



موضوع :

انواع پلیمر (خواص و کاربرد ها)

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر اسدی

دانشجویان :

احسان جوانمردی

عباسعلی اشرفی

رشته ساخت و تولید

پاییز 89

مقدمه

تصور جهان پیشرفته کنونی بدون وجود مواد پلیمری مشکل می‌باشد. امروزه این مواد جزئی از زندگی ما شده‌اند و در ساخت اشیای مختلف، از وسایل زندگی و مورد مصرف عمومی تا ابزار دقیق و پیچیده پزشکی و علمی بکار می‌روند.

کلمه پلیمر از کلمه یونانی (Poly) به معنی چند و (Meros) به معنای واحد با قسمت بوجود آمده است. در این میان

ساختمان پلیمرها با مولکولهای بسیار دراز زنجیر گونه با ساختمان فلزات کامل متفاوت است. این مولکولهای بلند از اتصال و بهم پیوستن هزاران واحد کوچک مولکولی مرسوم به منومر تشکیل شده اند. مواد طبیعی مانند ابریشم، لاک، قیر طبیعی، کشانها و سلولز ناخن دارای چنین ساختمان مولکولی هستند

البته تا اوایل قرن نوزدهم میلادی توجه زیادی به مواد پلیمری نشده بود بومیان آمریکای مرکزی از برخی درختان شیرابه‌هایی استخراج می‌کردند که شیرابه بعدها نام لاتکس به خود گرفت. در سال 1829، دانشمندان متوجه شدند که در اثر مخلوط کردن لاتکس طبیعی با سولفور و حرارت دادن آن ماده‌ای قابل ذوب ایجاد می‌شود که می‌توان از آن محصولات مختلفی نظیر چرخ ارابه یا توپ تهیه کرد. در سال 1909 میلادی فنل فرمالدئید موسوم به باکلیت ساخته شد که در تهیه قطعات الکتریکی، کلیدها، پریزها و وسایل مصرف زیادی دارد.

در اثنای جنگ جهانی دوم موادی مثل نایلون پلی اتیلن، اکریلیک موسوم به پرسپکس به دنیا عرضه شد. نئوپرن را شرکت دوپان در سال 1932 ابداع و به شکل تجارتي ابتدا با نام دوپرن و بعدها نئوپرن عرضه کرد.

پلیمر

بشر با تلاش برای دستیابی به مواد جدید، با استفاده از مواد آلی (عمدتا هیدروکربنها) موجود در طبیعت به تولید مواد مصنوعی نایل شد. این مواد عمدتاً شامل عنصر کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد بوده و به نام مواد پلیمری معروف هستند. مواد پلیمری یا مصنوعی کاربردهای وسیعی، از جمله در ساخت وسایل خانگی، اسباب بازیها، بسته بندیها، کیف و چمدان، کفش، میز و صندلی، شلنگها و لوله های انتقال آب، مواد پوششی به عنوان رنگها برای حفاظت از خوردگی و زینتی، لاستیکهای اتومبیل و بالاخره به عنوان پلیمرهای مهندسی با استحکام بالا حتی در دماهای نسبتاً بالا در ساخت اجزایی از ماشین آلات دارند

پلیمرها خواص فیزیکی و مکانیکی نسبتاً خوب و مفیدی دارند. آنها دارای وزن مخصوص پایین و پایداری خوب در مقابل

مواد شیمیایی هستند. بعضی از آنها شفاف بوده و می توانند جایگزین شیشه ها شوند. اغلب پلیمرها عایق الکتریکی هستند. اما پلیمرهای خاصی نیز وجود دارند که تا حدودی قابلیت هدایت الکتریکی دارند. عایق بودن پلیمرها به پیوند کووالانسی موجود بین اتمها در زنجیرهای مولکولی ارتباط دارد. اما تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر نشان داد که امکان ایجاد خاصیت هدایت الکتریکی در امتداد محور مولکولها وجود دارد. این نوع پلیمرها اساسا از پلی استیلن تشکیل شده اند. با نفوذ دادن عناصری مانند فلزات قلیایی یا هالوژنها «فرایند دوپینگ» به زنجیرهای مولکولی پلی استیلن به ترتیب نیمه هادیهای پلیمری از نوع N و P به دست می آیند. افزودن عناصر یا دوپینگ سبب می شود که الکترونها بتوانند در امتداد اتمهای کربن در زنجیر حرکت کنند. تفلون از مواد پلیمری است که به دلیل ضریب اصطکاک پایینی که دارد به عنوان پوشش برای جلوگیری از چسبیدن مواد غذایی در وسایل پخت و پز استفاده می شود.

ساختار پلیمرها

اغلب پلیمرهای متداول از پلیمریزاسیون مولکولهای ساده آلی به نام منومر به دست می آیند. برای مثال پلی اتیلن (PE) پلیمری است که از پلیمریزاسیون با افزایش (ترکیب) چندین مولکول اتیلن به دست می آید. هر مولکول اتیلن یک منومر نامیده می شود. با ترکیب مناسبی از حرارت، فشار و کاتالیزور، پیوند دوگانه بین اتمهای کربن شکسته شده و یک پیوند ساده کووالانسی جایگزین آن می شود. اکنون دو انتهای آزاد این منومر به رادیکالهای آزاد تبدیل میشود، به طوری که هر اتم کربن یک تک الکترون دارد که می تواند به رادیکالهای آزاد دیگر افزوده شود. از این رو در اتیلن دو محل (مربوط به اتم کربن) وجود دارد که مولکولهای دیگر می توانند در آنجا بدان ضمیمه شوند. این مولکول با قابلیت انجام واکنش، زیر بنای پلیمرها بوده و به (مر) یا بیشتر واحد تکراری موسوم است. واحد تکراری در طول زنجیر مولکول پلیمر به تعداد دفعات زیادی تکرار میشود.

طول متوسط پلیمر به درجه پلیمرزاسیون یا تعداد واحدهای تکراری در زنجیر مولکول پلیمر بستگی دارد. بنابراین نسبت جرم مولکولی پلیمر به جرم مولکولی واحد تکراری به

توان (درجه پلیمریزاسیون) تعریف شده است. با بزرگتر شدن زنجیر مولکولی (در صورتی که فقط نیروهای بین مولکولی سبب اتصال مولکولها به یکدیگر شود) مقاومت حرارتی و استحکام کششی مواد پلیمری هر دو افزایش می یابند.

