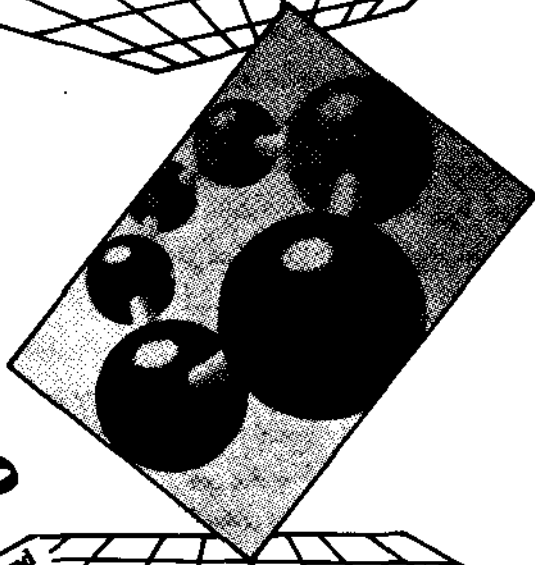


تأثیر شرایط فراورش بر روی جهتگیری و خواص فیلم دمیده شده پلی اتیلن



Effect of Processing Conditions on the Orientation and Properties of Polyethylene Blown Film
By: Mariame Gilbert, Derek A. Hensley and Suresh R. Patel
British Polymer Journal 19 (1987) 9-23
ترجمه: مینا جلیلی مقدم

واژه‌های کلیدی:

فیلم پلی اتیلن، شکست مضاعف، تصاویر قطبی پرتو-X، جهتگیری، خواص کششی

جهتگیری نواحی بی شکل و بلوری در تعدادی فیلمهای تهیه شده از انواع مشخص پلی اتیلن سنگین مورد آزمون قرار گرفته و بعضی از خواص کششی آن اندازه گیری شده است. فیلمها تحت شرایط تولید تجارتي با نسبتهای دمش، ارتفاع خط انجماد و ضخامت‌های گوناگون تهیه شده بودند. تنه‌نقص جهتگیری با استفاده از روشهای نوری و پرتو-X انجام شد. سهم نسبی اجزای بلوری و بی شکل در ساختار فیلم برای تعداد محدودی از فیلمهای تهیه شده، محاسبه گردید.

در میان خواص اندازه گیری شده، استحکام کششی نهایی و افزایش طول تا پارگی بیشترین تغییرات را داشتند. شکست مضاعف بیشتر تحت تأثیر نسبت دمش و ضخامت فیلم بود تا تغییر ارتفاع انجماد. کوششهایی در جهت ارتباط دادن این تغییرات با جهتگیری نواحی بلوری و بی شکل و همچنین رفتار اختصاصی هر یک از انواع پلی اتیلن به عمل آمده است. حین انجام این عمل روشن شد که فیلمها را عموماً نمی توان توسط مدل‌هایی که براساس تنشهای کم یا زیاد برای جهتگیری بلورها تثبیت شده است، توضیح داد. برای این فیلمها که کاملاً با لوازم و تجهیزات تجارتي تولید شده بودند غالباً رفتار بلوری شدن (Transcrystallisation) با اندکی گرایش به مدل تنش کم مشاهده شد.

مقدمه

تولید فیلم اکستروود شده پلی اتیلن یک فرایند صنعتی متداول است که جهتگیری مولکولی مرجحی را نتیجه می دهد، و سالها موضوع پژوهشهای بزرگی بوده است. تا پیش از پیدایش روشهای تجزیه و تحلیل پیشرفته، جهتگیری در درون فیلمها و الیاف پلی اتیلن با استفاده از روش پراش پرتو-X (تکنیک دوربین مسطح) (Flat Plate Camera Technique) [1-7]، تابش مادون قرمز قطبیده (Polarised Infra-red Radiation) [8-10]

Key Words:

Polyethylene Film, Birefringence, X-ray Pole Figures, Orientation, Tensile Properties.

و شکست مضاعف نوری [6, 10, 11] بررسی می‌شد. در این پژوهشها کوشش به عمل می‌آمد تا جهتگیری خرده بلورها با مراجعه به برخی آرایشهای «ایده‌آل» محورهای بلورشناسی تعیین شود که تقریبی برای توزیع واقعی مشاهده شده بود. در آن هنگام توافق عمومی بر آن بود که محور a از سلول واحد در امتداد جهت ماشین (اکستروژن) قرار دارد. این را «جهتگیری آسوده» می‌نامیدند که شبیه جهتگیری در داخل الیاف وقتی در دماهای بالا به حال خود آسوده گذاشته می‌شدند، بود. نتیجه‌ای که گرفته شد این بود که محور زنجیر معمولاً عمود بر جهت ماشین جهت‌یابی می‌کند.

در سال ۱۹۵۴ کیلر [5] مفهوم «جهتگیری ردیفی» را پیشنهاد کرد که در آن محور b جهت خاصی را عمود بر جهت ماشین پیدا می‌کند و محورهای a و c به طور اتفاقی با تقارن استوانه‌ای توزیع می‌شوند. کیلر فرض کرد که تبلور در خطوط هستهها (که از زنجیرهایی با وزن مولکولی بالا منشأ می‌گیرند) در جهت ماشین شروع شده و در جهت شعاعی به ترتیبی رشد می‌کند که ساختار یک گویچه رشد می‌کند. جهت این رشد شعاعی مربوط به محور b شناخته شد و محورهای a و c هم گرداگرد این جهت رشد چرخش می‌کنند.

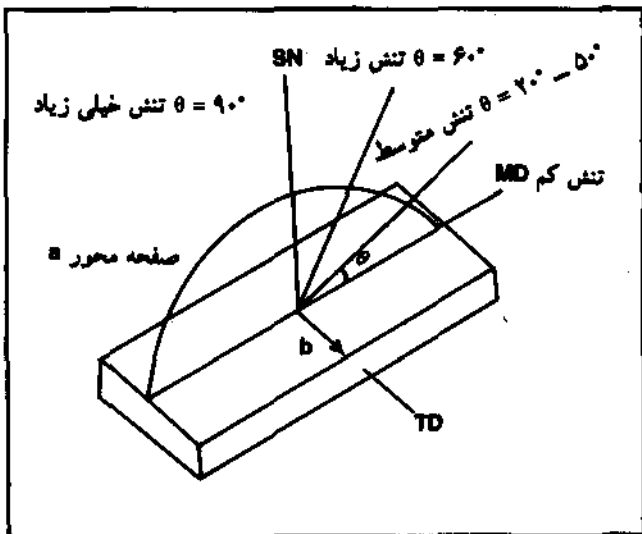
کارهای بعدی توسط لیندن مایر و لاستیگ [12] پیشرفت مهمی در اندازه‌گیری جهتگیری به وسیله پراش پرتو X عرضه کرد. آنها محدودیتهای روش دوربین مسطح را خاطر نشان کردند، به این ترتیب که تنها اطلاعات به دست آمده از آن در مورد صفحات بلوری بود که قطبهای آنها نسبت به صفحه فیلم زاویه θ می‌ساختند و در مقابل روش تجزیه و تحلیل تصاویر قطبی را که توزیع کامل محورهای بلورشناسی را اندازه می‌گیرد، ترجیح دادند. آنها توزیع محورهای a و b برای مجموعه‌ای از فیلمهای پلی اتیلن اکستروژن شده با نسبتهای دمش متفاوت همراه با توزیع محور c یک پلیمر سنگین را اندازه گرفتند. به‌طور کلی آنها در نسبتهای دمش کم توانستند نشان دهند که جهتگیری محور a در جهت ماشین ($Machine\ Direction: MD$) بود ولی تقریباً 65° نسبت به صفحه فیلم انحراف داشت. ماکسیم جهتگیری محور b در جهت عرضی ($Transverse\ Direction: TD$) تشخیص داده شد و توزیع محور c ماکسیمم در حدود 45° نسبت به صفحه فیلم در جهت ماشین نشان می‌داد. آنها این ساختار را به عنوان یکی از آرایشهای ممکن مدل کیلر در ارتباط با هسته‌سازی ردیفی مورد بحث قرار دادند. با افزایش نسبت دمش، پلیمر سبک به طور فزاینده به مدل تک محوری با محور b در جهت عمود بر ورق ($Sheet\ Normal: SN$) نزدیک می‌شد و محور a به طور یکتا در سطح فیلم پراکنده می‌شد. لیکن برای پلیمر سنگین، افزایش نسبت دمش تغییر ناچیزی در توزیع محور b باعث می‌شد، در حالی که توزیع محور a را به همان نحو پلیمر سبک با سرعتی بسیار آهسته‌تر تغییر می‌داد.

در سال ۱۹۶۹ دسپر [13] یافته‌های مطالعات تحقیقاتی خود بر روی ساختار و خواص مجموعه‌ای از فیلمهای پلی اتیلن اکستروژن شده که

با سرعتهای مختلفی از هوای سرد بکننده تهیه شده بودند به چاپ رسانید. وی روشهای تجزیه و تحلیل تصاویر قطبی پرتو X ، شکست مضاعف و دو رنگ نمایی زیر قرمز ($Infra-red\ Dichroism$) را برای اندازه‌گیری جهتگیریهای داخل و خارج صفحه (بی‌شکل و بلوری) به کار برد. نتایج او نشان داد که افزایش سرعت هوای سردکننده، شکست مضاعف را از اندکی مثبت به اندکی منفی تغییر می‌دهد. تجزیه و تحلیل پرتو X همچنین نشان داد که شکست مضاعف در داخل صفحه بیشتر به سبب جهتگیری نواحی بلوری بود و جهتگیری اندازه‌گیری شده نواحی بی‌شکل در داخل صفحه کاملاً ناچیز بود. وی توانست اثبات کند که تغییر علامت مربوطه در اثر افزایش سرعت سرد کردن به سبب تغییر جهتگیری محور c از حالت موازی با جهت ماشین در سرعتهای کم به حالت عمودی در سرعتهای بالاتر است. نتایج حاصل از دو رنگ نمایی هم این پدیده را تأیید کرد.

اخیراً تحقیقات دنباله‌داری در زمینه مطالعات جهتگیری به صورت مجموعه‌ای از سه مقاله [14-16] توسط مادامز و پیریدی به چاپ رسیده است. اولین مقاله گزارشی است در مورد نتایج تجزیه و تحلیل تصاویر قطبی پرتو X که روی تعدادی از فیلمهای پلی اتیلن سنگین که در واحدهای دمش فیلم تجارنی و آزمایشگاهی تهیه شده‌اند، انجام گردیده است. این مؤلفان کوشیدند تا توابع جهتگیری را که از داده‌های مربوط به تصاویر قطبی محاسبه شده‌اند با استحکام پارگی اندازه‌گیری شده در جهت ماشین و جهت عرضی مرتبط سازند. لیکن به دلیل جهتگیری اندکی که فیلمهای دمیده شده حاصل از واحدهای آزمایشگاهی پیدا کرده بودند، قادر نبودند هیچ همبستگی قابل قبولی به دست آورند و نتیجه گرفتند که بیش از یک نوع جهتگیری حضور داشته است (با یک فیلم که در واحد تجارنی تهیه شده بود، تاحدی همبستگی مشاهده شد اما مؤلف نتیجه گرفت که برای اثبات یافته‌ها نیاز به کار بیشتر دارد). نظر به شکست این مؤلفان در به دست آوردن اطلاعات مفید از توابع جهتگیری، آنها اقدام به ارائه تفسیری از تصاویر قطبی به دست آمده کردند. آنها خاطر نشان کردند که ماکسیمهای قطبهای (200) در صفحه $SN-MD$ مشاهده شد. موقعیت دقیق قطبها به شرایط خنک کردن تاحدودی بستگی داشت. هرچه سرعت خنک کردن بیشتر می‌شد این ماکسیم به سمت SN نزدیکتر می‌گشت. مؤلفان نامبرده این مطلب را بر اساس مدل کیلر در مورد هسته‌سازی ردیفی توضیح دادند. نقاط هسته‌سازی در مدل پیشنهادی کیلر، همان اجزاء با وزن مولکولی بالا، دارای زنجیرهای گسترش یافته‌ای‌اند که محور c آنها به موازات جهت ماشین قرار گرفته است [5, 17, 18]. تبلور در طول این زنجیرهای گسترش یافته، در جهت شعاعی به وقوع پیوسته است و منجر به جهتگیری ترجیحی محور b عمود بر جهت MD می‌گردد. این تبلور همانند رشد مرسوم لایه‌های زنجیرهای چین خورده صورت می‌گیرد که تحت تنشهای کم منجر به جهتگیری اتفاقی محورهای a و c در صفحه $SN-MD$ می‌شود. لیکن تحت تنشهای زیاد، مولکولها در جهت تنش صف

مذاب، تمایل به تبلور در تنش زیاد بیشتری می‌شود. سرانجام دریافتند که از میان پارامترهای ماشین که مورد بررسی واقع شدند، نسبت کشش بیشترین تأثیر را اعمال می‌کند. شکل ۱ یک نمودار شمایی است که نتیجه‌گیری مؤلفان مذکور را مبنی بر تغییر محور a در صفحه $MD-SN$ برای درجات مختلف سطح تنش نشان می‌دهد.



