

## بررسی ورقه‌های ریز متخلخل PVC و PVC/NBR و کاربرد آنها در تولید کاغذ مصنوعی

### Investigation of PVC and PVC/NBR Microporous Sheets and their Application in Production of Synthetic Paper

ظاهر تهری، محمدحسین نوید فامیلی\*، محمد علی سمسارزاده

تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۱۴۱۱۵/۱۴۳

دریافت: ۸۲/۳/۲۷، پذیرش: ۸۴/۱/۱۱

#### چکیده

در این پژوهش، دو روش کششی و استخراجی برای تهیه کاغذ مصنوعی بر پایه پلی‌وینیل کلرید (PVC) مطالعه شده است. در روش استخراجی از پلی‌وینیل کلرید به تنهایی و آمیخته آن با لاستیک آکریلونیتریل - بوتادی‌ان (PVC/NBR) و در روش کششی از آمیخته PVC/NBR استفاده شده است. شکر به عنوان پرکننده قابل استخراج با آب، برای تولید ۴۰-۳۵ درصد حجمی تخلخل پیوسته (اندازه‌گیری شده به روش ارشمیدس) از مقادیر متوسط (باز) استفاده شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با کاهش اندازه متوسط ذرات شکر توزیع ابعادی حفره‌ها نیز کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش عبوردهی سولفوریک اسید در دماها و غلظت‌های مختلف بیانگر ارتباط مستقیم عبوردهی با مقدار تخلخل و اندازه حفره‌هاست. مقدار عبوردهی با افزایش دما و غلظت افزایش می‌یابد، اثر دما از غلظت بیشتر است. در این کاغذها، خاصیت نوشتاری با مداد و خودکار نیز به ترتیب متوسط و ضعیف ارزیابی شده است. در روش کششی نیز اثر دما، سرعت و مقدار کشش روی خاصیت پخش شدن جوهر که معیاری از ناهموازی (زبری) سطح است، به طور مقایسه‌ای با کاغذ معمولی بررسی شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که خاصیت پخش شدن (یا جذب) جوهر با افزایش مقدار کشش و دمای کشش افزایش می‌یابد. اما، افزایش سرعت کشش در شرایط ثابت مقدار و دمای کشش، پخش شدن جوهر را کاهش می‌دهد.

#### واژه‌های کلیدی

کاغذ مصنوعی،  
استخراج، کشش،  
تخلخل، PVC/NBR

#### مقدمه

کل در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۱ به طور طرح‌وار انواع حفره‌های مورد استفاده در صنعت نشان داده شده است. محدوده اندازه این حفره‌ها در کاربردهای مختلف از مقیاس اتمی تا میلی‌متری تغییر می‌کند [۱].

مواد متخلخل با توجه به اندازه و تعداد حفره‌ها و مواد تشکیل دهنده آن کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف دارند. درصد تخلخل در کاربردهای صنعتی معمولاً بین ۲۰ تا ۹۵ درصد است که به شکل نسبت حجم حفره‌ها به حجم

#### Key Words

Synthetic paper,  
extraction, stretch,  
porosity, PVC/NBR

کاغذ سلولوزی دارند از امتزاج پلیمرهای گرمانرم با ذرات پرکننده از قبیل  $\text{CaCO}_3$ ،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{SiO}_2$  یا آمیخته‌های امتزاج ناپذیر از قبیل پلی استیرن با پلی پروپیلن یا پلی اتیلن تهیه می‌شوند [۱۴].

دستیابی به کاغذی مصنوعی با خواص بهتر با تولید فیلم‌های چند لایه حاصل شده است. این ساختار چند لایه از فیلم پلاستیکی که در دو جهت تحت کشش قرار گرفته است و فیلم پلاستیکی حاوی ذرات پرکننده که در یک جهت تحت کشش قرار گرفته است، تشکیل می‌شود. پژوهش‌های بعدی در این زمینه برای بهبود خواصی از قبیل تاشدگی کاغذهای مصنوعی [۱۵]، بهبود پودرشدگی کاغذهای مصنوعی [۱۶]، کاغذهای مصنوعی با جلای زیاد [۱۷] و مواردی دیگر از این نوع انجام شده است. مطابق پژوهش‌های انجام شده ریزحفره‌ها به سه شکل مختلف زیر تشکیل می‌شوند [۱۸، ۱۴]:

- در اطراف ذرات پرکننده داخل پلیمر اصلی،

- در سطح مشترک آمیخته‌های امتزاج ناپذیر و

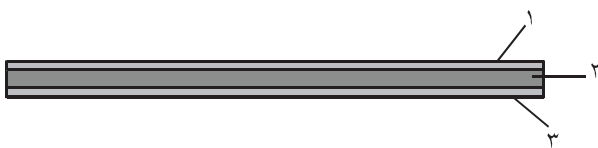
- بین فاز پیوسته بی‌شکل و فاز ناپیوسته بلوری در پلیمرهای نیمه بلوری.

در این فرایند ریزحفره‌ها حین کشش کاغذ مصنوعی تولید می‌شوند. بسته به اینکه چه فرایندی مورد استفاده قرار گیرد، اندازه‌های مختلفی از حفره‌ها تشکیل می‌شود. محدوده اندازه حفره‌ها بین ۰/۱ تا ۲۰۰  $\mu\text{m}$  است. این حفره‌ها علاوه بر افزایش جذب و چسبندگی جوهر، باعث افزایش ماتی و کاهش چگالی فیلم می‌شوند. شایان ذکر است که ماتی و چگالی از خواص خیلی مهم هر نوع کاغذ است. بیشترین پژوهش‌ها در حال حاضر روی فرایند کواکستروژن چند لایه برای تولید کاغذهای مصنوعی به ویژه با پلی پروپیلن هم‌نظم انجام می‌شود [۲۱-۱۹].