به طور کلی فرایند پلیمریزاسیون می تواند به صورتهای مختلفی مانند افزایشی، مرحله ای و ... انجام گیرد. در پلیمریزاسیون افزایشی، تعدادی از واحدهای تکراری به یکدیگر اضافه شده و مولکول بزرگتری را به نام پلیمر تولید می کنند. در این نوع پلیمریزاسیون ابتدا در مرحله اول رادیکال آزاد، با دادن انرژی (حرارتی، نوری) به مولکولهای اتیلین با پیوند دوگانه و شکست پیوند دوگانه، به وجود می آید. سپس رادیکالهای آزاد با اضافه شدن به واحدهای تکراری مراکز فعالی به نام آغازگر شکل میگیرند و هر یک از این مراکز به واحدهای تکراری دیگر اضافه شده و رشد پلیمر ادامه می یابد.

از نظر تئوری درجه پلیمریزاسیون افزایشی می تواند نامحدود باشد، که در این صورت مولکول زنجیره ای بسیار طولی از اتصال تعداد زیادی واحدهای تکراری به یکدیگر شکل می گیرد. اما عملاً رشد زنجیر به صورت نامحدود صورت نمی گیرد. هر چه قدر تعداد مراکز فعال یا آغازگرهای شکل گرفته بیشتر باشد، تعداد زنجیرها زیادتر و نتیجتاً طول زنجیرها کوچکتر میشود و بدین دلیل است که خواص پلیمرها تغییر می کند. البته سرعت رشد نیز در اندازه طول زنجیرها موثر است. هنگامی که واحدهای تکراری تمام و زنجیرها به یکدیگر متصل شوند، رشد خاتمه می یابد. از دیگر روشهای پلیمریزاسیون، پلیمریزاسیون مرحله ای است که در آن منومرها با یکدیگر واکنش شیمیایی داده و پلیمرهای خطی را به وجود می آورند. در بسیاری از واکنشهای پلیمریزاسیون مرحله ای مولکول کوچکی به عنوان محصول فرعی شکل می گیرد. این نوع واکنشها گاهی پلیمریزاسیون کندنزاسیونی نیز نامیده می شوند.

شاخه های پلیمر

اولین قدم در زمینه صنعت پلاستیک توسط فردی به نام واسپاهیات انجام گرفت وی در تلاش بود ماده ای را به جای عاج فیل تهیه کند. وی توانست فرآیند تولید نیترات سلولز را از سلولز ارائه کند. در دهه 1970 پلیمرهای هادی به

بازار عرضه شدند که کاربرد بسیاری در صنعت رایانه دارند زیرا مدارها و IC های رایانه‌ها از این مواد تهیه می‌شوند. و در سالهای اخیر مواد هوشمند پلیمری جایگاه تازه‌ای برای خود سنسورها پیدا کردند. پلیمرها را می‌توان از 7 دیدگاه مختلف طبقه بندی نمود. صنایع، منبع، عبور نور، واکنش حرارتی، واکنش‌های پلیمریزاسیون، ساختمان مولکولی و ساختمان کریستالی. از نظر صنایع مادر پلیمرها به چهار گروه صنایع لاستیک، پلاستیک، الیاف، پوششی و چسب تقسیم بندی می‌شوند. اینها صنایع مادر در پلیمرها می‌باشند اما صنایع وابسته به پلیمر هم فراوان هستند مانند صنعت پزشکی در اعضای مصنوعی، دندان مصنوعی، پرکننده‌ها، اورتوپدی از پلیمرها به وفور استفاده می‌شود. پلیمرها از لحاظ منبع به سه گروه اصلی تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از پلیمرهای طبیعی، طبیعی اصلاح شده و مصنوعی.

رزین

منابع طبیعی رزینها، حیوانات، گیاهان و مواد معدنی می‌باشد. این پلیمرها به سادگی شکل پذیر بوده لیکن دوام کمی دارند. رایج عبارتند از روزین، آسفالت، تار، کمربا، سندروس، لیگنپین، لاک شیشه‌ای می‌باشند. رزین‌های طبیعی اصلاح شده شامل سلولز و پروتئین می‌باشد سلولز قسمت اصلی گیاهان بوده و به عنوان ماده اولیه قابل دسترسی برای تولید پلاستیکها می‌باشد کازئین ساخته شده از شیر سرشیر گرفته، تنها پلاستیک است که در عرصه تجارت نسبتاً موفق است.

پلیمر مصنوعی

پلیمرهای مصنوعی را می‌توان از طریق واکنش‌های پلیمریزاسیون بدست آورد. از مواد پلیمری می‌توان در تهیه پلاستیکها، چسبها، رنگها، ظروف عایق، مواد پزشکی بهره جست. پلاستیکها به تولید طرحهای جدید در اتومبیلها، کامیونها، اتوبوسها، وسایل نقلیه سریع، هاورکرافت، قایقها، ترنها، آلات موسیقی، وسایل خانه، یراق آلات

ساختمانی و سایر کاربردها کمک نموده اند در ادامه به بررسی کاربرد چندین پلیمر می‌پردازیم :

پلیمرهای بلوری مایع (LCP)

این پلیمرها بتازگی در بین مواد پلاستیکی ظهور کرده است. این مواد از استحکام ابعادی بسیار خوب، مقاومت بالا، مقاومت در مقابل مواد شیمیایی توام با خاصیت سهولت شکل پذیری برخوردار هستند. از این پلیمرها می‌توان به پلی اتیلن با چگالی کم قابل مصرف در ساخت عایق الکتریکی، وسایل خانگی، لوله و بطریهای یکبار مصرف، پلی اتیلن با چگالی بالا قابل مصرف در ظروف زباله‌ها بطری، انواع مخازن و لوله برای نگهداری و انتقال سیالات، پلی اتیلن شبکه‌ای، پلی پروپیلن قابل مصرف در ساخت صندوق، قطعات کوچک خودرو، اجزای سواری، اسکلت صندلی، اتاقک تلویزیون و... اشاره نمود :

پلیمرهای زیست تخریب پذیر:

این پلیمرها در طی سه دهه اخیر در تحقیقات بنیادی و صنایع شیمیایی و دارویی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. زیست تخریب پذیری به معنای تجزیه شدن پلیمر در دمای بالا طی دوره مشخص می‌باشد که بیشتر پلی استرهای آلیفاتیک استفاده می‌شود. از این پلیمرها در سیستم‌های آزاد سازی دارویی با رهایش کنترل شده یا در اتصالات، مانند نخ‌های جراحی و ترمیم شکستگی استخوانها و کپسولهای کاشتی استفاده می‌شود.

پلی استایرن

این پلیمر به صورت گسترده‌ای در ساخت پلاستیکها و رزینهایی مانند عایقها و قایقهای فایبر گلاس در تولید لاستیک، مواد حد واسط رزینهای تعویض یونی و در تولید کوپلیمرهایی مانند ABS و SBR کاربرد دارد. محصولات تولیدی از استایرن در بسته بندی، عایق الکتریکی - حرارتی، لوله‌ها، قطعات اتومبیل، فنجان و دیگر موادی که در ارتباط با مواد غذایی می‌باشند، استفاده می‌شود.