شکل ۱ - اثر تنش بر جهتگیری محور a .

مادامز و ویکرز [20] نیز خلاصه‌ای از مطالعات خود بر روی جهتگیری در فیلم دمیده شده پلی‌اتیلن سنگین به چاپ رسانده‌اند و در آن روش تجزیه و تحلیل تصویر قطب پرتو X را مورد بحث قرار داده‌اند. آنها آسایش تنشهای ناشی از اکستروژن و دمیدن را به عنوان دو عامل اصلی در تعیین جهتگیری در نواحی بلوری شناخته‌اند. عامل اول درجه یا میزان جهتگیری کل را تعیین می‌کند در حالی که عامل دوم بر نوع جهتگیری مؤثر است.

کار حاضر به منظور بررسی بیشتر روابط میان پارامترهای فراروش و جهتگیری مولکولی فیلمهای دمیده شده حاصل از انواع مختلف پلی‌اتیلن سنگین، انجام گرفته است. علاوه بر این، جهتگیری به رئولوژی مذاب و به ویژه خواص کششی ارتباط داده شده است.

کارهای آزمایشگاهی

تعیین مشخصات پلی‌اتیلن

پنج نوع فیلم پلی‌اتیلن سنگین که از لحاظ تجارتي با اهمیت بودند برای این بررسی انتخاب شدند. هدف از این انتخاب پوشاندن گستره‌ای از اندیس جریان مذاب (*Melt Flow Index: MFI*) و جرم مخصوص بود. نمونه‌های انتخاب شده از این قرار بودند: واکر *DF5071G*، واکر *FF551G*، هاستالن *GM9255F*، هاستالن *GF7740F2* و یونیفوس *DMDS2900*. از آنجا که خواص فیلم جهت یافته که از این پلیمرها تهیه می‌شد به

آرایی می‌کنند و لذا محور a باید در امتداد SN قرار گیرد. آنها خاطر نشان کردند که محور a ممکن است به دو دلیل اصلی نسبت به SN زاویه‌دار باشد. نخست آنکه مشاهده کیلر [5] مبنی بر چرخش غیر یکساخت لایه‌ها در شرایط تنشی متوسط، ممکن است به جای توزیع اتفاقی به تمرکز جدا از هم محورهای a و c منجر شود. دوم آنکه لایه‌های تاییده ممکن است در دماهای بالاتر به علت تنشهای بیشتر تحت لغزشهای داخلی قرار گیرند [19].

مادامز و پریدی در مقاله دوم خود [15] تحقیقاتشان را با آزمودن فیلمهای تجارتي مذکور در مقاله اول گسترش دادند. این مؤلفان در بخش نخست مقاله تأثیر شرایط دمیدن بر نوع جهتگیری به دست آمده توسط اندازه‌گیری موقعیت نسبی ماکسیمهای (۲۰۰)، بررسی کردند. برای این کار سه نوع پلی‌اتیلن با جرم مخصوص زیاد انتخاب کردند که نتایج حاصل دو نوع جهتگیری کاملاً متفاوت را نشان دادند. در اولی ماکسیم قطبی (۲۰۰) نسبت به MD در صفحه $MD-SN$ زاویه دارد و در دومی ماکسیم قطبی (۲۰۰) در امتداد SN با مقداری کشیدگی در جهت TD قرار گرفته است. مؤلفان خاطر نشان کردند که اولی مشابه مدلی است که در مقاله اول آنها گزارش شده بود و مدلی است که کیلر و ماشین [17] آن را پیشنهاد و با مکانیسم تبلور تحت تنش تسویه کرده بودند. در دومی جهتگیری از نوعی است که معمولاً پلی‌اتیلن کشیده شده در سرما تحت شرایط گردنه‌ای شدن از خود نشان می‌دهند. مؤلفان این دو نوع جهتگیری را به ترتیب تحت عنوان «تبلور در تنش کم» و «تبلور در تنش زیاد» طبقه‌بندی کردند. در بخش دوم مقاله نیز به تعیین مشخصات پلیمری حاکم بر نوع جهتگیری به دست آمده مبادرت شده است.

مسائل همچنان حل نشده باقیمانده بود که این مؤلفان مقاله سوم [16] خود را چاپ کردند و در آن دو راه در پیش گرفتند. آنها با استفاده از دو پلیمر مختلف گستره وسیعتری از شرایط دمیدن را آزمودند تا چنانچه ممکن باشد به سهم بزرگی از تبلور تحت تنش زیاد دست یابند. با یک نوع پلیمر دیگر، مجموعه فیلمهایی تهیه کردند تا تأثیر متغیرهای ماشین را بر روی جهتگیری حاصله بررسی کنند. نتایج بررسیهای آخر به دو دلیل جالب بود. اولاً شرکت دادن یک ماده افزودنی، کلسیم استئارات، که برای بهبود کیفیت سطح اضافه شده بوده تأثیر بسزایی بر نوع جهتگیری به دست آمده داشت. در غیاب ماده افزودنی تمایل بیشتری به تبلور در تنش کم وجود دارد. ثانیاً نوع رفتار جهتگیری که برای فیلمهای دمیده شده در گستره وسیعی از شرایط دمیدن به دست آمده بود متعددتر از آنچه از کارهای قبلی برداشت می‌شد، بود. به غیر از مواردی که محورهای a و c در جهت MD جهت می‌یافتند، توزیعی برای محور a به دست آوردند که بسته به شرایط دمیدن تمام زوایای 20° تا 50° را نسبت به MD اشغال می‌کرد. چنانچه تنش بیشتری اعمال شود محور a با زاویه 60° نسبت به MD متمایل می‌شود. نتایج بررسیهای قبلی با دو نوع پلیمر نیز در این تقسیم‌بندی قرار گرفت و در یک بررسی نشان داده شد که با کاهش دمای

۷۷/۸	۶۵/۵	۶۳/۸	۵۲/۵	۶۹/۳	۱۸۷
۱۱۳/۹	۱۰۱/۵	۹۷/۷	۷۲/۰	۹۹/۶	۳۷۳
۱۵۷/۵	۱۲۵/۲	۱۳۰/۰	۹۹/۶	۱۳۵/۷	۷۲/۶
۲۳۵/۳	۲۱۵/۳	۱۸۵/۸	۱۲۸/۵	۲۰۲/۸	۱۸۶/۵
۳۰۷/۵	۲۸۰/۰	۲۳۵/۳	۱۹۷/۳	۲۶۵/۷	۲۳۳/۸
۳۵۷/۸	۳۶۶/۳	۲۹۸/۹	۲۶۹/۹	۳۳۳/۸	۳۲۶/۸
۴۲۲/۹	۳۱۳/۲	۳۰۶/۸	۳۷۰/۸	۴۲۹/۸	۱۸۶۵/۸
۳۷۹/۶	۴۰۵/۲	۳۲۷/۳		۳۵۶/۶	

اکستروژن فیلمها

فیلمی از هر یک از انواع پلیمرهای فوق توسط فرایند حباب و با استفاده از یک اکسترودر تجارتي استاندارد (60mm Bone Extruder) با قطر حدیده برابر ۲۰/۳۰cm، تهیه شد. برای کاهش تعداد متغیرهای ممکن در این بررسی، خود اکسترودر تحت دما و سرعت ثابت عمل می‌کرد. به این ترتیب برای هر یک از پلیمرها در سرعت ۳۰ دور بر دقیقه سرعت خروج محصول ۱۷ Kgh^۱ بود. دمای سر حدیده در ۲۳۰ تنظیم شد. متغیرهایی از ماشین که مطالعه شدند، فشار دمیدن، سرعت کشیدن و دمای خنک کردن بود که نسبت دمش، ارتفاع خط انجماد و ضخامت فیلم را تغییر می‌داد. در تمام موارد از هر نوع پلیمر هفت فیلم تهیه شده بود. پارامترهای ساخت طوری انتخاب شده بودند که بتوان برای یک متغیر انتخاب شده و دو پارامتر ثابت دیگر سه فیلم را با یکدیگر مقایسه کرد. ماتریس متغیرهای فیلم در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۳ - ترکیب متغیر فیلم

۶۵	۵۰	۰/۶:۱	۱
۶۵	۵۰	۱:۱	۲
۶۵	۵۰	۱/۶:۱	۳
۶۵	۲۲	۱:۱	۴
۶۵	۱۰۰	۱:۱	۵
۲۵	۵۰	۱:۱	۶
۹۵	۵۰	۱:۱	۷

Thickness^o, Freeze Height^o, Blow Ratio^o

وضوح تحت تأثیر شدید مشخصات ساختاری هر یک قرار می‌گرفت. ابتدا مشخصات نمونه‌ها با به کارگیری روشهای استاندارد برای MFI، جرم مخصوص بلورینگی و شاخه‌ای بودن زنجیر تعیین شد.

MFI پاروش ASTM D1238-73(A) و یک بار ۵ کیلوگرمی تعیین شد. نتایج بیان شده، میانگین پنج ارزیابی جداگانه است. بلورینگی ورق تهیه شده از گرانول به روش قالبگیری فشاری در ۱۹۰°C، نیز به وسیله تعیین جرم مخصوص به کمک ستونی از ایزوپروپانول / اتیلن گلیکول و مقادیر جرم مخصوص پلی اتیلن بی شکل و بلوری به ترتیب برابر ۸۵۲ و ۱۰۱۴ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه گیری شد. مقادیر بیان شده برای بلورینگی نیز از میانگین پنج مقدار جرم مخصوص محاسبه شده بود. میزان شاخه‌ای بودن زنجیرها توسط طیف بینی IR که بر روی فیلمهای دمیده شده هر نوع پلیمر انجام گرفت، تعیین گردید. نتایج حاصل از تعیین مشخصات محدود برای پلیمرهای اولیه در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱ - خلاصه مشخصات پلیمرها

۱۳	۶۲	۹۵۶	۰/۳۰	DF 5071 G
۱/۸	۶۵	۹۵۹	۱/۳۰	FF 5551 G
۲/۸	۶۵	۹۵۹	۰/۳۷	GM 9255 F
۳/۳	۵۸	۹۲۷	۱/۷۶	GF 7740F2
۳/۵	۶۲	۹۵۶	۰/۸۸	DMDS 2900

اکستروژن فیلم، فرایندی است که در آن سرعتهای برشی بالای دخالت دارد و برای توضیح پدیده جهتگیری و خواص فیلم برخوردار از دانش کافی نسبت به رفتار رئولوژیکی در این سرعتهای برشی حائز اهمیت است. یک رئومتر اینسترون (Instron)، اکسترودر شدن از میان یک حدیده موین با سرعتهای معلوم و کنترل شده را میسر می‌سازد. نیروی وارده بر نمونه در حال اکسترودر شدن به وسیله یک واحد بار انبساط سنج که روی بازوی متحرک آن نصب شده است، اندازه گیری می‌شود. یا معلوم بودن ابعاد حدیده و پیستون و سرعت بازوی متحرک می‌توان سرعت برش را محاسبه کرد و تنش برشی را اندازه گرفت. از چنین رئومتری برای به دست آوردن داده‌های جدول ۲ استفاده شد. برای تمام انواع پلیمرها دو دسته ارقام در بالاترین سرعت برش قرائت شده است. در این سرعت، تنش وارده بر مذاب به یک مقدار ماسکسیم می‌رسد و سپس به دلیل ناپایداری جریان مذاب فوراً به مقدار پایتتری سقوط می‌کند.

همه این فیلمها برای آزمایشهای بعدی کیفیت مناسبی داشتند و تغییرات ضخامت آنها در اطراف حباب قابل قبول بود.

ارزیابی خواص مکانیکی

منحنیهای تنش - کرنش برای اکثر فیلمها با استفاده از یک اینسترون $CM - TT$ متصل به واحد بارگذاری با مقیاس کامل قرائت $50N$ به دست آمد. آزمایشات طبق توصیههای $ISO/R 523 - 1966$ یعنی در سرعت آزمایش 50 mm min^{-1} انجام گرفت.

فیلمها طبق توصیههای $ISO/R 291 - 1963$ قبل از بریدن نمونهها، مدت هفت روز در دمای $23^\circ C$ و رطوبت نسبی 50% قرار گرفتند. این عمل با یک تراش BS انجام گرفت که دارای قالبی به شکل دمبل بود و با استفاده از آن نمونه‌ای با طول 115 میلیمتر و عرض و طول قسمت باریکه آن به ترتیب 6 و 23 میلیمتر به دست آمد. در هر نمونه 25 میلیمتر برای ارزیابی نسبتهای کشش طبیعی و افزایش طول تا پارگی علامت‌گذاری شده بود.

نمونه‌ها طوری از فیلمها بریده شده بودند که محور کشش آن در جهت MD یا TD باشد. در بعضی موارد وجود نقص در نمونه یا گیره کردن آن منجر به نتایجی می‌شد که نشانگر رفتار واقعی نمونه نبود. از چنین نتایجی صرف نظر شد و در تجزیه آماری متعاقب آن، این نتایج وارد نگردیدند. حادثه‌ترین حالت مسئله وقتی بود که در جهت TD آزمایش صورت می‌گرفت، زیرا وجود خطوط قالب در بعضی فیلمها آشکارا به شکست زودرس منجر می‌شد.