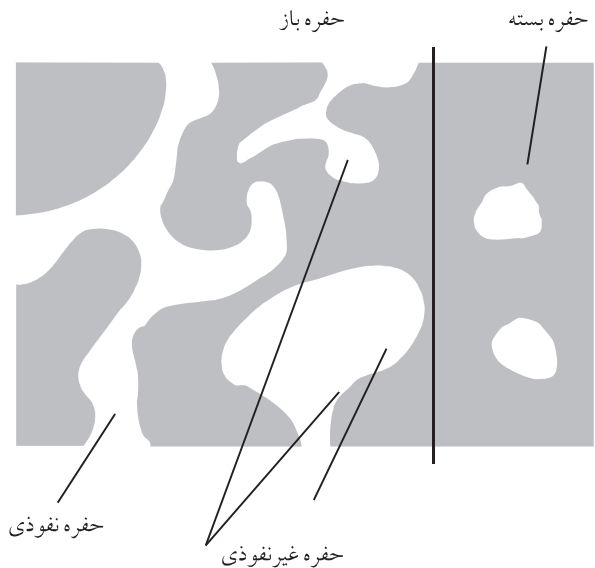
طرح ساختاری کاغذ مصنوعی سه لایه در شکل ۲ آمده است. لایه‌های ۱ و ۳ لایه‌های سطحی یا کاغذ مانند هستند که به شکل تک جهت کشیده شده‌اند و لایه ۲ لایه اصلی است که در دو جهت تحت کشش قرار گرفته است [۱۲].

در واقع استفاده از آمیخته یادشده برای اولین بار در این پژوهش برای تهیه لایه‌ای کاغذ مانند استفاده شده است. در این پژوهش، به منظور تهیه کاغذ پلاستیکی از آمیخته PVC/NBR اهداف زیر مد نظر بوده است:

- تولید ورقه‌های ریز متخلخل پلیمری از نوع سلول باز با استفاده از



شکل ۲ طرح کلی سطح مقطع نمونه کاغذ پلاستیکی سه لایه [۱۲].

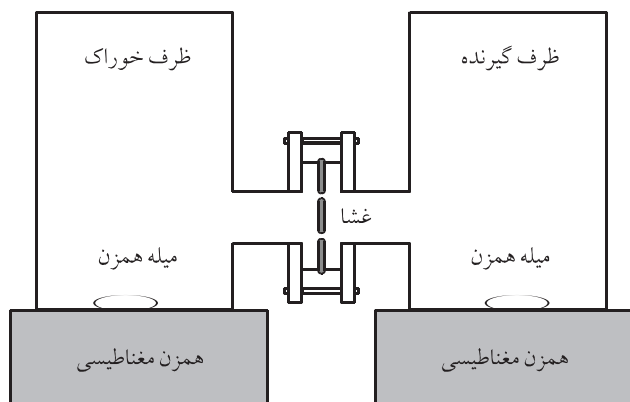


شکل ۱ انواع مختلف حفره با کاربردهای صنعتی [۱].

آنچه در این پژوهش مطالعه شده است فیلم‌های متخلخل پلیمری از نوع سلول بسته و باز برای کاربردهای خاص هستند [۲، ۳]. از روش‌های مهم تهیه این فیلم‌ها استفاده از کشش (سرد یا گرم) پلیمر خاص یا مخلوطی از آن با مقدار زیادی پرکننده در شرایط خاص دمایی، سرعت و نسبت‌های مختلف کشش است [۷-۴].

روش دیگر غالب در تولید این فیلم‌ها استخراج نرم کننده، پرکننده و حلال از زمینه پلیمری شکل داده شده به شکل فیلم یا ورقه با استفاده از حلال مناسب برای جزء استخراج شونده در شرایط دمایی خاص است [۱۱-۸].

از مسایل مهم در تهیه صفحات ریز متخلخل، توازن بین خواص فیزیکی - مکانیکی از قبیل انعطاف پذیری، خلل و فرج و استحکام سطحی است که با توجه به نوع کاربرد این صفحات معین می‌شود. از کاربردهای مختلف مواد متخلخل می‌توان به مواردی مانند ساخت غشاها و صافیها، کاتالیزورها، راکتورهای زیستی، پیلها، جداکننده‌های گاز، گرم کننده‌ها و مبدل‌های گرمایی، قالبها و تجهیزات پزشکی و جراحی اشاره کرد [۱]. یکی از کاربردهای مهم مواد متخلخل، تهیه فیلم‌های متخلخل پلیمری است که خواص نوشتاری و چاپ پذیری دارند. این مواد که امروزه با عنوان کاغذهای مصنوعی یا کاغذهای پلاستیکی در بازار عرضه می‌شوند، با ظاهری کاغذ مانند، خصوصیات کاغذ طبیعی را دارند. به دلایل صرفه جویی در مصرف کاغذهای طبیعی (کاغذهای سلولوزی) و همچنین دلایل اقتصادی، به جای کاغذ طبیعی پیشنهاد شده‌اند. پژوهش‌ها و بررسی روی این نوع کاغذهای پلاستیکی از دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی آغاز شده است [۱۳، ۱۲]. فیلم‌های پلاستیکی که خواص یکسانی همانند



شکل ۳ چیدمان تجهیزات مورد استفاده برای انجام آزمایش نفوذ و عبوردهی.

دستگاه پرس با فشار  $150 \text{ kg/cm}^3$  برای شکل دادن و تهیه نمونه‌ها، دستگاه و روش آزمون ارشمیدس برای اندازه‌گیری مقدار تخلخل و دستگاه تخلخل سنج جیوه‌ای مدل ۱۴۰-Pascal برای اندازه‌گیری توزیع تخلخل بکار گرفته شد. دستگاه تخلخل سنج ضمن اندازه‌گیری و رسم توزیع اندازه حفره‌ها میانگین اندازه حفره‌ها را نیز به عنوان خروجی در اختیار قرار می‌دهد. از دستگاه آزمون نفوذ و عبوردهی غشاها (شکل ۳) برای مطالعه و بررسی مقدار عبوردهی اسید و برای کشش و آرایش دادن نمونه‌ها از دستگاه کشش شرکت پارس پیگیر مجهز به سامانه گرمایش (کوره فلزی عایق بندی شده) مطابق شکل ۴ و ۵ استفاده شد.

