فرایند تولید فیلم پلی اتیلن خطی سبک

Processing of Linear Low Density Polyethylene Film (LLDPE)

علی احمدی ، همایون حسین خانلی ، مینا فراحی شاندیز
پژوهشگاه صنعت نفت - پژوهشکده پلیمر

چکیده

با اینکه مدت زمان کمی از ورود پلی اتیلنهای خطی سبک ،LLDP ،به بازارهای دنیا می گذرد ،ولی موارد مصرف گوناگون و بسیار متنوع این مواد ،که مهمترین آنها تولید فیلم از طریق دستگاه اکسترودر فیلم دمشی است ،توجه بسیاری از تولید کنندگان را به خود اختصاص داده است.در حدود ۷۰٪ از پلی اتیلن خطی در صنعت فیلم وبقیه در صنایع ساخت لوله ،سیم و کابل به مصرف می رسد.LLDPE با داشتن شاخه‌های زنجیری کوتاه و عدم وجود شاخه‌های زنجیری بلند از گرانروی برشی بالا و گرانروی کششی پایینی برخوردار است.به همین دلیل فرایند پذیری آن خوب نیست و ایجاد اشکال می کند. فیلمهای LLDPE را می‌توان با استفاده از دستگاه اکسترودر فیلم دمشی مربوط به خط تولید پلی اتیلن سبک ،LDPE ،تهیه کرد ، ولی اگر منظور تولید محصولاتی باکیفیت مطلوب و در سرعتهای بالا در مقیاس تجارتی باشد ،باید بر اساس رئولوژی و نحوه جریان پذیری LLDPE فرایند مورد استفاده برای تولید فیلم LDPE را اصلاح کرد. با تغییرات روی پیچ ،حدیده و حلقه هوای خنک کننده دستگاه اکسترودر فیلم دمشی مخصوص LDPE می توان فیلمی از نوع LLDPE را به راحتی و باکیفیتی مطلوب تولید کرد.

در این مقاله تغییرات انجام شده در دستگاه اکسترودر فیلم دمشی مخصوص LDPE برای فراورش LLDPE و خواص فیلمهای تهیه شده از دو نوع پلی اتیلن سبک و پلی اتیلن خطی سبک در دستگاه اکسترودر اصلاح شده مقایسه و مورد بحث قرار می گیرند.

واژه های کلیدی : پلی اتیلن خطی سبک ،اکسترودر فیلم دمشی ،حدیده ،حلقه هوا ،پیچ

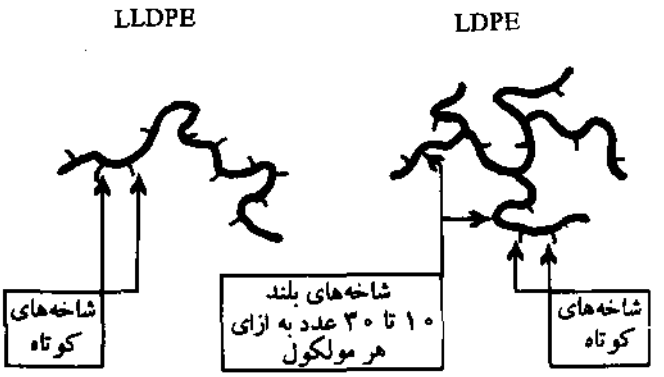
Key Words: linear low density poly ethylene, blown-film extruder, die, air ring, screw

مقدمه

پلی اتیلنهای خطی سبک (LLDPE) صنعت پلی اتیلن را دچار تغییرات زیادی کرده است.در واقع این نوع پلی اتیلن از نظر خواص با بقیه پلی اتیلنها قابل رقابت است و هزینه تولید آن حدود $\frac{2}{3}$ هزینه تولید پلی اتیلن سبک (LDPE) است.LLDPE مزایای مهمی نسبت به LDPE دارد که در پلیمر شدن پلی اتیلن فشار بالا تولید می شود.پلی اتیلن سبک در فشار ۵۰۰۰۰ Psi ودمای ۳۰۰°C توسط رادیکال آزاد پلیمر می‌شود و دارای زنجیرهایی با شاخه های بلند است.در حالی که LLDPE در فشار ۵۰۰Psi و دمای ۱۰۰°C توسط کاتالیزور زیگلر ،فیلیپس یا کاتالیزورهای نوع فلزات واسطه ساخته می شود.ولی هیچ شاخه بلندی در ساختار آن دیده نمی شود.این پلیمر می‌تواند شامل زنجیرهای کوتاه باشد [۱ تا ۳]. شکل ۱ ساختار مولکولی پلی اتیلن خطی سبک (LLDPE) و پلی اتیلن سبک (LDPE) را نشان می‌دهد.

از نقطه نظر ساختار شیمیایی LLDPE از کوپلیمر شدن اتیلن با α اولفینهای شامل ۴ تا ۱۰ اتم کربن تشکیل می شود که مقدار کومونومر α اولفینها در LLDPE حدود ۵ تا ۱۰ % می‌باشد.بیشترین کومونومرهای مصرفی در صنعت عبارت‌اند از: پروپن ،۱-بوتن ،۴ متیل ۱-پنتن ،۱-هگزن و ۱-اکتن.

این اولفینها به صورت شاخه های کوتاه به زنجیرپلی اتیلن متصل می شوند که هریک می‌توانند خواص متفاوتی را باعث شوند.از سوی دیگر ،نوع فرایند پلیمر شدن ،طول زنجیرو همچنین میزان اولفین



شکل ۱- ساختار مولکولی پلی اتیلن خطی سبک (LLDPE) و پلی اتیلن سبک (LDPE)

مصرفی در ساختار پلیمر روی خواص آن مؤثر است.

گروههای مشتق از α اولفینهای با تعداد کربن بیشتر در درشت مولکول پلی اتیلن باعث شاخه‌دار شدن زنجیر می‌شود [۴].LLDPE به وسیله تفاوت شاخه ها و شکل ساختار از HDPE (پلی اتیلن سنگین) و LDPE تمیز داده می‌شود.تعداد شاخه های جانبی در HDPE بسیار کمتر از LLDPE است ،در حالی که در LDPE این شاخه های جانبی بسیار بیشتر از LLDPE می باشد و نیز در LDPE طول شاخه های جانبی به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از شاخه های جانبی LLDPE است.تخمین زده می شود که LDPE شامل ۰/۵ تا ۵ شاخه جانبی بلند و ۱۰ تا ۲۰ شاخه جانبی کوتاه به ازای هر ۱۰۰۰ اتم کربن باشد [۵].زنجیر بلند (دارای بیش از چهار اتم کربن) ممکن است به عنوان شاخه نیز باشد.

افزایش جرم مولکولی کومونومر خصوصیات فیزیکی LLDPE را بهبود می بخشد ،به عنوان مثال LLDPE از نظر خواصی نظیر: مقاومت در برابر فرسایش ،استحکام کششی ،نقطه شکنندگی در دماهای پایین و مقاومت در برابر سوراخ شدن بر LDPE برتری دارد.

مقایسه پلی اتیلن خطی سبک و پلی اتیلن سبک

خصوصیات ساختاری

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که خواص فیزیکی ، مکانیکی و رئولوژیکی LLDPE ناشی از ماهیت شیمیایی و ترمودینامیکی آن است [۵ و ۶].پارامترهایی چون پایداری گرمایی و نوری ،مقاومت در برابر محیطهای اصلی حلال و آب متاثر از ماهیت شیمیایی و ساختاری LLDPE است و خواصی چون بلورینگی ،نقطه ذوب و دمای انتقال شیشه ای [۱] از ویژگیهای ترمودینامیکی LLDPE تاثیر می پذیرد [۷]. ماهیت شیمیایی ،ساختاری و ترمودینامیکی LLDPE به طور غیر مستقیم روی خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمر نیز تاثیر می گذارد. در فرایندهای ساخت کارخانه‌ای به دلیل سرعت بالا ،پدیده بلورینگی به طور کامل انجام نمی‌گیرد و شکل شناسی پلیمر دستخوش تغییر می شود. این تغییر به نوبه خود منجر به تغییراتی در خواص فیزیکی و مکانیکی LLDPE می‌شود [۸].