لاستیکهای سیلیکون

مخلوط بسیار کانی- آلی هستند که از پلیمریزاسیون انواع سیلابها و سیلوکسانها بدست می‌آیند. با اینکه گراند ولی مقاومت قابل توجه در برابر گرما به استفاده منحصر از

این لاستیکها در مصارف بالا منجر شده است. این ترکیبات اشتغال پذیری نسبتا پایین، گرانی کم در درصد بالای رزین، عدم سمیت، خواص بالای دی الکتریک، حل ناپذیری در آب و الكلها و ... دارند به دلیل همین خواص ترکیبات سیلیکونبه عنوان سیال هیدرولیک و انتقال گرما، روان کننده و گریس، دزدگیر برای مصارف برقی، رزینهای لایه کاری و پوشش و لعاب مقاوم در دمای بالا و الكلها و مواد صیقل کاری قابل استفاده اند. بیشترین مصرف اینها در صنایع هوا فضا است.

لاستیک اورتان

این پلیمرها از واکنش برخی پلی گلیکولها با دی ایزوسیاناتهای آلی بدست می آیند. مصرف اصلی این نوع پلیمرها تولید اسفنج انعطاف پذیر و الیاف کشسان است. در ساخت مبلمان، تشک، عایق - نوسانگیر و ... بکار می روند. ظهور نخ کشسان اسپندکس از جنش پلی یوره تان به دلیل توان بالای نگهداری این نوع نخ زمینه پوشاک ساپورت را دگرگون کرده است.

شیمی پلیمر

سیر تحولی

استات سلولزدر سال 1894 توسط "بران دکرس" سنتز شد و در سال 1905 توسط "میلس" کامل شد. در سال 1900، "رم" ، پلیمریزاسیون ترکیبات آکرلیک را آغاز کرد و در سال 1901، "اسمیت" نخستین فتالات گلسیرین (یافتالات گلسیریل) را تهیه کرد. در اواسط قرن بیستم در آلمان ، "اشتودینگر" ، قانون مهم ساختار مولکولهای بزرگ را وضع کرد. در سال 1934، کارخانه (ICI) موفق به تهیه مولکولهای بزرگ پلی اتیلن شد. "دوپن" بطور منظم در زمینه تراکم مواد بررسیهایی انجام داد که در نتیجه ، به تهیه پلی آمیدهای یعنی الیاف نایلون نایل شد و الیاف پلی آمیدرا ازکاپرولاکتام تهیه کرد که به الیاف پرلون شهرت یافت.

نقش و تاثیر پلیمرها در زندگی

کاغذ ، چوب ، نایلون ، الیاف پلی استر ، ظروف ملامین ، الیاف پلی اتیلن ، اندود تفلون ظروف آشپزی ، نشاسته ، گوشت ، مو ، پشم ، ابریشم ، لاستیک اتومبیل و... ، ماکرومولکولهایی هستند که روزانه با آنها برخورد می‌کنیم.

چند کاربرد مهم پلیمرها

پلی آمید (نایلون)

برای تهیه الیاف، طناب، تسمه، البسه، پلاستیک صنعتی، جایگزین فلز در ساخت غلتک یا تاقان، بادامک، دنده، وسایل الکتریکی بکار می‌رود.

پلی استر

بصورت الیاف، جهت تهیه انواع لباسها، نخ لاستیک، بصورت لایه برای تهیه نوار ضبط صوت و فیلم بکار می‌رود.

پلی اتیلن (کمچگالی ، شاخه دار)

بصورت لایه ورقه در صنایع بسته بندی، کیسه پلاستیکی، الیاف پارچه بافتنی، بسته بندی غذای منجمد، پرده، پوشش پلاستیکی، عایق، سیم و کابل، بطری بکار می‌رود.

پلی استیرل

برای تهیه رزینهای تبادل یونی، انواع کوپلیمرها، رزینهای ABC، مواد اسفنجی، وسایل نوری، وسایل خانگی، اسباب بازی، مبلمان بکار می‌رود



پلیمرهای اسفنجی

نگاه کلی

اسفنجها مواد متخلخلی هستند که حبابهای گاز در حفره‌های آنها حبس شده است. اسفنج ها انواع گوناگونی دارند و با توجه به نرمی یا سختی کاربردهای مختلفی دارند. از اسفنج های نرم در تهیه بالش و تشک و ... استفاده می‌شود و اسفنج های سخت و با چگالی گوناگون مصارف گوناگونی در تهیه وسایل خانگی و صنعتی دارند. امروزه گونه‌های زیادی از اسفنجها شناخته شده و تولید و مصرف می‌شوند. پلی‌اورتانه‌ها و پلی‌استایرن از عمده‌ترین و پرمصرفترین اسفنجها می‌باشند.

انواع اسفنج

اسفنج ها با توجه به ساختار سلولی به دو گونه نرم و سخت تقسیم می‌شوند. اسفنج های سخت، سیستمهای بسته سلولی و متخلخل هستند و اسفنج های نرم سیستمهای باز می‌باشند. برای اینکه اسفنجی انعطافپذیر باشد، باید دارای سلولهای باز باشد تا هنگام فشردگی هوای داخل آنها خارج شود.

تشکیل اسفنج

رزینهای پلاستیکی را می‌توان با روشهای زیر بصورت اسفنج درآورد:
فرآورده‌های جنبی گازی که طی واکنش پلیمریزاسیون تشکیل می‌شوند.
تبخیریک مایع که دارای نقطه جوش پایین باشد.
واکنش شیمیایی یک عامل پُفکننده ثانوی که بوسیله حرارت فعال می‌شود.

رسانایی گرمایی اسفنج ها

رسانایی گرمایی در اسفنج های با چگالی کم، اندکی بیشتر از رسانایی گاز حبس شده در سلولهای آنهاست. هرچه وزن مولکولی گاز بیشتر باشد، رسانایی گرمایی کمتر می‌گردد. گازهایی که رسانایی گرمایی کمتری دارند، در تهیه اسفنج های نارسانا بکار می‌روند. ممکن است در اثر مرور زمان، گاز اسفنج از آن خارج شده و گازهای دیگر مثل هوا یا بخار آب در آن وارد شود. فرئونها (گازهای فلئوروکربن) معمولادر سلولهای پلی اورتان ماندگارترند،

اما هوا و آب هم ممکن است وارد سلولها شوند و رسانایی گرمایی اسفنج را حدود 20 تا 40 درصد افزایش دهند.

