

مروری بر مبانی تخریب و پایدارسازی پلیمرها

علی خلیلی ماهانی^{۱*}، راشد دانشفر^۲

alikhaliimahani1376@gmail.com

چکیده

تخریب پلیمرها از دیر وقت، مورد شناخت بوده است. از بین رفتن سلولز چوب، لاستیک تایر، ترک خوردن و زرد شدن فیلم های نقاشی از معدود مثال هایی هستند که می توان ذکر کرد. تخریب پلیمرها، زمینه ای بسیار مهم و کاربردی در زمینه علم و تکنولوژی پلیمرهاست که از دو دهه گذشته به طور چشمگیری مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. کسب اطلاعات دقیق پیرامون مکانیسم های موجود، در تخریب پلیمرها کمک می کند تا شرایط مناسب برای تولید، شکل دهی و بهره برداری از این مواد تعیین گردد و بعلاوه اطلاعات و دیتاها در این زمینه کمک می کند تا راه هایی برای افزایش طول عمر مفید پلیمرها پیدا شود. استفاده ی مؤثر و بهینه از پایدارکننده های گرمایی و نوری نیازمند درک بنیادین از فرآیند های تخریب، مکانیسم های پایدارسازی، خواص محصول نهایی و طراحی روش های اندازه گیری تخریب است. لذا افشاء اطلاعات در این زمینه، به خصوص برای آن دسته از افرادی که هیچ تجربه ای در این زمینه ندارند، بسیار مهم است.

واژه های کلیدی: تخریب پلیمر-مکانیسم-طول عمر-پایدار کننده

مقدمه

تخریب در لغت به معنای از بین بردن و ویران کردن (شدن) چیزی است. در علم پلیمرها، به مجموعه ای از فرآیند ها اطلاق می شود که ماهیت پلیمر عوض می شود به عبارت دیگر، هر گونه تغییر شیمیایی نا خواسته که در ساختار پلیمر ایجاد می شود را تخریب می گویند. با معرفی و ورود ترموپلاستیک های مصنوعی جدید، مسائل جدیدی نمایان شد چرا که هر یک در نوع و پیچیدگی تخریب متفاوت بودند. در مقایسه با مواد آلی کوچک مولکول، اغلب پلیمرها و محصولات پلیمری باید در دماهای متوسط و یا کمی بالاتر از دمای ذوب خود پایدار باشند لذا در عمل مشاهده شده است که چنین چیزی نیست. البته نا گفته نماند خواص فیزیکی پلیمرها نتیجه وزن مولکولی بالای آنهاست. پس هر عاملی که بتواند وزن مولکولی پلیمرها را دچار تغییر کند، سبب بروز تغییرات چشمگیری در خواص نهایی خواهد شد. وجود مقادیر بسیار اندک از ناخالصی ها و آلاینده ها و انواع بی نظمی های ساختمانی و ساختاری اغلب در سبب شدن و یا تشدید کردن یک زنجیر پلیمری مسئول هستند [۱]. واکنش های شیمیایی که در حین تخریب پلیمرها رخ می دهد، از پلیمری به پلیمر دیگر متفاوت است. تخریب لزوما هم به معنی کاهش وزن مولکولی در اثر شکست زنجیر ها (Degradation) نیست بلکه گاهی اوقات شبکه ای شدن و افزایش وزن مولکولی (Cross linking) هم جز تخریب حساب می شود. همچنین تخریب لزوما به مونومر نیز منحصر نمی شود و ممکن است در اثر تخریب به اولیگومر یا محصولات جانبی دیگر دست یافت. در حین سنتز و یا شکل دهی و ذوب پلیمرها، به علت دمای بالا و وجود تنش های

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر دانشگاه تهران

مکانیکی نیز امکان تخریب وجود دارد. در نتیجه برای جلوگیری از تخریب در حین شکل دهی ، بلافاصله مذاب را به درون حمام آب سرد می برند. حتی ممکن است پیرشدگی و فرسایش (aging) در پلیمر ها داشته باشیم که در اصطلاح به این حالت تخریب در اثر زمان گفته می شود.

تخریب پلیمر ها می تواند علاوه بر جنبه های منفی دارای یکسری جنبه های مفید و کاربردی نیز داشته باشد. بطور مثال رسیدن به مونومرهای اولیه و ایجاد پلیمرهای جدید ، کاربرد های رهایش دارو ، مواد فداشونده و نخ های بخیه جذبی را می توان اشاره کرد. فرآیند تخریب در پلیمرها که محتمل رخ دادن هستند عبارتند از :

۱. **تخریب گرمایی** : تخریبی که هنگام فرآیند پلیمرها می تواند در حضور اکسیژن (تخریب اکسیداسیونی) و یا در غیاب آن صورت پذیرد.

۲. **تخریب نوری**: در اثر بخش پر انرژی نور خورشید (اشعه ماورابنفش) یا دیگر تشعشعات پرانرژی ممکن است افت خواص رو داشته باشیم.