پلی اتیلن نیز دارای نواحی بی شکل و بلوری است.عدم وجود شاخه‌های زنجیری بلند در LLDPE باعث می‌شود که نسبت به LDPE بلورهای بزرگتر و بدون نقص در ساختارمولکولی تشکیل شود ،در نتیجه خصوصیات متفاوتی ،از جمله چگالی [۲ ،۹ ،۱۰ و ۱۲] ،بلورینگی [۱۱ و ۱۲] و نقطه ذوب [۱۳] نسبت به LDPE پیدا کند.

خصوصیات مکانیکی

خصوصیات فیزیکی - مکانیکی یک پلیمر بستگی به خطی بودن ،درجه تبلور و توزیع جرم مولکولی آن دارد.از آنجا که LLDPE نسبت به LDPE خطی تر بوده و ساختار مولکولی آن دارای نواحی بلوری بیشتری است و همچنین توزیع جرم مولکولی باریکتری نسبت به LDPE دارد ،خصوصیات بهتری را نسبت به پلیمر اخیر نشان می‌دهد.

LLDPE در حالت فیلم دارای استحکام کششی بالاتر ، ازدیاد طول تا پارگی بیشتر ،مقاومت در برابر پارگی و سوراخ شدن بالاتر نسبت به LDPE است.همچنین خصوصیاتی نظیر مقاومت در برابر ضربه، مقاومت در برابر ترک خوردن در محیط ،مدول بالا و چقرمگی از ویژگیهای LLDPE است.خصوصیات نوری LLDPE ضعیف بوده و پایداری گرمایی آن نیز نسبت به LDPE پایینتر است [۱۴].

خصوصیات برتر LLDPE در حالت فیلم نسبت به LDPE باعث موفقیت روز افزون این پلیمر در بازارهای جهانی شده است.به دلیل این خصوصیات برتر می‌توان از LLDPE فیلمی با ضخامتی یکسان با فیلمی از جنس LDPE ،ولی دارای خصوصیات بهتر نسبت به آن تهیه کرد یا فیلمی با ضخامت نازکتر نسبت به LDPE ،ولی با خصوصیات یکسان با آن ساخت.تجربه نشان می‌دهد که می‌توان با وزن یکسان به میزان ۲۰ تا ۲۵٪ فیلم LLDPE را در خصوصیات یکسان نسبت به LDPE ذخیره کرد [۱۱].

سایر خصوصیات LLDPE عبارت از جمع شدگی کم ،مقاومت بالا در برابر تنشهای خوردگی ،انتقال نور کمتر ،نفوذ پذیری کمتر نسبت به بخار و گاز در مقایسه با LDPE است.به طور خلاصه مزایا و معایب LLDPE در مقایسه با LDPE به ترتیب زیر است [۱۴].

مزایای LLDPE نسبت به LDPE

الف - استحکام کششی و درصد ازدیاد طول تا پارگی بیشتر،

ب - مقاومت در برابر سوراخ شدن ،

ج - قابلیت انبساط مذاب بیشتر ،

د- نقطه ذوب بالاتر ،
هـ- مقاومت بیشتر در برابر تنش خوردگی ،
و- نفوذ پذیری پایینتر نسبت به بخار و گاز ،
ز- قابلیت جوش خوردن گرمایی بالاتر.

معایب LLDPE نسبت به LDPE

الف- گرانروی بالاتر در حالت مذاب ،
ب- محدوده پلاستیکی کوچکتر ،
ج- ضریب نفوذ پذیری نوری کمتر.

خصوصیات رئولوژیکی

یکی از خواص مهم در فراورش پلی اتیلن ،تغییر گرانروی آن نسبت به تغییر سرعت برشی است. گرانروی LLDPE در سرعتهای برشی کم پایینتر از گرانروی LDPE است ،ولی در سرعتهای برشی بالا که مناسب اکستروژن است گرانروی بیشتری نشان می‌دهد.همین عامل باعث افزایش دمای ماده مذاب در انتهای اکسترودر و بالارفتن توان مصرفی اکسترودر در فراورش LLDPE می‌شود [۱۵، ۱۶ و ۱۷].

در شرایط اکستروژن به علت نیروهای برشی چند جهته ، مولکولهای LLDPE نمی توانند روی هم بلغزند و به همین دلیل گشتاور، فشار و دمای ذوب پلیمر بالا می رود ،ولی LLDPE نسبت به LDPE بهتر پمپ می‌شود و این به دلیل کاهش سریعتر گرانروی آن در برابر افزایش سرعت برشی است.

در حالی که LLDPE مذاب در اثر اعمال برش سخت می شود، ولی در برابر کشش تک جهته مانند اکسترودر فیلم دمشی لزوما نرم خواهد بود.فقدان شاخه‌های زنجیری بلند امکان لغزیدن زنجیرها را بر روی یکدیگر می‌دهد ،در نتیجه زمان ذوب کوتاه و در مقابل تغییر شکل کمتر سخت می‌شود که تولید فیلمهای هر چه نازکتر LLDPE را ممکن می‌کند.به طوری که نسبت کششی (نسبت شکاف حدیده به ضخامت فیلم) برای فیلم LLDPE برابر ۱۰۰ و برای LDPE مساوی ۴۰ می باشد.

تفاوت خواص رئولوژیکی LLDPE با LDPE مشکلاتی در فراورش LLDPE در اکسترودر فیلم دمشی LDPE ایجاد می‌کند.گرانروی برشی بالاتر LLDPE و گرانروی کششی کم آن نسبت به LDPE باعث می شود تا فشار سیستم بالا رود و در نتیجه شکست مذاب (melt fracture) پدید آید یا سطح فیلم خط دار (shark skin) شود.برای رفع این اشکالات روشهای زیر را می توان به کار برد:

۱- استفاده از مخلوط LLDPE و LDPE در درصدهای متفاوت [۱۸ و ۱۹].

۲- استفاده از فلوئوروالاستومرها در فراورش LLDPE که به عنوان کمک فراورش (processing aid) عمل می‌کند [۲۰].

۳- تغییرات در اجزای دستگاه اکسترودر مانند پیچ، حدیده و حلقه هوای خنک کننده.

تجربی

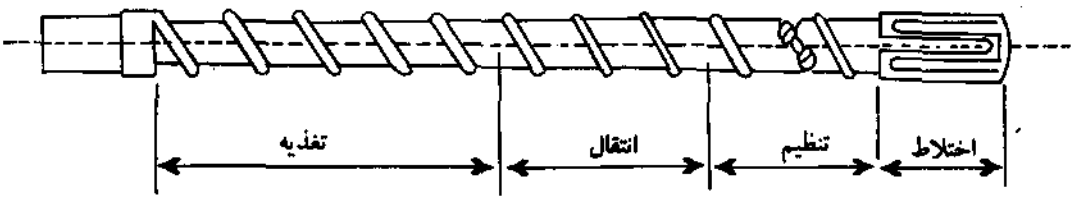
تغییر در طراحی پیچ ، حدیده و حلقه هوای خنک کننده در دستگاه اکسترودر

تغییر در طراحی پیچ برای به دست آوردن میزان بازدهی بهینه ،تغییر طراحی حدیده برای حذف شکست مذاب در خروجی از آن و همچنین برای از بین بردن خط دار شدن فیلم و سرد کردن حباب برای بهبود سرعت اکستروژن در حدیده ،از مواردی است که برای تولید فیلم LLDPE به صورت خالص ، با میزان تولید بالا و حداقل هزینه توصیه می‌شود.