رسانایی گرمایی	نقطه جوش	جرم مولکولی	فرمول شیمیایی	جدول : برخی گازهای مورد استفاده در تهیه اسفنجها گاز
28.4	253 -	2	H2	هیدروژن
62.0	196-	28	N2	نیتروژن
62.0	183-	32	O2	اکسیژن
43.0	100	18	H2O	بخار آب
40.0	78-	44	CO2	دی اکسید کربن
34.0	36	72	C5H12	پنتان
23.0	30-	121	CCl2F2	فلوئوروکربن 12
18.0	24	127	CCl3F	فلوئوروکربن 11

نمونه اسفنج های کاربردی

جدول نمونه ای از اسفنج هایی که امروزه به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرند

اسفنج	نوع	سلول	گستره چگالی M ³ /Kg	حداکثر دمای کار بر درجه سانتی گراد
گرما سختها				
پلی اورتان	سخت	بسته	+24 – 640	93 – 121
پلی اورتان	انعطاف پذیر	باز	5 – 320 . 14	66 – 93
پلی ایزو سیانورات	سخت	بسته	+24 – 320	+149
فنولی	سخت	باز یا بسته	1 – 352 . 5	+149
اوره فرمالدئید	نیمه سخت	کمی بسته	13 – 19	49
پلی آمید	سخت	باز یا بسته	32 – 640	260
گرمانرم				
پلی استیرن	سخت	بسته	16 – 160	79
پلیاتیلن	نیمه سخت	بسته	21 – 800	82
پلی وینیل کلرید	سخت	بسته	32 – 64	93
پلی وینیل کلرید	انعطاف پذیر	باز یا بسته	46 – 960	62 – 107
نایلون	سخت	بسته	640 – 960	149

اسفنج های گرماسخت: پلیمرهایی که در اثر گرما به پلیمرهای غیر قابل ذوب و انحلال ناپذیر تبدیل می‌شوند. اسفنج های گرمانرم: پلیمرهایی که در اثر گرما می‌توانند ذوب یا نرم شوند.

فرایند پلیمریزاسیون

دید کلی

اصولا هر کسی که سر رشته‌ای از شیمی دارد، فرق بین یک جسم ساده ارگانیک مانند بنزن و ... و یک جسم پلیمری را می‌داند. اولین و عمده‌ترین فرقی که بین این دو نوع ماده وجود دارد، جرم مولکولی آنهاست. پلیمرها جرم مولکولی بسیار بالا از 10000 تا چندین میلیون دارند. پس جرم مولکولی، شاخص تمایز بین جسم ساده ارگانیک و اجسام پلیمری است.

انواع پلیمرها

پلیمرها را به سه گروه عمده تقسیم می‌کنند:

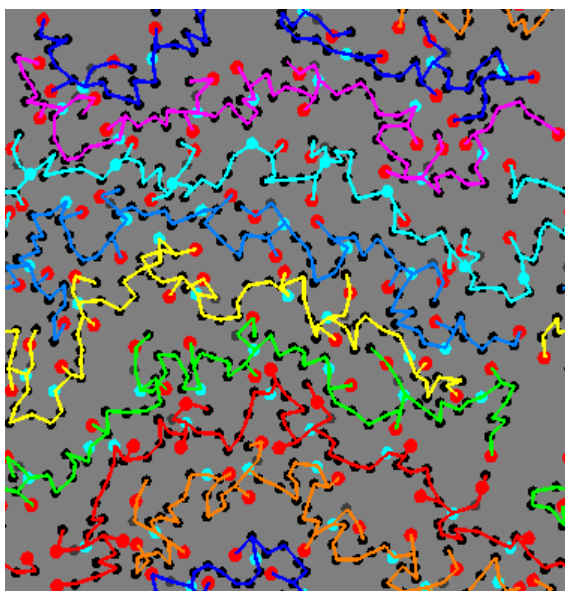
بیوپلیمرها یا پلیمرهای طبیعی مانند سلولز، نشاسته، پروتئینها و ...

پلیمرهای معدنی مانند الماس، گرافیت، اکثر اکسیدهای فلزی و ...

پلیمرهای سنتزی پلیمرهایی هستند که منشا آنها عموماً مونومرهای از نفت خام و قطران زغال سنگ است و ما با انجام فرآیندهایی،

پلیمرهای بسیار مفید می‌سازیم که

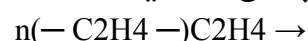
امروزه زندگی بدون آنها ممکن نیست. با این فرایندها بطور کلی آشنا می‌شویم.



پلیمریزاسیون افزایشی

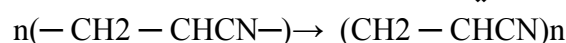
در این نوع پلیمریزاسیون، از ترکیباتی که بنده دوگانه (C=C) دارند، پلیمر می‌سازند. مثل تولید پلی اتیلن از اتیلن.

پلی اتیلن



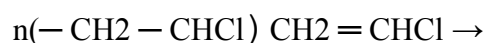
در این واکنش، اتیلن در اثر حرارت به پلی اتیلن تبدیل می‌شود. جرم مولکولی پلی اتیلن بین 1000 تا 20000 می‌تواند متفاوت باشد. یعنی بر حسب شرایط، درجه پلیمریزاسیون یعنی همان n مولکول پلیمر را می‌توان کم یا زیاد کرد.

آکریلان



این پلیمر نیز از مشتقات اتیلن است. مونومر این پلیمر، سیانید ونیل (آکریکونیتریل) است.

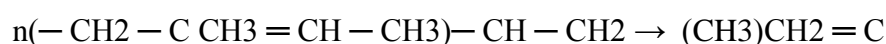
PVC



پلی وینیل کلراید یا PVC نیز از پلیمریزاسیون کلرید وینیل $CH_2=CHCl$ بوجود می‌آید. کائوچوبر دو نوع است:

کائوچوی طبیعی:

کائوچوی طبیعی که از شیره درختی به نام Hevea بدست می‌آید، از پلیمریزاسیون هیدروکربنی به نام 2- متیل -3، 1- بوتادین معروف به ایزوپرن به فرمول $CH_2=C(CH_3)-CH-$ بوجود می‌آید:



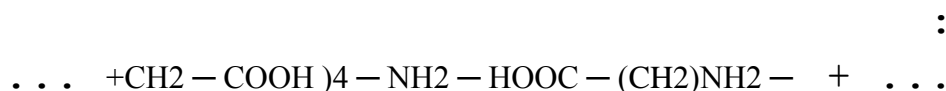
کائوچوی مصنوعی:

چون در فرمول ساختمانی کائوچوی طبیعی پیوند دوگانه وجود دارد، به همین دلیل وقتی کائوچو را باگوگرد حرارت دهیم، این مونومرها پیوند پی خود را باز می‌کنند و با ظرفیتهای آزاد شده، اتم گوگرد را می‌گیرند. در نتیجه کائوچو به لاستیک تبدیل می‌گردد. حرارت دادن کائوچو باگوگرد و تولید لاستیک را اصطلاحاً ولکانیزاسیون (Vulcanization) می‌نامند و بهمین دلیل لاستیک حاصل را نیز کائوچوی ولکانیزه گویند چند نوع کائوچوی مصنوعی نیز ساخته‌اند که از موادی مانند 1،3- بوتادین و جسمی به نام 2- کلرو 3، 1- بوتادین معروف به کلروپرنه فرمول $\text{CH}_2=\text{CHCl}-\text{CH}=\text{CH}_2$ و جسم دیگری به فرمول $\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$ به نام 2، 3- دی متیل - 3، 1- بوتادینبه تنهایی یا مخلوط درست شده‌اند. کلروپرن بهسولت پلیمریزه شده و به نوعی کائوچوی مصنوعی به نام نئوپرن تبدیل می‌شود.