۳. **تخریب مکانیکی**: این تخریب بر اثر وارد شدن نیرو و شکست فیزیکی رخ خواهد داد.

۴. **تخریب در اثر امواج فراصوت**: فرکانس های مشخصی از صوت می تواند سبب مرتعش و پاره شدن زنجیر های یک پلیمر شود.

۵. **تخریب هیدرولیکی (با آب)** : این تخریب در پلیمر های دارای گروه های حساس به آب و به ویژه پلیمر های جاذب رطوبت رخ می دهد.

۶. **تخریب شیمیایی**: مواد های شیمیایی با خاصیت خوردگی یا گازهایی چون اوزون و اکسیژن می توانند به عوامل ساختاری یک پلیمر حمله ور شده و موجب تخریب آن شوند.

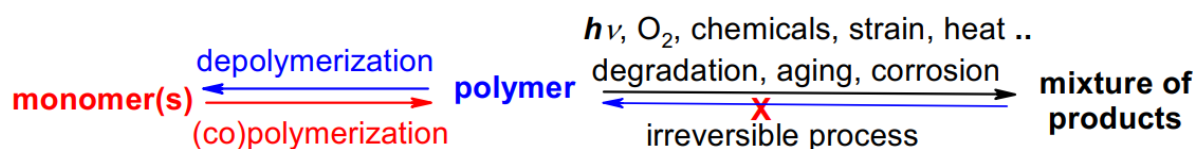
۷. **زیست تخریب شدن**: پلیمرهای خاصی که دارای گروه های فعال ویژه هستند ، توسط موجودات میکروسکوپی مورد حمله قرار گرفته و تخریب می شوند.

در بین این فرآیندها ، موارد ۱ و ۲ در اکثر پلیمرها مهم ترین فرآیندهای تخریب محسوب می شوند [۳].

به طور کلی دو راه برای کنترل تخریب زیان آور پلیمرها وجود دارد:

الف) در سیستم های پلیمری از پایدار کننده ها استفاده کرد

ب) تا آنجا که ممکن است از افزایش درجه حرارت و ورود اکسیژن و رطوبت در سیستم های پلیمری طی فرایند دوری کرد. اغلب پلیمرها توسط سازندگان بصورت آمیزه های پایدار شده بیرون می آیند که در آن مقدار چشمگیری از پایدارکننده ها استفاده شده است. بطور مسلم با بهتر شدن شرایط فرآیند ، فرایند تخریب به کمترین میزان خود خواهد رسید [۲].



شکل ۱: رابطه بین پلیمریزاسیون ، واپلیمریزاسیون و تخریب

واپلیمریزاسیون

به جداشدن مرحله ای مونومرها ، واپلیمریزاسیون (Depolymerization) گفته می شود. تخریب از انتهای زنجیر بصورت مرحله به مرحله صورت گرفته و محصول واکنش مونومر است. البته ناگفته نماند این واکنش می تواند در جایی تصادفی در طول زنجیر اصلی پلیمر نیز صورت گیرد. درصد مونومر بدست آمده با پارامتری بنام Monomer Yield گزارش

می شود که به طور مثال در شرایط مناسب برای پلی متیل متکريلات می تواند تماما به مونومر تبدیل شود. پلیمرهایی که مکانیسم پلیمریزاسیون آنها افزایشی (زنجیری) هست، در دمای بالای دمای سقف دچار واپلیمریزاسیون می شوند. البته این نوع تخریب برای پلیمرهای تراکمی نیز صورت می گیرد. سرعت واپلیمریزاسیون متناسب با سرعت Depropagation می باشد [۴].

تخریب گرمایی

تخریب گرمایی پلیمرها مجموعه ای از واکنش های شیمیایی است که در غیاب اکسیژن یا تشعشع، منجر به افت خواص پلیمر میشود (بیلینگام). در اثر حرارت و افزایش دما، ساختار ماکرومولکول دچار ارتعاش شده و در اثر این ارتعاش تغییراتی را شاهد هستیم. رادیکال های به وجود آمده در اثر ارتعاش پیوند باعث واپلیمریزاسیون در دمای بالای سقف پلیمر می شود [۴].

واکنش های تخریبی از نوع گرمایی به دو دلیل زیر رخ میدهد:

- ❖ ماهیت زنجیر های بلند: که امکان شکسته شدن به قطعات کوچکتر و ایجاد واحدهای کوچکتر فراهم می شود.
- ❖ نقص های ساختاری: وجود بی نظمی هایی چون ساختارهای سیر نشده، وجود شاخه های جانبی و گروه های فعال کربونیلی و هیدروپراکسیدی در ساختار پلیمرها ممکن هست لذا این نقص های ساختاری و نقاط ضعف در فرآیند تخریب، نقش مناطق شروع را ایفا می کنند.

