مقاله حاضر خلاصه‌ای از بخش مطالعاتی پروژه بازیابی و بررسی فرمولبندی و ساخت فیلمهای رادیولوژی است که در مرکز تحقیقات و توسعه علوم و تکنولوژی مواد پلیمری در دست اجرا است، که اهداف زیر در این پروژه دنبال می‌گردد.

ـ استفاده مجدد از فیلمهای رادیولوژی مستعمل موجود پس از حذف مواد حساس قبلی و حساس نمودن مجدد.

ـ خُرد کردن فیلمهای مستعمل پس از حذف مواد حساس و تهیه مجدد فیلم بصورت رول و حساس نمودن برای استفادهٔ مجدد.

ـ بررسی در مورد فرمولبندی و تکنولوژی ساخت فیلمهای رادیولوژی از مواد اولیه.

به طور کلی فیلمهای رادیولوژی از دو قسمت عمده به نامهای پایه و مواد حساس تشکیل یافته‌اند که طی دو مقاله، مروری بر این دو قسمت خواهد شد.

موضوع مورد بحث در این مقاله پایه فیلمهای رادیولوژی است که در حال حاضر عمدتاً از پلی‌اتیلن ترفتالات یا به عبارت دیگر اکسی اتیلن اکسی ترفتالویل ساخته می‌شوند. در ضمن مطالبی دربارهٔ فرمولبندی پایه این گونه فیلمها، میزان مصرف و تولید، خواص فیزیکی و شیمیایی وسایر کاربردهای پلی اتیلن ترفتالات و همچنین فرایند ساخت آن ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

فیلمهای رادیولوژی ـ پایه فیلمهای رادیولوژی ـ پلی اتیلن ترفتالات.

Key Words:

Radiology films, Base of radiology films, Poly(ethylene terephthalate).

مقدمه:

فیلمهای رادیولوژی از دو قسمت عمده به نامهای پایه *(base)* و مواد حساس تشکیل یافته‌اند که در این بخش فقط قسمت پایه مورد بحث قرار گرفته است.

جنس پایه *(base)* فیلم بر اساس پارامترهایی چون پایداری ابعادی، قابلیت عبوردهی آب به میزان کم، انعطاف‌پذیری، آزادی از بی‌قاعدگی سطحی *(freedom from surface irregularities)*، تراکم، قیمت و ایمنی انتخاب می‌گردد.

در تکنولوژی تهیه فیلم رادیولوژی سه نوع پایه *(base)* به منظور نگهداری مواد حساس در برابر اشعه ایکس وجود دارد که عبارتند از: شیشه، کاغذ، پلاستیک.

امروزه از فیلمهای پلاستیکی شفاف برای این منظور استفاده می‌شود. اولین پایه پلاستیکی از جنس نیترات سلولز بوده که به دلیل آتش‌گیر بودن و ناپایداری آن از نظر شیمیایی دیگر مصرف نمی‌شود. برای بهبود فیلمهای رادیولوژی از استرهای سلولز پلی‌اتیلن ترفتالات به عنوان پایه استفاده می‌شود. که این مواد علاوه بر موارد ایمنی از استحکام و پایداری ابعادی و شیمیایی خوبی برخوردارند. *[1]*

فیلمهای پلی‌اتیلن ترفتالات شفافیت، پایداری ابعادی عالی (به میزان خیلی کم با تغییرات دما و رطوبت تغییر ابعاد می‌دهند)، تورم بسیار کم (کمتر از ۰/۰۶٪ به طور خطی) و استحکام بالایی دارند. این خصوصیات خود تاییدی بر استفاده از فیلمهای پلی اتیلن ترفتالات به عنوان پایه فیلم رادیولوژی در ماشینهای خودکار و سریع فرایند فیلمهای اشعه ایکس است.*[2]*

به منظور آشنایی با میزان واردات فیلمهای رادیولوژی در سالهای اخیر، به عنوان نمونه، میزان واردات این کالا در سالهای ۱۳۶۳ و ۱۳۶۴ در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ ــ میزان واردات فیلمهای رادیولوژی در سالهای ۱۳۶۳، ۱۳۶۴*

سال	کیلوگرم
۱۳۶۳	۴۹۸۰۲۱
۱۳۶۴	۳۸۱۰۲۲

به طور کلی، طبق آمار به دست آمده از وزارت بهداشت و درمان در سالهای اخیر (سال ۶۵ و ۶۶) در حدود ۲۰ میلیون برگ فیلم رادیولوژی در اندازه‌های مختلف جهت امور پزشکی وارد شده است که اگر فیلمهای رادیولوژی صنعتی نیز به این تعداد اضافه شوند، رقم قابل توجهی خواهد شد و ارز زیادی را به خود اختصاص خواهد داد.