### روشها

بر پایه تجربه موجود [۲۱] آمیخته‌های بهینه با اجزای ارائه شده در جدول ۱ تهیه و در شرایط عملیاتی متفاوت کارایی آنها بررسی شد. آمیخته‌های C، F و G ارائه شده در جدول ۱ برای آزمایشهای استخراج و آمیخته ارائه شده در ستون اول جدول ۱ برای آزمایش کشش طراحی شدند. تفاوت آمیخته C و G در اندازه ذرات شکر مورد استفاده است. اندازه متوسط ذرات شکر مورد استفاده در آمیخته C حدود  $30 \mu\text{m}$  (۷۰ درصد ذرات اندازه بین  $20 \mu\text{m}$  تا  $50 \mu\text{m}$  دارند و بقیه کمتر از  $20 \mu\text{m}$  هستند) و اندازه متوسط ذرات شکر مورد استفاده در آمیخته G حدود  $10 \mu\text{m}$  (تمامی ذرات کوچکتر از  $20 \mu\text{m}$ ) هستند. اجزای ذکر شده در جدول ۱ را ابتدا دستگاه دو غلتکی به مقدار کافی مخلوط کرده تا به طور کامل همگن شود. سپس، از این آمیخته‌ها ورقه‌هایی با ضخامت  $0/25$ ،  $0/3$ ،  $0/4$  و  $0/6 \text{ mm}$  به کمک دستگاه پرس با فشار  $150 \text{ kg/cm}^3$  و در دمای  $150^\circ\text{C}$  تهیه شد. زمان قالبگیری تمامی نمونه‌ها ۴ تا ۶ min است.

در روش تولید بر پایه استخراج پس از سرد شدن قالب، نمونه بیرون

روش استخراجی پرکننده از ترکیب پلی وینیل کلرید - شکر و پلی وینیل کلرید - لاستیک آکریلونیتریل بوتادی ان - شکر و بررسی مقدار خلل و فرج، توزیع خلل و فرج و مقدار عبوردهی اسید از نمونه‌های ساخته شده. هدف اصلی و مزیت استفاده از این روش بکارگیری آب به عنوان حلال برای استخراج پرکننده (شکر) است. همچنین، بکارگیری شکر به عنوان پرکننده‌ای که خاصیت کلوخه شدن ندارد. این ورقه‌ها در باتریها به عنوان صفحات جدا کننده و غشاهای نیمه تراوا بکار می‌روند. خواص نوشتاری این نمونه‌ها با استفاده از خاصیت جذب سطحی جوهر نیز مقایسه شده است.

- بررسی آثار شرایط فرایندی روی خواص سطحی (خاصیت جذب سطحی جوهر) ورقه‌های تهیه شده با استفاده از فرایند کشش از آمیخته پلی وینیل کلرید - لاستیک آکریلونیتریل - بوتادی ان (PVC/NBR) در شرایط فرایندی دما، مقدار و سرعت کشش.

## تجربی

### مواد

در این پژوهش، پلی وینیل کلرید امولسیون (E-PVC) با وزن مولکولی متوسط  $95000 \text{ g/mol}$  و چگالی  $136 \text{ g/cm}^3$  به عنوان ماتریس پلیمری، دی اکتیل فتالات (DOP) با چگالی حدود  $1365 \text{ g/cm}^3$  به عنوان نرم کننده پلی وینیل کلرید، لاستیک آکریلونیتریل - بوتادی ان (NBR) (۳۳ درصد آکریلونیتریل) با وزن مولکولی متوسط  $114400 \text{ g/mol}$ ، گرانیروی مونی ۱۴۵ و دمای انتقال شیشه‌ای  $275^\circ\text{C}$  به عنوان نرم کننده و بهبود دهنده خواص پلی وینیل کلرید، شکر با دمای ذوب  $185^\circ\text{C}$  به عنوان پرکننده قابل استخراج، کلسیم کربنات با اندازه ذرات  $10 \mu\text{m}$  به عنوان پرکننده معدنی، تیتانیم دیوکسید به عنوان رنگ کننده، روی استئارات و کلسیم به عنوان روان کننده و پایدار کننده گرمایی و آب به عنوان حلال برای استخراج شکر از نمونه‌های تهیه شده استفاده شده است. در آزمایش عبوردهی اسید از صفحات، سولفوریک اسید  $75 \text{ M}$  با چگالی  $178 \text{ g/cm}^3$  بکار گرفته شد.

### دستگاهها

مخلوط کن مکانیکی و دستگاه دو غلتکی مدل PM-۳۰۰۰ برای اختلاط فرمولبندیهای مختلف، دستگاه خردکننده قهوه (Coffee Grinder) مدل MCG-۱۵۰ ساخت شرکت مایسان برای خرد کردن ذرات شکر، ورقه‌های آلومینیمی چسبیده به سطح قالب تخت مجهز به سامانه خنک کننده برای تهیه ورقه‌هایی با ضخامت حدود  $0/25$ ،  $0/3$ ،  $0/4$  و  $0/6 \text{ mm}$

جدول ۱ ترکیب درصد نهایی اجزای استفاده شده در آمیخته‌های مختلف تهیه شده.

اجزا	قسمت وزنی اجزا در آمیخته فرایند کشش (Phr)	قسمت وزنی اجزا در آمیخته C (Phr)	قسمت وزنی اجزا در آمیخته C (Phr)	قسمت وزنی اجزا در آمیخته F (Phr)
PVC	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
NBR	۶۰	-	-	۶۰
شکر	-	۹۵	۹۵	۱۳۰
دی اکتیل فتالات	-	۵۰	۵۰	-
تالک	-	۱۴	۱۴	-
کلسیم کربنات	۹۶	-	-	-
روی استئارات	-	۸	۸	-
کلسیم استئارات	۳/۲	-	-	۷/۶
تیتانیوم دیوکسید	۳/۲	۵	۵	۷/۶

شد. با این اصلاحات، دستگاه کشش برای انجام آزمایشها بکار گرفته شد. در این روش کنترل دقیق سرعت و مقدار کشش، عوامل مهم آزمایشها هستند که کنترل این عوامل با دقت زیادی با استفاده از دستگاه کشش امکان پذیر است.

پس از انجام آزمایشهای مقدماتی تعیین ماهیت، خاصیت پخش شدن جوهر که معیاری از ایجاد بی نظمی سطح یا زبری سطح است بررسی شد. آزمایشهای استخراج در شرایطی ویژه و برای بررسی وابستگی به اندازه شکر انجام شد، ولی در آزمایشها کشش به علت وجود عوامل متعدد با استفاده از روش فاکتوریل تعداد ۲۷ (سه عامل در سه سطح) نمونه در دما، سرعت و مقدار کشش مختلف تهیه شد. این شرایط فرایندی در جدول ۲ آمده است.

آورده و وزن اولیه آن ثبت شد. برای استخراج شکر، نمونه‌ها در آب قرار می‌گیرند. پس از رسیدن به تعادل وزنی، نمونه‌ها در کوره خشک شده و وزن نهایی ثبت می‌شود.