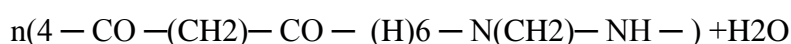


پلیمریزاسیون تراکمی

اگر در یک پلیمریزاسیون، بر اثر واکنش مونومرها باهم، مولکولهای کوچکی مثل H_2O و NH_3 و... خارج شوند، این نوع پلیمریزاسیون را تراکمی می‌نامند. مثل پلیمریزاسیون گلوکز در تولید نشاسته و سلولز که منجر به خارج شدن آب می‌گردد و یا مثل بوجود آمدن نایلون که مانند مواد پروتئینی یک پلی آمید است و پلیمر شدن یک آمین دو ظرفیتی به نام هگزا متیلن دی آمینبه فرمول $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ با یک اسید دو ظرفیتی به نام اسید آدیپیک $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ بوجود می‌آید. در این عمل، عامل OH_- اسید از دو طرف با هیدروژن گروه آمین NH_2- تشکیل آب داده و خارج می‌شوند و باقیمانده‌های مولکولهای آنها با هم، زنجیر پلیمر را بوجود می‌آورند. به شکل زیر



نایلون:



پلیمریزاسیون اشتراکی (کوپلیمریزاسیون)

اگر در عمل پلیمریزاسیون ، 2 مونومر مختلف با هم بطور مشترک پلیمر شوند و یک پلیمر را بوجود آورند، آن را کوپلیمر می‌نامند. مثلاً یک نوع لاستیک وجود دارد، به نام بونا-S که از پلیمریزاسیون دو جسم مختلف یکی به نام 3 ، 1- بوتادیان $CH_2 = CH - CH = CH_2$ و دیگری به نام وینیل بنزن (استیرن) $C_6H_5 CH = CH_2$ بوجود می‌آید که قسمتی از فرمول ساختمانی آن به شکل زیر است:



لاستیک طبیعی

لاستیک به ماده مهم اقتصادی و راهبردی تبدیل شده است. در ایالات متحده ، مصرف سرانه لاستیک تقریباً 16/8 و در هندوستان تنها 0/22 است. صنایع حمل و نقل، شیمیایی، برق و الکترونیک و همچنین فضایی همگن از مصرف کنندگان اصلی لاستیک هستند. وقتی تولید لاستیک طبیعی (کائوچو) بدلیل تهاجم ژاپن به مناطق تولید لاستیک سنتزی کرد که به سرعت هم توسعه یافت. بطوری که در حال حاضر 88 درصد لاستیک مصرفی در ایالات متحده منشا سنتزی دارد. صنعت لاستیک موارد زیر را شامل می‌شود. تولید مواد اولیه لاستیک‌های سنتزی، انواع گوناگون لاستیک، واردات لاستیک طبیعی، تولید افزودنی‌های لاستیک و نهایتاً ساخت فرآورده‌های لاستیکی. در ابتدای جنگ جهانی دوم وقتی تولید لاستیک طبیعی (کائوچو) بدلیل تهاجم ژاپن به مناطق تولید لاستیک متوقف شد. ایالات متحده اقدام به ساخت واحدهای تولید لاستیک سنتزی کرد که به سرعت هم توسعه یافت. به طوری که در حال حاضر 88 درصد لاستیک مصرفی در ایالات متحده منشا سنتزی دارد. بنابراین عموماً لاستیک ها را به دو نوع لاستیک طبیعی و لاستیک سنتزی طبقه بندی می‌کردند. امروزه لاستیکها را به روشهای مختلف دسته بندی می‌کنند.

منابع لاستیک طبیعی (کائوچو)

گیاهان بیشماری از جمله قاصدک، گوایل، گل روبینه و توت آمریکایی به عنوان منبع لاستیک پیشنهاد شده بودند. ولی هیچ یک توفیق درخت شیرابه ساز هوا برزیلی نسیسو همچنین

صمغ درخت ساپوریل و درخت بالاتارا نداشته است. لاستیک طبیعی عمدتاً در کشتزارهای مالزی، اندونزی، لیبریا و همسایگان‌شان تولید شد، احتمالاً به این علت که آنها مشکل بیماری‌های قارچی و حشرات را که کشتزارهای بومی در آمریکا را تهدید می‌کرد نداشتند. حدود 7 سال زمان لازم است تا این درختان به سن باروری برسند و پس از آن به مدت چند سال بار می‌دهند. بهره‌برداری در طول جنگ دوم افزایش یافت و در حال حاضر از کشف انواع اصلاح شده درخت، بهره‌ای بیش از 3000 کیلوگرم در هکتار (در سال) بدست می‌آید.

ساختار لاستیک طبیعی

لاستیک طبیعی یا کائوچو، سیس-1، 4- پلی ایزوپرن است و مولکولهای آن بر اثر کشش، بلوری می‌شوند، بدین ترتیب شکل مطلوبی از تقویت حاصل می‌شود. به عنوان پیش‌نیاز ساختاری، مولکولهای لاستیکهای طبیعی و سنتزی باید طویل باشند. خاصیت مشخصه کشیدگی برگشت‌پذیر به دلیل ترتیب اتفاقی و کلافی زنجیرهای بلند بسپاری است. بر اثر کشش، زنجیرها بهم می‌خورند ولی مثل یک فلز، پس از رها کردن تنش به شکل کلافی خود بر می‌گردند. لاستیک طبیعی 6 تا 8 درصد مواد غیر پلاستیکی دارد و در برابر گرما اندوزی مقاومت زیادی نشان می‌دهد.

روش تهیه لاستیک طبیعی

برای بدست آوردن شیرابه، پوست درخت را طوری بر می‌دارند که مایع در فنجانهای کوچکی جمع شود، فنجانها باید مرتباً جمع‌آوری شوند تا از گندیدگی یا آلودگی شیرابه جلوگیری شود. پس از آن شیرابه به محل جمع‌آوری برده می‌شود و در آنجا پس از صاف شدن با افزودن آمونیاک محافظت می‌شود. لاستیک از طریق فرآیندی موسوم به انعقاد جدا می‌شود. این کار با افزودن اسیدها یا نمکهای مختلف انجام می‌گیرد. در طی این عمل، لاستیک به شکل یک توده سفید خمیری از مایع جدا می‌شود، و سپس از آن با استفاده از غلتک ورقه‌ای و در نهایت خشک می‌گردد.