تولید پلی‌اتیلن ترفتالات و کاربردهای آن

پلی اتیلن ترفتالات محصول واکنش تراکمی اتیلن گلیکول با دی متیل ترفتالات *(DMF)* یا ترفتالیک اسید *(TPA)* است و واحد تکراری آن $-O-(CH_2)_2-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-C_6H_4-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$ می‌باشد. ترفتالیک اسید محصول اکسایش پارازایلن است و واکنش *TPA* با متانول *DMT* ایجاد می‌کند. از طرف دیگر اتیلن گلیکول از واکنش بین اتیلن اکسید و آب به دست می‌آید.

پلی اتیلن ترفتالات‌تولید شده به وسیله *TPA* و اتیلن گلیکول نسبت به پلی اتیلن ترفتالات حاصل از واکنش تبادل استری بین *DMT* و اتیلن گلیکول، حاوی دی اتیلن گلیکول *(DEG)* بیشتر است. *DEG* محصول یک واکنش تشکیل اتر داخل مولکولی بین گروههای استر *B* ــ هیدروکسی اتیل *(B-Hydroxyethyl)* انتهایی است و وجود *DEG* در محصول نهایی پلی اتیلن ترفتالات سبب کاهش تبلور و در نتیجه کاهش استحکام و نقطه ذوب می‌گردد. به علاوه ناپایداری گروه اتری آلیفاتیکی موجود در *DEG* می‌تواند دلیلی بر کاهش مقاومت پلی اتیلن ترفتالات در برابر اکسایش حرارتی و نور *UV* باشد. *[3]*

کاربردهای پلی اتیلن ترفتالات را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد.

تولید بطری

از پلی‌اتیلن ترفتالات، توسط روش قالب‌گیری بادی *(Blow Molding)* جهت تهیه بطری مایعات خوراکی از قبیل نوشابه، روغن، سس، عسل، شربت، ماست و غیره استفاده می‌شود. این بطریها در مقایسه با انواع شیشه از دو مزیت برخوردارند. ضمن اینکه جلا و شفافیت ظاهری آنها شبیه به هم است. اولاً نشکن هستند، که این مزیت هم از نظر ضایعات تولید، حمل و نقل و هم از لحاظ ایمنی مصرف کننده حائز اهمیت است. ثانیاً سبکترند و این خود کاهش هزینه حمل و نقل را به همراه دارد. در بیشتر این بطریها برای جبران ضعف از یک پایه پلی اتیلن با جرم مخصوص زیاد *(HDPE)* در قسمت تحتانی استفاده می‌شود.

تولید فیلم

فیلمهای متنوعی از پلی اتیلن ترفتالات تهیه می‌شود که عبارت‌اند از:

فیلمهای عکاسی، فیلمبرداری و رادیولوژی

پلی استر (پلی اتیلن ترفتالات) علی‌رغم قیمت نسبتاً بالاتر به دلیل قدرت مکانیکی، پایداری ابعادی، حساسیت کم ابعاد نسبت به تغییرات دما در دامنه وسیعی از دما و نیز حساسیت کم آن نسبت به تغییرات رطوبت جایگزین استات سلولز در زمینه تهیّه فیلم عکاسی و فیلمبرداری شده است.

در زمینه تهیه فیلمهای رادیولوژی نیز پلی اتیلن ترفتالات جایگزین استات سلولز شده است، زیرا در روشهای ظهور خودکار این فیلمها، پایداری ابعادی در برابر حرارت و رطوبت و همچنین استحکام مورد نیاز است.

فیلمهای با ضخامت ۵۰ الی ۱۸۰ میکرون برای مصارفی چون فتوگرافیک، میکروگرافیک، هنرهای گرافیک کاربرد دارند.

نوار و صفحات مغناطیسی

فیلم پلی اتیلن ترفتالات به عنوان پایه برای تهیه همه نوع نوارهای مغناطیسی در زمینه‌های کامپیوتر، صوتی، تصویری و غیره مورد مصرف قرار می‌گیرد.

در زمینه کامپیوتر شامل نوار، کارت مغناطیسی، کارتریج و دیسک می‌شود. در زمینه صوتی در برگیرندهٔ کاست، کارتریج، ریل *(reel-to-reel)* و نوار مادر است. همچنین در تهیه انواع نوارهای تصویری *(video)* از پلی اتیلن ترفتالات به عنوان فیلم پایه استفاده می‌شود. و فیلمهای با ضخامت ۶ الی ۳۶ میکرون در تهیه نوارهای مغناطیسی به کار می‌روند.