در فرایند کششی پس از اینکه نمونه‌های لازم در ضخامتهای دلخواه شکل داده شد، با استفاده از دستگاه کشش (شکل ۴) مجهز به سامانه گرمایش، اعمال کشش در شرایط مختلف دمایی، سرعت و مقدار کشش انجام شد. برای کنترل دقیق عوامل تولید، ابتدا کوره فلزی عایق بندی شده مجهز به دمایای (thermostat) برای تنظیم دمای داخل تا  $150^{\circ}\text{C}$  مطابق شکل ۵ (که از دو نمای بیرونی و داخلی آن نشان داده شده است)، طراحی و روی دستگاه کشش نصب شد. سپس، گیره‌های جدیدی که قابلیت تحمل فشار و دمای زیاد را دارند ساخته و روی دستگاه نصب



شکل ۵ کوره فلزی عایق بندی شده برای کشش گرم.



شکل ۴ دستگاه کشش مجهز به کوره فلزی برای کشش گرم.

جدول ۲ شرایط مختلف تهیه نمونه‌های آرایش یافته.

عامل	دما (°C)	سرعت کشش (mm/s)	مقدار کشش (برابر طول اولیه)
سطح ۱	۲۵	۰/۰۴	۷/۸
سطح ۲	۸۵	۰/۰۹	۲
سطح ۳	۱۰۰	۰/۱۴	۲/۵

ورقها انجام می‌گیرد به طور عمومی ثابت زیادی دارد. در روش دوم ایجاد ناهمواری روی سطح ورق بدون ایجاد تغییر داخل آن است. بدین منظور قبل از بررسی تثبیت و پخش شدن جوهر در کاغذهای تولیدی به روش اول به طور اجمالی فیزیک حفره‌های ایجاد شده بررسی می‌شود. در این راستا در جدول ۳ مشخصات نمونه‌های تولیدی به روش استخراجی از آمیخته‌های مجموعه C، G و F ارائه شده است. در این جدول اطلاعات راجع به درصد استخراج پرکننده و مقدار درصد حجمی تخلخل باز نمونه‌ها ذکر شده است. مقدار تخلخل باز نمونه‌ها از معادله ارشمیدس بدست می‌آید:

$$\text{درصد تخلخل} = \frac{W_3 - W_2}{W_3 - W_1} \times 100 \quad (1)$$

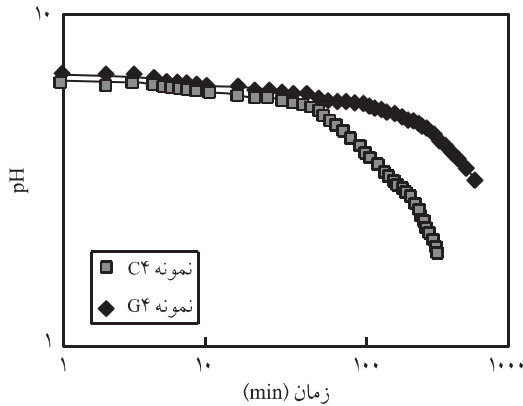
که در این معادله  $W_1$  وزن نمونه در آب پس از خشک شدن،  $W_2$  وزن نمونه خشک و  $W_3$  وزن نمونه مرطوب است. در آزمایشهای استخراج، اثر ابعاد شکر بر مقدار تخلخل باز و اندازه حفره‌ها برای کاغذ از

## نتایج و بحث

همان طور که در مقدمه ذکر شد دو منطق در تولید کاغذ مصنوعی غالب است. منطق اول ایجاد حفره‌ها داخل قطعه است. در این روش تثبیت سطحی با جذب جوهر به داخل ورق ایجاد می‌شود. چایی که روی این

جدول ۳ مشخصات نمونه‌های تولیدی از آمیخته‌های مجموعه C، G و F.

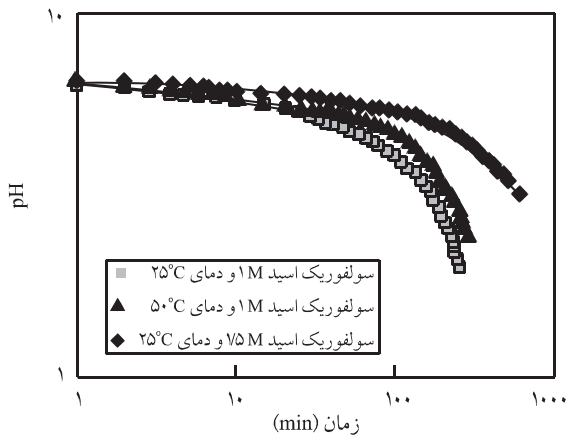
نمونه	ضخامت (mm)	وزن (g)	وزن نمونه پس از ۱۵ h در آب (g)	وزن نمونه پس از ۱۵ h در گرمخانه (g)	وزن نمونه در آب پس از خشک شدن (g)	شکر استخراج شده (%)	درصد تخلخل باز
C <sub>۱</sub>	۰/۴	۸/۰۴	۷/۴	۵/۳۲	۷/۱۲	۳۳/۸۳	۳۳/۱۲
C <sub>۲</sub>	۰/۴	۵/۴۱	۴/۸۵	۳/۶	۰/۷۴	۳۳/۴۵	۳۰/۱۴
C <sub>۳</sub>	۰/۳	۶/۰۱	۵/۵۵	۳/۹	۰/۷۸	۳۴/۷۷	۳۴/۱۷
C <sub>۴</sub>	۰/۳	۵/۱۲	۴/۷۱	۳/۳۸	۰/۷	۳۳/۹۸	۳۳/۱۶
C <sub>۵</sub>	۰/۲۵	۴/۰۴	۳/۶۹	۲/۶۸	۰/۵۴	۳۳/۶۶	۳۲/۸۹
C <sub>۶</sub>	۰/۲۵	۳/۲۵	۲/۸۲	۲/۱۳	۰/۵۰	۳۴/۴۶	۳۰/۶
G <sub>۱</sub>	۰/۴	۶/۳۸	۵/۷۶	۴/۲	۷/۰۲	۳۴/۱۶	۳۲/۹۱
G <sub>۲</sub>	۰/۴	۶/۲۱	۵/۶۵	۴/۰	۰/۹۴	۳۵/۵۸	۳۵/۱۲
G <sub>۳</sub>	۰/۳	۵/۰	۴/۴۱	۳/۲۳	۰/۷۱	۳۵/۴	۳۱/۶۲
G <sub>۴</sub>	۰/۳	۴/۸۲	۴/۳۵	۳/۱۲	۰/۶۳	۳۵/۵۳	۳۳/۲۴
G <sub>۵</sub>	۰/۲۵	۴/۲۵	۳/۸۳	۲/۸	۰/۵۵	۳۴/۱۲	۳۱/۴
G <sub>۶</sub>	۰/۲۵	۳/۹	۳/۶	۲/۶	۰/۵۳	۳۳/۳۳	۳۲/۵۷
F <sub>۱</sub>	۰/۶	۷/۱۱	۶/۰۲	۳/۹۸	۰/۲۹	۴۴/۰۲	۳۵/۶
F <sub>۲</sub>	۰/۶	۶/۸۸	۵/۸۶	۳/۷	۰/۲۹	۴۴/۷	۳۶/۹۲
F <sub>۳</sub>	۰/۴	۵/۷	۴/۶	۳/۲۷	۰/۲۸	۴۲/۶۳	۴۰/۰۶
F <sub>۴</sub>	۰/۴	۵/۴	۴/۳	۲/۹	۰/۲۸	۴۶/۲۹	۳۴/۹۱
F <sub>۵</sub>	۰/۳	۴/۲۵	۳/۸۵	۲/۴	۰/۲۶	۴۳/۵۲	۴۰/۳۸
F <sub>۶</sub>	۰/۳	۳/۸۶	۳/۴	۲/۱۵	۰/۲۵	۴۴/۳	۳۹/۶۸