تغییرات در پیچ: پیچها می توانند برای بهینه کردن تعدادی از پارامترهای فرایند طراحی شوند ،ولی فقط دو عامل دما و گشتاور مهم می‌باشند. فراورش LLDPE با پیچ مخصوص LDPE به دلیل بالا بودن گرانروی برشی آن ،گشتاور و دمای مذاب بالاتری را باعث می شود تا میزان مواد خروجی قابل مقایسه با فرایند LDPE تولید کند.هنگامی که فرایند برای هر دو نوع پلیمر با سرعت یکسانی انجام شود ،افزایش گشتاور باعث افزایش نیروی برشی و بالا رفتن دما می‌شود و این حالت به ویژه در فراورش پرفشار ممکن است باعث تخریب پلیمر گردد. به همین دلیل پیچهایی طراحی می شوند که مقدار دبی خروجی توسط آن قابل مقایسه با LDPE باشد و گشتاور نیز کاهش یابد.کوتاه کردن پیچ به علت قابلیت پمپ شدن بالای LLDPE گشتاور کمی را در یک مقدار مساوی از دبی خروجی ایجاد می کند و این باعث کنترل آسان دمای مذاب می شود. کوتاه کردن پیچ ،به دلیل آنکه LLDPE سریعتر ذوب می شود و ممکن است در داخل اکسترودر تخریب شود ،نیز می‌تواند مفید باشد. کوتاه کردن و عمیق تر کردن ناحیه تنظیم (metering) مذاب نیز بالا رفتن دما و توان مورد نیاز برای انتقال مذاب به طرف جلو را به حداقل می‌رساند. عمیق تر کردن این قسمت مقدار خروجی پیچ را کنترل می کند [۲۱ ، ۲۲ و ۲۳].

با کوتاه کردن طول پیچ فضای بین پیچ و حدیده را یا خالی می‌گذارند یا با قطعه‌ای مارپیچ با طراحی خاص آن را پر می کنند. علاوه بر آن می توان یک قسمت اختلاط در انتهای پیچ در نظر گرفت تا علاوه بر همگن کردن مواد مذاب بتواند دانه های ذوب نشده پلی اتیلن را به طور کامل ذوب کند. شکل (۲) طرحی از پیچ به کار برده شده برای اکستروژن LLDPE را نشان می‌دهد.

برای انجام آزمایشهای فراورش LLDPE به وسیله دستگاه تولید فیلم مخصوص LDPE ،پیچی طراحی و تهیه نشد.ولی ،با موجود



شکل ۲ - پیچ مخصوص فراورش پلی اتیلن خطی سبک (L/D=۱۸/۱) [۱۷]

بودن پیچی مشابه پیچ LDPE آزمایشهایی با حدیده شماره ۴ انجام گرفت.قسمت انتقال این پیچ انتخابی کوتاهتر است که یکی از مشخصات پیشنهاد شده برای پیچ مخصوص LLDPE می باشد.مشخصات پیچ LLDPE (پیچ شماره ۱) و پیچ انتخابی (پیچ شماره ۲) در جدول ۱ آمده است.

شکاف حدیده به اندازه ۳/۲-۱/۵mm توصیه می شود.

طراحی حدیده به دمای مذاب ،شاخص گرانروی پلیمر ،ساختار پلیمر و سرعت ویژه جریان مذاب بستگی دارد.ضرورتا ،شکاف حدیده مورد نیاز جهت حذف شکست مذاب با افزایش جریان بازتر می شود. مقادیر کم شکست مذاب می تواند به وسیله بالابردن دمای مغزی حدیده

جدول ۱ - مقایسه ابعاد پیچهای به کار برده شده جهت فراورش LLDPE

شماره پیچ	قطر،D (mm)	عمق مجرا،h (mm)	گام، t (mm)	عرض مجرا،w (mm)	عرض دنده،e (mm)	طول وعمق قسمت تغذیه (mm)	طول قسمت انتقال (mm)	طول قسمت انتقال مذاب (mm)
۱	۴۰	۲/۵	۳۸/۶	۳۱/۴	۵	۷D-۶/۸	۱۲D	۷D
۲	۴۰	۲/۱۵	۳۷/۵	۳۱/۸	۵	۱۱D-۷/۶	۵D	۱۰D

هردو پیچ از نوع مترینگ (Metering) بوده و دارای L/D = ۲۶ و قطر ۴۰mm می باشند.همانطور که از جدول ۱ پیداست ،قسمت تغذیه برای پیچ شماره۲طولانی تر و عمیقتر تعیه شده است و قسمت انتقال برای آن کوتاهتر است.

قسمت تنظیم یا انتقال مذاب برای پیچ شماره ۲ طولانی تر بوده و عمق آن کمتر است.

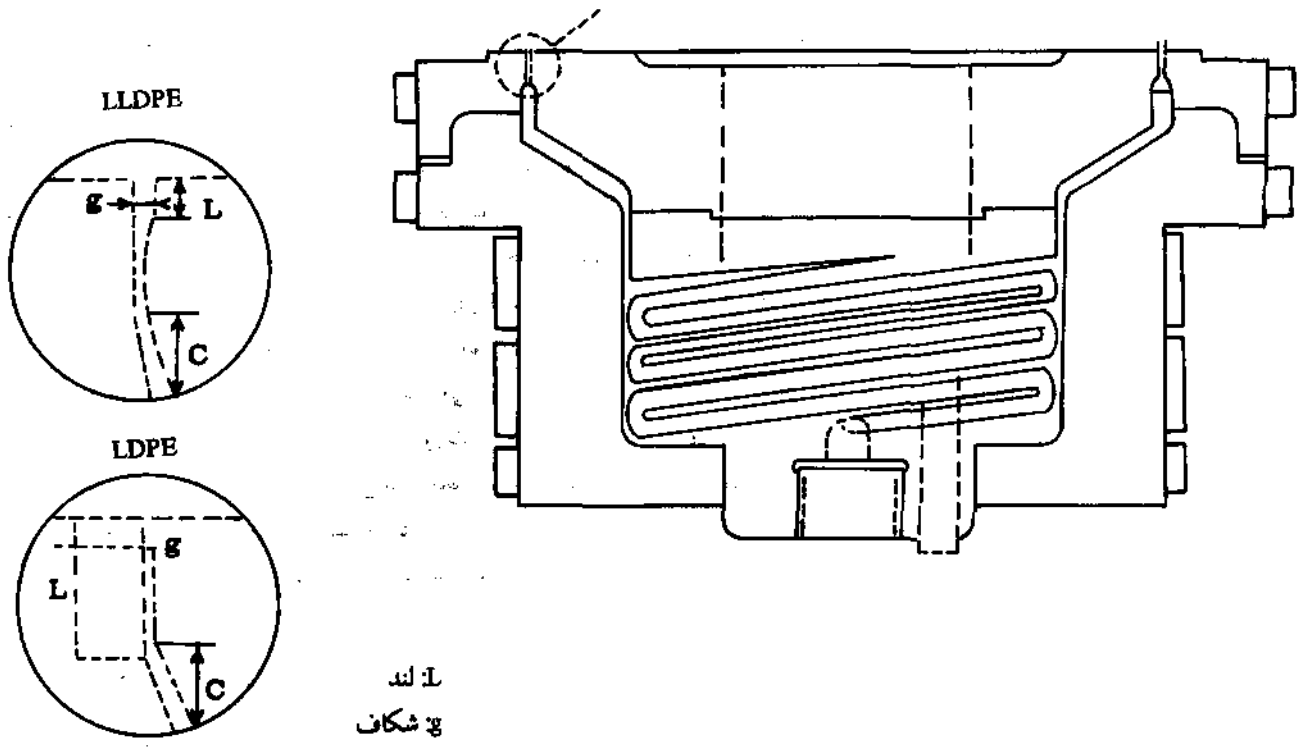
تغییرات در طرح و ابعاد حدیده: عبور مذاب LLDPE از میان یک حدیده فیلم دمشی مخصوص LDPE دو مسئله را ایجاد می کند : ۱) رزین LLDPE به دلیل گرانروی برشی بالا مقاومت بیشتری نسبت به LDPE نشان می‌دهد.در نتیجه ،فشار سیستم بالا می‌رود و ۲) ممکن است در سرعتهای برشی بالا که LDPE به راحتی تولید می شود برای تولید فیلم LLDPE مسئله شکست مذاب و خط دار شدن سطح فیلم به وجود آید.