روش جدیدتر این است که با استفاده تیغه‌های دوار یا اعمال برش بین دو غلتکی که با سرعت متفاوت می‌چرخند، شیرابه منعقد شده را به دانه تبدیل می‌کنند. دانه‌ها سپس به مدت چند ساعت در خشک‌کن‌های مکانیکی خشک می‌شوند، این

عمل در روش قدیمی که از هوا یادود چوب برای خشک کردن استفاده می شد چندین روز به طول می انجامید. به هر صورت ورقه یا دانه خشک شده متراکم و از آن مدلهایی به وزن **33** کیلوگرم می سازند. مقداری از لاستیک طبیعی بصورت شیرابه به بازار عرضه می شود. پیش از آنکه لاستیک را بتوان با انواع افزودنیهای لازم آمیزه کاری مثل دوده (به عنوان پرکن) گوگرد یا ترکیبات گوگردی، تسریع کننده و واکنش، ضد اکسند محافظ و روغن بر روی همان غلتکها یا مخلوطکن ممکن است به ارتفاع یک ساختمان دو طبقه باشد و در عین حال تنها مقدار کمی لاستیک را در یک زمان می توانند عمل آورند. یک نمونه مخلوطکن ممکن است به ارتفاع یک ساختمان دو طبقه باشد و در عین حال تنها بسته های **250** کیلوگرمی را جابگو باشد. پس از اختلاط، لاستیک با روزن رانی یا قالب گیری به شکل محصول دلخواه در می آید و بعد پخت می شود. و واکنشی به یک پلیمر سخت شبکه ای می انجامد که با گرمادهی مجدد نرم و با ذوب نمی شود.

لاستیک سنتزی

تیکهای سنتزی به دو گروه واکنش پذیر و واکنش ناپذیر دسته بندی شده اند. این کار از طریق ترکیب شیمیایی زنجیر بسپار هم انجام می گیرد. پرمصرفترین لاستیک سنتزی SBR است. از دیگر کشپارهای معمولی می توان پلی بوتادی ان، پلی اتیلن - پروپیلن ، لاستیک پوتیل ، نئوپرن ، لاستیکهای نیتریل و پلی ایزوپرن را نام برد.

تولید مواد اولیه لاستیکهای سنتزی

مواد اولیه ای یاتکپارهایی که بطور عمده در تولید لاستیکها مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از :

بوتادیان

بخش عمده بوتادی ان به عنوان محصول جانبی از کراکینگ نفت (با بخار) در تولید اتیلن بدست می آید. هیدروژن زدایی از بوتان یا بوتن روش دیگری است که در صورت کمی تولید بصورت عملیات یک مرحله ای یا دومرحله ای انجام می گیرد. تولید سالانه بوتادی ان حدود $1/8$ میلیون تن است.

استیرن :

عمدتاً در تولید پلاستیکهای پلی استیرن به کار می‌رود. روش عمده تولید استیرن از طریق واسطه اتیل بنزن است. ابتدا بنزن با اتیلن آلکیل‌دار می‌شود. سپس بر روی کاتالیزگر کلرید آلومینیم، اسید فسفریک جامد یا سیلیس - آلومین به استیرن هیدروژن زدایی می‌شود.

اکریلونیتریل :

عمدتاً از روش سوهیو ساخته می‌شود. در این فرآیند، پروپیلن در یک واکنشگاه کاتالیزی سیال بستر با هوا و آمونیاک عمل می‌شود. سیال خروجی در یک واحد خوب دوسویه تصفیه و آکریلونیتریل از طریق تقطیر جز به جز جدا می‌شود.

کلروپرن :

تکپاری است که از آنلاستیک نئوپرن ساخته می‌شود. این ماده از استیلن و هیدروژن کلرید بدست می‌آید. ابتدا استیلن به مونو وینیل استیلن، دimer می‌شود (دیمریزاسیون). سپس در واکنش با کلرید هیدروژن به کلروپرن تبدیل می‌گردد.

ایزو بوتیلن:

تکپار مصرفی در ساخت لاستیک بوتیل است و از تقطیر مشتقات گازی نفت بدست می‌آید.

ایزوپرن

ایزوپرن را می‌توان از هیدروژن زدایی ایزوپنتال تولید کرد. ایزوپرن از پروپیلن هم ساخته می‌شود. همچنین از ایزوبوتیلن و متانول می‌توان ساخت و محصولی که به این روش بدست می‌آید خلوص بالایی دارد. اتیلن و پروپیلن از برشهای سبک نفتی به راحتی بدست می‌آید و این دو ترکیب را می‌توان از کراکینگ پروپان با برشهای سنگین تر (توسط بخار) تهیه کرد.

روش تولید لاستیک سنتزی

روش امولسیون سرد

بسپاری در یک امولسیون در دمای 5 درجه سانتیگراد و به مدت 8 تا 12 ساعت انجام می‌گیرد. این عمل اغلب در یک مجموعه واکنشگاه انجام می‌گیرد. واکنش در 60 تا 75 درصد تبدیل خاتمه می‌یابد. امولسیون به صورت شیرابه در مخازن

ذخیره انبار و برای رسیدن به نوع لاستیک مورد نظر با دستور کار مناسبی مخلوط می‌شود. مخلوط ابتدا منعقد، سپس کاملاً شستشو و پیش از عملیات خشکاندن آبگیری می‌شود. به عمده لاستیکهای SBR پیش از واکنش روغن زده می‌شود. نرم شدن لاستیک با روغن با اضافه کردن دوده جبران می‌شود.

روش محلول

در این نوع بسپارش، کنترل بیشتری بر ساختار فضایی بسپار حاصل و طبعاً خواص فیزیکی آن وجود دارد. توزیع واحدهای استیرن در طلوع زنجیراتفاقی است. این بسپارش نسبت به بسپارش امولسیون، مقاومت سایشی و خستگی بهتر، جهندگی بالاتر و گرما اندوزی کمتر دارد. در شرایط ویژه بسپارش، همبسپارهای دسته ای استیرن و بوتادیان را می‌توان تولید کرد. این بسپارها گرما نرم اند و برای اینکه مفید باشند به واکنشی نیازی ندارند.

نکات قابل توجه در تولید لاستیک سنتزی

بازیابی تکپار

کیفیت لاستیک و سرعت واکنش هر دو با پیشرفت بسپارشی کاهش می‌یابند، به همین علت رسم بر این است که واکنش پیش از تبدیل کامل متوقف شود. بازیابی تکپار واکنش نکرده و تخلیص، مرحله ضروری در واحد صنعتی تولید لاستیک سنتزی است. روشهای بازیابی از طریق عریانسازی با بخار شیرابه‌ها یا تقطیر از سیستم حلال بکار گرفته می‌شود.