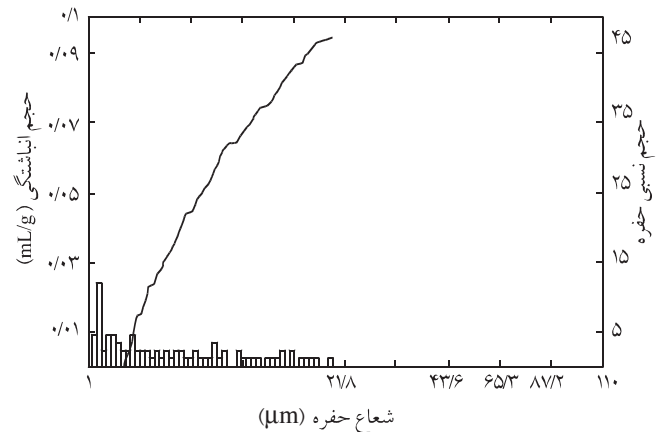
شکل ۸ مقایسه تغییر pH با زمان در نمونه‌های C<sub>۴</sub> و G<sub>۴</sub>.

ذرات پرکننده (شکر) متوسط اندازه حفره‌های ایجاد شده نیز کاهش می‌یابد. برای ارزیابی اثر ابعاد حفره‌ها بر مقدار عبوردهی در نسبت مساوی سلولهای باز از آزمایش مقدار عبوردهی سولفوریک اسید (آزمون pH) استفاده شده است. در شکل‌های ۸ و ۹ نتایج این آزمایش ارائه شده است.

با کاهش میانگین اندازه حفره‌ها روند تغییر pH کندتر می‌شود که در واقع این موضوع بیان‌کننده کاهش مقدار عبوردهی با زمان است (شکل ۸). اما، این نکته قابل توجه است که با افزایش غلظت اسید pH سریعتر کاهش می‌یابد و بیان‌کننده افزایش مقدار عبوردهی است (شکل ۹). با افزایش دما روند تغییر pH سریعتر می‌شود (شکل ۹). اثر افزایش دما در تغییر pH از افزایش غلظت بیشتر است. (شکل ۹). قابل ذکر است که نمونه‌های آزمایش شده در این بخش را که عبوردهی اسید از آنها در



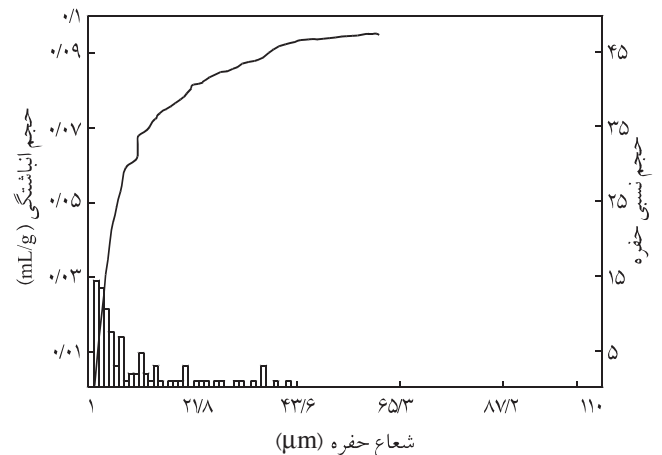
شکل ۹ نمودار تغییر pH با زمان در نمونه G<sub>۴</sub> در شرایط مختلف دمایی و غلظت.



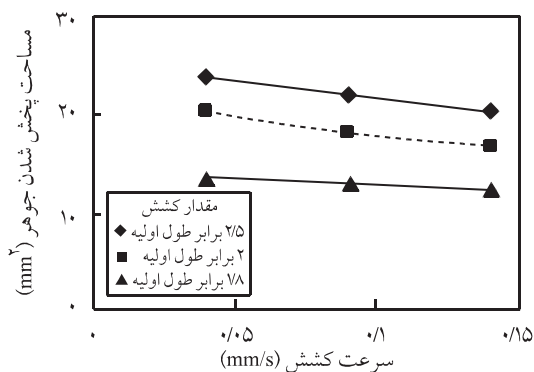
شکل ۶ نمودار توزیع حفره‌ها در نمونه C<sub>۴</sub>.

ضخامتهای مختلف بررسی شده است. همان‌طور که از جدول ۳ مشخص می‌شود، متوسط مقدار تخلخل در نمونه‌های مجموعه F نسبت به دو مجموعه دیگر بیشتر است که این موضوع به مقدار شکر بکار رفته و مقدار شکر استخراج شده بیشتر آن مربوط است. افزایش درصد شکر در نمونه‌های بدون لاستیک به علت کاهش شدید خواص مکانیکی امکان‌پذیر نیست. در اصل با اضافه کردن لاستیک امکان افزایش پرکننده و در نتیجه افزایش درصد تخلخل باز امکان‌پذیر می‌شود.