اگرچه از نظر نوع تخریب پلیمرها با یکدیگر تمایز دارند، اما تخریب حرارتی آنها در دماهای بالا در سه دسته تقسیم بندی می شود که عبارتند از:

- ❖ واکنش های واپلیمریزاسیون: در اثر این نوع واکنش ها پلیمر به نحوی گسسته می شود که اجزایی با وزن مولکولی پایین تر بدست می آید.
- ❖ واکنش های حذفی: اگرچه در این واکنش ها مولکول ها و قطعات با وزن مولکولی کم ایجاد می شود اما هیچ گونه شباهتی با ساختمان اولیه پلیمر ندارند.
- ❖ واکنش های گروه های استخلافی: در این دسته، گروه های موجود بر روی زنجیر اصلی به طرز ی وارد واکنش می شوند که اسکلت شیمیایی پلیمر حفظ می شود اما ماهیت شیمیایی واحد تکرار دچار تغییر می شود

تخریب اکسیداسیونی

مواد آلی، چه مواد سنتزی و چه طبیعی، به آسانی با اکسیژن وارد واکنش می شوند. این گونه واکنش های اکسیداسیون نیز هرگاه ماده آلی یک پلیمر باشد، نیز توجه برانگیزند. واکنش اکسیداسیون ممکن است در هر مرحله از چرخه کاری پلیمر در طول ساخت و نگهداری پلیمر، همچنین در طول فرایند و به کارگیری نهایی اشیای ساخته شده رخ دهد. این نوع تخریب معمولا با حرارت و UV نیز همراه هست. درجه حرارت زیاد، تشعشع و کاتالیست هایی مانند فلزات و یون های فلزی سرعت واکنش اکسیداسیون را افزایش دهند. پلیمر تخریب شده، خواص خود را از دست داده و حالت شکننده پیدا می کند. بعلاوه رنگ نیز دچار تغییر شده و دچار تغییرات سطحی می شود. میزان تخریب بر اساس نوع پلیمر متغییر است. بطور مثال پلیمر های دی انی بیشتر مستعد تخریب اکسیداسیونی هستند. در اثر تخریب اکسیداسیونی، ممکن است گروه های آلدهیدی، کتونی، اسیدی، هیدروکسیلی و پراکسیدی به وجود بیایند. میزان تخریب اکسیداسیونی وابسته به غلظت اکسیژن است. هر چه غلظت اکسیژن بیشتر باشد، رادیکال های پراکسیدی بیشتری به وجود آمده و در نتیجه واکنش های chain scission بیشتری را شاهد هستیم. اما اگر غلظت اکسیژن کم باشد، رادیکال

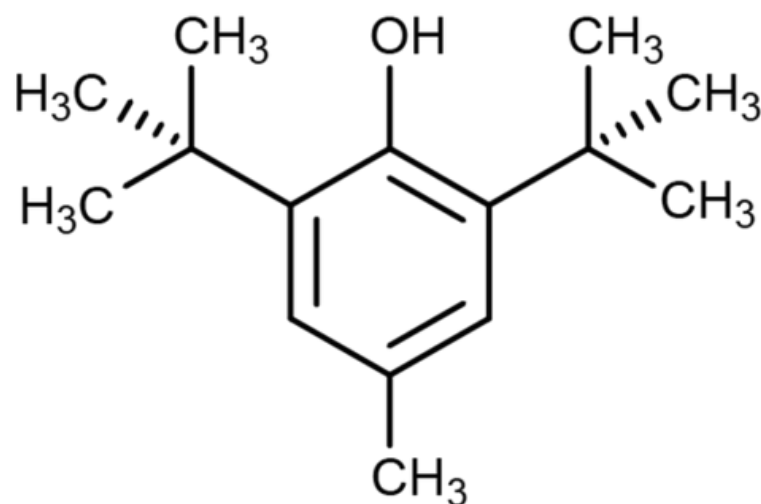
های آلکیلی بیشتری به وجود آمده و لذا محصولات شبکه ای شده (cross link) بیشتری را خواهیم داشت. یک تست بسیار مهم در این زمینه برای بررسی تخریب اکسیداسیونی، بررسی میزان ژل است که قسمت های شبکه ای شده را مشخص میکند.

اکسیداسیون پلیمرها در دو حالت رخ میدهد:

- ❖ **در شرایط عادی:** که پلیمر جامد است، واکنشها بسیار کند هستند، غلظت اکسیژن به حد اشباع است، و ممکن است ماده در معرض نور UV، آلودگی های محیطی و... نیز قرار داشته باشد.
- ❖ **در حین فرآیند:** چون دما بالاست و ممکن است در اثر تنش های برشی، نقاطی داغ ایجاد شود. پلیمر به حالت مذاب است و غلظت اکسیژن پایین است در نتیجه در اثر مقادیر برش بالای سیستم می تواند منجر به ایجاد رادیکال از طریق گسست زنجیرهای پلیمری شود.

تخریب اکسیداسیونی پلیمرها بر اساس مکانیسم بولند-گی رخ میدهد که شامل مراحل آغاز، انتشار و اختتام هست. منشا این رادیکال اولیه ممکن است گروه های پراکسیدی و کربونیلی و غیره باشد. در مرحله انتشار رادیکالها، محصولات متنوعی بوجود می آید [۷].