انعقاد و خشکاندن

فرایند تکمیل معمولاً رسوب دهی لاستیک از امولسیون شیرابه یا از محلول حلال در شکل تکه ای است، پس از آن لاستیک خشک و متراکم می‌شود.

بسته بندی لاستیک

بسته بندی لاستیکهای سنتزی مهم است چون بر طرف کردن مشکلاتی از قبیل چسبندگی به کیسه بسته بندی و آلودگی ناشی از حفاظت ناکافی گاهی امکان پذیر است و برخی لاستیکها بدلیل جریان یافتن شکل خود را از دست می‌دهند.

سلولز

سلولز دارای فرمول عمومی $(C_6H_{10}O_5)_n$ است. سلولز ساختار اولیه دیواره سلولی گیاهان را تشکیل می‌دهد. دستگاه گوارشی انسان قادر به هضم سلولز نیست و آن را بدون تغییر دفع می‌کند اما برخی نشخوارکننده‌ها و موریانه‌ها می‌توانند سلولز را به کمک میکرو ارگانیسمهایی که در دستگاه گوارش آنها زندگی می‌کنند، هضم کنند. این میکرو ارگانیسمها با آزاد کردن آنزیمهایی به هضم سلولز کمک می‌کنند.

ساختمان شیمیایی سلولز

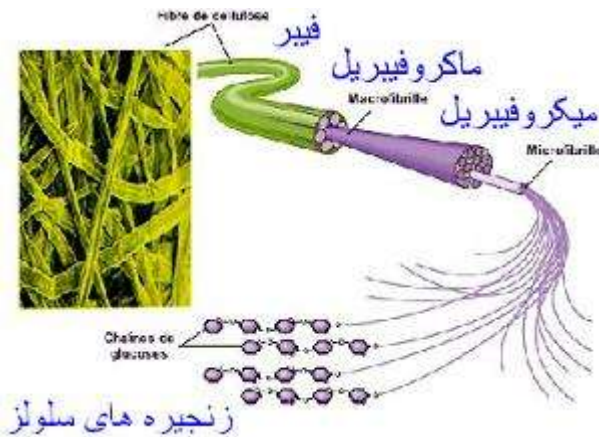
در مولکول سلولز مولکولهای β - گلوکز نسبت به یکدیگر چرخش 180 درجه ای دارند. ضمن برقراری اتصال بین دو مولکول β - گلوکز از OH متصل به کربن 4 یک مولکول و OH کربن شماره 1 مولکول بعدی یک مولکول آب جدا می‌شود و پل اکسیژنی برقرار می‌شود. از سوی دیگر در مولکول سلولز امکان برقراری پیوندهای هیدروژنی نیز وجود دارد. پیوستن دو مولکول β - گلوکز موجب تشکیل یک مولکول سلوبیوز می‌شود.

هر 5 مولکول سلوبیوز با آرایش فضایی مکعبی شکل، بلور سلولز را بوجود می‌آورند و از مجموعه بلورهای سلولز، رشته ابتدایی یا میسل سلولز تشکیل می‌شود. مجموعه میسلها، میکروفیبریل سلولزی را بوجود می‌آورند که قطری حدود 25 نانومتر دارد. از مجموع حدود 20 میکروفیبریل، ماکروفیبریل سلولزی تشکیل می‌شود.

ابعاد سلولز

سلولز از واحدهای دارای قطر 35 آنگستروم تشکیل شده که آنها را رشته‌های ابتدایی می‌نامند. این قطر اغلب درست است اما حتمی نیست. مثلا در برخی نمونه‌ها مثل سلولز جلبک والونیا 300 آنگستروم و در ترکیبات موسیلاژی برخی میوه‌ها تنها 1 آنگستروم است. به این ترتیب تصور حالت همگن برای رشته‌های ابتدایی سلولز کنار گذاشته شد و اشکال مختلف (استوانه‌ای - منشوری با قاعده مربعی - روبان کم و بیش پهن) منظور گردید.

دو عامل در محدودیت ابعاد این واحدها دخالت دارد: یکی همی سلولزها که همانند پوششی رشد جانبی رشته‌های سلولزی را محدود می‌کنند و دیگری آرایش یا سازمان یافتگی حاصل از مجموعه سلولز سنتتازی (آنزیم تولید کننده سلولز) غشای سلولی که رشته‌های اولیه سلولزی را می‌سازد. سلولز در برابر تیمارهای آنزیمی و شیمیایی بسیار مقاوم است.



تولید سلولز

مجموعه پژوهشهایی که در مورد بیوسنتز سلولز انجام شده است نشان می‌دهد که پیش ساز سلولز یوریدین دی فسفوگلوکز است که بوسیله حفره‌های گلژی به مجموعه‌های آنزیمی سلولز سنتزی موجود

در غشای سلولی می‌رسد. با دخالت این مجموعه‌های آنزیمی از پلیمریزاسیون مولکولهای پیشساز مولکولهای سلولز تشکیل می‌شود. پس از تشکیل مولکولهای سلولز تجمع آنها به صورت بلورهای سلولز و رسیدن به حد میکروفیبرلها و ماکروفیبریلهای سلولزی بر بنای پدیده خود آراییی با برقراری پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی است. این تجمع نیاز به آنزیم ندارد.

تجزیه سلولز

تجزیه سلولز بوسیله سلولازها انجام می‌شود. سلولازها را به دو گروه اگزو سلولازها و آندو سلولازها تقسیم بندی می‌کنند. اگزوسلولازها قدرت عمل بیشتری دارند و بر انواع مختلف سلولز چه سلولز بلوری و چه سلولز غیر بلوری که در نتیجه زخم یا تخریب بخشهای سلولزی بلوری ایجاد می‌شود اثر می‌کنند و در مرحله اول عمل خود موجب گسستن پیوندهای بین مولکولی می‌شوند. آندوسلولازها بر محصول عمل اگزو سلولازها اثر می‌کنند و موجب گسستن پیوندهای درون مولکولی می‌گردند بنابراین سلولازها اشتراک یا تعاون عمل دارند.

فرمهای سلولز و شناسایی آنها

- α- سلولز:** این فرم از سلولز در محلول 17/5 درصد از هیدروکسید سدیم در 20 درجه سانتیگراد حل نمی‌شود.
- β- سلولز:** β - سلولز در این محلول حل شده اما به محض اسیدی کردن محلول ته‌نشین می‌شود.
- γ- سلولز:** در محلول 17/5 درصد هیدروکسید سدیم حل می‌شود اما با اسیدی شدن محلول ته‌نشین نمی‌شود.

