



شاہ ولی اللہ
یونیورسٹی
ڈاکہ

مهندسی الاستومر

(رشته مهندسی پلیمر)

دکتر سمیه محمدیان

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	سیزده
فصل اول. آشنایی با لاستیک	۱
هدف کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
مقدمه	۱
۱-۱ معرفی الاستومرها	۳
۱-۲ رفتار الاستومرها از نظر ترمودینامیکی	۵
۱-۳ الاستیسیته در لاستیک‌ها	۶
۱-۳-۱ نیرو و تغییر شکل	۶
۱-۳-۲ معادله ترمودینامیکی برای الاستومرها	۸
۱-۴ دسته‌بندی الاستومرها	۱۱
۱-۴-۱ دسته‌بندی بر حسب ساختار شیمیایی	۱۱
۱-۴-۲ دسته‌بندی بر حسب نحوه تولید	۱۳
۱-۴-۳ دسته‌بندی بر حسب بازار مصرف	۱۳
۱-۴-۴ دسته‌بندی بر حسب مقاومت	۱۴
۱-۵ از لاستیک خام تا محصول	۱۴
خلاصه فصل اول	۱۶
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول	۱۷
خودآزمایی تشریحی فصل اول	۱۹
فصل دوم. انواع الاستومرها	۲۱
هدف کلی	۲۱

۲۱	هدف‌های یادگیری.....
۲۱	مقدمه.....
۲۳	۱-۲ لاستیک طبیعی.....
۲۳	۱-۱-۲ منبع و ساختار لاستیک طبیعی.....
۲۴	۲-۱-۲ روش تهیه لاستیک طبیعی از گیاه.....
۲۴	۱-۲-۱-۲ شیرابه‌گیری از لاتکس کائوچوی طبیعی.....
۲۶	۲-۱-۲-۲ فرایند انعقاد.....
۲۶	۳-۱-۲ انواع ورقه‌های دودی و کرب کائوچوی خشک.....
۲۷	۱-۳-۱-۲ ورقه‌های دودی.....
۲۸	۲-۳-۱-۲ کرب‌های کمرنگ.....
۲۸	۴-۱-۲ تقسیم‌بندی لاستیک طبیعی بر مبنای SMR.....
۳۱	۵-۱-۲ انواع لاتکس لاستیک طبیعی.....
۳۲	۶-۱-۲ کلیاتی از خواص لاستیک طبیعی.....
۳۳	۷-۱-۲ کاربردهای لاستیک طبیعی.....
۳۴	۲-۲ لاستیک طبیعی مصنوعی (لاستیک پلی ایزوپرن).....
۳۵	۳-۲ لاستیک بوتادین.....
۳۵	۱-۳-۲ ساخت و طبقه‌بندی.....
۳۷	۲-۳-۲ خواص کلی لاستیک بوتادین.....
۳۹	۳-۳-۲ کاربرد بوتادین رابر.....
۴۱	۴-۲ لاستیک استایرن بوتادین.....
۴۱	۱-۴-۲ مقدمه ای درباره SBR.....
۴۳	۲-۴-۲ تولید SBR.....
۴۵	۳-۴-۲ خواص کلی SBR.....
۴۶	۴-۴-۲ کاربردهای SBR.....
۴۷	۵-۲ لاستیک بیوتیل.....
۴۷	۱-۵-۲ ساختار.....
۴۹	۲-۵-۲ خواص کلی لاستیک بیوتیل.....
۵۰	۳-۵-۲ کاربردهای لاستیک بیوتیل.....
۵۰	۶-۲ لاستیک اتیلن پروپیلن رابر.....
۵۰	۱-۶-۲ ساختار اتیلن پروپیلن رابر.....
۵۱	۲-۶-۲ خواص کلی و کاربرد اتیلن پروپیلن رابر.....
۵۲	۷-۲ لاستیک اتیلن پروپیلن دی‌ان مونومر.....
۵۲	۱-۷-۲ ساختار اتیلن پروپیلن دی‌ان مونومر.....
۵۳	۲-۷-۲ خواص و کاربرد اتیلن پروپیلن دی‌ان مونومر.....
۵۴	۸-۲ لاستیک اکریلونیتریل بوتادین.....
۵۴	۱-۸-۲ ساختار اکریلونیتریل بوتادین رابر.....