یک راه جلوگیری از این تخریب، کنترل کردن ساختار پلیمر حین سنتز و عدم بوجود آمدن نقص های ساختاری است که راه معمولاً گران و پرهزینه است و به تولید کننده مربوط می شود. راه دوم، پایدار سازی توفیقی است. در این راه باید از تولید رادیکالها جلوگیری کرد و یا آنها را غیر فعال و پایدار کرد. به عبارت دیگر، باید پراکسیدها را از بین برد و به محصولات پایدار تبدیل نمود تا رادیکال تولید نشود. این کار توسط افزودن آنتی اکسیدانها صورت می گیرد. در واقع آنتی اکسیدانها به مقدار خیلی کم (در حد ۱ درصد وزنی) به پلیمر افزوده می شوند. آنتی اکسیدانها باید با پلیمر سازگار بوده و غیر فعال باشند و در صورتی که برای کارکرد های پزشکی مد نظر داشته باشیم، باید غیر سمی باشند. آنتی اکسیدانها یک هیدروژن فعال دارند و این هیدروژن را در اختیار رادیکالها قرار میدهند. رادیکالهای به وجود آمده آنتی اکسیدانها، بنیان پایداری داشته و تمایلی به واکنش ندارند. آنتی اکسیدانها باید غیر فرار باشند تا در دمای فرایند، بخار نشوند لذا جرم مولکولی آنها مهم است. با افزایش جرم مولکولی، فراریت کمتر می شود و لذا آنتی اکسیدانی باید انتخاب شود که دمای جوش بیشتری نسبت به دمای ذوب پلیمر داشته باشد. آنتی اکسیدانها از لحاظ رنگی بودن نیز باید با پلیمر هماهنگ باشند تا ظاهر کامپاند را خراب نکنند. از طرفی آنتی اکسیدانها بعد از دادن H فعال، ساختار مزدوج پیدا کرده و رزونانس رخ میدهد. این ساختارهای مزدوج، در ناحیه مرئی تابش دارند و ممکن است ایجاد رنگ کنند. البته گونه ای از آنتی اکسیدانها مانند مشتقات فنولیک ایجاد لکه و رنگ نمی کنند. در شکل ۲ ساختار آنتی اکسیدان هیدروکسی تولوئن بوتیل را مشاهده میکنید.

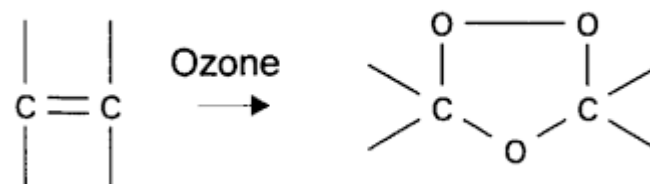


شکل ۲: ساختار آنتی اکسیدان هیدروکسی تولوئن بوتیل شده

اوزوناسیون

به تخریبی که توسط اوزون صورت بگیرد، اوزوناسیون گفته می شود. اوزون نسبت به اکسیژن مخرب تر بوده و به میزان کمتری در جو وجود دارد. اوزون ویژگی که دارد این است که نسبت به پیوند دوگانه بسیار حساس است و مستقیماً به آن پیوند دوگانه حمله می کند و با آن ترکیب می شود. بر خلاف اکسیداسیون که هیدروژن فعال در نزدیک پیوند دوگانه را می کند، اوزون آنقدر فعال است که مستقیماً به پیوند دوگانه حمله می کند و ترکیب می شود و در نهایت از محل پیوند دوگانه ترکیب را به دو قسمت تبدیل میکند [۵]. چون در رابرها، پیوند های دوگانه زیادی را داریم، می تواند از هر جای این ترکیب انجام شود و رابر را به زنجیره های کوتاه تبدیل می کند و به همین دلایل بسیار مخرب خواهد بود. پیوند دوگانه فقط مختص پلیمرها نیست بلکه حتی ترکیبات کوچک مولکول نیز که دارای پیوند دوگانه هستند نیز می توانند وارد واکنش با اوزون شوند.

ابتدا اوزونید طبق شکل ۳ تشکیل می شود سپس در حضور کمی رطوبت این اوزونید شکسته می شود و در نهایت به آلدهید و کتون تبدیل می شود که اگر واکنش ادامه پیدا کند و بیشتر اکسایش صورت گیرد، آلدهید به اسید تبدیل می شود.