تنش در نقطه تسلیم

(Yield Stress: YS)، تنش در کشیدگی

(Draw Stress: DS)، تنش کششی نهایی

(Ultimate Tensile Stress: UTS)، نسبت کشش طبیعی

(Natural Draw Ratio: NDR) و افزایش طول تا پارگی

(Elongation at Break: EB) نشانگر مقدار میانگین خاصیت اندازه‌گیری شده و 95% حد اطمینان میانگین به دست آمده از انحراف استاندارد است.

اندازه‌گیری شکست مضاعف

اندازه‌گیریهای شکست مضاعف محدود به صفحه فیلم بود. این امر تفسیر جهتگیری کلی مولکولها را محدود می‌سازد اما زمینه ارتباط دادن داده‌های مربوط به داخل صفحه را با خواص مکانیکی فراهم می‌کند. اگر نایزوتروپی نوری فیلم توسط سه اندیس انحراف α ، β و γ مشخص شود، معلوم می‌شود که کوچکترین اندیس، α ، بر صفحه فیلم عمود است. از این رو شکست مضاعف اندازه‌گیری شده در صفحه فیلم، $(\beta - \gamma)$ می‌باشد. می‌توان به فیلمها برحسب اینکه جهت بالاترین اندیس در فیلم، γ ، نزدیک به جهت ماشین باشد یا در جهت عرضی، علامتی اختصاص داد. فیلمی که γ آن به MD نزدیکتر است یا شکست مضاعف مثبت در نظر گرفته می‌شود.

انواع اندازه‌گیریهای شکست مضاعف با سه کارگیری روش میکروسکوپی انجام شد. نمونه‌ها نیز از نقاط مختلف فیلم اطراف حباب مسطح بریده شدند. نمونه‌های مستطیلی طوری بریده شدند تا ضلع بزرگتر آنها دقیقاً با جهت ماشین فیلم در یک راستا باشد و سپس میان یک اسلاید میکروسکوپ و روکش آن در داخل دی‌اکتیل فتالات (اندیس شکست $n^2_D = 1/52$) قرار گرفتند تا پراکندگی نوری و بی‌قطب شدن در سطوح فیلم را کاهش دهد. سه نوع اندازه‌گیری به کمک یک میکروسکوپ قطبی کننده استاندارد بر روی هر نمونه انجام گرفت:

(۱) زاویه میان ضلع بزرگتر نمونه و نزدیکترین محل خاموشی اندازه‌گیری شد.

(۲) جهت γ با استفاده از یک صفحه کمکی تک طول موجی تعیین گردید.

(۳) شکست مضاعف فیلم با استفاده از یک جبران کننده کوارتز اهرینگ هاوس (*Quartz Ehringhaus Compensator*) و نور با طول موج $546nm$ انجام شد.

بالاترین اختلافهای مسیر نوری (یعنی، ضخامت \times شکست مضاعف) که با آن مواجه شدند، از لحاظ بزرگی در حول یک طول موج بود به طوری که از اثر پراکندگی ناشی از فیلم یا عدم تطابق میان پلیمر و کوارتز مربوط به جبران کننده می‌توانست چشم‌پوشی شود. بافت بلوری داخل فیلم به حد کافی ریز بود تا در صورت استفاده از میکروسکوپ با عدسی شیئی کم قدرت مانع از تعیین شکست مضاعف متوسط برای نمونه نشود.

پراش پرتو - X

کار پرتو - X با استفاده از یک تولید کننده پرتو - X از نوع $JeolDX-GE (2S - 20)$ تابش CuK_{α} فیلتر شده نیکی انجام شد. تصاویر مسطحی برای همه فیلمها به دست آمد و تصاویر قطبها به کمک یک *Philips Texture Attachment Unit PW 1078* ایجاد شد.

ایجاد تصویرهای قطبی فقط به نُه فیلم انتخاب شده بر پایه نتایج اولیه دوربین مسطح و شکست مضاعف محدود می‌شد. بررسیهای انجام گرفته به قطبهای (۲۰۰) و (۰۲۰) منحصر شد که اطلاعات مربوط به توزیع جهتگیری را به ترتیب روی محورهای بلورشناسی α و β می‌دادند و این برای تفسیر کامل جهتگیری در سه بعد کافی است. جهتگیری محور c به دلیل فقدان انعکاسهای مناسب به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست. لیکن استفاده از قطبهای (۲۰۰) و (۰۲۰) در صورتی که انعکاسها به دلیل جهتگیری بلوری کم، خیلی ضعیف باشند خود می‌تواند مورد سؤال قرار گیرد. این نیز با نامتقارن بودن تصاویر قطبی آشکار می‌شود. داده‌های مربوط به تصویر قطب برای نمونه‌های ضخیم هم به دست آمد. این فیلمهای ضخیم که برای کسب شدت پراش قابل اندازه‌گیری لازم بودند با چسباندن نمونه‌ها به یکدیگر تا رسیدن به ضخامت $500 \mu m$ تهیه شدند.

EB(%)	NDR	UTS (MPa)	DS(MPa)	YS(MPa)	FH(Cm)	پلیمر
۵۲.۰±۲.۶	۱۸.۰±۱.۶	۵۶/۱۰±۱.۴	۲۷/۵±۱.۸	۲۸/۲±۰.۱۶	۲۲	واکر DF5071G
۵۲.۰±۲.۶	۱۸.۰±۱.۶	۵۶/۱۰±۱.۴	۲۷/۵±۱.۸	۲۸/۲±۰.۱۶	۵۰	
۶۰.۷±۲.۲	۲۱.۰±۱.۵	۲۹/۷±۱.۰	۲۵/۶±۱.۱	۲۷/۷±۱.۰	۱۰۰	
۶۲.۱±۳.۰	۲۲.۰±۱.۴	۵۰/۱۲±۱.۲	۲۶/۲±۰.۲	۱۹/۰±۰.۲	۲۲	واکر FF5551G
۵۸.۲±۵.۲	۲۱.۸±۰.۱۶	۲۵/۱±۱.۸	۲۵/۶±۰.۱۵	۲۹/۶±۰.۱	۵۰	
۶۸.۱±۲.۸	۵.۲±۰.۱۶	۲۲/۲±۱.۹	۲۲/۸±۰.۱۸	۲۹/۰±۰.۱۶	۱۰۰	
۲۷.۷±۱.۲	۲۸.۰±۰.۱	۵۷/۰±۲.۲	۲۶/۲±۰.۱۵	۲۸/۲±۰.۱۶	۲۲	هاستالن GM9255F
۵۲.۰±۲.۶	۱۸.۰±۱.۶	۵۶/۱۰±۱.۴	۲۷/۵±۱.۸	۲۸/۲±۰.۱۶	۵۰	
۶۲.۱±۳.۰	۲۲.۰±۱.۴	۵۰/۱۲±۱.۲	۲۶/۲±۰.۲	۱۹/۰±۰.۲	۱۰۰	
۷۱.۹±۱.۶	۲۱.۵±۰.۱۲	۵۲/۲±۰.۱۶	۱۸/۶±۰.۱۲	۲۱/۷±۰.۱۲	۲۲	هاستالن GF7740F2
۷۲.۸±۲.۲	۵.۰±۰.۱۲	۵۰/۷±۱.۹	۱۹/۵±۰.۱۲	۲۲/۸±۰.۱۲	۵۰	
۷۸.۷±۲.۲	۵.۸±۰.۱۲	۵۱/۷±۱.۹	۱۹/۶±۰.۱۶	۲۲/۵±۰.۱۶	۱۰۰	
۶۸.۵±۱.۷	۲۱.۸±۰.۱۲	۶۰/۴±۱.۲	۲۲/۲±۰.۱۲	۲۵/۰±۰.۱۲	۲۲	یونیفوس DMDS 2900
۷۲.۸±۲.۲	۲۱.۸±۰.۱۲	۵۰/۵±۱.۰	۲۲/۵±۰.۱۲	۲۶/۵±۰.۱۶	۵۰	
۷۲.۸±۲.۲	۶/۲±۰.۱۲	۵۱/۵±۲.۲	۲۲/۵±۰.۱	۲۶/۲±۰.۱	۱۰۰	

FH100Cm = فیلم نوع ۵، FH0Cm = فیلم نوع ۴، FH۲۲Cm = فیلم نوع ۳

به طور کلی اثر افزایش نسبت دمش روی فیلمها (جدول ۴) عموماً موجب زوال مقادیر تنش تسلیم، تنش کشیدگی و استحکام کششی نهایی اندازه گیری شده در جهت MD می گردد. تنها پلیمر نوع هاستالن GF7740F2 کمی متفاوت عمل می کند، بدین ترتیب که به نظر می رسد تنش تسلیم و استحکام کششی نهایی آن تحت تأثیر نسبت دمش قرار نمی گیرد. از نتایج محدود به دست آمده آشکار می شود که استحکام کششی نهایی در جهت TD با نسبت دمش، همانطور که انتظار آن می رود، افزایش می یابد. سایر خواص اندازه گیری شده در جهت TD تغییرات قابل توجهی نشان نمی دهند که بیشتر به خاطر تعداد محدود نتایج موجود می باشد. در همه فیلمها نسبت کشش طبیعی و افزایش طول تا پارگی با نسبت دمش MD افزایش می یافت و در جهت TD تغییر اندکی قابل تشخیص بود. افزایش ارتفاع انجماد اثر ناچیزی بر تنش تسلیم یا تنش کشیدگی در جهت MD دارد (جدول ۵). لیکن استحکام کششی نهایی به ویژه وقتی FH از ۲۲ به ۵۰ cm افزایش می یابد، نقصان پیدا می کند در حالی که نسبت کشیدگی و افزایش طول تا پارگی افزایش نشان می دهند. تغییر FH، تغییرات عمده ای در جهت TD ایجاد نمی کند.

اثرات تغییر ضخامت فیلم در جدول ۶ نشان داده شده است. نسبت کشیدگی طبیعی برای نازکترین فیلم نوع واکر DF5071G حذف شده است. زیرا هیچ ناحیه مسطحی در منحنی تنش - کرنش مشاهده نگردیده است. به نظر می رسد تنش تسلیم کمتر تحت تأثیر ضخامت فیلم قرار گرفته

صفحه مشبکی که قبلاً روی فیلمها کشیده شده بود ردیف بندی دقیق را سهولت می بخشید.

در قهای جهت دار نشده حاصل از قالبگیری فشاری، مینایی برای مقایسه شدتهای پراش ناشی از فیلمهای جهت یافته بودند. تصحیح لازم برای شدت پراش مربوط به زمینه در تمام زاویهها انجام گرفت. نمایش داده های تصویر قطب با رسم نقاط تقاطع بین اثر فیلم جهت یافته و اثر نمونه جهت نیافته بر حسب حرکت زاویه ای نمونه بر روی کساغذ رسم تصویر قطب انجام شد.

نتایج

خواص کششی

جدول ۴ و ۵ و ۶ اثر نسبت دمش (BR)، ارتفاع انجماد (FH) و ضخامت فیلم (T) را بر روی خواص کششی فیلمهای پلی اتیلن در جهت ماشین (MD) نشان می دهند. جهت MD فیلم لزوماً بیانگر جهت ماکسیمم استحکام کششی در فیلم نمی باشد. این جهت باید در امتداد محور اصلی فیلم که بین صفر تا ۱۰° با MD زاویه تشکیل می دهد قرار داشته باشد. جدول ۷ نتایج کشش به دست آمده در جهت عرضی (TD) برای پلیمر هاستالن GF7740F2 و برخی نتایج را برای پلیمر نوع یونیفوس و هاستالن MG9255F نشان می دهد. از سایر نمونه های فیلم، نتیجه ای در جهت TD به دست نیامد زیرا در امتداد خطوط حادیده به شکست زودرس رسیدند.