مصارف بسته‌بندی

فیلمهای بسته‌بندی پلی اتیلن ترفتالات به دلیل چقرمگی *(toughness)*، شفافیت، استحکام و مقاومت در برابر پارگی، سایش، عبور بخار آب و بخارات آلی مواد شیمیایی و همچنین حفظ پایداری ابعادی تا $200^{\circ}C$ و استحکام در برابر ضربه تا $-70^{\circ}C$، جایگزین پلی پروپیلن و سلوفان و آلومینیم می‌شوند. این فیلمها توسط اداره مواد غذایی و دارویی ایالت متحده *(U.S. Food and Drug Administration)* برای بسته‌بندی مواد غذایی در تمام دماها مورد قبول واقع شده است و در بسته‌بندی گوشت، پنیر و... و بسته‌بندیهایی که از فریزر تا جوشاندن مواد غذایی کاربرد دارند، مثل سبزیجات یخ زده که با بسته‌بندی می‌جوشند، مصرف می‌شود.

کاربردهای متفرقه

سایر کاربردهای فیلم پلی اتیلن ترفتالات عبارت‌اند از:

ـ در زمینه‌های الکتریکی مانند تهیه خازنها و روکش کابلها که فیلمهای با ضخامت ۱/۵ الی ۲/۵ میکرون در تهیه خازنها و فیلمهای با ضخامت بیشتر از ۳۵۵ میکرون برای وسایل الکتریکی چون عایقهای مولد و موتور به کار می‌روند.

ـ به صورت پوشیده شده با یک لایه فلز *(metallized film)* به روش رسوب دادن در خلاء که در نتیجه از عبور رطوبت و بخار و نور ماورای بنفش جلوگیری می‌شود، در تهیه پاکتها، عایقهای حرارتی، نوری و غیره به کار می‌رود.

ـ به صورت نوار جهت نوار ماشینهای تحریر، نوار چسب و غیره.

ـ به صورت برچسب روی پاکتهای نامه و مصارف متنوع دیگر.

تولید الیاف

الیاف پلی اتیلن ترفتالات جزو مهمترین الیاف مصنوعی مورد مصرف در تهیه انواع منسوجات جهت البسه، وسایل خانگی، کفپوش و در صنایع لاستیک‌سازی (به عنوان تقویت کننده)، پزشکی و بهداشتی محسوب می‌گردد. الیاف تهیه شده از پلی اتیلن ترفتالات مقاومت خوبی در برابر سایش، آفتاب، اسیدها، بازها، سفید کننده‌ها و حلالهای معمولی دارند. [4, 5]

بازار جهانی فیلم پلی اتیلن ترفتالات

فیلم پلی اتیلن ترفتالات بازار گسترده‌ای دارد که در این بخش طی جدولهای ۲ و ۳ به تولید کنندگان بزرگ این فیلمها و میزان تولید و مصرف آن در مناطق صنعتی در سال ۱۹۸۳ اشاره شده است [5, 6].

در جدول ۴ شکل و مصرف فیلم پلی اتیلن ترفتالات در مناطق صنعتی در سال ۱۹۸۳ آمده است.

جدول ۲ ــ تولید کنندگان بزرگ فیلم پلی اتیلن ترفتالات

تولیدکننده	ظرفیت (هزار تن)	
	۱۹۸۳	۱۹۸۶
دوپان (Dupont)	۱۰۲	۱۰۹
هوخست (Hoechst)	۳۹	۶۰
آی ـ سی ـ آی (ICI)	۷۷	۱۰۷
تجن (Teijin)	۴۴	۵۸
تورای (Toray)	۴۶	۵۲

جدول ۳ ــ میزان تولید و مصرف فیلم پلی اتیلن ترفتالات در مناطق صنعتی در سال ۱۹۸۳

منطقه	میزان تولید فیلم PET	میزان مصرف فیلم PET
ایالات متحده	۲۱۸	۲۱۵
اروپای غربی	۱۰۴	۹۴
ژاپن	۱۱۰	۹۳
جمع	۴۳۲	۴۰۲

خواص حرارتی و مکانیکی پلی‌اتیلن ترفتالات

نقطهٔ ذوب پلی‌اتیلن ترفتالات خالص و کاملاً آنیله شده $271^{\circ}C$ است. اما پلی‌اتیلن ترفتالاتهای تجارتی بین ۲۵۵ تا ۲۶۵ درجه سانتیگراد ذوب می‌شوند و این به دلیل وجود ناخالصی در زنجیر اصلی پلیمر است ناخالصی اصلی موجود در پلی‌اتیلن ترفتالات تجارتی، دی‌اتیلن گلیکول است که این ماده محصول فرعی عمل پلیمر شدن است طی آزمایشهای مکرر مشخص شده است که نقطه ذوب پلی‌اتیلن ترفتالات طبق معادله زیر