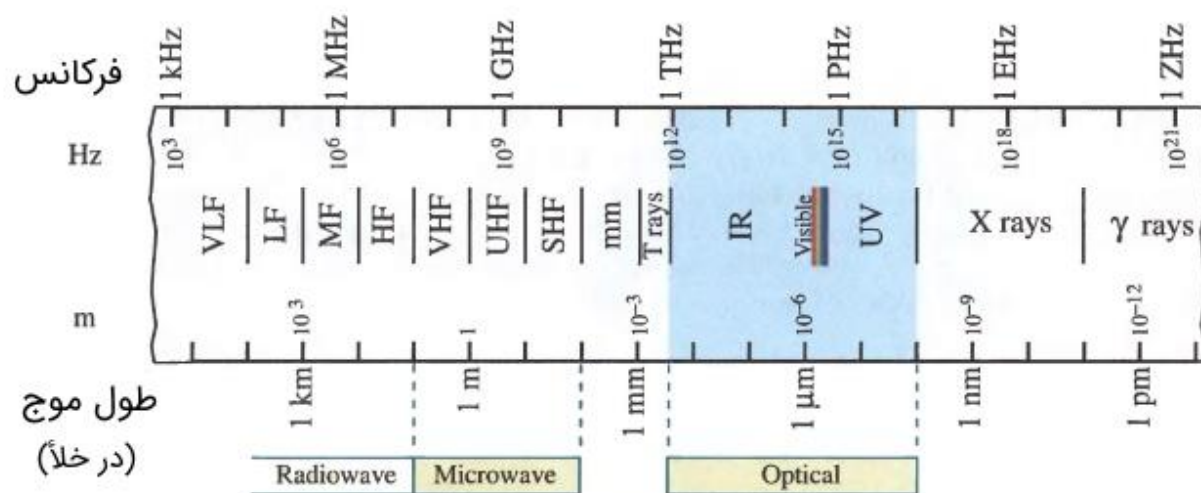


شکل ۳: نحوه تشکیل اوزونید

فرآیند اوزونولیز، فرآیندی ناخواسته است ولی می شود آن را کنترل شده انجام داد. مثلاً در اثر اوزونولیز هدفمند، پلیمر با وزن های مولکولی کمتر را تهیه نمود.

جذب پرتوهای الکترومغناطیسی توسط ماده

اتم ها دارای یک هسته باردار مرکزی شامل پروتون ها و نوترون ها به همراه الکترون های منفی بیرونی هستند. از لحاظ اندازه، بار منفی الکترون ها با بار مثبت پروتون ها برابر است. در اتم های یک عنصر، الکترون ها در محل های معین و مجزایی از فضای اطراف هسته یافت می شوند که این مکان ها هر یک قادر به جا دادن دو الکترون در خود هستند که به آنها اوربیتال یا تراز های انرژی گفته میشود. معمولاً الکترون ها در یک اتم نزدیک ترین فاصله ها را به هسته اشغال می کنند تا پایدارترین آرایش ممکن را ایجاد کنند. اگر سست ترین الکترون پیوندی بخواهد به اوربیتالی که از هسته دورتر هست تغییر مکان یابد، در این صورت باید انرژی معینی مصرف شود، به عبارت دیگر الکترون مزبور باید مقدار مشخصی از انرژی معادل با اختلاف انرژی بین اوربیتال اولیه و اوربیتال نهایی را جذب کند. طیف الکترومغناطیسی مطابق شکل 4 انواع انتقالی را که ممکن است که توسط نواحی مختلف این طیف القاء شوند، معرفی کرده و نمایش می گذارد. در این جا ما با مناطق UV نزدیک و نور مرئی این طیف سر و کار داریم.



شکل ۴: طیف امواج الکترومغناطیس

تئوری اوربیتال مولکولی و انتقال الکترونی

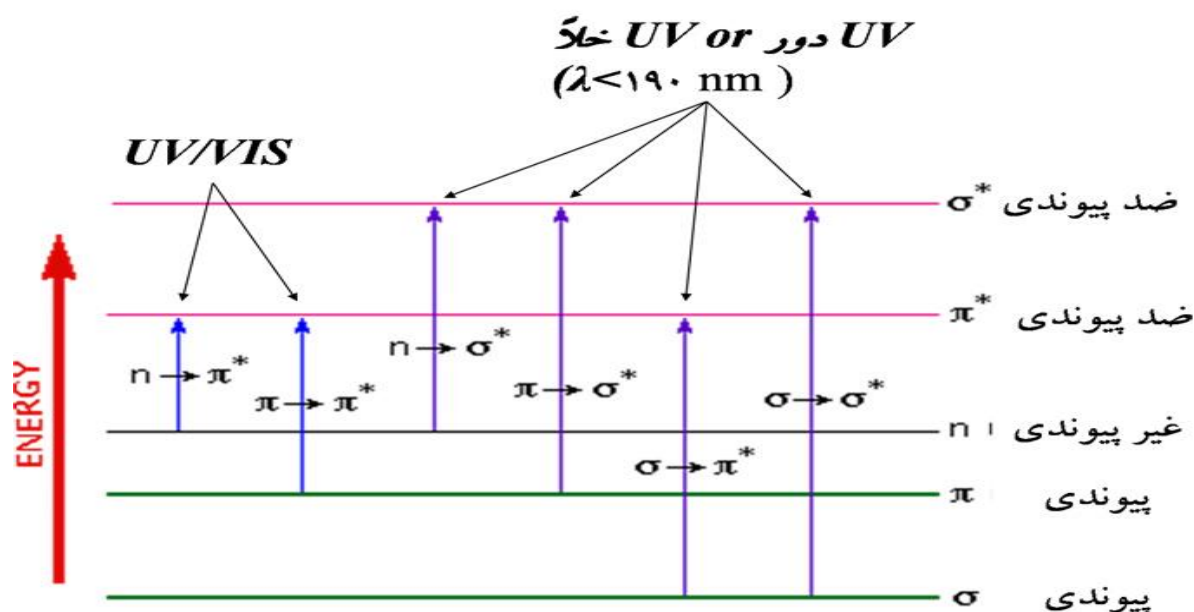
همان طور که در قسمت قبل بیان شد، الکترون های یک اتم تراز های انرژی مشخصی (اوربیتال ها) را اشغال می کنند. از آنجایی که در هر اوربیتال اتمی حداکثر دو الکترون جای میگیرد، الحاق دو اوربیتال اتمی برای ایجاد یک پیوند شیمیایی نه تنها باید به تشکیل یک اوربیتال مولکولی منجر شود بلکه باید اوربیتال مولکولی دیگری را نیز به وجود آورد که اوربیتال ضد پیوندی نامیده می شود. پس وقتی یک پیوند شیمیایی تشکیل شود، اوربیتال های بیرونی می توانند به سه گروه دسته بندی شوند:

- ❖ اوربیتال های ضد پیوندی (با انرژی بالاتر)
- ❖ اوربیتال های پیوندی (با انرژی پایین تر)
- ❖ اوربیتال هایی که درگیر پیوند نشده و لذا به اوربیتال های غیر پیوندی استناد می شوند و نسبت به دو نوع اوربیتال دیگر انرژی متفاوتی دارند. این مورد در اتم های ناهمگنی مثل ازن و اکسیژن به وجود می آیند.

در نتیجه دو نوع پیوند شیمیایی باید مورد بررسی قرار گیرد:

پیوند سیگما (σ): این بصورت استوانه ای متقارن در حول خطی است که مراکز دو اتم پیوند شده را به یکدیگر متصل می کند. این پیوند از هم پوشانی دو اوربیتال s، یک اوربیتال s با یک اوربیتال P_x یا دو اوربیتال P_x نتیجه می شود. پیوند پای (π): این خارج از خطی قرار دارد که دو اتم پیوند شده را به هم متصل می کند و از هم پوشانی اوربیتال های اتمی P_y یا P_z به وجود می آید [۱].

انرژی های نسبی انواع مختلف اوربیتال های مولکولی در مولکول های آلی در شکل 5 به تصویر کشیده شده است. انرژی یک اوربیتال غیرپیوندی معمولاً از انرژی یک اوربیتال سیگما و یا یک اوربیتال پای بیشتر، اما کمتر از انرژی اوربیتال های ضدپیوندی است. انواع انتقالات الکترونی امکان پذیر ما بین این اوربیتال ها توسط پیکان های عمودی نشان داده شده اند [۱].



شکل ۵: ترازها و سطوح مختلف انرژی و انتقالات ممکن در مولکول های آلی

تخریب نوری پلیمرها

لازمه تخریب نوری در پلیمرها، جذب انرژی نور یا همان اشعه ماوراء بنفش (UV) توسط گروه های شیمیایی جاذب ماوراء بنفش موجود در فرمول پلیمر است. به این گروه های جاذب نور کروموفور گفته می شود. در اثر جذب نور به وسیله ترکیبات کروموفور، رادیکال ها و حالات برانگیخته شکل می گیرد [۵].

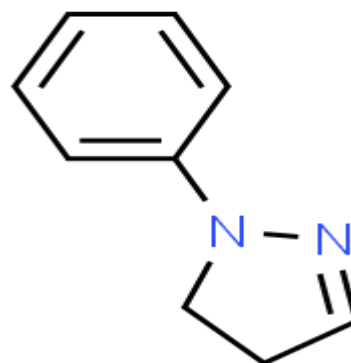
در برخی پلیمرها نظیر پلی اولفینها، پلی آمیدهای خطی، پلی دی ان ها، پلی وینیل هالیدها، پلی اکریلیک ها، پلی استایرن، پلی استرهای خطی و پلی یورتان جذب نور از طریق عوامل کروموفوری به شکل ناخالصی رخ میدهد. در این پلیمرها ناخالصی هایی در انتها و یا در طول زنجیر اصلی پلیمر وجود دارند که ممکن است هنگام پلیمریزاسیون یا فرآیند کردن پلیمر به وجود آمده باشند. در برخی دیگر از پلیمرها نظیر پلی استرهای آروماتیک، پلی فنیلن اکسیدها، پلی کربنات ها و رزینهای فنوکسی، واحدها و یا گروه هایی که بخشی از ساختمان شیمیایی پلیمر را تشکیل میدهند پرتوهای خورشیدی را مستقیماً جذب میکنند [۱].