جدول ۴ - اثر BR بر خواص مکانیکی در جهت MD

EB(%)	NDR	UTS (MPa)	DS(MPa)	YS(MPa)	BR ^a	پلیمر
۴۳.۷±۳.۰	۲/۲±۰.۱۲	۵۷/۸±۲.۰	۳۰/۰±۱.۲	۳۰/۵±۱.۰	۰.۱۶	واکر DF 5071G
۵۳.۰±۲.۶	۲/۶±۰.۱۲	۲۸/۲±۲.۲	۲۶/۰±۰.۱۶	۲۷/۸±۰.۱۵	۱/۰	
۶۵.۹±۲.۵	۲/۰±۰.۱۲	۵۰/۸±۱.۸	۲۲/۷±۰.۱۲	۲۶/۵±۰.۱۵	۱/۶	
۲۸.۹±۲.۴	۲/۰±۰.۱۶	۳۷/۵±۳.۵	۲۷/۵±۱.۴	۲۹/۷±۱.۲	۰.۱۶	واکر FF 5551G
۵۸.۲±۵.۲	۲/۱.۸±۰.۱۶	۲۵/۱±۱.۸	۲۵/۶±۰.۱۵	۲۹/۶±۰.۱	۱/۰	
۸۰.۸±۲.۷	۶/۰±۰.۱۲	۲۳/۱±۱.۰	۲۲/۲±۰.۱	۲۶/۶±۰.۱۸	۱/۶	
۳۲.۸±۲.۵	۲/۲±۰.۱۲	۶۰/۳±۱.۵	۲۹/۲±۰.۱	۳۱/۳±۰.۱۲	۰.۱۶	هاستالن GM 9255F
۵۲.۰±۲.۶	۲/۸±۰.۱۲	۵۶/۱۰±۱.۴	۲۶/۰±۰.۱۶	۲۹/۰±۰.۱۵	۱/۰	
۷۰.۶±۲.۰	۵/۶±۰.۱۲	۲۹/۵±۱.۲	۲۲/۲±۰.۱۲	۲۷/۱±۰.۱۲	۱/۶	
۶۱.۵±۲.۰	۲/۲±۰.۱۵	۲۵/۲±۲.۲	۲۰/۲±۰.۱۸	۲۳/۱±۰.۱۶	۰.۱۶	هاستالن GF 7740F2
۷۳.۹±۲.۲	۵/۰±۰.۱۲	۵۰/۷±۱.۹	۱۹/۵±۰.۱۲	۲۲/۸±۰.۱۲	۱/۰	
۸۵.۸±۲.۹	۶/۱±۰.۱۲	۵۲/۲±۱.۷	۱۸/۹±۰.۱۲	۲۳/۱±۰.۱۳	۱/۶	
۶۳.۵±۲.۷	۲/۰±۰.۱۲	۵۲/۸±۲.۲	۲۲/۵±۰.۱۶	۲۷/۸±۰.۱۶	۰.۱۶	یونیفوس DMDS 2900
۷۲.۸±۲.۲	۲/۱.۸±۰.۱۲	۵۰/۵±۱.۰	۲۲/۵±۰.۱۲	۲۶/۵±۰.۱۶	۱/۰	
۸۲.۴±۲.۲	۶/۲±۰.۱۲	۵۱/۶±۱.۵	۲۲/۰±۰.۱	۲۶/۰±۰.۱۲	۱/۶	

BR ۰.۱۶ = فیلم نوع ۱، BR ۱/۰ = فیلم نوع ۲، BR ۱/۶ = فیلم نوع ۳.

جدول ۶ - اثر T بر خواص مکانیکی در جهت ND

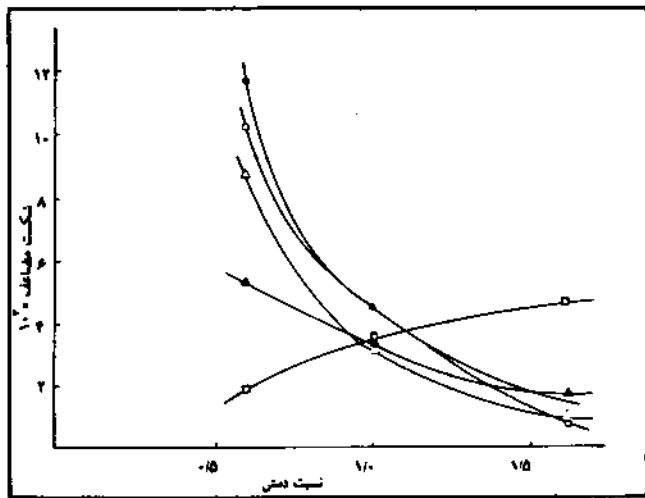
EB (%)	NDR	UTS (MPa)	DS (MPa)	YS (MPa)	متوسط ضخامت (T) (μm) ^a	پلیمر
222 ± 22		607 ± 22	2916 ± 0.9	2912 ± 0.18	25	واکر DF 5071G
520 ± 60	216 ± 0.12	2822 ± 22	2610 ± 0.16	2719 ± 0.15	65	واکر FF 5551G
606 ± 55	51 ± 0.12	2805 ± 218	2216 ± 1.0	2777 ± 0.9	95	
252 ± 12	118 ± 0.1	5222 ± 215	2827 ± 0.16	2827 ± 0.16	25	
582 ± 52	218 ± 0.16	2511 ± 118	2516 ± 0.15	2916 ± 0.17	65	
752 ± 22	615 ± 0.12	2222 ± 12	2222 ± 0.18	2820 ± 0.16	95	هاستالن GM 9255F
275 ± 25	12 ± 0.1	6522 ± 218	209 ± 1.0	2110 ± 1.0	25	
512 ± 26	219 ± 0.12	5216 ± 116	2610 ± 0.16	2910 ± 0.15	65	هاستالن GF 7740 F2
622 ± 22	51 ± 0.12	5122 ± 219	2222 ± 0.12	2828 ± 0.15	95	
619 ± 26	210 ± 0.12	5222 ± 216	209 ± 1.2	2215 ± 1.2	25	
228 ± 22	510 ± 0.12	5022 ± 119	1915 ± 0.12	2218 ± 0.12	65	
825 ± 22	615 ± 0.12	5115 ± 211	1912 ± 0.12	2215 ± 0.15	95	یونیفوس DMDS 2900
516 ± 21	222 ± 0.12	6022 ± 219	2522 ± 1.0	2611 ± 0.18	25	
228 ± 22	218 ± 0.12	5015 ± 210	2215 ± 0.12	2615 ± 0.16	65	
821 ± 50	619 ± 0.12	2910 ± 222	2218 ± 0.12	2715 ± 0.12	95	

^a فیلم نوع ۶، T 65 μm = فیلم نوع ۲، T 95 μm = فیلم نوع ۷.

جدول ۷ - خواص مکانیکی در جهت TD^a

EB (%)	NDR	UTS (MPa)	DS (MPa)	YS (MPa)	متغیر	پلیمر
928-57	N-0.12	2219-618	1710 + 0.12	2219 + 1.2	BR = 0.16	هاستالن GF 7740F2
921-68	222-12	2719-527	1711+0.17	2515 + 0.15	BR = 1.0	یونیفوس DMDS 2900
989-12	216-0.1	5211+211	1718+0.16	2522+1.2	BR=1.6	
868	9.2	2722	1918	2222	BR=0.16	
920	222	5222	20.12	2222	BR=1.6	هاستالن GF 7740F2
1022-18	218+0.1	5222+1.5	1615+0.12	2510+0.12	FH = 22cm	
921-68	222+0.12	2719-527	1711+0.17	2515+0.15	FH = 50cm	
1022-52	N-0.1	5116-215	1619+0.12	2522+0.18	FH=100cm	هاستالن GM 9255F
870	N/0	5110	1917	2112	FH=100cm	
829-92	226+0.12	2115-1222	1910+1.0	2220+1.18	FH= 22 cm	
921	222	2222	1917	2116	FH = 100cm	هاستالن GF 7740F2
921	218	2511	1718	2222	T = 25 μm	
921	222+0.12	2719-527	1711 + 0.17	2515 + 0.15	T = 65 μm	
927-17	219+0.1	5222-212	1718 + 0.12	2622 + 0.15	T = 95 μm	
952-25	9.2+0.12	2222-222	1917 + 1.5	2222 + 2.0	T = 95 μm	یونیفوس DMDS 2900

^a 95٪ حداطمینان فقط برای آن دسته از نمونه‌های فیلم داده شده که حداقل چهار مستحی کشش قابل قبول حاصل کرده بودند.



شکل ۲ - اثر نسبت دمش بر شکست مضاعف: ●، واگر DF5071G؛ ○، واگر GF7740F2؛ □، هاستان GM9255F؛ △، هاستان FP5551G؛ DMDS 2900

برای همه پلیمرهایی که آزمایش شدند غیر از یونیفوس DMDS 2900، شکست مضاعف با افزایش نسبت دمش کاهش می‌یابد. این کاهش

باشد، اما عموماً مقادیر تنش کشیدگی و استحکام کششی نهایی با افزایش ضخامت فیلم کاهش می‌یابند، در حالی که مقادیر نسبت کشیدگی طبیعی و افزایش طول تا پارگی افزایش نشان می‌دهند. بار دیگر عدم نتایج کافی، یافتن روند روشنی در جهت TD را میسر نمی‌سازد.

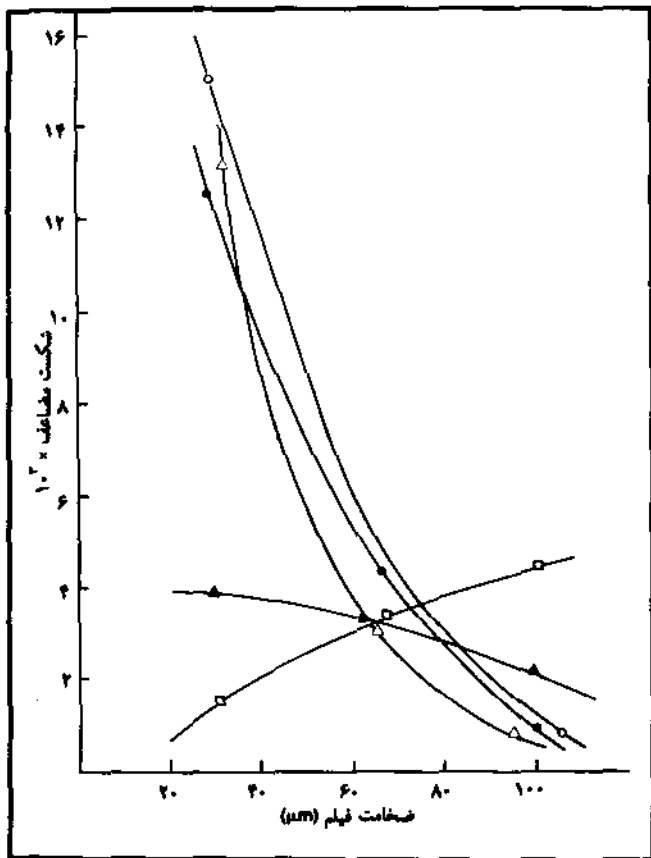
وقتی خواص کششی اندازه‌گیری شده در جهت MD و TD بین فیلمهای هاستان GF7740F2 و یونیفوس DMDS 2900 مقایسه شوند، نظرات بیشتری می‌توان اظهار داشت (جدول ۸). در تمام موارد معلوم شد که تنش تسلیم در جهت MD کمی پایینتر است، در حالی که تنش کشیدگی کمی بالاتر است. استحکام کششی نهایی در هر دو جهت بسیار شبیه بود، در صورتی که خواص افزایش طول در جهت MD به طور قابل توجهی پایینتر بود. این مشاهدات بر اساس مدل‌های جهتگیری پیشنهادی برای فیلمهای گوناگون بحث خواهد شد (بخش اثر پارامترهای فراروش بر خواص را ملاحظه کنید).

اندازه‌گیری شکست مضاعف

اثر نسبت دمش بر شکست مضاعف برای فیلمهای تهیه شده از پنج نمونه پلیمر در شکل ۲ نشان داده شده است. همه مقادیر مثبت می‌باشند.

جدول ۸ - نسبت خواص مکانیکی MD/TD

EB (%)	NDR	UTS (MPa)	DS (MPa)	YS (MPa)	متغیر	پلیمر
۰.۱۶۵	۰.۱۵۲	۱/۰.۵	۱/۲.۰	۰.۹۲	BR = ۰.۱۶	هاستان GF 7740F2
۰.۱۷۸	۰.۱۶۸	۱/۰.۶	۱/۱.۴	۰.۸۹	BR = ۱/۰	
۰.۱۸۶	۰.۱۸۰	۰.۹۶	۱/۰.۶	۰.۹۱	BR = ۱/۱۶	
۰.۱۷۳	۰.۱۴۳	۲/۰.۰	۱/۲.۴	۰.۸۵	BR = ۰.۱۶	یونیفوس DMDS 2900
۰.۱۹۰	۰.۱۷۴	۱/۱.۴	۱/۰.۸	۰.۸۰	BR = ۱/۱۶	
۰.۱۶۰	۰.۱۵۸	۱/۰.۱	۱/۱.۳	۰.۸۷	FH = ۲۲cm	هاستان GF 7740F2
۰.۱۷۸	۰.۱۶۸	۱/۰.۶	۱/۱.۴	۰.۸۹	FH = ۵۰cm	
۰.۱۸۴	۰.۱۷۲	۱/۰.۰	۱/۱.۶	۰.۹۳	FH = ۱۰۰cm	
۰.۱۷۸	۰.۱۷۱	۰.۹۸	۱/۱.۶	۰.۸۷	FH = ۱۰۰cm	هاستان GM 9255F
۰.۱۸۷	۰.۱۵۲	۱.۷۲	۰.۹۸	۰.۱۶۸	FH = ۲۲cm	یونیفوس DMDS 2900
۰.۱۸۴	۰.۱۶۶	۱/۲.۲	۰.۹۹	۰.۷۴	FH = ۱۰۰cm	
۰.۱۶۶	۰.۱۵۱	۱/۱.۸	۱/۱.۷	۰.۹۱	T = ۲۵μm	هاستان GF 7740F2
۰.۱۷۸	۰.۱۶۸	۱/۰.۹	۱/۱.۴	۰.۸۹	T = ۶۵μm	
۰.۱۸۵	۰.۱۸۳	۰.۹۸	۱/۰.۸	۰.۱۸۸	T = ۹۵μm	
۰.۱۸۶	۰.۱۷۵	۱/۱.۰	۱/۱.۶	۰.۱۸۵	T = ۹۵μm	یونیفوس DMDS 2900



شکل ۲ - اثر ضخامت فیلم بر شکست مضاعف - نمادها مانند شکل ۲ هستند.