برای حذف شکست مذاب و خط دار شدن سطح فیلم و همچنین برای کاهش فشار سیستم ، ساده‌ترین و مؤثرترین راه باز کردن شکاف حدیده می‌باشد.معمولا شکاف حدیده فیلم دمشی مخصوص LDPE به اندازه ۹mm/۰-۵/۰ باز است و این مقدار در حالتهایی به ۱/۲۷mm نیز می‌رسد.در حالی که برای LLDPE مقدار باز بودن

و یا با افزایش دمای مذاب به وسیله گرما دادن به بدنه در سر پیچ تصحیح شود.با بازترشدن شکاف حدیده ممکن است فشار سیستم برای ایجاد یکنواختی مناسب در مذاب پلیمری کافی نباشد.برای جلوگیری از این مسئله لند (land) حدیده را نسبت به شکاف حدیده کم کم باریک می‌کنند.تجربیات بیشتر روی LLDPE طراحان حدیده را بر آن داشته است که طول لند را کوتاهتر و طول قسمت فشاردهنده (constrictor) را طولانی تر در نظر بگیرند تا به جریانهای چند بعدی (multi dimensional flow) کمک کنند [۲۱، ۲۳ و ۲۴].شکل ۳ حدیده های مخصوص LLDPE و LDPE را نشان می‌دهد.

تعداد ۵ نوع حدیده با ابعاد داده شده در جدول ۲ طراحی شد که شکاف و طولهای متفاوتی دارند.حدیده شماره ۶ ویژه فراورش LDPE است.

تغییرات روی حلقه هوای خنک کننده : این تغییرات باعث پایداری بیشتر حباب می شود. در حالت مذاب ،رزینهای LLDPE نسبت به LDPE مقاومت کمتری نسبت به کشش دارند ،بنابراین هوای خنک کننده باید به صورت موازی با حباب LLDPE دمیده شود که در مورد LDPE این عمل به صورت عمودی ،یعنی برعکس ،انجام می گیرد. ضمنا در یک حدیده با شکاف پهن ،پلیمر مذاب با مقاومت کم و به



شکل ۳ - طرحی از حدیده های طراحی شده برای فراورش LLDPE و LDPE [۱۵]

شکل حباب ضخیم در می‌آید ،از این رو میزان انبساط و کشش فیلم را باید زیاد کرد تا به ضخامتهای نازک و وضعیت شفافی از فیلم دست یافت.

با بیشتر شدن شکاف حدیده لازم است که اولا میزان سرعت انتقال گرما جهت سرد کردن حباب فیلم افزایش یابد و ثانیا میزان کشیدن فیلم یا انبساط آن برای رسیدن به فیلم نازکی ،که از نظر شفافیت مطلوب باشد، بیشتر گردد.افزایش سرعت انتقال گرما برای سرد کردن فیلم LLDPE به دو صورت انجام می شود.

۱ - میزان هوایی که روی حباب فیلم دمیده می شود یا سرعت آن افزایش یابد.

۲ - دمای هوای دمیده شده کاهش یابد.

با توجه به خواص رئولوژیکی LLDPE خاصیت استحکام کششی در حالت مذاب آن ضعیفتر از LDPE است و به همین دلیل در مورد افزایش دبی هوا یا سرعت آن محدودیتی وجود دارد.بدین معنی

جدول ۲ - مقایسه حدیده های طراحی شده برای فراورش LLDPE

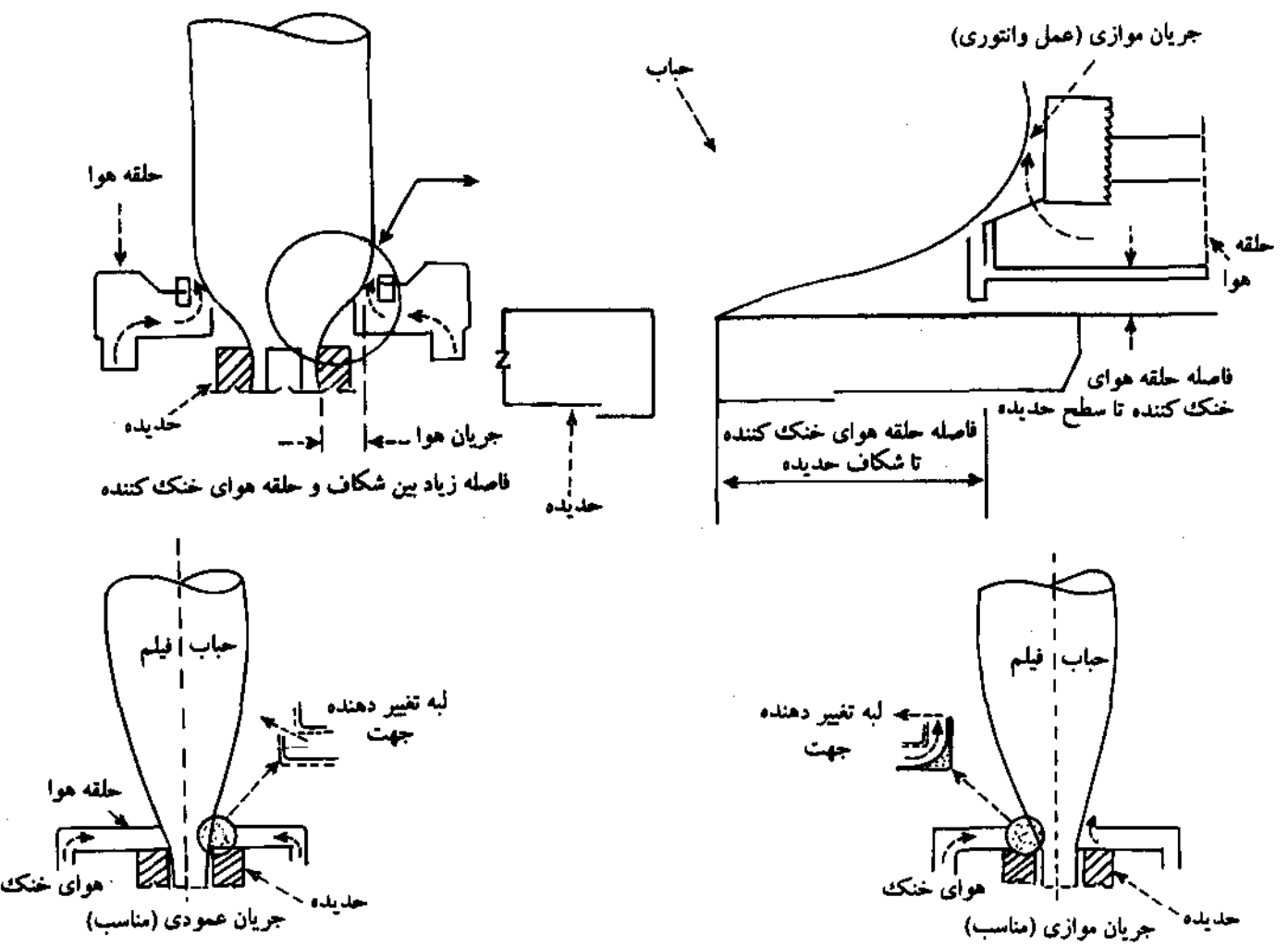
شماره حدیده	طول قسمت فشاردهنده	طول لند حدیده	شکاف حدیده
۱	۳۰	۶/۳۵	۱/۵
۲	"	۸/۴۷	۲
۳	"	۱۰/۸۵	۲/۵
۴	"	۱۲/۷۰	۳
۵	۲۰	۲۰	۲
۶	۷	۴۰	۱/۱

که افزایش میزان هوا یا سرعت آن بالاتر از یک حد مشخص باعث پارگی حباب می شود.به همین جهت بهترین راه برای بالا بردن سرعت انتقال گرما استفاده از هوای خنک می باشد.بدین منظور هوای ۵-۱۵°C به کار گرفته می شود.

