



## بررسی تغییرات در ریخت‌شناسی و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن - تالک با افزودن ضایعات پوشش پودری اپوکسی - پلی‌استر

مرتضی احسانی<sup>۱\*</sup>، یوسف جهانی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، گروه لاستیک، پژوهشکده فرآیند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۲- استادیار، گروه پلاستیک، پژوهشکده فرآیند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵/۱۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۸/۱۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۸/۱۲/۲۰

### چکیده

در این مطالعه اصلاح واکنشی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن - تالک با استفاده از ضایعات پوشش پودری اپوکسی - پلی‌استر در یک اکسترودر دو مارپیچه انجام و خواص مکانیکی و ریخت‌شناسی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه ریخت‌شناسی نشان می‌دهد که ضایعات پودری موجب بهبود پخش ذرات تالک در بستر پلی‌پروپیلن شده و موجب تسهیل در جهت‌گیری ذرات تالک در جهت جریان قالب‌گیری می‌شود. نمونه عاری از اپوکسی - پلی‌استر با افزایش زمان فرسودگی کاهش خواص شدیدی دارد که با افزودن اپوکسی - پلی‌استر موجود در ضایعات پوشش پودری این خواص به میزان بسیار کمتری افت نشان داده و در نمونه پلی‌پروپیلن حاوی ۲۰٪ تالک با افزودن ۲۰٪ ضایعات، کامپوزیت تقریباً در مقابل فرسودگی حرارتی مقاوم شده است. بهبود مقاومت خواص مکانیکی در کامپوزیت‌ها در برابر اثرات فرسودگی می‌تواند ناشی از چسبندگی رزین‌های پلی‌استر و اپوکسی موجود در ضایعات بر روی تالک باشد که این مسأله با توجه به وجود ناخالصی‌های فلزی در پرکننده‌های معدنی که موجب تسریع فرسودگی حرارتی پلیمرها می‌شود، قابل توجیه است. پخت رزین‌های اپوکسی - پلی‌استر موجود در ضایعات پوشش پودری موجب تمرکز تنش و در نتیجه تضعیف خواص مکانیکی نظیر ضربه‌پذیری می‌شود. واژه‌های کلیدی: ضایعات پوشش پودری، رزین اپوکسی - پلی‌استر، پلی‌پروپیلن.

## Investigating the Variations in Morphological and Mechanical Properties of PP-Talc Composites by Incorporation of Epoxy-Polyester Powder Coating

M. Ehsani<sup>1\*</sup>, Y. Jahani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Rubber, Faculty of Processing, Iran Polymers and Petrochemicals Institute, P.O. Box 14965/115, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Plastics, Faculty of Processing, Iran Polymers and Petrochemicals Institute, P.O. Box 14965/115, Tehran, Iran

### Abstract

In this study reactive modification of polypropylene (PP) and talc composites by powder coating waste (PCW) on a co-rotating twin screw extruder was studied and morphology and mechanical properties were evaluated. The morphological study of the composites showed that the use of powder coating waste improved the dispersion of talc in PP and leads to orientation of talc plates in the flow direction of the injection mold. The PP-talc composite shows high loss of mechanical properties with thermal aging in comparison with PP-talc composites which have powder coating waste (PCW). PP + Talc (20%) + PCW (20%) sample shows good resistance against to thermal aging. The improvement of thermal stability of PP-Talc- PCW composites can be the result of adhering of epoxy-polyester resin of powder coating waste on talc plates and also to metals impurities. The cured epoxy-polyester resin particles were played the role of stress concentrators and decreased mechanical properties such as impact strength. *J. Color Sci. Tech.* 3(2010),223-232 © Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Powder coating wastes, Epoxy-polyester resin, Polypropylene.