جدول ۴ ــ نوع مصرف فیلم پلی‌اتیلن ترفتالات در مناطق صنعتی در سال ۱۹۸۳

نوع مصرف	ایالات متحده		اروپای غربی		ژاپن	
	هزارتن	%	هزارتن	%	هزارتن	%
عکاسی، فیلمبرداری‌ورادیوگرافی	۷۷	۳۶	۳۲	۳۴	۱۸	۱۹
مغناطیسی	۴۱	۱۹	۱۴	۱۵	۲۹	۳۱
بسته‌بندی	۲۰	۹	۱۰	۱۱	۱۳	۱۴
فیلم بالایه فلزی	۹	۴	۷	۷	—	—
الکتریکی	۱۱	۵	۹	۱۰	۱۲	۱۳
نوار و برچسب	۱۱	۵	—	—	—	—
سایر	۴۶	۲۱		۲۳	۲۱	۲۳
جمع	۲۱۵	۱۰۰	۹۴	۱۰۰	۹۳	۱۰۰

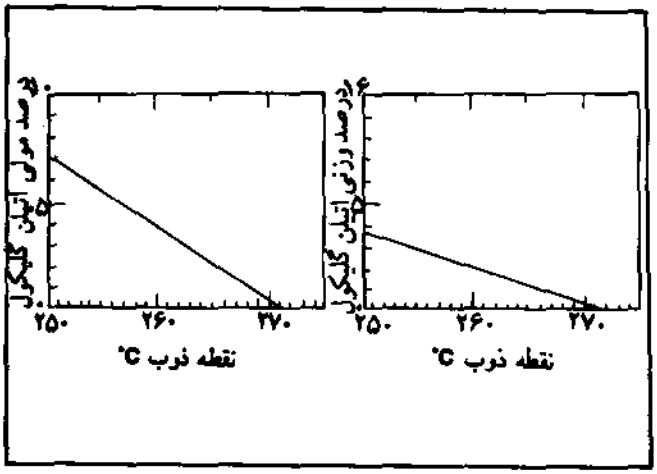
با میزان *DEG* موجود در پلیمر، ارتباط دارد [3].

mp^{*} (°C) = ۲۷۱ - ۵/۵ × (درصد وزنی *DEG*)

یا

mp (°C) = ۲۷۱ - ۳ × (درصد وزنی *DEG*)

منحنیهای شکل ۱ نیز این مطلب را نشان می‌دهند [7].



شکل ۱ ــ درصد وزنی و مولی دی‌اتیلن گلیکول نسبت به نقطهٔ ذوب

پلی‌اتیلن ترفتالات از جمله پلیمرهایی است که با افزایش درصد تبلور، دمای انتقال شیشه‌ای (Tg) آن افزایش می‌یابد. به طوری که Tg نوع بی‌شکل آن ۶۷°C، نوع بلوری ۸۱°C و نوع بلوری و جهت‌گیری شده آن ۱۲۵°C است. این متغیر بودن Tg بین ۶۷ تا ۱۲۵°C امکانات زیادی را برای تولیدکنندگان فراهم می‌سازد [7].

درصد تبلور یکی از پارامترهای مؤثر بر روی جرم مخصوص پلیمر است. طبق آزمایشهای اشعه ایکس انجام شده، ابعاد سلول واحد بلوری پلی‌اتیلن ترفتالات به صورت زیر تعیین شده‌اند.

c= ۱۰/۷۵ b = ۵/۹۴ a = ۴/۵۶ در ۲۳°C

γ = ۱۱۲° β = ۱۱۸° α = ۹۸/۵°

براساس این ابعاد جرم مخصوص پلی‌اتیلن ترفتالات کاملاً بلوری ۱/۴۵۵ گرم بر سانتیمتر مکعب محاسبه شده است. در حالی که جرم مخصوص پلی‌اتیلن ترفتالات کاملاً بی‌شکل ۱/۳۳۵ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. جدول ۶ جرم مخصوص پلی‌اتیلن ترفتالات را براساس میزان تبلور و نظم موجود در پلیمر نشان می‌دهد [7].