نتایج بررسی اثر دانه‌بندی شکر حاصل از اندازه‌گیری با دستگاه تخلخل سنج جیوه‌ای از نمونه‌های مجموعه C و G (ورق با ضخامت ۰/۳ μm) در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. متوسط اندازه حفره‌ها در نمونه‌های C<sub>۴</sub> و G<sub>۴</sub> به ترتیب ۲۲/۳۲۵ و ۶/۳۷۵ μm است. از شکل‌های ۶ و ۷ مشخص است که با کاهش اندازه



شکل ۷ نمودار توزیع حفره‌ها در نمونه G<sub>۴</sub>.



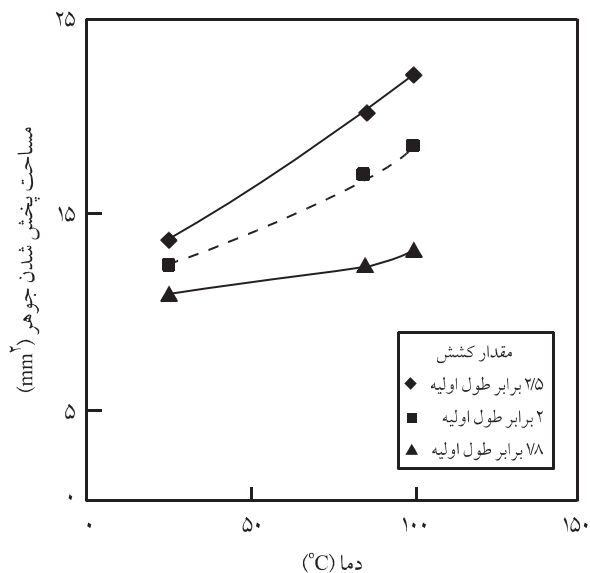
شکل ۱۲ نمودار رفتار پخش شدن جوهر در سرعت‌های مختلف کشش و دمای  $100^{\circ}\text{C}$ .

نتایج حاصل از شرایط مختلف کشش، دما، سرعت و مقدار کشش روی خاصیت پخش شدن جوهر در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ ارائه شده است. در آزمایش بررسی مقدار پخش شدن جوهر، از  $10 \mu\text{L}$  جوهر استفاده شد. اعمال جوهر با استفاده از سوزن همیلتون با فاصله تقریبی ۳-۵ mm انجام شده است.

نمودارهای شکل ۱۰ نشان می‌دهند که با افزایش دمای کشش، مساحت پخش شدگی جوهر روی نمونه‌ها افزایش می‌یابد، این مطلب را چنین می‌توان توجیه کرد که با افزایش دما تحرک زنجیرها در حالت کلاف مانند بیشتر شده و آرایش یافتگی بیشتری حاصل می‌شود، در نتیجه ذرات ریز پرکننده بیشتری به سطح می‌آیند و زبری سطح افزایش می‌یابد. در شکل ۱۱ نشان داده شده که با افزایش مقدار کشش زنجیرهای پلیمری بیشتری به حالت آرایش یافته در آمده، با افزایش آرایش یافتگی، فاصله بین ذرات پرکننده و زمینه بیشتر شده، حفره‌های ریز سطحی بیشتری تشکیل می‌شود، در نتیجه زبری سطح افزایش یافته، مساحت پخش شدگی جوهر روی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت کشش فرصت استراحت زنجیرها کمتر بوده، در نتیجه بعد از اتمام کشش، زنجیرها فرصت استراحت کردن نداشته، مقدار آرایش یافتگی کم شده و مساحت پخش شدگی جوهر روی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

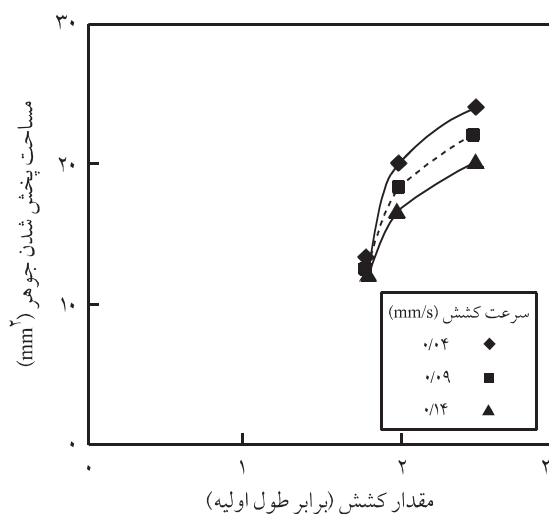
تصاویر ارائه شده در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نوشتارهای با مداد و شکل ۱۵ کمی پخش شدن جوهر نیز در جدول ۴ ارائه شده است.

تصاویر نوشتارها با مداد ارائه شده در شکل ۱۳ بیانگر بهتر بودن خاصیت نوشتاری در نمونه PVC/NBR کشیده شده نسبت به سایر نمونه‌هاست. این برتری نمایانگر بیشتر بودن زبری سطح در این نمونه نسبت به سایر نمونه‌هاست. (این مورد در شکل ۱۴ به طور واضحتر

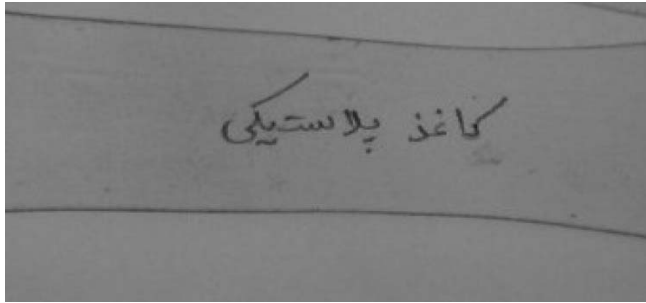


شکل ۱۰ نمودار رفتار پخش شدن جوهر در برابر دما در مقادیر مختلف کشش و سرعت کشش  $0.09 \text{ mm/s}$ .

شرایط مختلف بررسی شد، نه تنها به عنوان کاغذ مصنوعی بلکه به عنوان غشاهای نیمه تراوا نیز می‌توان بکار گرفت (از جمله در باتریهای الکتریکی به عنوان صفحات جداکننده بین قطب مثبت و قطب منفی). در بخش فرایند کششی، برای بررسی آثار کشش و آرایش یافتگی در ایجاد ریز حفره‌های سطحی که به عنوان عوامل ایجاد خواص نوشتاری مد نظر بوده‌اند، از خاصیت پخش شدن جوهر روی نمونه‌های کشیده شده و کشیده نشده استفاده شده است. لازم به ذکر است که حفره‌های ایجاد شده در این فرایند حفره‌های بسته سطحی هستند.