روش متداول برای تولید فیلم عمل انبساط و کشش فیلم توسط هوای محبوس شده در حباب و نیز خلاء نسبی ایجاد شده در اطراف محیط بیرونی حباب است ،که ناشی از تأثیرات حلقه هوای خنک کننده است.حلقه هوای سیستم خنک کننده دستگاه اکسترودر فیلم دمشی که برای تولید فیلم به کار می‌رود شکل خاصی دارد که وانتوری (venturi) نامیده می‌شود.شکل وانتوری مانند حلقه هوا باعث می شود تا در حین دمش هوا روی فیلم ،که برای سرد کردن آن صورت می‌گیرد، یک ناحیه خلاء نسبی نیز در اطراف محیط بیرونی فیلم ایجاد شود.در نتیجه ، فیلم در جهت عرضی کشیده می‌شود وانبساط بیشتری پیدامی‌کند.بدین ترتیب در فراورش LLDPE با افزایش شکاف حدیده باید کشش فیلم و انبساط آن را زیادتر کرد تا فیلم با ضخامتهای کم و شفافیت زیاد و مناسب حاصل شود.برای این کار کافی است که ناحیه خلاء در جهت شعاعی حباب تشکیل شده عقب کشیده شود تا فیلم قبل از تشکیل حباب فرصتی برای کشیده شدن بیشتر را داشته باشد.بدین منظور فاصله افقی بین لبه حدیده تا محیط حلقه هوا افزایش داده می شود.

در آزمایشهای متفاوتی که انجام گرفته نسبت قطر روزنه حلقه هوا به قطر حدیده بین ۲/۸-۲ پیشنهاد شده است [۲۱، ۲۴، ۲۵ و ۲۶].شکل ۴ طرحی از حلقه طراحی شده برای خنک کردن حباب فیلم را نشان می‌دهد.

برای فراورش بهتر LLDPE با حدیده های طراحی شده ،حلقه هوای جدیدی ساخته شد که قطر روزنه آن ۱۰۰mm می‌باشد و لبه آن طوری طراحی شده است که هوای دمشی به صورت موازی با جهت حرکت فیلم به آن دمیده می‌شود.برای فراورش LLDPE حلقه طراحی شده به همراه حدیده‌های ساخته شده به کار برده شدند.همچنین برای



شکل ۴- طرحی از حلقه هوای خنک کننده جهت فراورش LLDPE و نحوه شکل گیری حباب فیلم [۲۷]

جدول ۳- میزان دبی خروجی از حدیده‌های طراحی شده

شماره حدیده	نوع مواد	سرعت مارپیچ (rpm)			
		۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
		دبی (kg/h)			
۱	LLDPE	۸/۱۵	۱۰/۳۹	۱۲/۵۴	–
۲	"	۸/۷۷	۱۰/۹۰	۱۳/۰۶	–
۳	"	۸/۹۳	۱۱/۱۰	۱۳/۱۵	۱۴/۷۵
۴	"	۹/۳۳	۱۱/۱۹	۱۳/۳۲	۱۴/۳۶
۵	"	۸/۸۴	۹/۸۳	۱۲/۱۸	–
۶	LLDPE	۷/۳۹	۸/۰۶	–	–
	LDPE	۸/۹۰	۱۱/۰۵	۱۳/۳۹	۱۵/۴
۴ به همراه مارپیچ با قسمت انتقال کوتاهتر		۶/۷۵	۸/۱۲	۹/۶۴	۱۱/۰۸

مقایسه نحوه فراورش LLDPE با حلقه هوای طراحی شده ویژه آن و همین طور با حلقه هوای مخصوص LDPE، حدیده شماره ۵ به کار برده شد.

مشخصات رزین و اکسترودر

LDPE و LLDPE از نظر فرایند پلیمر شدن انواع مختلفی دارند.مشخصات رزینهای مصرفی در این آزمایشها بدین ترتیب است: رزین LLDPE از شرکت سابیک (Sabic) با کد ۱۱۸w که شاخص گرانروی مذاب (MFI) آن برابر ۱g/۱۰min و چگالی آن برابر ۰/۹۱۸g/cm^3 است.رزین LDPE شرکت قابکو که شاخص گرانروی مذاب آن مساوی ۱/۲۷g/۱۰min و چگالی آن مساوی ۰/۹۱۸g/cm^3 است.

شرایط انتخابی برای فراورش LLDPE عبارت است از T_b=۲۱۰-۲۴۰°C و T_D=۲۱۰°C که T_D دمای حدیده و T_b دمای قسمتهای مختلف پیچ است. کلیه قطعات طراحی شده در دستگاه اکسترودر تولید فیلم مخصوص LDPE به کار برده شد تا فراورش LLDPE مورد آزمایش قرار گیرد.مشخصات دستگاه تولید فیلم عبارت است از: اکسترودر نوع EA-۴۰ از یک شرکت ژاپنی ،حدیده مارپیچ نوع DES-۵۰ ،و حلقه هوای خنک کننده نوع AHF-A.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تغییرات اجزای اکسترودر

نتایج حاصل از تغییرات حدیده: همانطوری که از جدول ۱ ملاحظه می شود ،عرض شکاف حدیده از شماره ۱ تا ۴ به ترتیب افزایش یافته است که مقدار آن نسبت به حدیده مخصوص LDPE بیشتر است. همچنین طول لند آنها کوتاهتر و طول قسمت فشار دهنده نیز نسبت به حدیده LDPE بیشتر شده است. دراین حالت فیلمهای LLDPE تولید شده مطلوب است و فقط در سرعتهای بالاتر پیچ در حدیده های با شکاف کوچکتر مقداری خط در سطح فیلم ظاهر می‌شود که با افزایش عرض شکاف این مسئله رفع می‌شود.با مقایسه حدیده شماره ۲ و ۵ که از لحاظ مقدار عرض شکاف برابرند ولی از نظر طول لند و طول قسمت فشار دهنده متفاوت‌اند ،ملاحظه می‌شود که با حدیده دارای طول لند کوتاهتر و قسمت فشار دهنده طولانی‌تر،فیلمی مناسب و پایدارتر از نظر ابعاد تولید می‌شود.قابل توجه است که در فراورش فیلم LLDPE بدون تغییر دادن حدیده مخصوص LDPE فیلم مناسبی تولید نمی‌شود.ولی ،با طراحی حدیده شماره ۵ ،در سرعتهای پایین پیچ با حلقه هوای مخصوص LDPE ،فیلم تولید شده مناسب است و مشکل شکست مذاب و خط دار شدن سطح فیلم برطرف می گردد ولی این مشکل در

سرعتهای بالا باز هم ایجاد می‌شود.

نتایج حاصل از تغییرات حلقه هوای خنک‌کننده

حلقه هوای خنک کننده طراحی شده در سرعتهای مختلف اکستروژن مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج مطلوبی به دست آمد.بدین ترتیب که تمام فیلمهای تولید شده توسط این حلقه از پایداری لازم برخوردار بودند.مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری این حلقه هوای خنک کننده با حلقه هوای خنک کننده مخصوص LDPE برای حدیده شماره ۵ نشان می‌دهد که در مورد حلقه هوای خنک کننده مخصوص LDPE در سرعت کم (سرعت پیچ ۳۰rpm) فیلم صاف و شفافی از LLDPE تولید می‌شود.ولی ،در سرعتهای بیشتر حباب ناپایداری تشکیل می‌شود.برای رفع این مشکل، شدت هوای دمشی باید زیادتر شود تا بتواند به راحتی حباب تشکیل شده را خنک کند.در غیر این صورت ،به دلیل نرمی مذاب LLDPE حباب از حالت پایدار خارج می‌شود و فیلم مناسبی به دست نمی‌آید. ولی ،در سرعتهای یکسان پیچ توسط حلقه هوای خنک کننده مخصوص LLDPE و به وسیله همان حدیده می‌توان فیلمهای مناسبی تولید کرد.