جدول ۶ ــ جرم مخصوص پلی‌اتیلن ترفتالات براساس میزان تبلور

شکل PET	جرم مخصوص نمونه (سانتیمتر مکعب / گرم)	درصد تبلور تخمین زده‌شده به روش	
		IR*	جرم مخصوص
بی‌شکل، جهت‌گیری نشده	۱/۳۳۵	۲	۰
جزئی‌بلوری و جهت گیری‌نشده	۱/۳۸۵	۴۸	۴۲
بلوری و جهت‌گیری شده	۱/۳۹۰ ۱/۳۸۹	۶۵ ۷۶	۴۶ ۴۵
بلوری (محاسبه شده)	۱/۳۸۱ ۱/۴۵۵	۸۰ —	۳۸ —

برای ذوب پلی‌اتیلن ترفتالات گرم / ژول ۱۶۶ (۳۹/۷ کالری) گرما موردنیاز است [3]. همان‌طور که پیش از این اشاره شد گرفیلمهای پلی‌اتیلن ترفتالات توسط استحکام کششی بالا و پایداری ابعادی عالی، جذب رطوبت کم و حفظ خواص فیزیکی در یک دامنه وسیعی از دما (۷۰ــ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد) و داشتن خواص الکتریکی خوب مشخص می‌شود [5]. جدول ۷ خصوصیات پلی‌اتیلن ترفتالات را به طور کلی نشان می‌دهد [7].

* m.p. مخفف melting point به معنای نقطه ذوب است.

* IR مخفف infra red به معنای زیرقرمز است.

جدول ۷ ــ خصوصیات کلی پلی‌اتیلن ترفتالات

استحکام کششی (فیلم) (psi)	۲۰۰۰۰ ــ ۲۵۰۰۰
درصد افزایش طول تا پارگی (فیلم)	۷۵
تنش در نقطه تسلیم (فیلم) (psi)	۲۲۰۰۰ ــ ۱۲۰۰۰
استحکام دربرابر ضربه (فیلم) ($Kg.cm.mil^{-1}$)	۶
استحکام در برابر پارگی (فیلم) ($g\ mil^{-1}$)	
اولیه	۱٫۶۰۰ ــ ۱٫۳۹۰ (gm/cc^{-1})
انتشار	۱٫۵۰ × ۱۰ (gm/cc^{-1})
ضریب انبساط حجمی (deg^{-1})	
۳۰ ــ ۶۰°C	$۱/۶ \times ۱۰^{-۴}$
۹۰ ــ ۱۹۰°C	$۳/۷ \times ۱۰^{-۴}$
حرارت ویژه [$cal\ g^{-1}\ (deg\ c)^{-1}$]	$Cp = A + B.T$
برای پلیمر مذاب (دمای ۲۷۰ تا ۲۹۰°C)	$A = ۰/۳۳۳۳$
	$B = ۵/۶۵ \times ۱۰^{-۴}$
هدایت حرارتی [$cal\ cm^{-1}\ sec^{-1}\ deg^{-1}$]	$۳/۳۶ \times ۱۰^{-۴}$
جذب رطوبت	
غوطه‌ور در آب ۲۵°C به مدت یک هفته	۰/۸٪
قابلیت عبوردهی گاز (فیلم)	
بخار آب (g/۱۰۰ sq m/hr)	۱۱۰
اکسیژن (g/۱۰۰ sq m/hr)	۰/۹۰
قدرت دی‌الکتریک (فیلم) [$V\ mil^{-1}$]	
۶۰ سیکل ۲۵°C	۷۰۰۰
۶۰ سیکل ۱۵۰°C	۵۰۰۰
ثابت دی‌الکتریک (فیلم)	
۶۰ سیکل، ۲۵°C	۳/۲۵
۶۰ سیکل، ۱۵۰°C	۳/۷
یک کیلو سیکل ۲۵°C	۳/۱
یک مگا سیکل ۲۵°C	۳/۰

در جدول ۸ مشخصات طیف *IR* پلی‌اتیلن ترفتالات ارائه شده است[7].