## ۱- مقدمه

۷۰°C کاربری داشته و از این رو بایستی دارای مقاومت حرارتی خوبی باشند [۸]. در اغلب صنایع پلی پروپیلن به صورت کامپوزیت‌های پر شده مورد استفاده قرار می‌گیرد که این مسأله موجب افزایش مقاومت حرارتی و خواص مکانیکی - فیزیکی در مقایسه با شکل پرنشده آن می‌گردد [۱۱-۱۲]. افزودن پرکننده به ماتریس پلیمر راه حلی سریع و ارزان برای اصلاح خواص پلیمر می‌باشد. پرکننده‌های معدنی نظیر کربنات کلسیم، تالک، میکا، سیلیکا، اکسید روی، شیشه، الیاف کربن اغلب در ماتریس پلی پروپیلن مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۳-۱۴].

یکی از مشکلات کامپوزیت‌های پلی پروپیلن تخریب‌های حرارتی آنها در حین فرآیند و همچنین در موقع مصرف می‌باشد. برای کاهش این معضل و همچنین افزایش پایداری حرارتی این ترکیبات معمولاً از آنتی اکسیدانتهایی نظیر Irganox 1010 استفاده می‌کنند. علاوه بر مصرف این ماده تجربه نشان می‌دهد که استفاده از رزین اپوکسی در آمیزه‌های پلی پروپیلن به عنوان پایدار کننده کمکی<sup>۱</sup> می‌تواند یک اثر هم‌افزایی با آنتی‌اکسیدان در ترکیب ایجاد کرده و پایداری حرارتی را به طور چشمگیری افزایش دهد. نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از ضایعات پوشش‌های پودری (PCW) این امکان را فراهم می‌کند که پایداری حرارتی قطعات افزایش یابد. رزین اپوکسی و پلی‌استر موجود در ضایعات پوشش پودری یک رزین قطبی و دارای عوامل قطبی اپوکسیدی و کربوکسیلیک است. از طرف دیگر مواد معدنی نیز دارای سطوح معدنی هستند که قابلیت جذب عوامل قطبی اپوکسیدی کربوکسیلیک را خواهند داشت. جذب این عوامل موجود در رزین باعث ایجاد لایه‌ای در سطح پرکننده می‌شود و شکل هندسی پرکننده را دستخوش تغییر نموده و تغییر ساختار هندسی ذرات باعث تأثیر شدید بر رفتار رئولوژیکی مخلوط در حالت مذاب می‌شود که اثرات بسیار مطلوبی را در فرآیندهای شکل‌دهی و حرارتی به دنبال خود خواهد داشت.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد

نوع مواد مصرفی و محل تأمین آنها در جدول ۱ و خواص اندازه‌گیری پلی پروپیلن مصرفی در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

1- Co-stabilizer

جدول ۱: مواد مورد مصرف.

شرکت سازنده	نوع و مشخصه	مواد
Hyundai	Ceetec-J801R	پلی پروپیلن - هموپلیمر
Luzenac	1445	تالک
Ciba	Irganox 1010	ضد اکسنده
استار	اپوکسی - پلی‌استر	ضایعات رنگ پودری

تولید و استفاده از پوشش‌های پودری در چند سال اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است. در خلال تولید و مصرف این نوع پوشش‌ها مقادیر قابل توجهی ضایعات ایجاد می‌شود که تلاش‌های فراوانی برای مصرف مجدد و یا بازیافت آنها در حال انجام است [۱]. اصولاً در ترکیب پوشش‌های پودری از رزین‌های اپوکسی، پلی‌استر و مواد معدنی نظیر اکسید تیتان، کربنات کلسیم و سولفات باریم به همراه برخی مواد افزودنی استفاده می‌شود. پوشش‌های پودری شامل رنگدانه‌ها و افزودنی‌های پخش شده در یک بایندر تشکیل دهنده فیلم (رزین و عامل پخت) می‌باشند که به صورت پودرهای ریز تولید می‌شوند. چنین پودرهایی با یک تفنگ الکترواستاتیک بر روی سطوح مورد نظر پاشش می‌گردند. ذرات پودر در تفنگ باردار شده و لایه نازک چسبناکی را روی سطح مورد نظر تشکیل می‌دهند و پس از عبور از یک کوره در اثر حرارت، ذرات پودری ذوب شده و پس از ایجاد چسبندگی و پیوند عرضی یک پوشش سخت، با دوام و غیرقابل انحلال را ارائه می‌دهند. شکل ۱ فرآیند تولید پوشش‌های پودری را به اجمال نشان می‌دهد. در مرحله آسیاب بخشی از پودرهای تولید شده به علت ریز بودن در محفظه‌ای جمع‌آوری شده و به سبب عدم دارا بودن شرایط مناسب جهت استفاده، عموماً به عنوان ضایعات تولید مطرح و بلا استفاده خواهند بود.