نتایج حاصل از تغییرات پیچ

در آزمایشهای فراورش LLDPE به وسیله دستگاه تولید فیلم مخصوص LDPE با استفاده از پیچ شماره ۲ و حدیده شماره ۴ ،همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود ،دبی خروجی از حدیده کمتر از حالتی است که از پیچ شماره ۱ استفاده شود و علت آن کم عمقتر بودن قسمت تنظیم پیچ شماره ۲ نسبت به پیچ شماره ۱ است.ولی ،نکته قابل توجه در این پیچ یکنواختی زیاد موادی است که از حدیده خارج می‌شود.بدین ترتیب که درسرعتهای مختلف تولید ،در پیچ شماره ۱ تغییرات فشار زیادی مشاهده می شود و در نتیجه دبی خروجی در یک سرعت معین پیچ متغیر است ،در حالی که برای پیچ شماره ۲ این ناپایداری به چشم نمی‌خورد و دبی خروجی در تمام مدت آزمایش تقریبا ثابت است.این پایداری و یکنواختی می تواند به دلیل کوتاه بودن قسمت انتقال و بلند بودن قسمت تنظیم پیچ باشد که باعث می شود تا مواد جامد سریع ذوب شوند و در قسمت تنظیم فرصت کافی برای همگن شدن مواد مذاب وجود داشته باشد تا مواد مذاب به راحتی پمپ شوند.

علاوه براین ،توان مصرفی دستگاه برای هردو نوع پیچ مورد آزمایش قرار گرفت.افزایش عمق قسمت تنظیم باعث کاهش گشتاور می‌شود و در نتیجه توان مصرفی دستگاه را کاهش می‌دهد.این مطلب در منحنی شکل ۱ نشان داده شده است . پیچ شماره ۱ که دارای عمق بیشتری در این قسمت است توان مصرفی کمتری نیز دارد.

با توجه به نتایج حاصل از اندازه گیری میزان دبی خروجی که در جدول ۳ آمده است معلوم می‌شود که در سرعتهای بالای ۷۰rpm حدیده های با شکاف باریکترامکان تولید فیلم مناسب را نمی‌دهند که علت آن پدیده شکست مذاب است.با مقایسه میزان دبی خروجی از حدیده مخصوص LDPE با حدیده های ساخته شده جهت فراورش LLDPE ملاحظه می شود که میزان دبی خروجی LDPE با حدیده مخصوص خودش بیشتر از دبی خروجی LLDPE با حدیده های طراحی شده است.البته در اثر افزایش عرض شکاف حدیده به اندازه ۰/۷۶mm حدود ۷٪ به مقدار دبی خروجی اضافه می‌شود [۲۵] ، ولی برای قابل مقایسه شدن میزان دبی خروجی برای دو نوع ماده تغییر طراحی پیچ مورد نیاز است که با افزایش عمق قسمت تنظیم به این مهم می توان دست یافت.

همان طور که در جدول ۳ نشان شده است ، فراورش LLDPE با استفاده از حدیده مخصوص LDPE در سرعتهای بالاتر امکان پذیر نیست و در سرعتهای پایین نیز میزان دبی خروجی آن نسبت به سایر حدیده ها کمتر است.با تغییرات حدیده فرایند پذیری بهبود می یابد وبا افزایش عرض شکاف حدیده میزان دبی خروجی نیز افزایش می یابد ، زیرا هرچه عرض شکاف حدیده بیشتر باشد مسیر عبور مواد بازتر می‌شود و در نتیجه فشار پشت حدیده کاهش می یابد. از آنجاکه میزان مواد خروجی با فشار پشت حدیده رابطه عکس دارد ،بنابر این با کاهش فشار پشت حدیده میزان دبی خروجی افزایش می‌یابد.همان طور که از جدول ۳ قابل محاسبه است ،به ازای ۰/۵mm افزایش عرض شکاف حدیده میزان دبی خروجی از ۱ تا ۷٪ افزایش نشان می‌دهد.

برای بررسی نقش حلقه هوای خنک کننده با مراجعه به جدول ۴ ملاحظه می شود که نوع حلقه هوای خنک کننده و پایداری حباب روی میزان دبی خروجی تأثیر دارد. پایداری حباب می‌تواند باعث افزایش میزان دبی خروجی تا ۲۵٪ شود [۲۵].حلقه هوای خنک کننده شماره ۱ مخصوص فراورش LDPE بوده و حلقه هوای خنک کننده شماره ۲ مخصوص فراورش LLDPE می باشد.

جدول ۴ - مقایسه میزان دبی خروجی تحت تأثیر دو نوع حلقه هوای خنک کننده(آزمایش در سرعت ۳۰rpm انجام شده است)

نوع حلقه هوای خنک کننده	میزان دبی خروجی Kg/h
۲	۶
۱	۷/۴

بررسی خواص فیلم پلی اتیلن خطی سبک

برای فراورش فیلم LLDPE در دستگاه اکسترودر تولید فیلم دمشی مخصوص LDPE باید تغییراتی در این دستگاه داد که مهمترین آنها تغییر ابعاد حدیده و حلقه هوای خنک کننده است.برای این منظور باید شکاف حدیده بازتر و طول لند آن کوتاهتر شود. برای حلقه هوای خنک کننده نیز لبه تغییر دهنده جهت هوای دمشی بلندتر در نظر گرفته می‌شود و نسبت قطر روزنه آن به قطر حدیده بیشتر می‌گردد.باتوجه به تغییرات یاد شده فیلمهایی از نوع LLDPE در انواع حدیده‌ها و انواع شرایط تولید شد و جهت مقایسه خواص آنها با فیلم LDPE آزمایشهای تعیین مقاومت در برابر ضربه (Falling Dart Impact، استاندارد ASTM D1709) ،(Film Impact، استاندارد ASTM D3420) و کدورت سنجی (استاندارد ASTM D 1003) و همچنین تعیین استحکام کششی (استاندارد ASTM D882) که شامل موارد زیر است انجام گرفت:

- استحکام کششی در نقطه تسلیم ،
- استحکام کششی تا پارگی ،
- مدول کششی ،
- درصد ازدیاد طول در نقطه تسلیم ،
- درصد ازدیاد طول تا پارگی.

نتایج آزمایشهای مربوط به استحکام کششی در جدولهای ۵ و ۶ و ۷ ارائه شده است و نتایج آزمایشهای مقاومت در برابر ضربه و همچنین کدورت سنجی در جدول ۸ نشان داده شده است.

اشاره می‌شود که تمام این مقادیر در جهت خروجی فیلم از اکسترودر ،که جهت ماشین (machine direction) نامیده می‌شود و جهت عمود (transverse direction) برجهت خروجی فیلم از اکسترودر اندازه گیری و مقایسه شده است.

همان طور که در جدولها ملاحظه می‌شود تمام مقادیر به دست آمده از آزمایشهای انجام شده روی فیلمها درحد موردنظر بوده وبا مقادیر نظری مطابقت دارد ،ولی تنها مورد متفاوت استحکام کششی در نقطه تسلیم برای حدیده‌های با شکاف بازتر است که مقدار کمتری دارد.علت این است که وقتی مواد مذاب از حدیده تنگ‌تر بیرون می‌آیند زنجیرها بیشتر جهت‌گیری می‌کنند و کمتر در حالت فنری باقی می‌مانند ،درحالی که این امر در حدیده‌های با شکاف بازتر برعکس است و به علت بازتر بودن شکاف حالت فنری زنجیرها بیشتر است.بدین ترتیب ،در حالت اول زنجیرها ،که به صورت دسته دسته جهت یافته‌اند ، استحکام کششی بیشتری نشان می‌دهند ،در حالی که برای شکاف بازتر زنجیرها با نیروی کمتری تغییر شکل می‌یابند و استحکام در برابر کشش در نقطه تسلیم کمتری خواهند داشت.از نظر درصد ازدیاد طول تا پارگی نیز فیلمی که حالت فنری بیشتری در زنجیرهایش باقی می‌ماند ازدیاد طول بیشتری نیز نشان می‌دهد.