جدول ۸ ــ مشخصات طیف IR پلی‌اتیلن ترفتالات

گروه کربونیل ارتعاش کششی	ضعیف	۱۷۲۰
اتر ارتعاش کششی	ضعیف	۱۶۱۵
گروه کربونیل ارتعاش کششی	ضعیف	۱۵۸۰
حلقه بنزن ارتعاش کششی	ضعیف	۱۵۰۰
C–H الیفاتیک ارتعاش کششی	قوی	۱۴۶۵ ــ ۱۴۵۰
C–H الیفاتیک ارتعاش کششی	قوی	۱۳۸۰ ــ ۱۳۷۰
کربونیل ارتعاش کششی	بسیار قوی	۱۳۴۵ ــ ۱۳۲۵
۰۰۲ ۵/۲	متوسط	۱۲۸۰ ــ ۱۲۶۰
C–C ــ آروماتیک ارتعاش کششی	متوسط	۱۵۸۰
یا	ضعیف	۱۵۶۵
C ــ C ــ فنیل (در صفحه)	قوی	۱۴۱۰
	متوسط	۱۰۱۹
	ضعیف	۷۹۳
	متوسط	۱۳۷۵ ــ ۱۳۶۵
دگرشکلی C–H الیفاتیک	متوسط	۱۴۶۰ ــ ۱۴۲۰
یا ارتعاش جبانه‌ای ــ CH_2 ــ	متوسط	۱۴۷۰
دگرشکلی ــ CH_2 ــ عمود به سطح CH_2	ضعیف	۱۳۴۰
C–O–C ارتعاش کششی	قوی	۱۲۶۹ ــ ۱۲۴۶
C–O–C ارتعاش کششی	قوی	۱۲۲۷
C–O–C ارتعاش کششی	قوی	۱۱۲۹
C–O–C ارتعاش کششی	قوی	۱۰۹۹
	ضعیف	۱۰۴۷
	ضعیف	۹۷۳
گروه ــ CH_2 ــ	ضعیف	۸۹۷
	ضعیف	۸۴۹
دگرشکلی CH فنیل (در صفحه)	متوسط	۱۰۱۹
دگرشکلی CH فنیل (در صفحه)	ضعیف	۷۹۳
دگرشکلی CH فنیل (خارج از صفحه)	متوسط ضعیف	۸۴۹
دگرشکلی CH فنیل (خارج از صفحه)	قوی	۷۲۶

انحلال‌پذیری پلی‌اتیلن ترفتالات

پارامتر انحلال‌پذیری پلی‌اتیلن ترفتالات در حدود $۲۱/۸\ mPa^{\frac{1}{2}}$ است. اما به دلیل تبلور بالایی که دارد فقط آزاد کننده‌های پروتون، که قابلیت برهم کنش با گروههای استر را دارند، در انحلال‌پذیری آن مؤثرند.

اغلب برای اندازه‌گیری وزنهای مولکولی پلیمرهای تجارتی، که معمولاً در حدود ۲۰،۰۰۰ است، از مخلوط فنول و تتراکلرواتان استفاده می‌شود. جدول ۹ تعدادی از حلالها و غیر حلالهای پلی‌اتیلن ترفتالات را نشان می‌دهد [7].

تعیین وزن مولکولی

مقدار پارامترهای a,k در رابطه مارک ــ هوونیک (*Mark-Howink*)، که بیانگر ارتباط بین ویسکوزیته ذاتی و وزن مولکولی (متوسط

جدول ۹ ــ انحلال‌پذیری پلی‌اتیلن ترفتالات

حلال	هیدروکربنها
فنول/تتراکلرواتان (۱:۱ حجمی)	هیدروکربنهای کلردار
فنول/۲ و ۴ و ۶ تری کلروفنول (۷:۳۰ حجمی)	الکلهای آلیفاتیک
کلروفنول	کتونها
نیترو بنزن	استرهای کربوکسیلیک واسترها
آلیفاتیکهای هالوژن‌دار	
اسیدهای کربوکسیلیک	
تری فلوئوراستیک اسید	
ارتو ـ نیتروبنز آلدهید	

عددی) است، در دو گروه نمونه‌های پلی‌اتیلن ترفتالات جزءبه‌جزء نشده، و جزء به جزء شده آمده است.

رابطه مارک ـ هووینک $[\eta] = KM^{a}_{n}$

جدول ۱۰، حلالها و غیرحلالهای مورد استفاده در روشهای مختلف جدا سازی پلی‌اتیلن ترفتالات را نشان می‌دهد[7].

جدول ۱۰ ــ حلالها و غیرحلالهای مورد استفاده در روشهای مختلف جداسازی پلی‌اتیلن ترفتالات