پلی پروپیلن (PP) به عنوان یک پلیمر گرما نرم کاربرد وسیعی در صنایع مختلف نظیر اتومبیل‌سازی، ساختمان، قطعات کامپیوتر، سیم و کابل، لوازم خانگی، بسته‌بندی مواد غذایی، دارویی و غیره دارد [۶-۲]. مقاومت شیمیایی خوب، دانسیته کم و دمای ذوب نسبتاً بالای پلی پروپیلن دلایلی برای مصرف عمده آن می‌باشد، ضمن اینکه کاربرد آن را برای ذخیره‌سازی مایعات داغ میسر می‌سازد. مقاومت حرارتی و تخریب اکسیداسیونی و حرارتی پلی پروپیلن خالص و پر شده از جهات مختلف مورد اهمیت است. در برخی موارد برای افزایش مقاومت حرارتی استفاده از افزودنی‌های تقویت کننده مشخص ضروری است. افزودنی‌های تقویت کننده موجب افزایش استحکام کششی کامپوزیت می‌گردند ولی بسته به نوع پرکننده می‌تواند موجب افزایش یا کاهش پایداری حرارتی کامپوزیت گردد. کامپوزیت‌های پلی پروپیلن مورد استفاده در کابل‌های توزیع و انتقال الکتریسته در دماهای بالای

جدول ۲: خواص مکانیکی اندازه گیری شده پلی پروپیلن.

مقدار	استاندارد	واحد	خواص
15	ASTM D1238	g/10min	MFI
38.5	ASTM D638	MPa	استحکام کششی
2200	ASTM D638	MPa	مدول
65	ASTM D256 A	j/m	استحکام ضربه ایزود
20			(Notched)
18			23 °C 0 °C -20 °C
5.4	ASTM D638	%	ازدیاد طول در نقطه تسلیم
100	ASTM D638	%	ازدیاد طول در نقطه پارگی

جدول ۳: فرمولاسیون کامپوزیت های مورد مطالعه.

PP + 20% Talc  
PP + 20% Talc + 5 % PCW  
PP + 20% Talc + 15 % PCW  
PP + 20% Talc + 20 % PCW  
PP + 30% Talc + 5 % PCW  
PP + 30% Talc + 15 % PCW  
PP + 30% Talc + 20 % PCW  
PP + 40% Talc  
PP + 40% Talc + 5 % PCW

### روش فرآیند

عمل اختلاط توسط یک اکسترودر دو مارپیچ همسانگرد ZSK25-WLE از کمپانی Coperion Werner Phluderer، با نسبت طول به قطر  $l/D = 40$  و مجهز به خوراکدهی جانبی صورت گرفته است (شکل ۲). جهت اختلاط بهینه و جلوگیری از انجام واکنش زود هنگام در هنگام مخلوط شدن اجزاء از یک برنامه حرارتی خاص استفاده می شود. رزین اپوکسی - پلی استر موجود در ضایعات مورد استفاده در دمای اختلاط شروع به واکنش پخت می نماید. لذا ضروری است عمل اختلاط واکنش به گونه ای برنامه ریزی شود که قبل از پخت کامل رزین عمل اختلاط به خوبی انجام شده باشد. استفاده از پودر تالک به عنوان یک ماده معدنی با انرژی آزاد سطحی بسیار بالا از یک طرف و رزین اپوکسی - پلی استر مصرفی به عنوان ماده قطبی با انرژی