۵۶	۲-۸-۲ انواع لاستیک اکریلونیتریل بوتادین
۵۶	۲-۸-۳ خواص و کاربرد لاستیک اکریلونیتریل بوتادین
۵۷	۲-۹-۱ لاستیک پلی کلروپرن
۵۷	۲-۹-۲ ساختار پلی کلروپرن
۵۹	۲-۹-۲ انواع پلی کلروپرن
۶۱	۲-۹-۳ خواص و کاربرد پلی کلروپرن
۶۱	۲-۱۰-۱ لاستیک سیلیکون
۶۱	۲-۱۰-۲ ساختار سیلیکون رابر
۶۳	۲-۱۰-۲ انواع لاستیک‌های سیلیکون
۶۴	۲-۱۰-۳ خواص و کاربردهای سیلیکون رابر
۶۵	۲-۱۱-۱ لاستیک فلوئوروکربن (فلوئورو الاستومرها)
۶۸	۲-۱۲-۱ پلی اتیلن اصلاح شده
۶۸	۲-۱۲-۲ پلی اتیلن کلرینه شده
۷۰	۲-۱۲-۲ پلی اتیلن کلرو سولفونه شده
۷۱	۲-۱۳-۱ لاستیک پلی اکریلات
۷۳	۲-۱۴-۱ لاستیک پلی سولفاید
۷۴	۲-۱۵-۱ لاستیک پلی یورتانی
۷۵	۲-۱۶-۱ ترموپلاستیک الاستومرها
۷۵	۲-۱۶-۱ معرفی ترموپلاستیک الاستومرها
۷۷	۲-۱۶-۲ ساختار فازی ترموپلاستیک الاستومرها
۷۸	۲-۱۶-۳ خواص ترموپلاستیک الاستومرها
۷۹	۲-۱۶-۴ کاربرد ترموپلاستیک الاستومرها
۸۰	خلاصه فصل دوم
۸۱	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم
۸۲	خودآزمایی تشریحی فصل دوم
۸۵	فصل سوم. فرمولاسیون آمیزه لاستیکی
۸۵	هدف کلی
۸۵	هدف‌های یادگیری
۸۵	مقدمه
۸۶	۳-۱ الاستومر
۸۶	۳-۲ سیستم پخت
۸۷	۳-۲-۱ سیستم پخت گوگردی
۹۱	۳-۲-۱-۱ گوگرد
۹۲	۳-۲-۱-۲ شتاب دهنده‌ها
۹۴	۳-۲-۱-۳ فعال کننده‌ها
۹۵	۳-۲-۱-۴ تاخیر اندازها

۹۵.....	۲-۲-۳ سیستم پخت غیرگوگردی
۹۵.....	۱-۲-۲-۳ پراکسیدها
۹۷.....	۲-۲-۳ اکسیدهای فلزی
۹۷.....	۳-۲-۲-۳ مواد دو عاملی
۹۸.....	۳-۳ پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌ها
۹۸.....	۱-۳-۳ تقویت‌کنندگی
۹۸.....	۲-۳-۳ تعیین فعالیت پرکننده
۹۹.....	۳-۳-۳ دسته‌بندی انواع پرکننده‌ها
۹۹.....	۱-۳-۳-۳ دوده
۱۰۴.....	۲-۳-۳-۳ پرکننده‌های غیرسیاه
۱۰۵.....	۴-۳ نرم‌کننده و کمک فرایندها
۱۰۶.....	۱-۴-۳ نرم‌کننده‌ها (روان‌ساز داخلی)
۱۰۷.....	۲-۴-۳ کمک فرایندها
۱۰۷.....	۵-۳ پایدارکننده‌ها و ضدتخریب‌ها
۱۰۸.....	۱-۵-۳ محافظت‌کننده‌های شیمیایی
۱۰۹.....	۲-۵-۳ محافظت‌کننده‌های فیزیکی
۱۰۹.....	۶-۳ نانوذرات
۱۱۱.....	۱-۶-۳ نانوذرات اکسید روی
۱۱۲.....	۲-۶-۳ نانوکربنات کلسیم
۱۱۲.....	۳-۶-۳ نانو رس
۱۱۴.....	۴-۶-۳ آلوتروپ‌های کربن
۱۱۵.....	۷-۳ سایر مواد
۱۱۵.....	۸-۳ آلیاژسازی
۱۱۶.....	۹-۳ مثالی از فرمولاسیون آمیزه لاستیکی
۱۱۷.....	خلاصه فصل سوم
۱۱۸.....	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم
۱۲۰.....	خودآزمایی تشریحی فصل سوم
۱۲۳.....	فصل چهارم. فرایندهای آمیزه‌کاری و اختلاط
۱۲۳.....	هدف کلی
۱۲۳.....	هدف‌های یادگیری
۱۲۳.....	مقدمه
۱۲۵.....	۱-۴ اهمیت اختلاط و معرفی آن
۱۲۸.....	۲-۴ دستگاه‌های اختلاط
۱۲۹.....	۱-۲-۴ غلتک
۱۳۱.....	۲-۲-۴ مخلوط‌کن داخلی