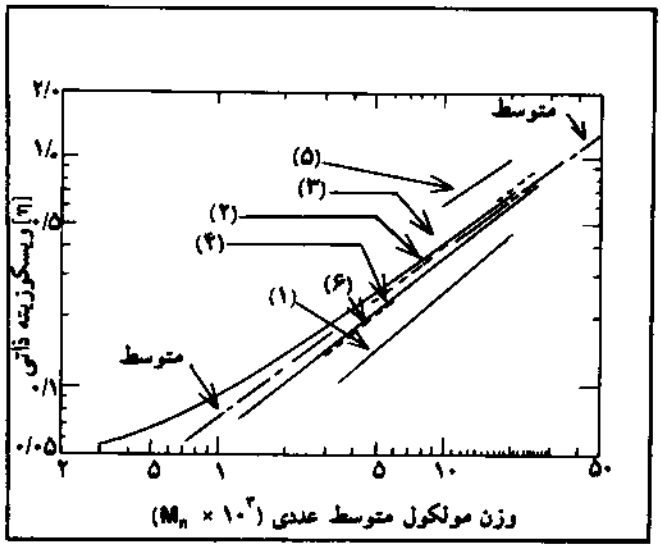
رسوب گیری جزء بجزء	فنول، تتراکلرواتان / لیگروین	۶۵°C ۶ساعتو
	فنول: سیکلو هگزان	۷۰°C
	متاکرزول: لیگروین (۱۰۰°C)	۵۰°C
	b.p* دی‌متیل فرمامید) =	دمای پائین
حل کردن جزء بجزء	فنول: تتراکلرواتان (۲:۳)/ تولوئن	استخراج فیلم ۹۵°C
توزیع بین دو مایع	متاکرزول/ اترنفتی	—
امتزاج ناپذیر		

* b.p. مخفف boiling point به معنای نقطه جوش است.

الف: نمونه‌های پلی‌اتیلن جزءبه‌جزء نشده: جدول ۱۱ مقدار K,a را برای حلالهای مختلف و دماهای مختلف نشان می‌دهد و شکل ۲ بیانگر تغییرات ویسکوزیته ذاتی برحسب وزن مولکولی متوسط عددی (M_n) است.

جدول ۱۱ ــ مقدار K,a با حلالهای متفاوت و در دماهای مختلف برای نمونه‌های PET جزءبه‌جزء نشده

۱	فنول/تتراکلرواتان	۲۰	۰/۹	۰/۸۷
۲	فنول/تتراکلرواتان	۲۵	۰/۸۱	۰/۸۲
۳	فنول/ تتراکلرواتان	۲۰	۰/۷۵۵	۰/۶۸۵
۴	ارتوکلروفنول	—	۰/۷۰	۰/۷۷
۵	فنول	۵۰	۰/۵۱۷	۰/۷۰۹
۶	فنول/تری کلروفنول	۲۹/۸	۰/۸۸	۰/۸۶۵
	متوسط		۰/۵	۰/۷۳



شکل ۲ ــ تغییرات ویسکوزیته ذاتی برحسب وزن مولکولی متوسط عددی (M_n)

ب: نمونه‌های پلی‌اتیلن جزءبه‌جزء شده: جدول ۱۲ مقدار K,a را برای این نمونه‌ها در حلالها و دماهای مختلف نشان می‌دهد و شکل ۲ نیز بیانگر تغییرات ویسکوزیته ذاتی،برحسب وزن مولکولی متوسط عددی (M_n) است.

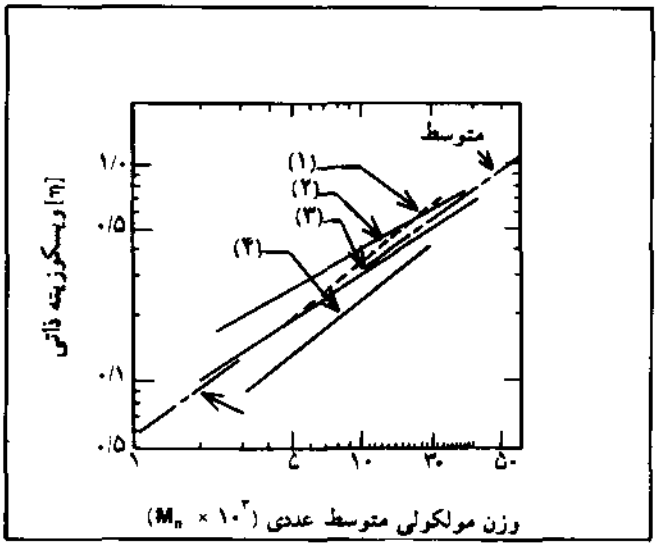
ویسکوزیته ذاتی پلی‌اتیلن ترفتالات محصولات تجارتی از $\frac{dl}{g}$ ۰/۴۵ برای فیلم و الیاف تا $\frac{dl}{g}$ ۰/۹ برای بطریهای نوشابه است که این گستره معادل وزن مولکولی (متوسط عددی) از ۱۵۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ است.