تالک مصرفی دارای اندازه ذرات متوسط ۱۰ میکرومتر و با ساختمان لایه ای<sup>۱</sup> و سطح ویژه  $3/2 \text{ (m}^2/\text{g)}$ ، اپوکسی - پلی استر موجود در ضایعات پودری دارای برنامه پخت ۶ دقیقه در دمای  $190^\circ\text{C}$ ، به نسبت وزنی ۵۰:۵۰ می باشند. حدود ۰,۲ قسمت از پایدار کننده Irganox 1010 به ازای ۱۰۰ قسمت فرمولاسیون استفاده شده است.

ریخت شناسی نمونه ها با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی پوشی از نوع CAMBRIDE 360 و با استفاده ولتاژ 15 KV صورت گرفت.

نمونه ها برای آزمون کشش و ضربه در دماهای  $195-175^\circ\text{C}$  قیف تا قالب، توسط دستگاه قالب گیری تزریقی Poolad 110، تهیه گردیدند. آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM D638 و توسط دستگاه MTS10/M universal testing برای ۵ نمونه از هر آمیزه صورت گرفت (برای ۵ نمونه از هر فرمول).

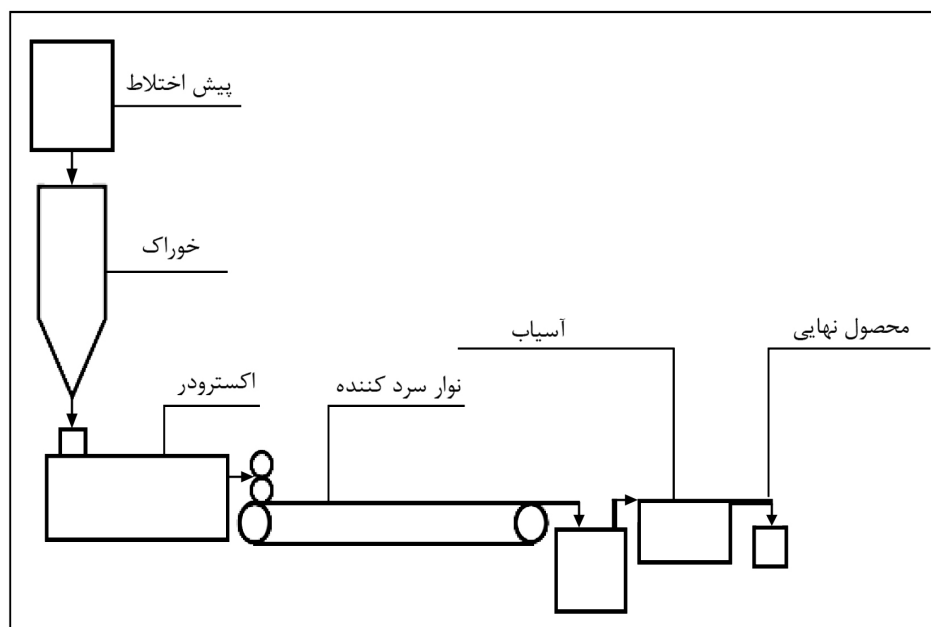
### ۲-۲- روش کار

در این تحقیق از ضایعات پوشش پودری در کامپوزیت PP+Talc استفاده شد. درصدهای مختلف ضایعات پوشش پودری ۵ و ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی به کامپوزیت ها PP + 20% Talc و PP + 30% Talc و PP + 45% Talc اضافه شده و اثر آن بر خواص مکانیکی بخصوص بعد از فرسودگی حرارتی و همچنین تغییرات ریخت شناسی میکروسکوپی آن بر روی کامپوزیت بررسی گردید (جدول ۳).