شکل ۱۱ نمودار رفتار پخش شدن جوهر در برابر کشش در سرعت‌های مختلف کشش و دمای  $100^{\circ}\text{C}$ .

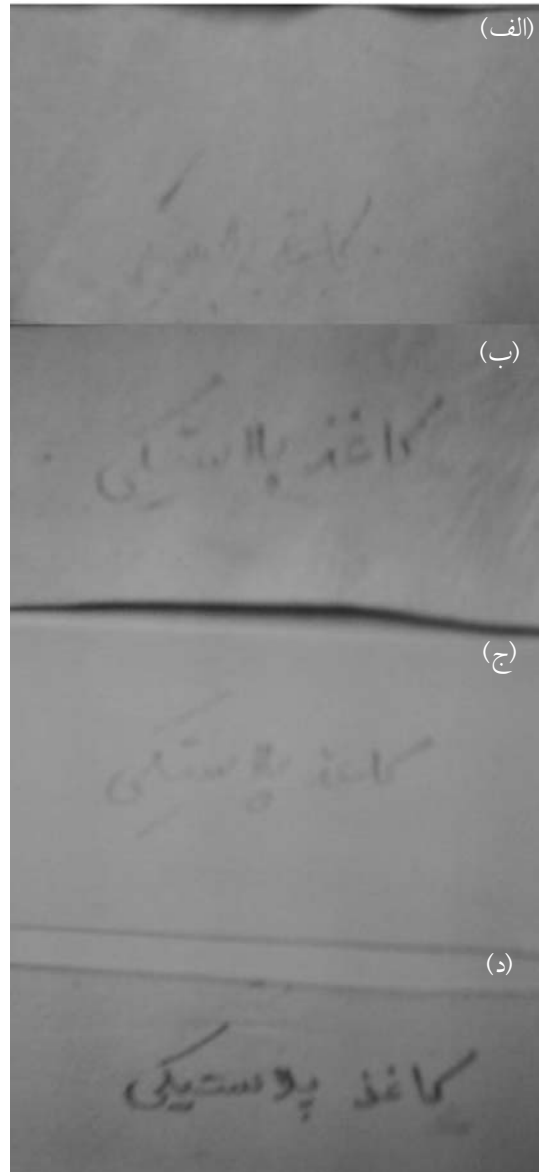


شکل ۱۴ نمایش خاصیت نوشتاری با مداد در نمونه تهیه شده از آمیخته PVC/NBR کشیده شده.

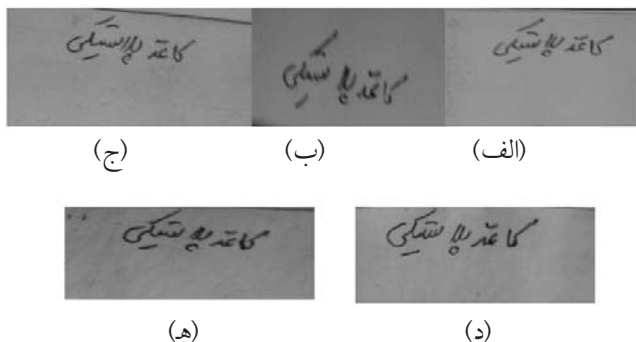
کشیده شده، PVC/NBR کشیده نشده، کاغذ سلولوزی و نمونه‌های تولیدی به روش استخراجی از آمیخته‌های  $F_4$ ،  $G_4$ ،  $C_4$  در جدول ۴ ارائه شده است. کاغذ سلولوزی بیشترین مساحت پخش شدن جوهر را ( $36 \text{ mm}^2$ ) دارد. ولی، با انجام فرایندهای ذکر شده مقدار پخش جوهر روی کاغذهای PVC و PVC/NBR افزایش چشمگیری یافته و تا حد کاغذ سلولوزی نزدیک شده است ( $28 \text{ mm}^2$  در کاغذ تولیدی به روش استخراجی در مقایسه با  $36 \text{ mm}^2$  در کاغذ سلولوزی).

کمترین و بیشترین مقدار پخش جوهر برای نمونه‌های تولیدی به روش کششی به ترتیب برابر  $10/24$  و  $24/01 \text{ mm}^2$  بوده است. کمترین مقدار مساحت پخش شده جوهر روی نمونه تولیدی در شرایط دمایی  $25^\circ\text{C}$ ، مقدار کشش  $7/8$  برابر طول اولیه و سرعت کشش  $0/14 \text{ mm/s}$  و بیشترین مقدار مساحت پخش شده جوهر روی نمونه تولیدی در شرایط دمایی  $100^\circ\text{C}$ ، مقدار کشش  $2/5$  برابر طول اولیه و سرعت کشش  $0/04 \text{ mm/s}$  حاصل شده‌اند.

از نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده سرعت‌های



شکل ۱۳ مقایسه خواص نوشتاری با مداد روی نمونه‌های مختلف: (الف)  $F_4$ ، (ب)  $F_5$ ، (ج) PVC/NBR کشیده نشده و (د) PVC/NBR کشیده شده.



شکل ۱۵ مقایسه خواص نوشتاری با خودکار روی نمونه‌های مختلف: (الف) PVC/NBR کشیده نشده، (ب) کاغذ سلولوزی، (ج) PVC/NBR کشیده شده، (د)  $G_4$  و (ه)  $F_5$ .

نشان داده شده است). در شکل ۱۵ نیز خواص نوشتاری با خودکار در نمونه‌های مختلف مقایسه شده است. قابل ذکر است که خاصیت نوشتاری با خودکار در اکثر نمونه‌ها خوب است. ولی، به طور ویژه در نمونه‌های تولیدی به روش استخراجی از آمیخته‌های  $F_4$  و  $G_4$  به علت وجود حفره‌های باز بیشتر و در نتیجه نفوذ بیشتر جوهر به عمق و در نمونه PVC/NBR کشیده شده به دلیل وجود حفره‌های سطحی و بیشتر بودن زبری سطح، بهترین جوابها حاصل شده است.

مقایسه مساحت پخش شدن جوهر روی نمونه بهینه PVC/NBR



درصد حجمی تخلخل باز را در ترکیب نهایی آن ایجاد کرد. با توجه به آزمایشهای انجام شده روی نمونه‌ها مقدار و اندازه پرکننده نقش مهمی در مقدار و توزیع اندازه حفره‌های ایجاد شده دارد. مقدار و زمان عبوردهی اسید نیز به این دو عامل یعنی مقدار تخلخل و اندازه حفره‌ها وابسته است.