اگر تمام اطلاعات به دست آمده برای LLDPE با اطلاعات مربوط به LDPE مقایسه شوند ، همان طور که در جدول ۸ نیز نشان داده شده است ،در همه آزمایشهای مقاومت در برابر ضربه و استحکام کششی مقادیر بیشتری برای LLDPE به دست آمده است و این موضوع، همان طور که انتظار می‌رود ،مربوط به ساختار پلیمر و شکل

جدول ۵ - میزان درصد ازدیاد طول فیلمهای تولید شده توسط حدیده های مختلف

نوع ماده	شماره حدیده	سرعت مارپیچ (rpm) ۶۰ درصد ازدیاد طول				۵۰ درصد ازدیاد طول				۴۰ درصد ازدیاد طول			
		تا پارگی		در نقطه تسلیم		تا پارگی		در نقطه تسلیم		تا پارگی		در نقطه تسلیم	
		طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی
LLDPE	۱	۱۵۰	۱۲۵۰	۲۱/۳	۲۷/۲	۸۶۰	۱۱۶۵	۲۰/۸	۲۷/۲	۷۰۰	۹۲۰	۲۱/۷	۲۸
"	۲	۸۰۰	۱۲۸۰	۱۹/۱	۱۷/۲	۸۲۵	۱۲۰۰	۱۷/۹	۱۷/۴	۸۰۰	۱۱۶۰	۱۶/۱	۱۵/۵
"	۳	۸۹۰	۱۳۲۵	۱۷/۸	۱۷	۸۸۵	۱۳۰۰	/۸۱۹	۱۷/۹	۸۱۰	۱۲۵۰	۱۷/۵	۱۷/۲
"	۴	--	--	--	--	۸۶۰	۱۲۷۰	۱۷/۹	۱۸	۸۱۰	۱۲۷۰	۱۸/۲	۱۷/۲
"		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
LDPE		--	--	--	--	--	--	--	--	۳۷۰	۵۹۸	۲۴/۷	۱۶/۹
LLDPE	۴ همراه پیچ شماره ۲	۸۳۵	۱۲۵۰	۱۵/۵	۱۵/۲	۸۶۰	۱۳۳۵	۱۵/۵	۱۶/۵	۷۴۰	۱۰۶۰	۱۴/۱	۱۳/۶

جدول ٦ - میزان استحکام کششی فیلمهای تولید شده توسط حدیده های مختلف

نوع ماده	شماره حدیده	سرعت مارپیچ (rpm)											
		۶۰				۵۰				۴۰			
		استحکام کششی (Kg/cm^2)				استحکام کششی (Kg/cm^2)				استحکام کششی (Kg/cm^2)			
		تا پارگی		در نقطه تسلیم		تا پارگی		در نقطه تسلیم		تا پارگی		در نقطه تسلیم	
		طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی
LLDPE	۱	۴۳۱/۶	۳۲۰	۳۱۰۶/۳۱۰۲/۸	۴۵۰/۵۷۳۷۰/۵	۱۱۵/۷	۱۱۹/۷	۳۳۷۲/۳۴۴۰/۵	۱۱۱/۶	۱۱۷/۶			
"	۲	۵۲۵/۵	۱۱۲/۳۴۳۰/۸	۵۹۷/۳۱۳۰/۱	۳۷۰/۶	۱۲۲/۸	۱۲۳/۴	۳۸۵/۷	۵۷۳/۸	۱۲۱/۹	۱۲۵/۸		
"	۳	۳۲۴/۳۴۶۳/۱	۹۸/۳	۱۰۰/۶	۳۳۲/۲۴۸۴/۵	۱۰۱/۹	۱۰۲/۵	۳۲۸/۳۴۵۹/۵	۸۵/۳	۹۱/۵			
"	۴	--	--	--	۴۴۲/۵	۳۲۴/۱	۹۴/۱	۳۹۳/۴۵۰۵/۹	۹۷/۷	۱۱۲/۸	۱۱۲/۲		
"		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
LDPE		--	--	--	--	--	--	۱۲۶	۱۴۳/۸	۱۰۳/۶	۱۰۶/۳۱۰۳/۶		
LLDPE	۴ همراه با پیچ شماره ۲	۵۱۸/۴	۳۶۸	۹۴/۷	۹۷/۶	۵۱۷/۷	۳۵۵/۶	۹۶/۴	۹۶/۶	۴۹۰	۱۰۰/۳۲۹۳/۳	۱۰۳/۶	

زنجیرهاست.بدین ترتیب که زنجیرهای بلند به صورت خطی در کنار یکدیگر قرار دارند و شاخه‌های آنها به دلیل کوتاه بودن روی فشردگی زنجیرها نمی‌توانند اثر منفی داشته باشند.همچنین به هنگام قرارگرفتن در سل بلوری می‌توانند گره‌های مولکولی زیادی را ایجاد کنند.وجود گره‌های مولکولی سبب برتری خواص LLDPE نسبت به LDPE می‌شود.همین امر موجب تشکیل بلورهای کامل و بزرگتر در هنگام سرد شدن مواد مذاب و در نتیجه افزایش مقدار کدورت فیلم LLDPE نسبت به LDPE می‌شود.

نتیجه‌گیری

باتوجه به تفاوتهای رئولوژیکی موجود بین LDPE و LLDPE برای فراورش ترکیب اخیر با کیفیت خوب و سرعت قابل قبول اکسترودر مورد استفاده برای تهیه LDPE نیاز به تغییراتی دارد.برای تولید فیلم دمشی پلی اتیلن خطی این تغییرات در پیچ ،حدیده و حلقه هوای خنک کننده صورت می‌گیرد.در آزمایشهای انجام شده با تغییراتی که در حدیده و حلقه هوای خنک کننده دستگاه تولید فیلم داده شد فیلمی

جدول ۷ - میزان مدول کششی فیلمهای تولید شده توسط حدیده های مختلف

نوع ماده	شماره حدیده	سرعت مارپیچ (rpm)					
		۶۰		۵۰		۴۰	
		مدول کششی		مدول کششی		مدول کششی	
		طولی	عرضی	طولی	عرضی	طولی	عرضی
LLDPE		۱۲۸۸	۱۳۹۴	۱۳۶۷	۱۵۹۵	۱۵۲۶	۱۵۳۲
"	۲	۲۲۶۶	۲۶۹۲	۳۲۸۲	۳۳۳۶	۳۳۶۹	۲۸۸۸
"	۳	۳۱۲۳	۲۳۷۳	۲۲۵۷	۲۳۶۹	۲۵۱۶	۳۰۱۷
"	۴	--	--	۳۲۸۵	۲۳۵۰	۲۷۷۵	۲۸۹۷
"		--	--	--	--	--	--
LDPE		--	--	--	--	۲۳۰۷	۲۷۸۵
LLDPE	۴ همراه پیچ شماره ۲	۳۲۶۶	۳۲۸۱	۳۰۳۴	۳۱۸۴	۲۴۲۹	۳۴۹۸

جدول ۸ ـ مقایسه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فیلم LLDPE و LDPE حاصل در شرایط مختلف