۱۳۱	 ۴-۲-۱ اجزاء و انواع مخلوطکن داخلی
۱۳۴	 ۴-۲-۲ پارامترهای مؤثر بر اختلاط در مخلوطکن داخلی
۱۳۶	 ۴-۲-۳ انواع روش‌های اختلاط در مخلوطکن داخلی
۱۳۸	 ۴-۲-۴ منحنی انرژی مصرفی
۱۴۰	 ۴-۲-۳ اختلاط پیوسته
۱۴۰	 خلاصه فصل چهارم
۱۴۱	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم
۱۴۲	 خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۱۴۵	 فصل پنجم. روش‌های شکل‌دهی آمیزه لاستیکی
۱۴۵	 هدف کلی
۱۴۵	 هدف‌های یادگیری
۱۴۵	 مقدمه
۱۴۶	 ۵-۱ اکستروژن
۱۴۶	 ۵-۱-۱ اجزای اکسترودر
۱۴۸	 ۵-۱-۲ اکسترودرهای خوراک گرم و سرد
۱۵۰	 ۵-۱-۳ پارامترهای مهم در عملیات اکستروژن
۱۵۰	 ۵-۱-۴ روش‌های پخت
۱۵۱	 ۵-۲ قالب‌گیری
۱۵۱	 ۵-۲-۱ قالب‌گیری فشاری
۱۵۱	 ۵-۲-۲ قالب‌گیری انتقالی
۱۵۲	 ۵-۲-۳ قالب‌گیری تزریقی
۱۵۴	 ۵-۳ غلتک‌رانی
۱۵۸	 خلاصه فصل پنجم
۱۵۹	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم
۱۶۰	 خودآزمایی تشریحی فصل پنجم
۱۶۱	 فصل ششم. آزمون‌های صنعت لاستیک
۱۶۱	 هدف کلی
۱۶۱	 هدف‌های یادگیری
۱۶۱	 مقدمه
۱۶۲	 ۶-۱ آزمون‌های آمیزه خام
۱۶۲	 ۶-۱-۱ چگالی
۱۶۳	 ۶-۱-۲ توزیع دوده
۱۶۴	 ۶-۱-۳ ویسکوزیته مونی
۱۶۶	 ۶-۲ رثومترها

۱۶۷	۱-۲-۶ رثومتر دیسک نوسانی
۱۶۸	۲-۲-۶ رثومتر دای متحرک
۱۷۰	۳-۲-۶ دستگاه تحلیل گر فرایند لاستیک‌ها
۱۷۲	۳-۶ آزمون‌های پس از پخت
۱۷۳	۱-۳-۶ کشش
۱۷۵	۲-۳-۶ سختی
۱۷۶	۳-۳-۶ مانایی فشاری
۱۷۷	۴-۳-۶ طول عمر خمشی
۱۷۷	۵-۳-۶ سایش
۱۷۹	۶-۳-۶ جهندگی
۱۷۹	۷-۳-۶ خستگی
۱۸۱	۸-۳-۶ خزش و استهلاک تنش
۱۸۱	۹-۳-۶ تخریب ازونی
۱۸۲	۱۰-۳-۶ ازمان‌مندی
۱۸۳	۴-۶ آزمون‌های کیفیت محصول نهایی
۱۸۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم
۱۸۶	خودآزمایی تشریحی فصل ششم
۱۸۹	فصل هفتم. محصولات مهم لاستیکی
۱۸۹	هدف کلی
۱۸۹	هدف‌های یادگیری
۱۸۹	مقدمه
۱۸۹	۱-۷ تایر
۱۹۰	۱-۱-۷ اجزای تایر
۱۹۱	۱-۱-۷ رویه تایر
۱۹۲	۲-۱-۷ منجید تایر
۱۹۲	۳-۱-۷ طوقه تایر
۱۹۳	۲-۱-۷ قالب‌گیری و پخت تایر
۱۹۴	۳-۱-۷ دسته‌بندی تایرها
۱۹۵	۲-۷ تسمه
۱۹۷	۳-۷ درزبندها
۱۹۸	۱-۳-۷ گسکت
۱۹۹	۲-۳-۷ اورینگ
۲۰۰	۳-۳-۷ پکینگ
۲۰۱	۴-۷ کاربرد در صنعت خورروسازی
۲۰۱	۵-۷ قطعات لاستیکی فلزدار