در سرعتهای برشی پایین تا 10^5 پاسکال (۱۵psi) مذاب پلی‌اتیلن ترفتالات به صورت مایع نیوتنی عمل می‌کند. ویسکوزیته مذاب (M_0) آن در ۲۸۰°C توسط رابطه زیر با متوسط عددی وزن مولکولی ارتباط پیدا می‌کند.

$$M_0 = 1/77\times10^{-10}\ M_n^{3/5}\ mPa.s$$

جدول ۱۲ ــ مقدار K.a در حلالها و دماهای مختلف برای نمونه‌های P.E.T جزءبه‌جزء شده

۱	فنیل /تتراکلروفنول	ــ	۱۷۱/۶	۰/۵۹
۲	تتراکلرواتان	۲۰	۶/۲۷	۰/۸۹
۳	فنول/تتراکلروفنول	۲۰	۵/۴	۰/۶۸
۴	فنول/دی کلرواتان	۲۰	۰/۸۲	۰/۸۵
	متوسط		۲۸	۰/۷۴



شکل ۳ــ تغییرات ویسکوزیته ذاتی برحسب وزن مولکولی متوسط عددی (M_n)

در سرعتهای برشی بالا، بیشتر از 10^5 پاسکال (۱۵psi)، پلی‌اتیلن ترفتالات تنش کمی از خود نشان می‌دهد به طوری که ویسکوزیته مذاب (M_c) آن در $280^\circ C$ توسط معادله زیر بیان می‌گردد [3].

$$M_v = 7/0 \times 10^{-5}\ M_n^{3/27}\ \dot{\gamma}^{-0/29}\ mpa.s$$

($\dot{\gamma}$ = سرعت برشی برحسب $\frac{1}{\text{ثانیه}}$)

جدول ۱۳ مقدار پارامترهای موجود در رابطه بین ویسکوزیته و وزن مولکولی، $\eta = KM^a$، را براساس روش اندازه‌گیری مورد استفاده، نشان می‌دهد [7].

جدول ۱۳ ـ مقدار K.a براساس روشهای اندازه‌گیری مختلف

OS*	ارتو-کلروفنول	۲۵	۶۵۶۰	۰/۷۳	۵	۲/۵ ــ ۱/۲
EG**	ارتو-کلروفنول	۲۵	۳۰۰	۰/۷۷	۲۳	۲۹ ــ ۱/۱
EG	ارتو-کلروفنول	۲۵	۱۷	۰/۸۳	۷	۲/۰ ــ ۰/۸
EG	متا-کرزول	۲۵	۰/۷۷	۰/۶۵	۵	۱/۲ ــ ۰/۰۴
EG	تتراکلرواتان	۵۰	۱۳/۸	۰/۸۷	۶	۰/۸ ــ ۰/۰۴
EG	فنول / تتراکلرواتان ۴۰/۶۰	۳۰	۲۱۰	۰/۵۸	۸	۰/۸ ــ ۰/۰۴
EG	فنول/ تتراکلرواتان ۵۰/۵۰	۲۰	۷۵/۵	۰/۶۸۵	۲۸	۰/۸ ــ ۰/۰۴
EG	فنول / تتراکلرواتان ۵۰/۵۰	۲۵	۲۱	۰/۸۲	۹	۳ ــ ۰/۵
EG	فنول/دی کلرواتان ۶۰/۴۰	۲۵	۹۲	۰/۸	۹	۳ ــ ۰/۵
LS***	فنول / تتراکلروفنول	۲۵	۴۶/۸	۰/۶۸	۹	۳ ــ ۰/۵
EG	فنول / تری کلروفنول	۲۵/۸	۲۸/۰	۰/۷۷۵	۲	۰/۴ ــ ۰/۱

* OS مخفف Osmotic Pressure به معنای فشار اسمزی است.

** EG مخفف End group titration به معنای تیتر کردن گروههای انتهایی.

*** LS مخفف Light scattering به معنای پراکندگی نور.

OS,EG روشهایی برای اندازه‌گیری وزن مولکولی برحسب متوسط عددی است و LS روشی برای تعیین وزن مولکول برحسب متوسط وزنی است.

REFERENCES

[1] Kirk. R. E, Othmer. D. F, Encyclopedia of Chemical Technology, Vol 17, 3rd Ed. J. Wiley & Sons, 1982.
[2] Modern plastic encyclopedia 71-72
[3] Encyclopedia of chemical technology vol 18 Kirk, R. E, Othmer. D.F, John Wiley & Sons, 1982
[4] Encyclopedia of chemical Tech. 86-87
[5] Stanford research institute (SRI) Vol 159
[6] Chemical economic hand book (stanford research institute)
[7] Handbook of polymer (J. BRANDRUP / 'E.H. Immergut) John Wiley, 1975, 2nd ed.
[8] Plastic material (BRYDSON) J. A. BRYDSON, 3nd ed.
[9] Stanford research institute (SRI) vol 18

ادامه دارد...