پایدار کننده های نوری

به طور کلی به سه دسته تقسیم بندی می شوند :

- ❖ سپر های نوری : اجازه رسیدن پرتوهای UV به پلیمر را نمی دهند مثل رنگ ها ، پیگمنت ها .
- ❖ جاذب های UV : در اثر واکنش و فعل و انفعالات با UV شده و آن را جذب می کنند مثل مواد فسفرسانس و فلئوروسانس.
- ❖ خاموش کننده ها : با پلیمرهای برانگیخته وارد واکنش می شوند و لذا فرآیندهای فتوشیمیایی و فیزیکی را خاموش میکنند.

در رنگ ها و پیگمنت ها بحث سازگاری و عدم سمیت بسیار مهم و حائز اهمیت است. دوده نیز در پایداری نوری نقش بسزایی دارد. بخاطر حلقه های زیادش ، پایداری خوبی در برابر ماوراء بنفش داریم. اگر دوده به حالت آمورف و حلقوی باشد ، نقش Energy sink را خواهد داشت. به طور مثال پلی اتیلن در عدم حضور دوده ، حدود ۱,۵ سال عمر دارد اما در حضور دوده حتی تا ۲۵ سال عمر می کند. جاذب های ماوراء بنفش ، خاصیت فلئوروسانس یا فسفرسانس دارند و نور UV را به نور با انرژی کمتر (در حد نور مرئی) تبدیل می کنند . در ساختار این مواد ، حلقه یا پیوند π وجود دارد لذا انرژی را صرف رزونانس می کنند و مقداری از آن را پس می دهند. در اثر افزایش حلقه ها ، کارایی افزایش می یابد.

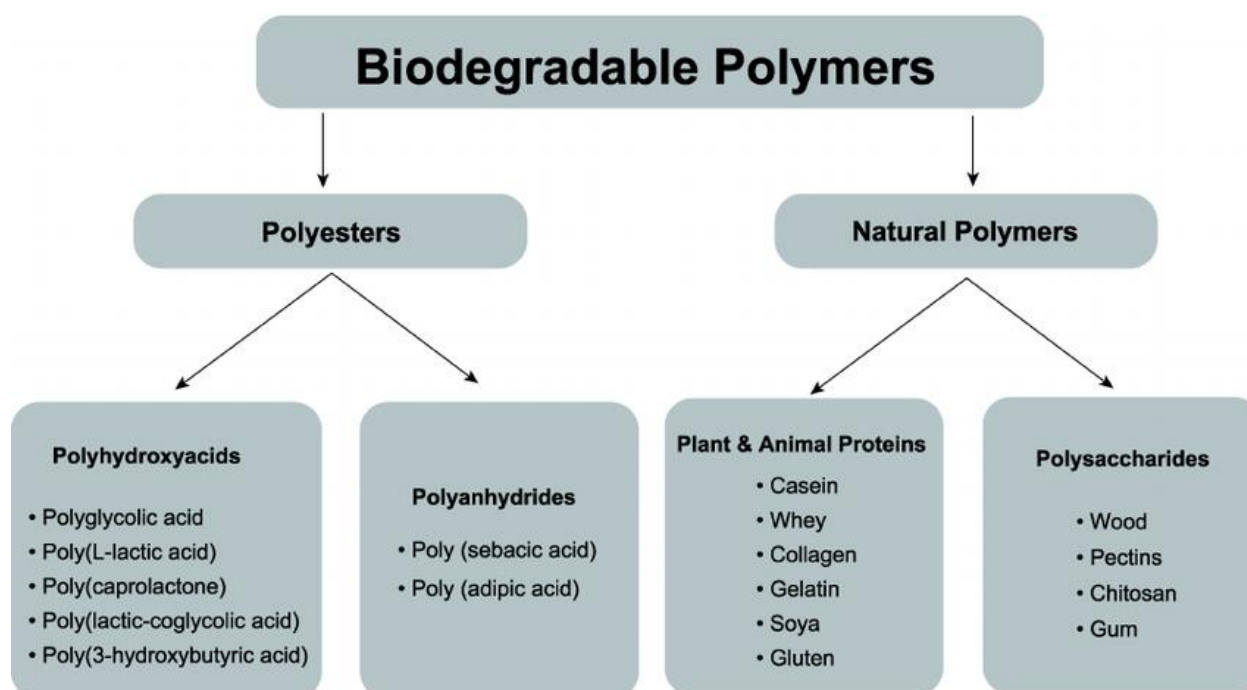


شکل ۶: فنیل پیرازولین

زیست تخریب شدن

گونه ای از تخریب است که می تواند توسط موجودات زنده صورت بگیرد که این موجودات زنده خودشان در دو دسته ماکرو ارگانیسم ها و میکرو ارگانیسم ها جای میگیرند. این نوع تخریب بیشتر در مورد پلیمرهای طبیعی مطرح است . در واقع میکروارگانیسم ها آنزیم هایی تولید میکنند که باعث تخریب پلیمر می شود. آنزیم ها ساختار پروتئینی دارند که برای تخریب پلیمرها نقش کاتالیست را بازی می کنند. بسته به نوع میکروارگانیسم شرایط تخریب متفاوت است. مهم ترین عامل و پارامتر در این نوع تخریب دما است که باید بگونه ای باشد که میکرو ارگانیسم ها در آن دما زنده بمانند. مثلا اگر دما خیلی بالا برود باعث تخریب و از بین رفتن آنزیم ها شده و حتی ممکن است کارایی آنزیم را مختل کند. این مواد چون آمینواسید هستند چه به صورت درون مولکولی و چه بصورت بین مولکولی نقش مهمی را ایفا می کنند. اگر به طریقی