۶-۷	سایر کاربردهای متداول	۲۰۱
۲۰۲	خلاصه فصل هفتم	۲۰۲
۲۰۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم	۲۰۲
۲۰۳	خودآزمایی تشریحی فصل هفتم	۲۰۳
۲۰۵	فصل هشتم. بازیافت لاستیک‌ها	۲۰۵
۲۰۵	هدف کلی	۲۰۵
۲۰۵	هدف‌های یادگیری	۲۰۵
۲۰۵	مقدمه	۲۰۵
۲۰۶	۱-۸ مسائل زیست‌محیطی	۲۰۶
۲۰۸	۲-۸ کاربردهای لاستیک‌های بازیافتی	۲۰۸
۲۰۸	۳-۸ روش‌های برخورد با ضایعات لاستیکی	۲۰۸
۲۰۹	۱-۳-۸ استفاده مجدد از تایرهای فرسوده	۲۰۹
۲۱۲	۲-۳-۸ دفن ضایعات لاستیکی	۲۱۲
۲۱۲	۳-۳-۸ استفاده از لاستیک‌های ضایعاتی به‌عنوان یک منبع سوختی	۲۱۲
۲۱۳	۴-۳-۸ بازیافت ضایعات مواد لاستیکی	۲۱۳
۲۱۴	۱-۴-۳-۸ پودرکردن لاستیک و کاهش اندازه ذرات	۲۱۴
۲۱۷	۲-۴-۳-۸ پیرولیز ضایعات لاستیک	۲۱۷
۲۱۷	۳-۴-۳-۸ واو لکانش لاستیک	۲۱۷
۲۲۵	خلاصه فصل هشتم	۲۲۵
۲۲۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم	۲۲۶
۲۲۷	خودآزمایی تشریحی فصل هشتم	۲۲۷
۲۲۹	پاسخ‌نامه خودآزمایی‌های چهارگزینه‌ای	۲۲۹
۲۳۱	علائم اختصاری	۲۳۱
۲۳۳	فهرست واژگان	۲۳۳
۲۳۷	مراجع	۲۳۷

پیشگفتار

مهندسی پلیمر علمی است، که در سده گذشته پا به عرصه صنعت و پژوهش گذاشته و در مدت کوتاهی توانسته است، استقبال و شکوفایی چشمگیری به دست آورد. این دانش حوزه‌های مختلفی را دربرمی‌گیرد. مانند صنایع پتروشیمی و پلیمری‌اسیون، صنایع پلاستیک، کامپوزیت‌ها، چسب، رنگ و رزین و پوشش، فوم، الیاف، نساجی و غیره. یکی از مهم‌ترین دسته‌های مهم مواد پلیمری لاستیک‌ها یا الاستومرها می‌باشند که از پرکاربردترین پلیمرها در صنایع گوناگون شامل، خودروسازی، لوازم برقی و خانگی، صنایع الکتریکی، چسب، پزشکی و بهداشتی، ورزشی، راه و ساختمان، هوافضا و غیره هستند.

آشنایی با مقوله مهندسی الاستومر برای یک مهندس پلیمر امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. کتاب حاضر، آنچه که یک کارشناس مهندسی پلیمر از لاستیک‌ها باید بداند را دربردارد که حاصل گردآوری مطالب سودمند از مراجع مرتبط موجود و بخشی نیز تالیف و حاصل تجربیات نویسند می‌باشد.

به منظور آشنایی هرچه بیشتر خواننده، مطالب در قالب چندین بخش گنجانده شده که حاوی سرفصل‌های ذیل است:

فصل اول. آشنایی با لاستیک (کلیاتی درباره پلیمرها، معرفی الاستومرها)

فصل دوم. انواع الاستومرها (لاستیک طبیعی، پلی‌ایزوپرن، پلی‌بوتادین، استایرن بوتادین رابر، بیوتیل رابر، اتیلن پروپیلن رابر، اتیلن پروپیلن دی‌ان‌مونومر، اکریلو نیتریل بوتادین رابر، پلی‌کلروپرن، سیلیکون رابر، لاستیک فلئوئورو کربن، پلی‌اتیلن اصلاح شده، لاستیک پلی‌اکریلات، لاستیک پلی‌سولفاید، لاستیک یورتانی، ترموپلاستیک الاستومرها)

فصل سوم. فرمولاسیون آمیزه لاستیکی (الاستومر، سیستم پخت و مفهوم پخت، پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌ها، نرم‌کننده و کمک فرایندها، پایدارکننده‌ها و ضدتخریب‌ها، نانوذرات، سایر مواد، آلیاژسازی)

فصل چهارم. فرایندهای آمیزه‌کاری و اختلاط (اهمیت اختلاط و معرفی آن، دستگاه‌های اختلاط، اختلاط پیوسته)

فصل پنجم. روش‌های شکل‌دهی آمیزه لاستیکی (اکستروژن، قالب‌گیری، کلندرینگ)
فصل ششم. آزمون‌های صنعت لاستیک (آزمون‌های آمیزه خام، رئومترها، آزمون‌های پس از پخت، آزمون‌های کیفیت محصول نهایی)