کاربرد سلولز

سلولز ماده تشکیل دهنده دیواره سلولی گیاهان است. این ترکیب اولین بار در سال 1838 مورد توجه قرار گرفت. در آن سالها با اعمال تغییراتی در آن مانند نیترژن دار کردن در تولید نیترو سلولز مورد بهره برداری قرار گرفت. سلولز بصورت تقریباً خالص در رشته‌های پنبه وجود دارد. این رشته‌ها در تولید نخ و پارچه بافی و تولید پوشاک اهمیت فراوانی دارند. همچنین الیاف پنبه استرلیزه شده در پزشکی کاربرد زیادی دارد. سلولز بصورت ترکیب بالیگنین (ماده چوب) و سلولز در تمام مواد گیاهی وجود دارد. سلولز در گذشته در ساخت باروت بدون دود مورد استفاده قرار می‌گرفت. امروزه از آن برای تولید نیترو سلولز که در ساخت مواد منفجره، پلاستیک‌سازی، رنگسازی و ... کاربرد دارد، استفاده می‌کنند. سلولز همچنین در آزمایشگاه به عنوان جزء عمل کننده فاز جامد در کروماتوگرافی لایه نازک استفاده می‌شود.

ماکرومولکولها

ماکرومولکولها از پلیمریزاسیون مونومرها ساخته شده‌اند. تعداد کل واحدهای پلیمریزه شده می‌تواند از دهها تا میلیونها واحد متفاوت باشد. سنتز ماکرومولکولها یکی از فعالیتهای اصلی مصرف کننده انرژی در سلول است. ماکرومولکولها ممکن است در کمپلکسهای سوپرامولکولی همایش بیشتری یافته و واحدهای وظیفه‌داری را تشکیل دهند. تقریباً تمامی مواد جامد موجود در سلولها آلی هستند. املاح غیر آلی و عناصر معدنی کسر بسیار کوچکی از کل وزن

خشک را تشکیل می‌دهند. پلیمرها همچنین در صنعت به صورت مصنوعی ساخته می‌شوند که کاربردهای فراوانی دارند.

ماکرومولکولها از واحدهای منومری تشکیل شده اند

با وجود اینکه موجودات حاوی تعداد بسیار زیادی پروتئینهای مختلف و اسیدهای نوکلئیک هستند اساس ساختمانی آنها ساده می‌باشد. تعداد زیر واحدهای منومری ساده که از آنها این ماکرومولکولها ساخته می‌شوند کم بوده و در تمامی گونه‌های زنده یکسان می‌باشد. پروتئینها و اسیدهای نوکلئیک ماکرومولکولهای اطلاعاتی هستند. پلی ساکاریدهای متشکل از تنها یک نوع زیر واحد یا دو واحد تکراری مختلف نمی‌تواند همانند پروتئینها و اسیدهای نوکلئیک مولکولهای حاوی اطلاعات باشند. هر چند پلیمرهای قندی کوتاه متشکل از 6 نوع یا انواع بیشتری از واحدهای قندی که به شکل زنجیرهای شاخه‌دار می‌باشند دارای انواع ساختمانی و شیمی فضایی متفاوت بوده و اطلاعاتی در خود دارند که توسط سایر ماکرومولکولها شناسایی می‌گردند.

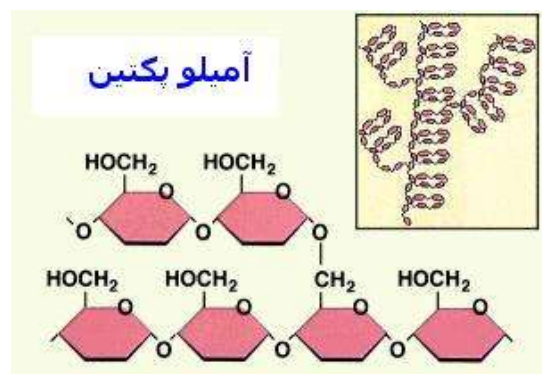
بهم پیوستن زیرواحدها نیاز به انرژی دارد

بسیار بعید به نظر می‌رسد که اسیدهای آمینه موجود در مخلوط بتوانند بطور خودبخودی با یکدیگر ترکیب شده و ایجاد یک مولکول پروتئینی با یک توالی بی‌همتا نمایند. بر حسب قانون دوم ترمودینامیک تمایل طبیعی به سمت افزایش بی‌نظمی در جهان است. برای سنتز ماکرومولکولها از واحدهای منومری آنها، لازم است به سیستم در این حالت انرژی داده شود. بی‌نظمی اجزای یک سیستم شیمیایی را به صورت آنتروپی بیان می‌نمایند. ماکرومولکولها نسبت به اجزای تشکیل دهنده خود دارای پایداری کمتر و نظم بیشتری هستند.

کربوهیدراتهای پلی ساکارید

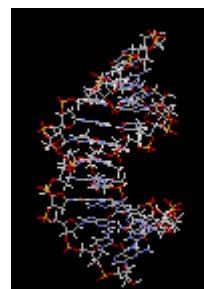
پلی ساکاریدها، پلیمر مونوساکاریدها هستند. از نظر تنوع در ساختمان ممکن آنها، به خصوص در اندازه زنجیر و انشعاب قابل مقایسه با پلیمرهای آلکنی هستند، ولی در

طبیعت در ساختن چنین پلیمرهایی بسیار محافظه کار است. سه تا از فراوانترین پلی ساکاریدها سلولز، نشاسته و گلیکوژن می‌باشند که از مونومر گلوکز مشتق شده‌اند.



اسیدهای نوکلئیک

اسیدهای نوکلئیک DNA و RNA پلیمرهای نوکلئوتیدها هستند. این پلیمرها اطلاعات ژنتیکی را ذخیره و انتقال داده و تعدادی از مولکولهای RNA در کمپلکسهای ماکرومولکولی دارای نقش ساختمانی هستند.



ساخت پلیمر هوشمندی که به التیام زخم کمک می‌کند

ایسکانیوز – محققان آلمانی موفق به تولید پلیمر هوشمند شدند که قادر است بخیه‌ها را از داخل ببندد. به گزارش سرویس علمی پژوهشی ایسکانیوز به نقل از مجله science، پژوهشگران مرکز تحقیقاتی GKSS در Teltow ادعا می‌کند پلیمری ساخته‌اند که می‌تواند در بهبود زخم‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این پلیمر به صورت فشرده در داخل بدن قرار داده می‌شود و پس از تکمیل بخیه‌ها شروع به بازگشت به وضعیت اول می‌کند و زخم را بهبود می‌بخشد. این

پلیمر به صورت فشرده به ایجاد یک خراش کوچک در داخل بدن کاشته می شود و به محض اینکه دمای اتاق به حد دمای بدن برسد. بعد از مدتی کوتاه تجزیه شده و خود از بین می رود، بنابراین دیگر نیازی به جراحی دوم برای بیرون آوردن آن نیست.

پایان