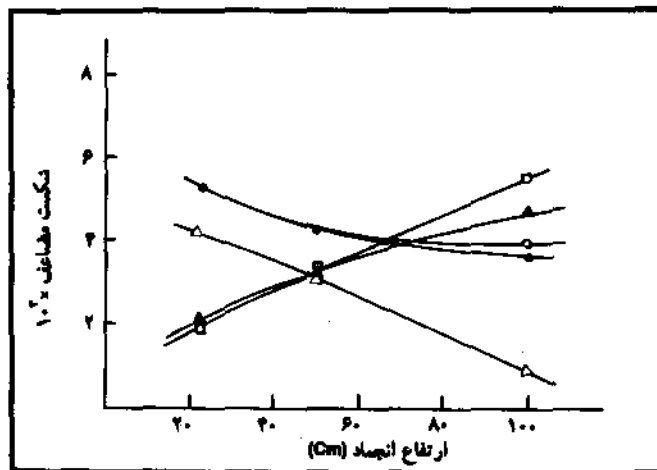
جریان مقاومت زیادتری نشان می‌دهند کاهش می‌یابد؛ تا حدی که شکست مضاعف با ضخامت فیلم برای پلیمر یونیفوس *DMS2900* افزایش می‌یابد.

تغییرات نوعی در شکست مضاعف در اطراف حباب فیلم برای دو نمونه (واکر *DFS071G* و هاستالن *GM9255F*) در شکل ۵ نمایش داده شده است. در شرایط ایده‌آل که شکست مضاعف در اطراف حباب یکتواخت باشد روی نمودار مذکور دایره‌ای مشاهده خواهد شد. با وجود این در عمل همه فیلمها در یک طرف فیلم مسطح نسبت به طرف دیگر شکست مضاعف بیشتری نشان دادند. این توزیع غیر یکتواخت می‌بایست از فاکتورهای ماشینی ناشی شده باشد و این امر اهمیت نمونه‌گیری از موقعیتهای یکسان فیلمها را برای آزمایش نشان می‌دهد. وقتی نمونه‌ها در موقعیت عرضی ثابتی در امتداد *MD* گرفته شده بودند تغییرات شکست مضاعف تحت شرایط کاری پایدار عادی خیلی کمتر بود. بزرگی شکست مضاعف برای همه فیلمهای آزمایش شده فقط $10^{-2} \times 0.5$ تغییرات نشان می‌داد.

نتایج پراش پرتو - X

تصاویر صفحه مسطح پراش پرتو - X برای همه فیلمها به دست

شکست مضاعف قابل انتظار است، زیرا بالا بردن نسبت دمش، جهتگیری در سوی *TD* را افزایش می‌دهد تا قبلمی متعادلاتر با شکست مضاعف کمتر در صفحه خود ایجاد کند. لیکن عامل دیگری روی شکست مضاعف مؤثر است. برای آنکه فیلمها در گستره‌ای از مقادیر *BR*، ضخامت مساوی خود را حفظ کنند، باید برای کاهش *BR* سرعت کشیده شدن افزایش یابد و این موجب افزایش جهتگیری در سوی *MD* می‌گردد. شکل ۲ نشان می‌دهد که رفتار دو نمونه پلی‌اتیلن و اکریل با هاستالن *GM9255F* بسیار شبیه یکدیگر است، در حالی که دو نمونه باقیمانده در نسبتهای دمش پایین شکست مضاعف بسیار کمتری دارند. داده‌های رئولوژیکی حاکی از آن است که تحت شرایط اکستروژن نوعی (یعنی در سرعتهای برشی زیاد) دو پلیمر اخیر در مقابل جریان بسیار مقاومتر هستند که نشانه آن است که جهتگیری کمتری در جهت *MD* دارند و در نتیجه فیلمهای تعادل یافته‌تری هستند. اثر ارتفاع انجماد بر شکست مضاعف برای پنج پلیمر در شکل ۳ نشان داده شده است. بار دیگر پلیمرها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. برای دسته‌ای که راحت‌تر جریان می‌یابند، شکست مضاعف معمولاً با افزایش *FH* نقصان می‌یابد، که می‌توان آن را مربوط به زمان بیشتری که برای آسایش و جهتگیری مجدد خرده‌یلورها در اختیار دارند، دانست. اثر متضادی که برای پلیمرهای هاستالن *GF7740F2* و یونیفوس *DMS2900* مشاهده می‌شود احتمالاً به سبب محدودیت جهتگیری در جهت *MD* در اثر مقاومت در برابر جریان در ارتفاع انجماد پایین می‌باشد.



شکل ۳ - اثر ارتفاع انجماد بر شکست مضاعف - نمادها مانند شکل ۲ هستند.

سرانجام اثر ضخامت فیلم روی شکست مضاعف در شکل ۴ به تصویر کشیده شده است. روند تغییرات بسیار مشابه حالتی است که *BR* تغییر می‌کند. ضخامت فیلم با تنظیم سرعت غلطکهای تماس کنترل می‌شود که سرعت کشش فیلم را تغییر دهند. این امر، چنانکه مشاهده می‌شود، شکست مضاعف بالایی در ضخامتهای کم برای پلیمرهایی که زود جاری می‌شوند، به دست می‌دهد. این اثر برای پلیمرهایی که در مقابل

قطبهای (۲۰۰) [یعنی محورهای a]، در صفحه SN/MD است و اغلب در جهت TD کشیده شده‌اند. موقعیت زاویه‌ای ماکسیممهای (۲۰۰) در جدول ۹ فهرست شده است. ماکسیممهای توزیع قطبهای (۰۲۰) [یعنی محورهای b] اغلب در صفحه SN/TD آشکار می‌شوند و کمی در جهت MD کشیدگی پیدا کرده‌اند. موقعیت این ماکسیممها نیز در جدول ۹ مندرج است. لیندنمایر و لاستیگ [12] خاطر نشان کردند که گرچه از تخمین کیفی توزیع محورهای a و b عموماً نمی‌توان در مورد ماکسیممهای توزیع مربوط به محورهای c نتیجه‌گیری کرد ولی می‌توان تخمینهایی با ضریب اطمینان خوب، به‌ویژه برای فیلمهای بسیار جهت‌یافته به‌دست آورد.

افزایش نسبت دمش اثرات مختلفی بر دو جفت از فیلمهای آزمایش شده، داشت. در مورد یونیفوس $DMD52900$ ، محور c به طرف صفحه فیلم و محور b به سمت SN حرکت می‌کند. لیکن در مورد واکر $DF5071G$ محور c به سوی خارج از صفحه حرکت می‌کند و به سمت SN نزدیک می‌شود، در حالی که محور a به سمت صفحه فیلم حرکت می‌کند و محور b به سمت TD متمایل می‌گردد.

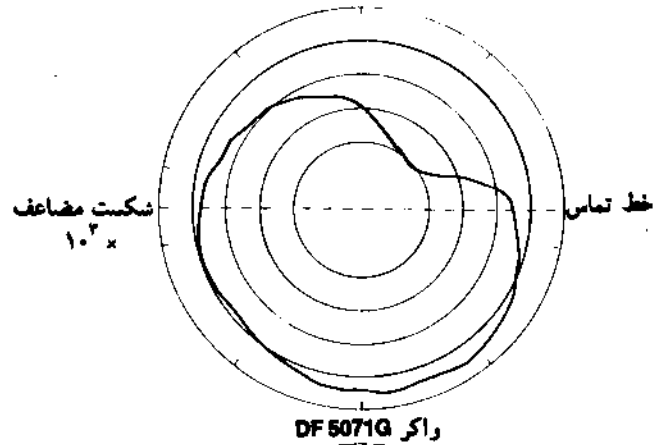
اثر افزایش FH برای هاستالن $GM9255F$ مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر قطبی نشان می‌داد توزیع محور a به سمت MD حرکت می‌کند و توزیع محور b تقریباً بی‌تأثیر می‌ماند. از این مشاهدات چنین برداشت می‌شود که با افزایش FH ، توزیع محور c باید به خارج صفحه فیلم حرکت کند در حالی که محور a به سمت داخل صفحه حرکت می‌کند. جهت مقایسه دو نوع هاستالن، تصاویر قطبی برای فیلم هاستالن $GF7740F2$ با FH برابر 100 cm به دست آمد. در این فیلم جهت‌گیری کمتری برای محورهای a و b نسبت به فیلم هاستالن $GM9255F$ که تحت همان شرایط ساخته شده بود، مشاهده گردید که این با اندازه‌گیریهای شکست مضاعف سازگاری دارد. ماکسیمم قطب (۰۲۰) برای نوع هاستالن $GF7740F2$ در مقایسه با نوع $GM9255F$ به نظر می‌رسد که بیشتر به خارج صفحه فیلم و به سمت SN متمایل باشد اما ماکسیمم قطب (۲۰۰) در هر دو نمونه موقعیت یکسانی داشت.

نمونه واکر $FF5551G$ نیز به منظور بررسی اثر ضخامت فیلم روی جهت‌گیری خرده‌بلورها مورد مطالعه قرار گرفت. هر چه ضخامت زیادتر شود، توزیع قطب (۲۰۰) به سمت MD متمایل می‌شود (یعنی بیشتر با فیلم هم‌صفحه می‌شود)، در حالی که توزیع قطب (۰۲۰) به خارج صفحه فیلم به سمت SN حرکت می‌کند. این مشاهدات متناظر با حرکت توزیع محور a به سمت MD ، حرکت توزیع محور b به سمت SN و حرکت محور c به سمت هر دو جهت SN و TD است.

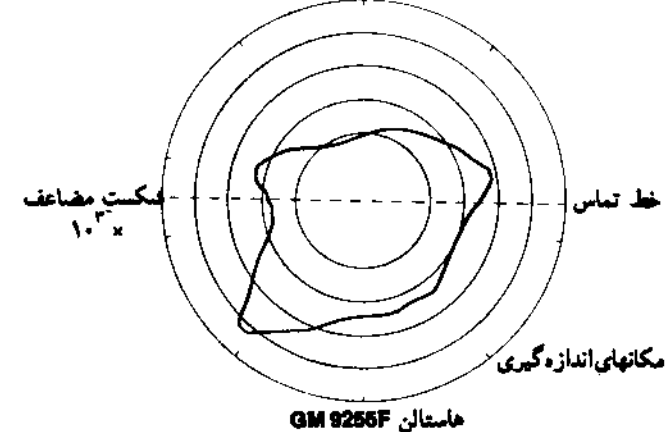
بحث

تولید فیلم و خواص آن

به نظر می‌رسد که بر اساس ویژگیهای پلیمر و رفتار آن در خلال تهیه فیلم، بتوان پنج نمونه پلی‌اتیلن با جرم مخصوص بالا را به دو گروه



واکر DF 5071G



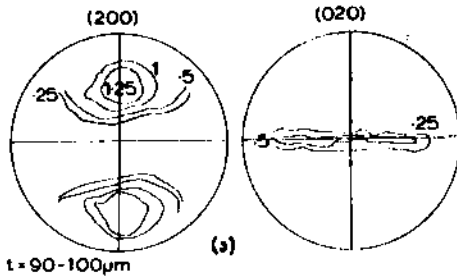
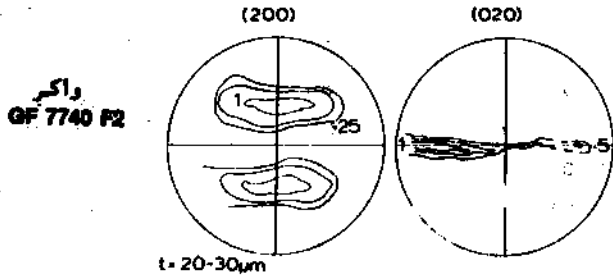
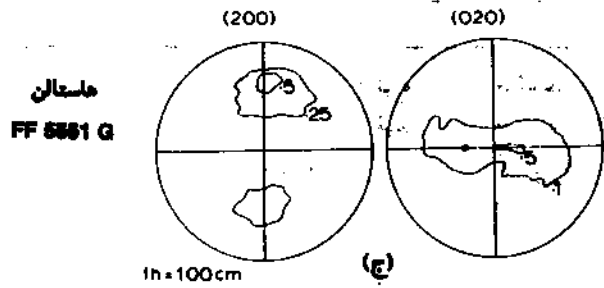
هاستالن GM 9255F

شکل ۵ - تغییرات شکست مضاعف اطراف جیب فیلم.