فصل هفتم. محصولات مهم لاستیکی (تایر، تسمه، درزبندها، کاربرد در صنعت خورروسازی، قطعات لاستیکی فلزدار، سایر کاربردهای متداول)

فصل هشتم. بازیافت لاستیک‌ها (مسائل زیست‌محیطی، کاربردهای لاستیک‌های بازیافتی، روش‌های بازیافت و واولکانش لاستیک)

با وجود این مطالب، کتاب مهندسی الاستومر می‌تواند، مورد استفاده دانشجویان مهندسی پلیمر و رشته‌های مرتبط، استادان، پژوهشگران، علاقمندان و فعالان صنعت لاستیک قرار گیرد. ضمن سپاس از دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی دانشگاه پیام نور که امکان تهیه این کتاب را فراهم نمودند، امید است، نشر آن گامی مفید در اعتلای این دانش و کمکی هرچند اندک به معرفی و رشد این صنعت در کشور عزیزمان باشد.

سمیه محمدیان

فصل اول

آشنایی با لاستیک

هدف کلی

هدف کلی این فصل، آشنایی با کلیات مقدماتی درباره الاستومرها، رفتارهای مهم و انواع دسته‌بندی آنها می‌باشد.

هدف‌های یادگیری

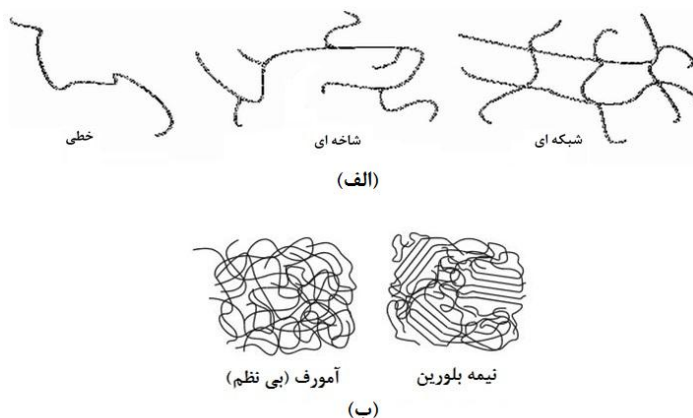
- دانشجو پس از مطالعه این فصل باید بتواند:
۱. پلیمرهای الاستومری و ویژگی‌های مهم آنها را معرفی کند.
 ۲. مبنای نیرو و تغییر شکل در الاستومرها را بیان کند.
 ۳. دسته‌بندی‌های مختلف این مواد را بر مبنای مختلف شرح دهد.
 ۴. با تعریف اولیه پخت در لاستیک‌ها آشنا شود.

مقدمه

واژه پلیمر از کلمات یونانی پلی^۱ به معنی بسیار و مر^۲ به معنی قسمت گرفته شده است. پلیمر به موادی گفته می‌شود که از مولکول‌های بسیار بزرگ (ماکرومولکول) درست شده‌اند. این مولکول‌های بزرگ از تکرار و اتصال واحدهای کوچک‌تر (مونمر)، تشکیل یافته‌اند. بر این اساس در معادل‌سازی به زبان فارسی، پلیمر را بسیار می‌گویند. از نظر ساختار فضایی، این زنجیرهای غول پیکر می‌توانند به شکل‌های مختلفی باشند که

1. Poly
2. Meros

مهم‌ترین آن‌ها خطی، شاخه‌ای یا شبکه‌ای می‌باشد. علاوه بر این، بسته به امکان آرایش‌یافتگی زنجیرهای پلیمری، نواحی بلوری در این مواد می‌تواند وجود داشته باشد که این دسته پلیمرها را نیمه بلوری^۱ می‌نامند، و نوع فاقد آرایش‌یافتگی را بی‌نظم یا آمورف^۲ می‌نامند. (آلگر، ۱۹۹۷) موارد فوق در شکل (۱-۱) نشان داده شده‌است.



شکل ۱-۱. (الف) ساختارهای فضایی مختلف زنجیر و (ب) ساختار بی‌نظم و بلوری در پلیمرها

بسته به منبع تهیه، پلیمرها به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. در تولید پلیمرهای طبیعی، انسان نقش نداشته و این پلیمرها در طبیعت، در مواد کانی، گیاهان یا بدن جانداران یافت می‌شوند، مانند لاستیک طبیعی، پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها نظیر نشاسته و سلولز. در مقابل، پلیمرهای مصنوعی و سنتزی هستند که به دست بشر و از طریق واکنش‌های پلیمریزاسیون (بسیار) تهیه می‌شوند؛ از قبیل پلیمرهای وینیلی، پلی‌آمیدها، پلی‌استرها و لاستیک‌های مصنوعی.

