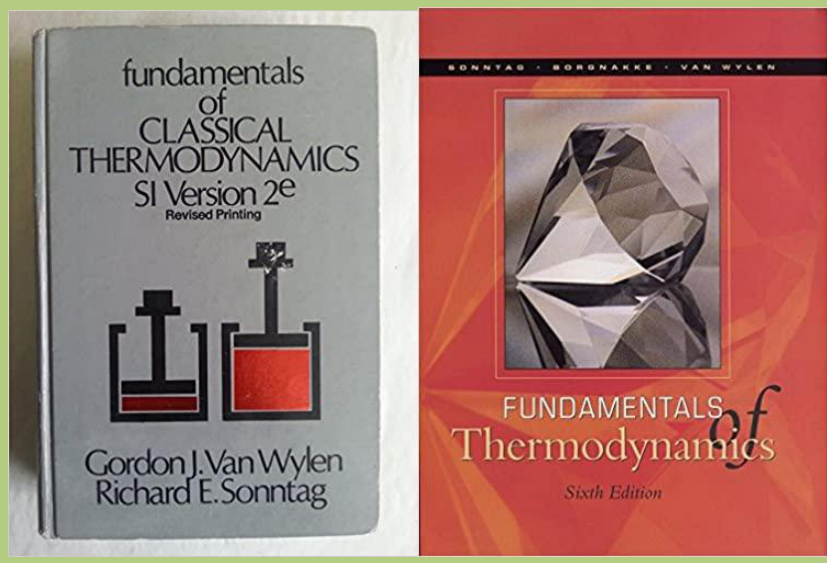


محمد میری
دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی
پلیمر دانشگاه تهران

دکتر گوردن جان ون وایلن*، فیزیکدان، استاد دانشگاه و مولف پر آوازه کتب ترمودینامیک دانشگاهی، در سال ۱۹۲۰ در میشیگان امریکا متولد شد.

وی لیسانس خود را از کالج کالوین، کارشناسی ارشد را از دانشگاه میشیگان و درجه دکترا را از دانشگاه MIT دریافت کرد.

در سال ۱۹۵۹، دکتر ون وایلن کتاب درسی مبانی ترمودینامیک را که تا به امروز به عنوان یکی از مهم ترین مراجع یادگیری این درس بشمار می رود، تالیف و منتشر کرد.



او در این کتاب اعتقاد به خالق را در جمع بندی قانون دوم ترمودینامیک اظهار داشت. همچنین بر اشاره قانون دوم ترمودینامیک و اصل افزایش آنتروپی نیز به مفاهیم فلسفی فراوان، تاکید داشت. سؤالی که او مطرح کرد این بود که در وهله اول چگونه جهان به وضعیت کاهش آنتروپی رسیده است؛ زیرا همه فرایندهای طبیعی شناخته شده برای ما تمایل به افزایش آنتروپی دارند.*

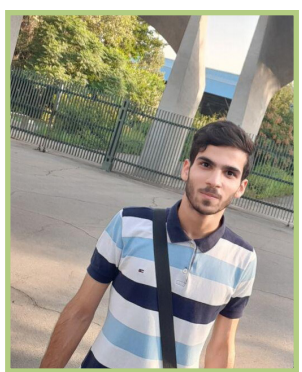
وی از سال ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۲ رئیس دپارتمان فیزیک دانشگاه میشیگان بود. همچنین در ۱۹۷۲ به عنوان رئیس دانشکده Hope در هلند، منصوب شد و تا زمان بازنشستگی در سال ۱۹۸۷ خدمت کرد. در نهایت دکتر ون وایلن در ۵ نوامبر ۲۰۲۰ به علت عوارض بیماری COVID-۱۹ در سن ۱۰۰ سالگی درگذشت.

یاد و خاطر وی به پاس خدمات ارزندهای به جهان علم و جویندگان آن عرضه داشت، تا ابد در خاطر تاریخ ماندگار خواهد ماند.