۲- روش دیگر تولید کاغذ مصنوعی، روش کششی است. در این روش ایجاد خواص نوشتاری با ایجاد ناهمواری سطحی روی آمیخته PVC/NBR امکان‌پذیر است. با بررسی آزمایشها روی نمونه‌های تولیدی از این روش مطالب ذیل حاصل شد:

- در محدوده سرعتهای کشش آزمایش شده با افزایش سرعت کشش مقدار بی‌نظمی سطح یا زبری سطح با توجه به کاهش مساحت پخش شده جوهر کاهش می‌یابد.

- با افزایش دما مقدار بی‌نظمی سطح افزایش می‌یابد.

- با افزایش مقدار کشش بی‌نظمی سطح یا زبری سطح افزایش می‌یابد.

- اثر مقدار کشش در محدوده آزمایش شده از دما و سرعت کشش بیشتر است.

به طور کل می‌توان اذعان کرد که با کشش آمیخته حاوی پرکننده، در سطح ورق ناهمواریهای سطحی ایجاد می‌شود که باعث بهتر شدن خواص نوشتاری و چاپ‌پذیری آن می‌شود. این خاصیت با افزایش مقدار کشش بهتر می‌شود که می‌تواند به علت افزایش فاصله بین فاز پلیمری و ذرات پرکننده در اثر کشش و در نتیجه تثبیت حفره‌های ایجاد شده در سطح باشد.

## مراجع

- Ishizaki K., Komarneni S. and Nanko M., *Porous Material: Process Technology and Application*, Kluwar Academic, Boston, London, Chap. 1, 1998.
- Schut J.H., *The New Look in Plastic*, www.plastictechnology.com, 2002.
- Hammer E.A.G., *Process for Preparing Microporous Polyethylene Film by Uniaxial Cold and Hot Stretching*, *US Pat. 4,620,956*, 1986.
- Nakamura S., Kaneko S. and Mizutani Y., *Microporous Polypropylene Sheets Containing CaCO<sub>3</sub> Filler*, *J. Appl. Polym. Sci.*, **49**, 143-150, 1993.
- Toyoda T., Ohbar Y., Shirai K., Takagi A. and Tamanaka M.,

جدول ۴ مقایسه خاصیت پخش جوهر روی نمونه‌های تهیه شده با کاغذ سلولوزی.

نمونه	مساحت پخش شدن جوهر (mm <sup>2</sup> )
صفحه اولیه PVC	۹
PVC/NBR کشیده نشده	۹
PVC/NBR کشیده شده	۲۴/۰۱
کاغذ سلولوزی	۳۶
C <sub>۴</sub>	۲۸
G <sub>۴</sub>	۲۸
F <sub>۵</sub>	۳۰

کشش آزمایش شده با افزایش سرعت کشش مقدار بی‌نظمی سطح یا زبری سطح (با توجه به کاهش مساحت پخش شده جوهر) کاهش می‌یابد. همچنین، افزایش دما نیز مقدار بی‌نظمی سطح را افزایش می‌دهد. با افزایش مقدار کشش بی‌نظمی سطح یا زبری سطح افزایش می‌یابد. به طور کل در محدوده آزمایش شده اثر مقدار کشش از دما و سرعت کشش بیشتر است.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش:

۱- می‌توان با استخراج پرکننده (شکر) از زمینه پلی‌وینیل کلرید و آمیخته آن با لاستیک آکریلونیتریل - بوتادی‌ان به طور متوسط ۳۵ تا ۴۰

Process for Producing Oriented Composite Polyolefin Resin Films, *US Pat. 4,472,227*, 1984.

6. Nagou S. and Nakamura S., *Microporous Film and Process for Production Thereof*, *US Pat. 4,791,144*, 1988.

7. Fortuin H.M. and Simmelink J.A.P.M., *Microporous Film and Process for the Production Thereof*, *US Pat. 5,370,889*, 1994.

8. Maurice E., Honey C. and Rupert C., *Process of Producing Microporous Material*, *US Pat 2,542,527*, 1951.

9. Witt H.S., *Microporous Vinyl Chloride Resin and Method of Making Same*, *US Pat. 2,772,322*, 1956.

10. Doi Y., Kohno M. and Yoshitake K., *Alkaline Battery Separator*, *US Pat. 4,190,707*, 1980.

11. Young J., Geissel C.H. and Zenczak P., Process of Manufacturing a Microporous Sheet Material, *US Pat. 4,237,083*, 1980.
12. Takaski M. and Yoshiyasu M., Synthetic Paper and Method of Making Same, *US Pat. 3,799,828*, 1974.
13. Takaski M. and Yoshiyasu M., Method of Making Synthetic Paper, *US Pat. 4,075,050*, 1978.
14. Fong A. and Lin C., Process for the Production of a Biaxially Oriented Polypropylene Synthetic Paper of High Gloss and Easy-drying Printability, *US Pat. 6,001,290*, 1999.
15. Tanba Sh., Yoshiyasu M. and Niyabe Y., Synthetic Paper and Method of Making Same, *US Pat. 3,790,435*, 1972.
16. Toyada T., Synthetic Paper Improved with Respect to Dusting Trouble, *US Pat. 3,922,427*, 1974.
17. Toyoda T., Synthetic Paper Printable in High Gloss, *US Pat. 4,663,216*, 1987.
18. Danella O.J., Ruth J., Santana C., Manrich S. and Manrich S., Surface and Printing Properties of Synthetic Film Paper, *J. Appl. Polym. Sci.*, **88**, 2346-2355, 2003.
19. Fong A. and Lin C., Process of 3-Layer Co-extruded Biaxial Oriented Polypropylene(BOPP) Synthetic Paper, *US Pat. 5,552,011*, 1996.
20. Fong A. and Lin C., Process for Producing a 3-Layer Co-extruded Biaxially Oriented Polypropylene Synthetic Paper of Thickness 25-250  $\mu\text{m}$ , *US Pat. 6,364,988*, 2002.
21. Fong A. and Lin C., Process Using Single Screw Extruder for Producing a Three Layer Co-extrusion Biaxially Oriented Polypropylene Synthetic Paper of Thickness 25-250  $\mu\text{m}$ , *US Pat. 6,368,543*, 2002.

Archive of SID