آمد. به طور کلی می‌توان این تصاویر را بر اساس جهت‌گیری انعکاس (۱۱۰) در صفحه فیلم، در سه دسته قرار داد:
(الف) آنهایی که جهت‌گیری اتفاقی یا جهت‌گیری کلی ناچیزی دارند (دایره‌های بزرگ)؛

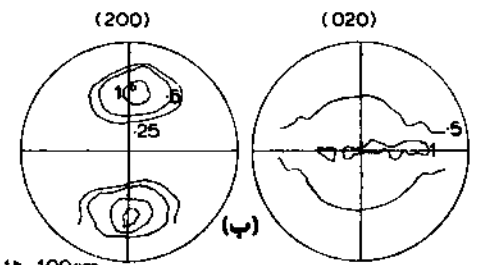
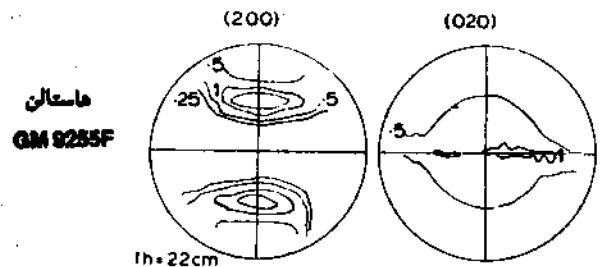
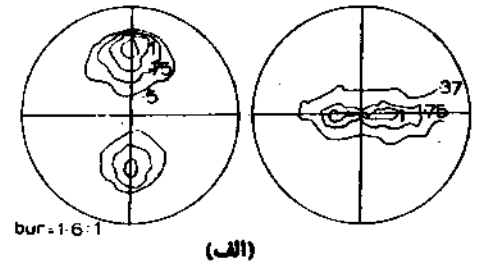
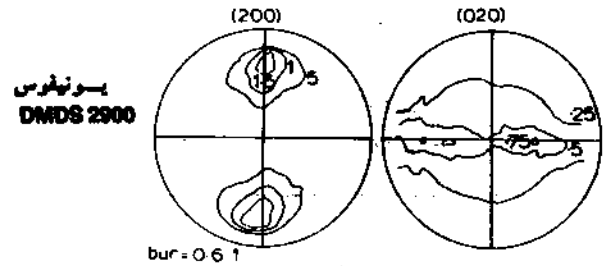
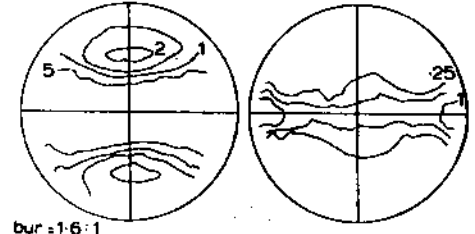
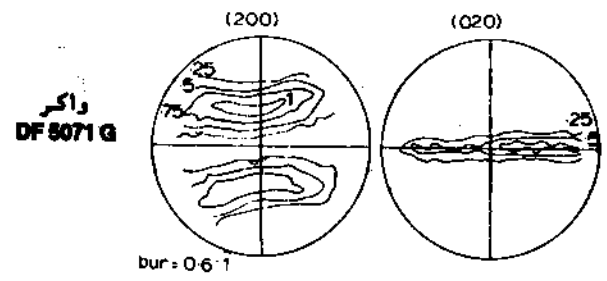
(ب) آنهایی که جهت‌گیری متوسطی نشان می‌دهند (کمانهای واضحی قابل رؤیت‌اند که روی دوائر منطبق شده‌اند)؛
(ج) آنهایی که بیشترین جهت‌گیری را نشان می‌دهند (کمانهای تیز).
تصاویر ایجاد شده برای هاستالن $GF7740F2$ از نوع (الف)، هاستالن $GM9255F$ و یونیفوس $DMD52900$ از نوع (ب) هستند و دو نوع واکر بیشترین جهت‌گیری، یعنی از نوع (ج) را نشان می‌دهند.
تغییر پارامترهای فراروش تغییر ناچیزی در جهت‌گیری می‌داد که با این روش قابل آشکار شدن بود.

تصاویر قطبی پرتو X مربوط به (۲۰۰) و (۰۲۰) که برای نمونه‌های منتخب به‌دست آمد در شکل ۶ نمایش داده شده است. شدتهای نسبی بر روی زمینه تصاویر نشان داده شده‌اند. در همه این تصاویر قطبی خط شمال به جنوب همان جهت MD و خط شرق به غرب همان جهت TD است و جهت SN که عمود بر فیلم / ورق است در اینجا نیز خطی عمود بر صفحه کاغذ است و از مرکز قطب می‌گذرد. در همه موارد ماکسیمم توزیع



شکل ۶ - ادامه

تقسیم کرد. دو نوع واکر و نوع هاستان GM9255F برخی جنبه‌های مشترک دارند. که در موارد هاستان GF7740F2 و یونیفوس DMDS2900 نیز چنین است. در اولین گروه پلیمرها، به ویژه دو نوع واکر، زنجیرها مقدار کمی شاخه‌های کوتاه دارند. گروه دوم بیشتر شاخه‌ای هستند و بازتاب این پدیده در بلورینگی کمتر نوع هاستان GF7740F2 مشاهده می‌شود. برای نمونه‌های پلی اتیلن با تاریخچه حرارتی یکسان، بلورینگی هم به غلظت شاخه‌ها و هم به نوع آنها بستگی دارد [21]؛ مقادیر متفاوت بلورینگی برای نوع یونیفوس DMDS2900 و نوع هاستان GF7740F2 حاکی از آن است که شاخه‌ها در اولی کوتاه‌ترند و بنابراین اثر کمتری روی بلورینگی آن دارند. همچنین به نظر می‌رسد که دو پلیمر اخیر در سرعتهای برشی بالاتر، بیشترین تنشهای برشی را ظاهر کنند (جدول ۲). بنابراین انتظار می‌رود که در حین فرآورش هم دشوارتر جریان پیدا کنند و این در ساختار و خواص فیلمهای تهیه شده بازتاب می‌یابد. دلیل ضعیفتر بودن جریان این دو نوع اخیر در سرعتهای برشی بالا روشن نیست. اندازه‌گیریهای وزن مولکولی هم روی این پلیمرها انجام گرفت اما تفاوت رفتارشان را توجیه نکرد.



شکل ۶ - تصاویر قطعی پرتو - X (۲۰۰) و (۰۲۰)

جدول ۹ - موقعیتهای ماکسیمهای قطبهای (۲۰۰) و (۰۲۰).

پلیمر	متغیر مادین تحت بررسی	نوع فیلم	ماکسیمهای قطب (۲۰۰)		کشیدگی قطب (۲۰۰) در جهت TD		ماکسیمهای قطب (۰۲۰)	
			در صفحه SN/MD	که از اندازه گیری شده	در جهت TD	که از اندازه گیری شده	در صفحه SN/TD	که از اندازه گیری شده
			بهترین	حدود	بهترین	حدود	بهترین	حدود
واکر DF 6071G	BR = ۰/۶	۱	۲۵°	۲۰° - ۳۰°	< ۵۰°	۱۰° - ۹۰°	۶۰°	
یونیفوس DMDS 2900	BR = ۱/۶	۲	۵۵°	۵۰° - ۶۰°	< ۲۲/۵°	۷۵° - ۹۰°	۹۰°	
هاستالن GM 9255F	BR = ۰/۶	۱	۷۰°	۶۰° - ۷۰°	< ۹°	۰° - ۹۰°	۲۰°	
	BR = ۱/۶	۲	۵۵°	۵۵° - ۷۰°	< ۹°	۰° - ۳۵°	۲۵°	
	FH = ۲۲ Cm	۲	۲۵°	۲۵° - ۵۵°	< ۳۲°	۰° - ۶۵°	۲۵°	
	FH = ۱۰۰ Cm	۵	۶۰°	۵۵° - ۶۵°	< ۹°	۰° - ۶۵°	۲۰°	
واکر PF 5551G	T = ۲۵ μm	۶	۲۵°	۲۰° - ۲۵°	< ۲۵°	۲۰° - ۹۰°	۶۵°	
	T = ۹۵ μm	۷	۶۰°	۲۵° - ۷۰°	< ۲۲/۵°	۰° - ۶۰°	۲۵°	
	FH = ۱۰۰ Cm	۵	۶۰°	۵۵° - ۷۰°	< ۱۳°	۰° - ۲۵°	۲۵°	

*بهترین مقدار ممکن مطابق با ماکسیمهای قطبهای (۲۰۰)، و بهترین مقدار برای تصویر قطبی.

° بهترین تخمین از تصویر قطبی.

ماکسیم شکست مضاعف پلی اتیلن پایین است و همگی علامت مثبت دارند. این مطلب نشان می دهد که فیلمها از نظر خصلت نوری تعادل یافته اند (یعنی تک محوری اند و محور نوری آنها در امتداد جهت SN است) و جهتگیری کلی زنجیرها در جهت MD می باشد. نسیزوتروپی نوری با افزایش BR و ضخامت، بجز در مورد یونیفوس DMDS2900 کاهش می یابد.

رفتار به ظاهر غیر عادی یونیفوس DMDS2900 مبنی بر داشتن مقادیر بزرگتر شکست مضاعف با همان علامت مثبت در اثر افزایش ضخامت فیلم، کاملاً شناخته نشده است، اما تجزیه و تحلیل تصاویر قطبی می تواند تا حدی راهگشا باشد.

معمولاً میزان اختلاف در شکست مضاعف ناشی از تغییرات FH نسبتاً کم است. در نوع یونیفوس DMDS2900 و هاستالن GF7740F2، با افزایش FH، افزایش در شکست مضاعف نشان می دهد، که این برخلاف روندی است که سایر فیلمهای مورد آزمایش نشان می دهند. در ضمن انواع واکر بالاترین میزان جهتگیری را نشان می دهند ولی تغییراتی قابل توجه با FH نشان نمی دهد و شکست مضاعف فیلمهای واکر در همان محدوده ای است که برای فیلمهای یونیفوس یا هاستالن به دست آید.

نکته جالب توجه این است که دو گروه فیلمی که شکست مضاعفشان با FH افزایش می یابد، همان فیلمهایی هستند که بالاترین تنش برشی به ویژه در سرعتهای برشی بالاتر مستدرج در جدول ۲ را نشان می دهند.

وقتی خواص فیلمها مقایسه می شد (جدول ۴ و ۵ و ۶)، معلوم شد که هاستالن GF7740F2 همواره استحکام کمتری در جهت MD دارد ولی در جهت TD نسبت به سایر فیلمها خواص بهتری دارد. افزایش طول تا پارگی این نمونه در هر دو جهت نیز بهتر از سایر نمونهها بود که ممکن است به دلیل بلورینگی کمتر آن باشد. در غیر این صورت تفاوتهای برجسته ای از نظر خواص میانگین بین نمونهها بارز نبود. تفاوتهای اصلی در خواص مربوط به جهت TD قابل توجه اند و دیگر بار پلیمرها در دو گروه قرار می گیرند. برای انواع واکر اندازه گیری خواص در جهت TD به دلیل شکست آن امکانپذیر نبود. این پدیده بیانگر جهتگیری قابل ملاحظه محور C در این پلیمرها بود. این امر برای هاستالن 9255F نیز صادق بود زیرا اندازه گیری خواص آن فقط برای بزرگترین کسیت FH امکان داشت، که در این حالت فرصت آسایش و جهتگیری برای زنجیرها مساعد است. وقتی مقایسه ای در مورد شکست مضاعف نمونههای مختلف فیلم انجام می گیرد مشاهده می شود که شکست مضاعف یونیفوس DMDS2900 و هاستالن GF7740F2 در تمام شرایط آزمایش کم است. برای سه نمونه دیگر در نسبتهای دمش کم و فیلمهای نازک، مقادیر بسیار بزرگتری به دست می آید.

مقایسه شکست مضاعف و نتایج تصاویر قطبی

به طور کلی، شکستهای مضاعف نشان داده شده در مقایسه با

شکست مضاعف تحت تسلط ترکیب بلوری بوده است. اما این نتیجه گیری اندازه نسبی سهم نواحی بلوری و بی شکل را به حساب نمی آورد. این موارد بعداً مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

اثر تغییرات ضخامت فیلم در جدول ۱۰ در مورد فیلمهای واکر افزایش ضخامت فیلم، تابع جهتگیری محور c را اندکی افزایش می دهد و محورهای a و b توزیع اتقاقیتری پیدا می کنند. در عمل با افزایش سرعت کشیدگی حباب فیلم، کاهش در ضخامت فیلم پدید می آید. این امر منجر به افزایش تنش در فیلم پیش از بلوری شدن و میل طبیعی جهتگیری زنجیر در امتداد MD می شود. علاوه بر آن، کاهش ضخامت فیلم، تابع توزیع محور b را از حول SN به حول TD جا به جا می کند. بنابراین تمایل به سوی مُدل جهتگیری با تنش زیاد متعلق به مادامزو پریدی به وجود می آید.

نمونه های هاستالن $GM9255F$ در جدول ۱۰، اثر FH های مختلف را بر روی جهتگیری آشکار می سازند. همان طور که توسط شکست مضاعف نیز نشان داده شده است، هر اثری به زحمت واضح است. به علاوه موضوع بسیار مهمتر مقایسه میان دو نمونه هاستالن با FH یکسان 100 cm است. تفاوت های عمده در جهتگیری وجود دارد. یادآوری می شود که رفتار شکست مضاعف فیلم هاستالن $GF7740F2$ در برابر افزایش FH ، مشابه رفتار یونیفوس $DMD52900$ بود، از این رو این تفاوتها دور از انتظار نمی باشند. در مورد فیلم اول به وضوح دیده می شود که محور c تمایل خیلی بیشتری برای استقرار یافتن در صفحه فیلم دارد، در حالی که محورهای a و b آرایش اتقاقیتری به خود می گیرند، اما در فیلم دوم نسبت به فیلم $GM9255F$ مشابهش، نزدیکتر به SN توزیع می شوند. در نتایج حاصل از شکست مضاعف شواهدی دال بر ارتباط بین توابع جهتگیری حاصل از تصاویر قطبی و شکست مضاعف مشاهده شده، وجود دارد. با متمایز کردن اجزاء بلوری و بی شکل انتظار می رود که امکان ارتباط بهتری به وجود آید و کمکی به مرتبط ساختن جهتگیری با خواص مکانیکی فیلمها صورت گیرد. جدا کردن شکست مضاعف در صفحه به دو جزء که معرف سهمهای بلوری و بی شکل باشد بسیار استفاده از روش پیشنهادی دیسپر [13] انجام گرفت.