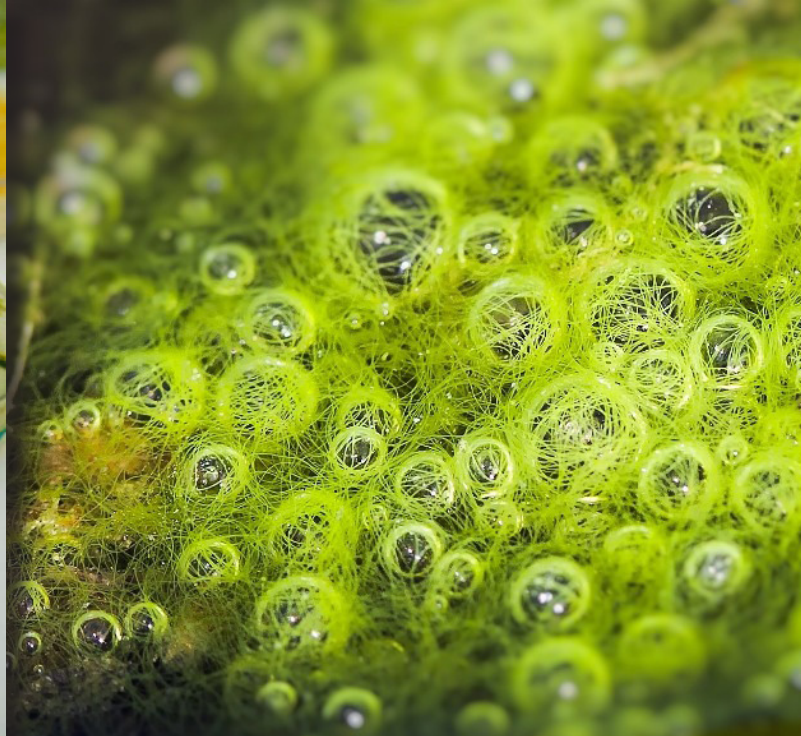
*Gordon John Van Wylen
کتاب آنتروپی روح دکتر ون وایلن *



ون وایلن

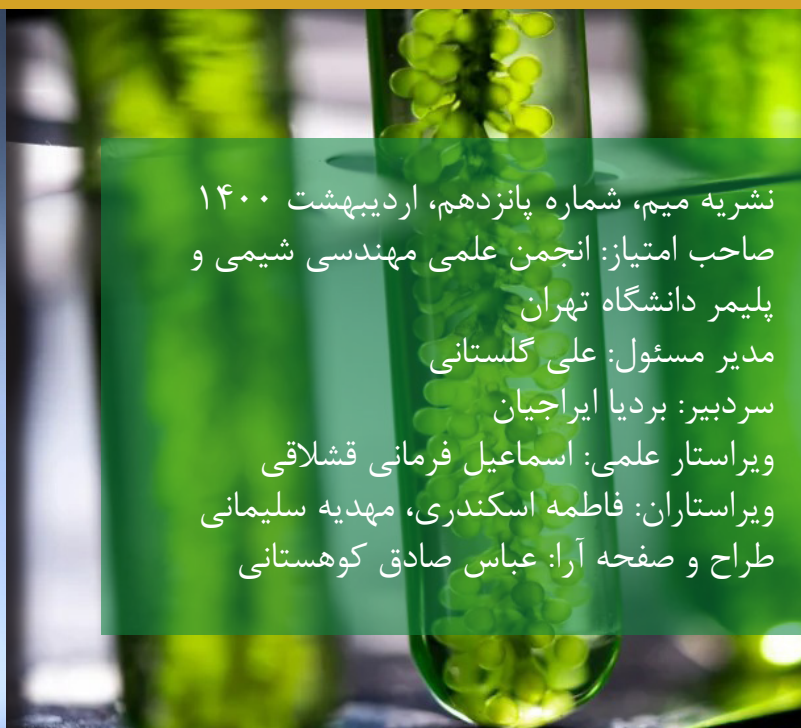


علی پورشعيب
دانشجوی کارشناسی رشته
مهندسی پلیمر دانشگاه تهران



جلبک ها آغازیانی هستند که در نزدیک یا داخل آب زندگی میکنند و انواع مختلفی دارند. ژاپن اولین کشوریست که صنعت کشت و پرورش جلبک را ابداع کرد. از جلبک برای غذای انسان، تهیه دارو، سوخت زیستی، تصفیه آب و فاضلاب و کشاورزی استفاده میشود.

(منبع: زیست فن)



نشریه میم، شماره پانزدهم، اردیبهشت ۱۴۰۰
صاحب امتیاز: انجمن علمی مهندسی شیمی و
پلیمر دانشگاه تهران
مدیر مسئول: علی گلستانی
سردبیر: بردیا ایراجیان
ویراستار علمی: اسماعیل فرمانی قشلاقی
ویراستاران: فاطمه اسکندری، مهدیه سلیمانی
طراح و صفحه آرا: عباس صادق کوهستانی