از نقطه نظر کاربردی، پلیمرها براساس خواص فیزیکی و مقاومتی و حیطه کاربری که دارند و بر مبنای شرایط عملکردی و قابلیت استفاده به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند. باید توجه کرد که نوع پلیمرهای هر گروه و نحوه استفاده و نوع فراورش و مورد کاربرد هر کدام متفاوت می‌باشد.

دسته‌بندی بر مبنای کاربرد به صورت زیر است:

- الاستومرها^۱ (لاستیک‌ها)
- پلاستیک‌ها
- الیاف
- رزین‌ها (پوشش‌ها و چسب‌ها)
- فوم‌ها
- کامپوزیت‌ها
- آلیاژها

یکی از مهم‌ترین دسته پلیمرها، لاستیک‌ها یا الاستومرها می‌باشند که کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف دارند. تاریخچه اولیه لاستیک‌ها به لاستیک طبیعی^۲ (NR) برمی‌گردد که از صمغ درخت هوا تهیه می‌شود، به همین دلیل، نام کائوچو (درخت گریه‌کننده)، نیز به این مواد اطلاق شد. بعد از آن به مرور انواع مختلف کائوچوهای مصنوعی نیز سنتز و تهیه شدند که در ادامه توضیح داده خواهد شد. در ابتدا، به توضیحات لازم درباره الاستومرها می‌پردازیم.

۱-۱ معرفی الاستومرها

برای اینکه پلیمری را از خانواده الاستومرها بدانیم، بایستی کاملاً آمورف بوده و دمای انتقال شیشه‌ای^۳ (Tg) بسیار پایین‌تر از دمای محیط داشته باشد که در دمای محیط در ناحیه رابری (منحنی مدول دینامیک - دما) قرار گیرد. این مواد در برابر نیروی کششی، حدود ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد ازدیاد طول داشته و به محض برداشتن نیرو در مدت زمان کوتاه به طول اولیه برگشته و اصطلاحاً رفتار الاستیک دارند. دو خصوصیت اصلی ساختاری که یک پلیمر باید به‌طور همزمان داشته باشد تا لاستیک محسوب شود، ویژگی‌های زیر است (هافمن، ۱۳۸۷):

۱. در حالت معمولی و کشیده نشده، صد در صد آمورف (بی نظم)، بوده و هیچ‌گونه ساختار بلوری نداشته باشد.

1. Elastomers

2. Natural Rubber

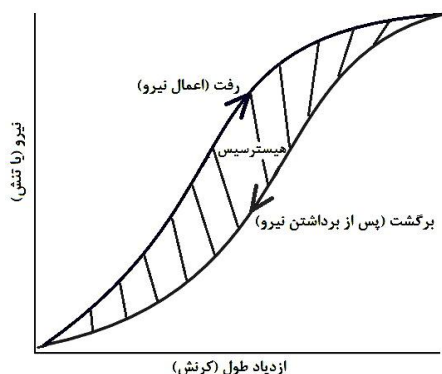
3. Glass Transition Temperature

۲. دمای انتقال شیشه‌ای بسیار پایین‌تر از ناحیه دمایی کاربری داشته باشد. به‌طور مثال پلی استایرن با اینکه ساختار آمورف دارد، اما، جزو ترموپلاستیک‌ها است. چون دمای انتقال شیشه‌ای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد داشته و در دمای محیط در ناحیه سفت و شیشه‌ای خود قرار دارد و نمی‌تواند رفتار الاستومری یا رابری داشته باشد. در مقابل پلی اتیلن دمای انتقال شیشه‌ای ۱۱۰- درجه سانتی‌گراد دارد، و به‌دلیل دارا بودن ساختار نیمه بلورین الاستومر نمی‌باشد.

خصوصیات فیزیکی مکانیکی مهمی در الاستومرها مشترک است، مانند:

۱. توانایی تغییر شکل زیاد حتی تا ده برابر طول اولیه در برابر نیروی وارده
 ۲. بازگشت آنی به حالت اولیه پس از برداشتن نیرو - رفتار الاستیک
 ۳. نسبت به سایر پلیمرها مدول پایین‌تری دارند، به‌دلیل پایین بودن دمای انتقال شیشه‌ای که یعنی در دمای محیط انرژی جنبشی و حرکت‌پذیری بالایی دارند.
- باید توجه داشت، که الاستومرها مانند تمام پلیمرهای دیگر در برابر نیروی وارده رفتار ویسکوالاستیک داشته اما، نسبت رفتار الاستیک (برگشت نیرو)، به رفتار ویسکوز (اتلاف نیرو)، در آن‌ها بسیار بالاست. با این حال مقداری رفتار ویسکوز دارند و این به آن معنی است که مقداری از تنش وارده را به‌صورت گرما تلف می‌کنند که قابل بازگشت نیست. بنابراین، کسری از تغییر شکل اولیه برنمی‌گردد و به‌صورت نشست یا ست^۱ در ماده باقی می‌ماند که به میزان ماهیت الاستیک/ ویسکوز، نوع، میزان و مدت زمان اعمال تنش وابسته است. این رفتار ویسکوز باعث ایجاد حرارت در لاستیک می‌شود که به آن انباشتگی حرارت^۲ می‌گویند. میزان انرژی مکانیکی که الاستومر در یک چرخه رفت و برگشت اتلاف و تبدیل به حرارت می‌کند را هیسترسیس^۳ می‌گویند که می‌توان با ترسیم منحنی‌های اعمال و برداشتن نیرو در آزمون کشش (توضیح در فصل ۶)، آن را مشاهده کرد. همان‌طور که در شکل (۱-۲)، قابل ملاحظه است، نمودارهای رفت و برگشت بر هم منطبق نمی‌باشند و سطح بین آن‌ها همان هیسترسیس است. هرچه هیسترسیس بیشتر باشد، نیروی اتلافی و حرارت انباشته بیشتر بوده و سبب افزایش دمای پلیمر می‌شود. بالا بودن هیسترسیس نشانه بیشتر بودن میزان نشست و کمتر بودن خواص الاستیک است (مارتین و اسمیت، ۲۰۰۴).

1. Set
2. Heat Build-up
3. Hysteresis



شکل ۱-۲. حلقه هیستریسیس در یک چرخه رفت و برگشت نیروی کشش در الاستومرها

۱-۲ رفتار الاستومرها از نظر ترمودینامیکی

از نقطه نظر ترمودینامیکی نیز رفتار الاستومرها، ماهیت خاص خود را دارند. در پلیمرها از نظر ترمودینامیکی، دو عامل کنترل‌کننده وجود دارد: آنتالپی^۱ و آنتروپی^۲. آنتالپی به انرژی‌های مولکولی و گره خوردگی‌های زنجیرهای پلیمر مربوط بوده و آنتروپی وابسته به حرکت‌های تصادفی زنجیرهاست. در جامدات الاستیک و یا پلاستیک‌ها به دلیل دمای انتقال شیشه‌ای بالا، ساختارهای بلوری و سخت‌بودن حرکت آزادانه مولکول‌ها در حالت‌های تصادفی مختلف، بخش آنتروپیک کم بوده و تغییرات آنتالپی پارامتر اصلی است. حال اینکه در فرایند تغییر شکل الاستومرها تغییرات آنتروپی نقش اصلی را دارد. زنجیرهای رابری به دلیل دمای انتقال شیشه‌ای بسیار کم و نبودن ساختارهای بلوری، انعطاف‌پذیری و قابلیت حرکت داشته و می‌توانند حالت‌های تصادفی بسیار داشته باشند. این زنجیرها تا پیش از اعمال نیرو در پایدارترین حالت که بالاترین مقدار آنتروپی است، قرار دارند و در اثر کشش، وقتی که در جهت نیرو قرار می‌گیرند، از نظر حرکت محدود شده و با توجه به کمتر شدن درجه آزادی زنجیرها، آنتروپی (میزان احتمال حرکت‌های مختلف)، آن‌ها کاهش می‌یابد. پس از برداشتن نیرو، مولکول‌های الاستومر سریعاً به همان شکل تصادفی اولیه یا حالت ایده‌آل پایدار با حداکثر آنتروپی خود برمی‌گردند، چرا که میل دارند، به حالت حداکثر بی‌نظمی برسند. این حالت ایده‌آل که در آن تغییر شکل صرفاً وابسته به تغییرات آنتروپی تصادفی است، در تغییر شکل‌های کم

1. Enthalpy

2. Entropy

مشهودتر است. کاهش آنتروپی در حین تغییر شکل الاستومرها پدیده‌ای گرمازاست که حرارت ایجادشده توسط آن، پس از قطع نیرو صرف برگشت به حالت قبل می‌شود. مقاومت آنتالپیک زنجیرها، با افزایش دما کم می‌شود درحالی‌که مقاومت آنتروپیک با افزایش دما بالا می‌رود. با افزایش دما تعداد حالت‌هایی که زنجیرهای الاستومری می‌توانند اختیار کنند، بیشتر می‌شود و آنتروپی افزایش می‌یابد. به همین دلیل است که در الاستومرها با بالا رفتن دما، مدول الاستیک افزایش پیدا می‌کند و برعکس آن مدول الاستیک سایر پلیمرها با افزایش دما کم می‌شود. بنابراین در تغییر شکل‌های سریع، گرمای کائوچو بر خلاف آنچه در سایر موارد مشاهده می‌شود، بالا می‌رود. پدیده جالب دیگر که ریشه در ماهیت آنتروپیک رفتار لاستیک دارد، این است که اگر آن را تحت نیروی کششی قرار بدهیم، به‌طوری‌که یک سر نمونه ثابت و سر دیگر آن به‌وسیله یک وزنه کشیده شود، در صورتی‌که آن را حرارت دهیم، نمونه به جای آنکه منبسط‌شده و افزایش طول بیشتری یابد، منقبض می‌شود. زیرا بر اثر انرژی حرارتی حالت‌های تصادفی ممکن بیشترشده و آنتروپی بالا می‌رود و میل به برگشت به حالت اولیه و مقاومت ماده به ازدیاد طول، افزایش پیدا می‌کند. به این پدیده انقباض حرارتی^۱ اطلاق می‌شود.