بررسی دقیق تصویر قطبی (۲۰۰) نشان می دهد که به طور منطقی می توان فرض کرد که قطبها به صفحه SN/MD محدود می شوند. علاوه بر این فرض می شود که نقش شکست مضاعف فرم ($Form\ Birefringence$) [22] قابل اغماض است. فرض اخیر می تواند مورد انتقاد قرار گیرد، اما برای فیلمهای حاضر شاید معتبر باشد زیرا تا زمانی که مرزهای نواحی بلوری / بی شکل درگیر باشند درجه بلورینگی تقریباً ثابت است. علاوه بر این وایت و اسپرویل [21] محاسبات جهتگیری را بر اساس شکست مضاعف فرم قابل اغماض در فیلم پلی اتیلن دمیده شده با فرآیند حباب انجام دادند و به نظر می رسد که به توضیح مناسبی برای جهتگیری بر اساس ارزیابی شکست مضاعف دست یافته اند.

برای محاسبه توابع جهتگیری به فرم $(\cos^2\theta_{00} z)$ و $(\cos^2\theta_{00} z)$ ، مربوط به توزیع جهتگیری محورهای بلورشناسی a و b نسبت به جهت مرجع z ، گستره محدودی از نتایج تصاویر قطبی مورد استفاده قرار گرفت. جهت z عملاً جهت SN بود. تصاویر قطبی مربوط به قطبهای (۲۰۰) و (۰۲۰) اطلاعات لازم را تأمین می کند. و با استفاده از معادله

$$(\cos^2\theta_{00} SN) + (\cos^2\theta_{00} SN) + (\cos^2\theta_{00} SN) = 1$$

توزیع محور c را می توان به دست آورد.

توابع جهتگیری (جدول ۱۰) با استفاده از معادله فوق و زوایای تخمینی از جدول ۹ محاسبه شدند. در جدول ۱۰ مقادیر صفر برای توابع جهتگیری از آنجا ناشی می شود که موقعیتهای شدت ماکسیمم تخمین زده یا محاسبه شده اند. لذا این داده ها فقط برای بررسی محتملترین جهتگیریهایی استفاده می شوند. اثر تغییرات BR را برای واکر $DF5071G$ و یونیفوس $DMD52900$ می توان مقایسه کرد. در مورد ماده واکر محور c از صفحه فیلم خارج شده و به سمت SN نزدیک می شود در حالی که حرکت محوره جدول ۱۰ - توابع جهتگیری حاصل از تصاویر قطبی

واکر DF 5071G	BR = ۰/۶	۰/۶۷	۰/۲۵	۰/۰۸
برنیفوس DMD5 2900	BR = ۱/۶	۰/۲۲	۰/۱۰۰	۰/۱۶۷
هاستالن Gm 9255F	FH = ۲۲cm	۰/۱۵۰	۰/۱۶۷	۰/۱۰۰
	FH = ۱۰۰cm	۰/۱۲۵	۰/۱۵۹	۰/۱۲۶
واکر FF 5551G	T = ۲۵μm	۰/۱۶۷	۰/۱۸	۰/۱۵
	T = ۹۵μm	۰/۱۲۵	۰/۱۶۷	۰/۰۸
هاستالن GF 7740F2	FH = ۱۰۰cm	۰/۱۲۵	۰/۱۶۷	۰/۰۸

به سمت صفحه فیلم و حرکت محور b به سمت TD می باشد. بنابراین با افزایش BR تمایل زیادی به مُدل مادامزو پریدی [14-16] که جهتگیری در تنش پایین است، وجود دارد. برای یونیفوس $DMD52900$ روند مستضادی وجود دارد، به طوری که با افزایش BR ، توزیع محور c به سمت صفحه فیلم حرکت می کند و محور b به سمت SN پیش می رود. در نسبتهای دمشی کمتر گستره تغییرات تابع جهتگیری محور b ، حول MD تقارن استوانه ای نشان می دهد در صورتی که در نسبتهای دمشی زیاد محور b حول SN روی می گرداند. جالب است که فقط با در نظر گرفتن سهم عناصر بلوری در شکست مضاعف فیلمها چنین تغییراتی در جهتگیری بلورشناسی، باعث پدید آمدن منحنیهای شکست مضاعف بر حسب BR در جهات مشاهده شده، می گردد. بنابراین در این مثال ممکن است نتیجه گرفت که دست کم

ضرایب شکستی که در محاسبات مورد استفاده واقع شد توسط بان و دابنی تعیین شده بودند [24].

جدول ۱۱ نشان می‌دهد که نتایج شکست مضاعف در صفحه با روش دسپر به دو جزء بلوری و بی‌شکل تفکیک می‌شود. در همه موارد، غیر از یک مورد خاص، سهم نواحی بلوری نسبت به کل شکست مضاعف مثبت در صفحه، منفی است و به طور کلی با افزایش هریک از سه پارامتر فراروش که مطالعه شدند، مقدار منفی آن کمتر می‌گردد. لیکن معلوم شده است که اغلب سهم مناطق بی‌شکل به طرز قابل ملاحظه‌ای نقصان می‌یابد. چنانچه عکس این حالت صحیح باشد یعنی جزء بی‌شکل افزایش یابد و جزء منفی بلوری هم بزرگتر شود، نمودار شکست مضاعف در مقابل پارامتر خاص فراروش، یک روند صعودی (افزایش شکست مضاعف در ازای افزایش مقدار پارامتر فراروش) نشان می‌دهد. مخصوصاً فقط دو نوع پلی اتیلن هستند که شکست مضاعفشان در مقابل پارامترهای خاص فراروش، روند صعودی نشان می‌دهد و سایرین سیر نزولی دارند. این دو، یونیفوس DMS2900 و هاستالن GF7740F2 هستند.

جدول ۱۱ - شکست مضاعف نواحی بلوری و بی‌شکل

نام ماده	درجه بلوریت (Xc)	ضرایب شکست مضاعف (K)
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۲۰	۰.۰۰۲۶
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۱۲	۰.۰۰۱۲
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۲۱	۰.۰۰۲۱
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۲۲	۰.۰۰۲۲
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۲۲	۰.۰۰۲۲
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۲۶	۰.۰۰۲۶
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۲۷	۰.۰۰۲۷
پلی اتیلن (DMS2900)	۰.۱۰۱۶	۰.۰۰۱۶
هاستالن (GF7740F2)	۰.۱۰۵۷	۰.۰۰۵۷

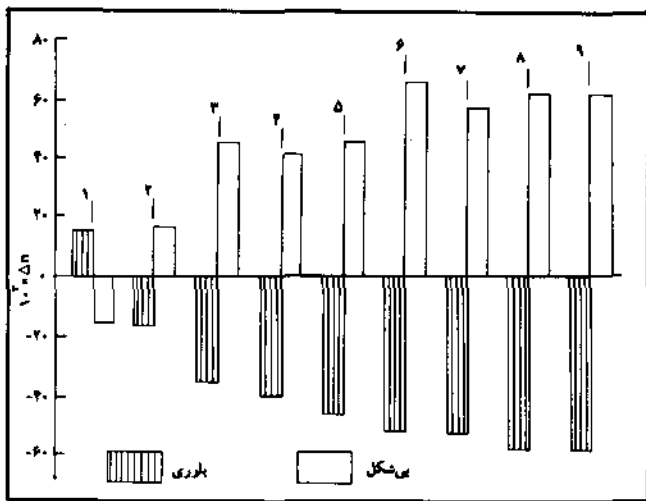
اثر پارامترهای فراروش بر خواص

سه خاصیت استحکام و دو خاصیت ازدیاد طول برای هریک از فیلمها اندازه‌گیری شد (جدول ۴ الی ۷). ابتدا خواص در جهت MD را بررسی می‌کنیم. به‌طور کلی انتظار داریم که خواص استحکام کششی با جهتگیری محور زنجیر افزایش یابد، در صورتی که خواص ازدیاد طول کم شود، و این روندها نیز مشاهده گردید. در این بین ممکن است انتظار تغییراتی را نیز داشت. در وهله اول در اثر کشیدگی، زنجیرهای بی‌شکل در جهت کشش جهت می‌یابند و این با مقدار جهتگیری در خرده بلورها ادامه می‌یابد تا حالت تسلیم رخ دهد. بنابراین انتظار داریم که تنش تسلیم به جهتگیری نواحی بی‌شکل و بلوری بستگی داشته باشد. به نظر می‌رسد که کشیدگی با باز شدن چین‌خوردگیهای زنجیر در نواحی بلوری همراه باشد و لذا انتظار داریم با آن در ارتباط باشد، در حالی که شکست نهایی پس از

کشیده شدن قابل توجه زنجیرها و تبلور مجدد روی می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که معمولاً تنش تسلیم با افزایش BR کاهش می‌یابد، هر چند که اثر آن در مورد یونیفوس DMS2900 ناچیز بود و تنش تسلیم برای هاستالن GF7740F2 واقعاً تغییری نکرد. از آنجا که در اکثر موارد، BR افزایش یافته، کل جهتگیری در جهت MD را کاهش می‌داد، رفتار مشاهده شده همانطور بود که انتظار آن می‌رفت و کمتر تحت تأثیر نسبت نواحی بلوری و بی‌شکل قرار داشت. تنش تسلیم صرفاً تغییرات ضعیفی با FH یا ضخامت فیلم نشان می‌داد. ولی بار دیگر نمونه‌هایی که شکست مضاعف زیادی پیدا می‌کردند (برای مثال نازکترین فیلمها از انواع واکر و هاستالن GM9255F) تنش تسلیم زیادی هم داشتند. عموماً تغییرات بزرگ FH فقط تغییرات ناچیزی در شکست مضاعف به وجود می‌آورد، بنابراین به دست آوردن خواص یکسان دور از انتظار نبود. تنشهای کشیدگی نیز با نتایج شکست مضاعف از این نظر در یک خط قرار داشت که با افزایش نسبت دمش و ضخامت فیلم، کاهش می‌یافتند اما با تغییر FH تغییر جزئی پیدا می‌کردند. باز هم سهم هریک از نواحی بلوری و بی‌شکل کم‌اهمیت جلوه می‌کند.

وقتی مقایسه‌ای بین استحکام کششی نهایی نمونه‌ها به عمل آمد، مشاهده شد که مقادیر مذکور برای هاستالن GF7740F2 به سایر نمونه‌ها بسیار نزدیک بود. خواص ضعیفتر این نوع فیلم به بلورینگی کمتر آن نسبت داده شده است، اما در نقطه شکست این اختلافات حذف می‌شود. با وجود این، اثرات پارامترهای فراروش هنوز مشهود بود؛ بجز در مورد هاستالن GF7740F2، استحکام کششی نهایی با افزایش هر سه پارامتر فراروش، یعنی با کاهش جهتگیری تقلیل می‌یافت. برای هاستالن GF7740F2، استحکام کششی نهایی با افزایش BR زیاد می‌شد. شکست مضاعف کل برای این نمونه‌ها با تغییر نسبت دمش تغییر جزئی پیدا می‌کرد، از این رو امکان دارد این رفتار به سهم مجزای نواحی بلوری و بی‌شکل مربوط باشد.

نسبت کشیدگی طبیعی و افزایش طول تا پارگی در همه نمونه‌ها، همان طور که انتظار می‌رفت، با افزایش هر سه پارامتر فراروش افزایش پیدا می‌کرد. هر دو خاصیت افزایش طول برای هاستالن GF7740F2 و یونیفوس DMS2900، صرفنظر از شرایط، از سه نمونه دیگر بیشتر بود. همین دسته‌بندی نمونه‌ها، موقعی پدیدار گشت که خواص کششی در جهت TD اندازه‌گیری شد. غیر از ضخیمترین فیلم هاستالن GM9255F، اندازه‌گیری خواص تنها برای هاستالن GF7740F2 و یونیفوس DMS2900 امکان‌پذیر بود. تمامی فیلمهای دیگر دچار شکست زودرس می‌شدند. این مشاهدات با شکست مضاعف کل قابل توجه نبود، لیکن از داده‌های محدودی که در مورد تصاویر قطبی در دسترس است، می‌توان تفسیری ارائه داد. برای تمام فیلمهای از نوع هاستالن GF7740F2 و یونیفوس DMS2900 که مورد بررسی دقیق واقع شدند، جهتگیری محور a نزدیک به MD در صفحه MD-SN با گسترش کمی در جهت TD می‌باشد. محور b



شکل ۷ - سهم اجزاء بلوری و بی شکل در شکست مضاعف در صفحه فیلم:

۱. واکر DF 5071G، BR = ۱/۶، FF 5551G، T = ۹۵ μm
۲. واکر DF 5071G، BR = ۱/۶، پونیفوس DMDS 2900، BR = ۱/۶
۳. هاستالان GM 9255F، FH = ۱۰۰cm، واکر FF 5551G، T = ۷۵ μm
۴. هاستالان GM 9255F، FH = ۱۰۰cm، پونیفوس DMDS 2900، BR = ۱/۶
۵. هاستالان GM 9255F، FH = ۲۲cm

نمونه‌ها به طور تصادفی گزینش می‌شدند، بی‌تردید توزیع گسترده‌تری از خواص و روابط بیشتری بین خواص و ساختار به دست می‌آید.