نوع اطلاعات به دست آمده	شماره حدیده	نوع ماده مصرفی	مقاومت فیلم در برابر ضربه[الف] (Kg.cm/mm)	مقاومت در برابر ضربه پرتابه[ب] (g/mm)	کدورت	استحکام کششی تا پارگی[ج] (Kg/cm^2) طولی	استحکام کششی تا پارگی[ج] (Kg/cm^2) عرضی	استحکام کششی در نقطه تسلیم (Kg/cm^2) طولی	استحکام کششی در نقطه تسلیم (Kg/cm^2) عرضی	ازدیاد طول تا پارگی % طولی	ازدیاد طول تا پارگی % عرضی	ازدیاد طول در نقطه تسلیم % طولی	ازدیاد طول در نقطه تسلیم % عرضی	مدول کششی (Kg/cm^2) طولی	مدول کششی (Kg/cm^2) عرضی
نظری	–	LLDPE	۵	۹۲	۷-۱۱	۴۷۰	۲۸۰	۱۳۰	۱۳۵	۶۲۰	۱۰۰۰	–	–	۲۴۰۰	۲۸۰۰
تجربی	۱	»	۴/۵-۸	۶۰-۱۲۰	۶/۵-۱۲	۴۳۰-۵۷۵	۳۳۰-۴۲۰	۱۰۵-۱۳۵	۱۰۵-۱۳۵	۷۸۰-۹۵۰	۹۰۰-۱۴۰۰	۱۸-۲۲	۱۸-۲۷	۱۲۵۰-۱۶۵۰	۱۳۵۰-۱۹۰۰
	۲	»	۴/۵-۸	۵۸-۱۱۹	۴-۶/۵	۴۳۰-۶۶۰	۳۴۰-۴۳۶	۱۰۵-۱۳۴	۱۰۴-۱۲۲	۷۶۰-۹۳۰	۱۱۵۰-۱۴۰۰	۱۶-۲۱/۲	۱۵/۵-۱۸/۵	۲۰۰۰-۲۳۰۰	۲۵۰۰-۴۰۰۰
	۳	»	۵-۱۱	۵۸-۱۲۷	۳/۸-۶/۵	۴۰۰-۵۲۵	۲۹۰-۳۶۰	۸۹-۱۰۵	۸۵-۱۰۱	۷۳۰-۹۱۰	۱۱۴۰-۱۳۲۵	۱۶-۲۰	۱۶-۱۹/۵	۱۸۹۰-۳۱۲۰	۲۱۳۰-۲۳۷۰
	۴	»	۶-۹	۶۵-۱۰۴	۴/۶-۶/۱	۴۳۰-۵۹۰	۲۹۰-۳۱۰	۹۱-۱۱۵	۹۰-۱۱۰	۸۰۰-۹۲۰	۱۳۵۰-۱۴۰۰	۱۶/۳-۲۰/۵	۱۶-۱۹	۲۱۰۰-۳۰۰۰	۲۲۰۰-۳۲۰۰
	۴ به همراه پیچ شماره ۲	»	۸-۱۰/۵	۸-۱۲۵	۷	۴۹۰-۵۴۵	۲۹۰-۳۹۰۰	۹۵-۱۰۸	۹۳-۱۰۲	۷۳۰-۸۱۰	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۱۴-۱۷	۱۳/۵-۱۶/۵	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۲۲۰-۳۸۰۰
	حدیده مخصوص LDPE	»	۵/۶	۸۷-۹۲	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	حدیده مخصوص LDPE	LDPE	۴/۵	۸۲	۲-۳	۱۴۳	۱۲۶	۱۰۳	۱۰۶	۳۷۰	۵۹۸	۲۴/۷	۱۶/۹	۲۳۰۷	۲۷۸۵

توضیح: الف- قطر سر پاندول ضربه زننده ۲۵۱۴mm است.

ب- قطر سرپرتابه ضربه زننده ۳۸mm و وزن اولیه پرتابه ۳۲/۱۵g و ارتفاع رها شدن آن ۶۶cm است.

ج- آزمایشهای کشش به وسیله دستگاه اینسترون ۱۱۲۲۰ انجام شده است و سرعت جدا شدن فکها ۵۰۰mm/min و فاصله اولیه فکها ۵۰mm است.

مناسب از LLDPE به دست آمد ،بدون اینکه مشکلی در فرایند وجود داشته باشد یا نقصی در ظاهر فیلم تولید شده ایجاد گردد.

فیلمهای تهیه شده از نظر خواص از فیلمهای LDPE برترند و این خود می‌تواند باعث مصرف روز افزون LLDPE در صنعت کنونی شود.از طرفی ،به دلیل خاصیت انبساط مذاب LLDPE می‌توان فیلمهای نازکتری از آن تولید کرد ،به طوری که از نظر خواص بتوانند با فیلمهای ضخیمتراز جنس LDPE برابری کنند.بنابراین، می‌توان با وزن مساوی فیلم بلندتری از LLDPE نسبت به LDPE تولید کرد که این امر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

مراجع

1 *Modern Plastics Encyclopedia*, 64, 1989.

2 *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, **6**, 431, 1985.

3 *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, **7**, 79, 1985.

4 Wild L., *J.Polym.Sci., Polym.Phys.Ed.*, **20**, 441, 1982.

5 Bunn C.W., *Fibres from Synthetic Polymers*, Amsterdam , Elsevier, 1953.

6 Flory P.J., *Principles of Polymer Chemistry*, N.Y., Cornell, 1953.

7 Mandelkern L., *Polymer Eng.& Sci.*, 232, Oct. 1967.

8 Oswin C.R., *Plastic films and packaging*, Applied Science Publishes, 1975.

9 Wopyer et al, *Angew. Makromol. Chem.*, **94**, 49, 1981.

10 Florian B., *Europ.Polym.J*, **16**, 1079, 1980.

11 Benning Calvin J.; *Plastic Films for Packaging, Technology, Applications and Process Economics*; 1983.

12 Berk S., *Kunsts : Offe*, **74**, 474, 1984.

13 Shirayama K. et al., *Makromol.Chem.*, **151**, 97, 1972.

14 Uhniat M. and Rubaj M., *International Polymer Science and Technology*, **18**, 11, 1991.

15 *Plastic Southern Africa*, 27-28, Feb. 1982.

16 *Tappi Journal*, **67**, 6, 64-67, June 1984.

17 *Pap.Synth.Conf.Proc.*, 237-48, Eng., 1980.

18 *Canadian Plastics*, 27, May 1982.

19 *Plastics and Rubber Processing and Applications*, **8**, 1, 37-47, 1987.

20 *Plastics and Rubber Processing and Applications*, **8**, 1, 11-15, 1987.

21 *Plastics Engineering*, 37, January 1986.

22 *Plastics Engineering*, 57-59, June 1989.

23 *Plastics Engineering*, 43-45, Oct. 1987.

24 *Plastic Technology*, 65, Feb. 1981.

25 *Plastics Engineering*, 33, Sep. 1984.

26 *J. of Applied Polym.Science*, **28**, 3503-3511, 1983.

۲۷ صنایع پلاستیک ،سال دوم ،شماره هشتم ،صفحه ۶۱۴ ،مرداد ، (۱۳۶۶).

اتو ویشترل

Oto Wichterle

بنا به عقیده عموم راجر بیکن در قرن دوازدهم عینک را اختراع کرد.اختراعات تازه‌تر عبارت‌اند از: عدسیهای شیشه‌ای سخت ، عدسیهای دارای یک فیلم قطبیده که بین دو ورقه ساندویچ شده است، عدسیهای پلاستیک پلی متیل متاکریلات و شیشه‌های نور رنگی ،که در برابر نور خورشید تیره می‌شوند.عدسیهای تماسی سخت در ۱۹۴۸ ابداع شدند.

در حالی که عدسیهای تماسی سخت در سراسر دنیا کاربرد داشتند در چک و اسلواکی تعداد کمی مورد استفاده قرار گرفتند.با این حال عدسیهای تماسی نرم ،بر پایه پلی هیدروکسی اتیل متاکریلات (HEMA) در ۱۹۳۵ توسط دانشمندی که اندکی از عدسیهای تماسی سخت می‌دانست ،در چک و اسلواکی ابداع شد.

با این همه ،توسعه این عدسیهای تماسی HEMA توسط وزارت بهداشت چک و اسلواکی بعد از شش سال تلاش ناموفق ،متوقف شد.سرانجام دکتر اتو ویشترل رئیس مؤسسه شیمی درشت مولکول در فرهنگستان علوم چک و اسلواکی چالش ساخت لنز تماسی قابل استفاده HEMA را پذیرفت.

از آنجا که فعالیتهای این مؤسسه محدود به بررسیهای نظری بود، ویشترل مطالعات خود در آزمایشگاههای فرهنگستان را انجام نداد، بقیه در پاورقی صفحه ۸۰