با توجه به آنتروپیک‌بودن ماهیت رفتاری الاستومرها و تمایل زنجیرها به برگشت به حالت حداکثر آنتروپی، این پلیمرها در حین اعمال نیرو یا فرایند، حافظه الاستیک داشته و در طی اعمال نیرو میل به برگشت به حالت اولیه را در خود دارند که منجر به مقاومت در برابر تغییر شکل می‌شود که به آن نیرو^۲ می‌گویند که این اصطلاح مختص لاستیک خام می‌باشد.

۱-۳ الاستیسیته در لاستیک‌ها

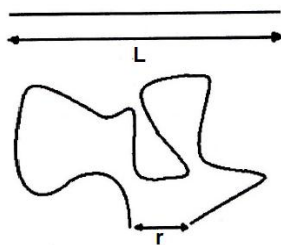
۱-۳-۱ نیرو و تغییر شکل

الاستیسیته^۳ در لاستیک‌ها روابط بین تغییر شکل و نیرو را بررسی می‌کند. وقتی یک نمونه لاستیکی کشیده می‌شود، زنجیرهایی که در حالت تعادلی خود، به‌صورت کلاف‌های درهم پیچیده با حالت تصادفی^۴ قرار داشته‌اند، از این حالت خارج‌شده و در جهت کشش تغییر شکل داده و به شرایط دیگری رسیده که در این موقعیت زنجیر از نظر

1. Thermal Shrinkage
2. Nerve
3. Elasticity
4. Random Coil

ترمودینامیکی حالت جدید به خود گرفته است. فاصله دو سر زنجیر از یکدیگر بعد از کشیده شدن افزایش می‌یابد. اگر نمونه رها شود و دوباره به اندازه اولیه خود برگردد، زنجیر دوباره به شکل یک کلاف درآمده و فاصله دو سر آن کاهش پیدا می‌کند. اگر نمونه تحت تأثیر نیروهای دیگر مانند، انواع فشاری و یا برشی قرار گیرد، متناسب با نوع تغییر شکل، فاصله دو انتهای زنجیر تغییر می‌یابد (نیلسن و لاندل، ۱۳۸۹).

از دیدگاه ترمودینامیکی، تغییر شکل مترادف با تغییر آنتروپی است. زنجیر پلیمر می‌تواند حالت‌های مختلفی را در فضا به خود بگیرد که با چرخش سگمنت‌ها و قرار گرفتن آن‌ها در شرایط جدید ممکن می‌شود. یک زنجیر پلیمر که به‌طور فرضی تا آخرین حد ممکن کشیده شده‌است، به شکل یک خط راست قرار می‌گیرد، در این شرایط تنها یک حالت برای این زنجیر در فضا وجود دارد. بیان ترمودینامیکی این حالت این چنین خواهد بود، که آنتروپی تغییر شکل این زنجیر صفر است (شکل ۱-۳). در صورتی که زنجیر به شکل یک کلاف درآید، تعداد بسیاری کانفورماسیون^۱ مختلف می‌توان برای آن متصور شد و این به معنای افزایش آنتروپی است. مطابق قانون دوم ترمودینامیک، برای اینکه آنتروپی یا بی‌نظمی در یک مجموعه افزایش یابد، باید به سیستم انرژی وارد کرد. در مورد زنجیرهای الاستومر هم این موضوع صادق است، زیرا به‌طور طبیعی در حالتی قرار می‌گیرد که حداکثر آنتروپی را داشته باشد. حال اگر این زنجیر کشیده شود، نیروی اعمال شده سبب کاهش آنتروپی می‌شود (مطهری و رضاییان، ۱۳۹۳).



شکل ۱-۳. زنجیر در حالت آزاد تعادلی و حالت کاملاً کشیده شده

رابطه (۱-۱)، مقدار تنش اعمال شده به نمونه الاستومری را به مقدار کشش مربوط می‌کند.