از نتایج تعدادی از اندازه‌گیری‌های انجام شده چنین برمی‌آید که پلیمرهای مورد بررسی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. اندازه‌گیری‌های شکست مضاعف نشان می‌دهد که نمونه‌های نوع واکر و نیز هاستالان GM 9255F در نسبت‌های دم‌ش پایین و ضخامت‌های کم، فیلم‌هایی تولید می‌کنند که به طور غیرعادی نامتعادل‌اند. تولید فیلم‌های با خواص قابل اندازه‌گیری در جهت TD در ازای تغییر شرایط فراروش برای این مواد امکانپذیر نبود. این مواد در سرعت‌های برشی بالا، تنش برشی نسبتاً پایینی دارند. دو نمونه دیگری که بررسی شدند پونیفوس DMDS 2900 و هاستالان GF 7740F2 بودند که ظاهراً در سرعت‌های مناسب اکستروژن فیلم، تنش برشی بالاتری نشان می‌دهند. این امر ممکن است بازتاب شاخه‌ای بودن بیشتر پلیمر باشد. به هر صورت خواص فیلم هم به نوع آن و هم به متغیرهای فراروش بستگی دارد، اگر چه گستره خواص مشاهده شده برای فیلم‌های مورد مطالعه کاملاً محدود است و به ویژه تنش تسلیم تغییرات کوچکی نشان می‌دهد.

بخش جهت‌گیری نواحی بلوری و بی‌شکل در فیلم‌های منتخب حاوی اطلاعاتی درباره اثر توأم نوع ماده و شرایط فراروش است و نشان می‌دهد که هر دو آنها بر جهت‌گیری نواحی بلوری و بی‌شکل تأثیر بسزایی دارند. اگر چه این اثرات برای فیلم‌های آزمایش شده بسیار متفاوت است ولی اثر آنها بر روی خواصی که شدیداً به شکست مضاعف کل مربوط است، از آنچه انتظار می‌رود کمتر است. بقیه در صفحه ۳۰۹

نزدیک به SN در صفحه SN-TD متمرکز شده است به گونه‌ای که محور c نزدیک به TD استقرار می‌یابد. انتظار می‌رود که با این جهت‌گیری، خواص بهتری در TD و افزایش طول بیشتری در MD در قیاس با سه نمونه دیگر حاصل شود، که مشاهده شد.

در جدول ۸ نسبت خواص مکانیکی MD/TD برای فیلم‌هایی که خواص TD آنها قابل اندازه‌گیری بود، ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که تنش تسلیم همواره در جهت TD بزرگتر است، در حالی که تنش کشیدگی و استحکام کششی نهایی عکس این حالت را دارند. علت تنش تسلیم زیاد در جهت TD را دوباره می‌توان به وسیله جهت‌گیری غالب محور c در جهت آزمایش توضیح داد. پس از تسلیم، خرده بلورها، دوباره جهت‌گیری می‌کنند و جهت‌گیری اولیه آنها از بین می‌رود. خواص افزایش طول همواره به طور قابل ملاحظه‌ای در جهت TD بهتر است. این موضوع منطقی است زیرا جهت‌گیری کلی در جهت MD تحت هر شرایطی بیشتر است، بنابراین جدایی زنجیرها در جهت TD ساده‌تر صورت می‌گیرد. جهت‌گیری نواحی بلوری و بی‌شکل در فیلم‌های منتخب

جهت‌گیری مناطق بلوری و بی‌شکل که از تصاویر قطبی حاصل شد (جدول ۱۱) به صورت یک نمودار در شکل ۷ برحسب سهم نسبی هر یک در شکست مضاعف نشان داده شده است. این طرز نمایش، در شناسایی انواع مختلف فیلم‌ها مفید است و نشان می‌دهد که رفتار فیلم وابستگی زیادی به برهم کنش میان نوع فیلم و شرایط فراروش دارد.

جدول ۱۱ و شکل ۷ همچنین نشان می‌دهند که به طور کلی جهت‌گیری نواحی بلوری و بی‌شکل بیشتر در زوایای عمود برهم است. اغلب میزان جهت‌گیری بالاست اما اثر متوجه آن شکست مضاعف نسبتاً پایینی می‌دهد. گستره‌ای از جهت‌گیری خرده بلورها مشاهده می‌شود، از فیلم واکر DF 5071G (BR ۱/۶)، که در آن جهت‌گیری خرده بلورها سهم مثبت کوچکی دارند، تا هاستالان GM 9255F (FH ۲۲cm)، که جهت‌گیری خرده بلورها بزرگ و منفی می‌باشد.

جداً کردن شکست مضاعف کل به سهم مناطق بی‌شکل و بلوری، تفاوت رفتار واکر DF 5071G و پونیفوس DMDS 2900 با افزایش نسبت دم‌ش را روشن می‌سازد. در مورد فیلم دوم با افزایش نسبت دم‌ش همچنان که محور c به سمت صفحه فیلم حرکت می‌کند، افزایش قابل ملاحظه‌ای در شکست مضاعف خرده بلورها به وجود می‌آید. در واقع فیلم واکر حرکتی به سوی شکست مضاعف خرده بلورهای مثبت نشان می‌دهد که نمایانگر خروج سهم محور c از صفحه SNTD می‌باشد.

بحث

نتیجه‌گیری در مورد کارهای آزمایشگاهی و بحث در مورد آنها باید با این دید آغاز شود که تغییرات شکست مضاعف در اطراف حباب اهمیت قابل ملاحظه‌ای برای نتایج این کار دارد. کوشش به عمل آمد تا نمونه‌هایی که برای آزمایش انتخاب می‌شوند در موقعیت‌های هم‌راستا با امتداد حباب باشند تا رابطه‌ای میان خواص و ساختار ایجاد شود. به هر حال، چنانچه

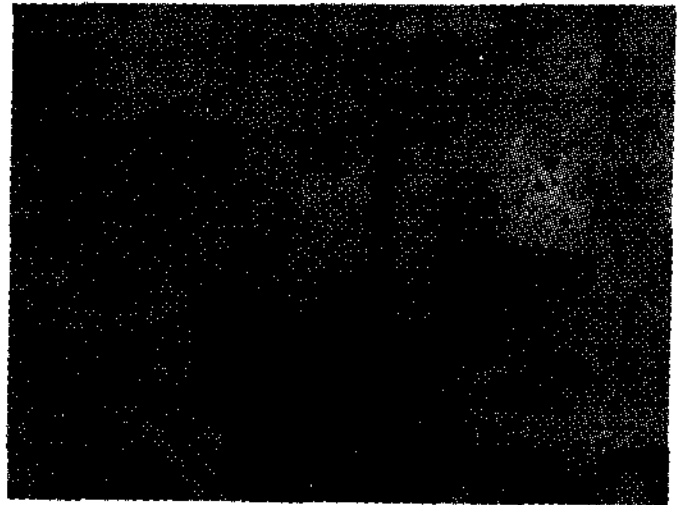
مقایسه دقیق اندازه‌گیریهای شبکه‌ت مضاعف و تصاویر قطبی نشان داده است که اطلاعات قابل دستیابی از تصاویر مسطح پرتو- X عموماً برای تعیین ماهیت جهت‌گیری نواحی بلوری فیلمهایی که در دو جهت کشیده شده‌اند، کافی نیست.

هیچیک از فیلمهایی که تجزیه و تحلیل تصاویر قطبی روی آنها انجام گرفت با مدل تنش بالا که در شکل ۱ نشان داده شده است مطابقت نمی‌کند [15]. فیلمهای واگر که در شرایط بالاترین تنش در جهت TD تهیه شدند، تقریباً مانند مدل تنش متوسط هستند. فیلم واگر $DF5071G$ ($1/6$) BR بیشتر به مدل تنش پایین شباهت دارد. سایر فیلمها رفتاری مربوط به بلوری شدن که توسط مادامز و پریدی [14] گزارش شد نشان می‌دهند که محور b به درجات مختلف به جانب SN نزدیک می‌شود (همچنان که محور b از SN دور می‌شود به مدل تنش پایین نزدیک می‌گردد). نوع یونیفوس $DMDS 2900$ ($1/6$) BR ؛ هاستالن $GF7740F2$ (100 Om) FH و واگر $FF 5551G$ ($195\mu m$) بیشتر شبیه به مدل سرتامری عمل می‌کنند و همگی در نقطه پارگی افزایش طول بالایی دارند.

REFERENCES

- [1] Bunn, C. W., Trans. Faraday Soc., 1939, 35, 482.
- [2] Brown, A., J. Appl. Phys., 1949, 20, 552.
- [3] Nancarrow, H. A. & Horsley, R. A., Brit. J. Appl. Phys., 1951, 2, 345.
- [4] Holmes, D. R., Miller, R. G., Palmer, R. P. & Bunn, C. W., Nature, 1953, 171, 1104.
- [5] Keller, A., Nature, 1954, 174, 926; J. Pol. Sci., 1955, 15, 31.
- [6] Holmes, D. R. & Palmer, R. P., J. Pol. Sci., 1958, 31, 345.
- [7] Aggarwal, S. L. M., Tilley, C. P. & Sweeting, O. H., J. Appl. Pol. Sci., 1959, 1, 91; J. Pol. Sci., 1961, 51, 551.
- [8] Tobin, M. C., J. Chem. Phys., 1955, 23, 891.
- [9] Keller, A. & Sandeman, I., J. Pol. Sci., 1955, 15, 133.
- [10] Stein, R. S. & Norris, F. H., J. Pol. Sci., 1956, 21, 381.
- [11] Stein, R. S., J. Pol. Sci., 1958, 31, 327; *ibid.*, 1958, 31, 335; *ibid.*, 1959, 34, 709.
- [12] Lindenmeyer, P. H. & Lustig, S., J. Appl. Pol. Sci., 1965, 9, 227.
- [13] Desper, C. R., J. Appl. Pol. Sci., 1969, 13, 169.
- [14] Maddams, W. F. & Preedy, J. E., J. Appl. Pol. Sci., 1978, 22, 2721.
- [15] Maddams, W. F. & Preedy, J. E., J. Appl. Pol. Sci., 1978, 22, 2738.
- [16] Maddams, W. F. & Preedy, J. E., J. Appl. Pol. Sci., 1978, 22, 2751.
- [17] Keller, A. & Machin, M., J. Macromol. Sci., Phys., 1967, B 1, 41.
- [18] Keller, A. & Hill, M. J., J. Macromol. Sci., Phys., 1969, B 3, 153.
- [19] Lewis, D., Wheeler, E. G., Maddams, W. F. & Preedy, J. E., J. Appl. Cryst., 1971, 4, 55.
- [20] Maddams, W. F. & Vickers, M. E., J. Elastomers and Plastics, 1983, 15, 246.
- [21] White, J. L. & Spruill, J. E., Polymer Eng. and Sci., 1983, 23, 5.
- [22] Born M. Wolf, E., Principles of Optics, 4th edn, 1970, London: Pergamon.
- [23] Preedy, J. E., Poly. J., 1973, 5, 13.
- [24] Bunn, C. W. & Daubeny, R., Trans. Faraday Soc., 1959, 50, 1173.

شناسایی و کنترل کیفیت انواع محصولات صنعتی حائز اهمیت بسیار است. در متنی که از نظر نان گذشت به مواردی اشاره شد که می‌توانند کمکی موثر در این زمینه باشند و بنابراین آزمایشگاه میکروسکوپی مجهز به کلیه وسایل لازم جهت بررسی و نمونه‌سازی پلیمرها، در زمرة آزمایشگاههای ضروری یک مرکز تحقیقات مواد پلیمری به شمار می‌رود.



شکل ۸ - تصویر توزیع دوده در کامپوزیت توسط روش میدان روشن. ذرات در یک قسمت به صورت انباشته درآمده‌اند و می‌توانند عاملی برای شکست باشند [1].

از خانم آزاده قاسمیه که در تهیه این مقاله اهتمام ورزیده‌اند تشکر می‌شود.



REFERENCES

- [1]. Linda C. Sawyer and David T. Grubb, "Polymer Microscopy", CHAPMANN and HALL pub. 1987.
- [2]. Mc. Crone & Gustav Delly, "The Particle Atlas", Ed. 2, Vol. 1, Ann Arbor Science Pub. 1973.
- [3]. Clark & George Lindenberg, "Encyclopedia of microscopy", London Reinhold, 1961.
- [4]. D. Hemsley, "Microscopy of Polymer Surfaces", Loughborough University of Technology, UK, 1968.