مانع از تشکیل پیوند هیدروژنی شویم و یا آن را بشکنیم، باعث Denature شدن آنزیم می شویم. پیوند هیدروژنی بسیار تحت تاثیر از PH هست لذا این نوع تخریب به مقدار PH وابسته بوده و فعالیت آنزیم تغییر می کند. وجود رطوبت نیز در تخریب زیستی تاثیر گذار است چون رطوبت گاهی برای رشد میکروارگانیسم ها حیاتی و ضروری محسوب می شود. به طور مثال اگر نانوکلی آبدوست را به پلیمر (PLA) اضافه کنیم، جذب رطوبت افزایش یافته و باعث افزایش سرعت تخریب می شود. عامل مهم دیگر در این نوع تخریب (بخصوص سیستم های هوازی) اکسیژن می باشد. از این تخریب در صنعت بسته بندی مواد غذایی و کارکرد های پزشکی بخصوص سیستم های رهائش دارو و نخ های بخیه جذبی استفاده می شود[۵].



شکل ۷: پلیمرهای زیست تخریب پذیری که برای کاربردهای چاپ زیستی استفاده می شوند[۸]

نتیجه گیری

تخریب پلیمری به معنای ایجاد تغییراتی در خواص و ساختمان مانند استحکام کششی، رنگ، شکل و سایر موارد در یک پلیمر و یا محصولات پلیمری می باشد که تحت تاثیر عوامل محیطی متفاوتی نظیر گرما، نور یا مواد شیمیایی مانند اسیدها، مواد قلیایی و یا تعدادی از نمک ها ممکن است صورت بگیرد. تغییرات یاد شده معمولاً نامحدود می باشند مانند

ترک برداشتن و یا گسستگی شیمیایی محصول و یا در مواردی بسیار نادر هم این امکان وجود دارد که این تغییرات مطلوب باشد همانند زیست تخریب پذیری و یا کاهش وزن مولکولی ماده پلیمری به منظور بازیافت که در این صورت از تخریب به شکل مفید بهره برد. تغییرات به وجود آمده در خواص در اغلب موارد با نام کهنه گی شناخته می شوند. معمولاً از بروز چنین تغییراتی در محصول نهایی پیشگیری می شود و یا این اتفاقات با تاخیر بسیار زیادی صورت می گیرند. تخریب اکسیداسیونی در حضور اکسیژن (در شرایط عادی یا در حین فرآیند) و با مکانیسم چرخه ی بولند-گی رخ میدهد. آنتی اکسیدان ها موادی هستند که با شکستن چرخه ی اکسیداسیون، مانع تخریب پلیمرها به روش اکسیداسیونی میشوند و یا آن را به تأخیر می اندازند. همانطور که می دانید مولکول های پلیمری بسیار بزرگ می باشند و خواص کاربردی و منحصر به فرد آنها می تواند ناشی از سایز بالای آنها باشد. کاهش طول زنجیره این مواد می تواند منجر به کاهش استحکام کششی شود و در واقع اولین دلیل ایجاد ترکهای اولیه باشد.

منابع و مراجع

- ۱-ن. ا. آلن و م. ادج , مبانی تخریب و پایدارسازی پلیمرها؛ ترجمه هما عاصم پور, تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر, ۱۳۹۵
- ۲- شریفی سنجانی، ناصر, واکنش های شیمیایی در فرآیند تولید پلیمرها و تخریب و پایداری، تهران؛ دانشگاه تهران , ۱۳۸۹
- 3- P. A. Dilara and D. Briassoulis, "Degradation and Stabilization of Low-density Polyethylene Films used as Greenhouse Covering Materials," *Journal of Agricultural Engineering Research*, pp. 309-321, 2000.
- 4- Vohlídal, Jiří. "Polymer degradation: a short review" *Chemistry Teacher International*, vol. , no. , 2020.
- 5- Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 93, 561-584.
- 6- Marturano, V., Cerruti, P. & Ambrogi, V. (2017). Polymer additives. *Physical Sciences Reviews*, 2(6).
- 7- M. Chanda and S. Roy, *Plastics technology handbook*, Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2007.
- 8- Mehrban, N., & Teoh, G., & Birchall, M. "3D bioprinting for tissue engineering: Stem cells in hydrogels" ,*International Journal of Bioprinting*, Vol2, Issue 1, 2016, Article Identifier: 6-19.