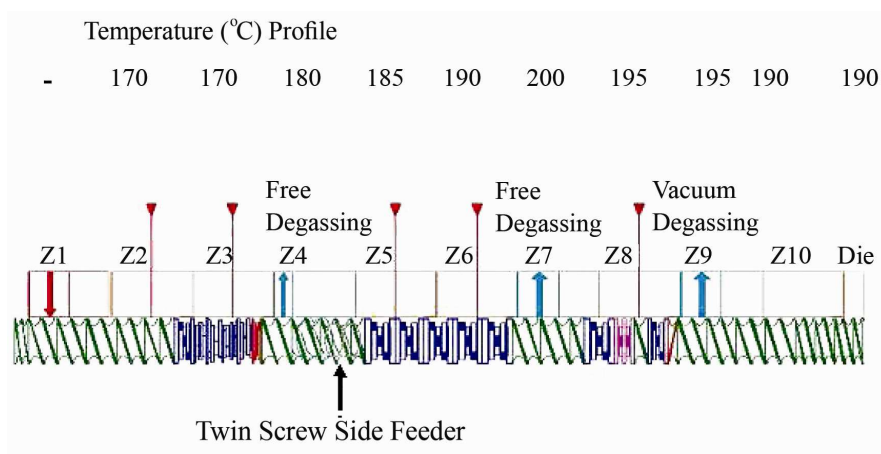
1- Lamellar

گروه‌های کربوکسیل پلی‌استر، از محیط اختلاط حذف شود لذا در مسیر اختلاط دو کانال تخلیه هوا در نظر گرفته است که یکی از آنها به پمپ خلا متصل است. با این روش آب‌های حاصل از انجام واکنش پخت اپوکسی و پلی‌استر از محیط بیرون کشیده می‌شود تا مزاحم کامپوزیت نباشد و باعث افت خواص آن نگردد. مواد پس از اختلاط به صورت رشته‌ای خارج شده و پس از خنک شدن توسط دستگاه گرانول ساز خرد می‌شود. گرانول‌های حاصل پس از خشک شدن توسط دستگاه تزریق به شکل‌های استاندارد برای انجام آزمایشات مکانیکی در می‌آیند.

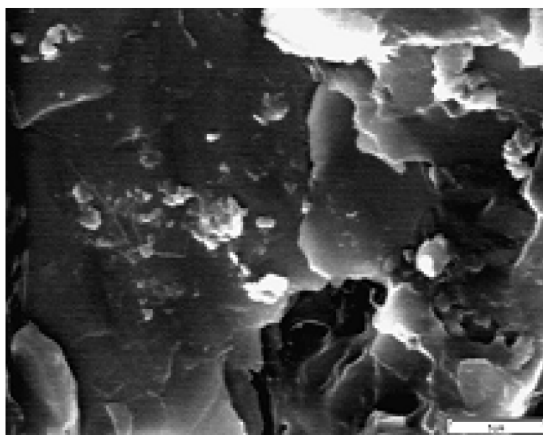
آزاد بالا از طرف دیگر موجب تمایل ذاتی بین این دو جزء می‌گردد. از آنجا که سرعت واکنش پخت رزین اپوکسی - پلی‌استر با افزایش دما تسریع می‌شود لازم است حتی‌الامکان از دمای کمتری استفاده شود. رزین پلی‌پروپیلن و تالک و ضایعات پوشش پودری و پایدارکننده فرآیند توسط سیستم‌های خوراک‌دهی دقیق به مقدار برنامه‌ریزی شده وارد اکسترودر می‌شوند. رزین اپوکسی - پلی‌استر در حین اختلاط با تالک و رزین پلی‌پروپیلن انرژی لازم جهت انجام واکنش پخت را جذب کرده و شبکه‌های مولکولی شکل می‌گیرند. ضروری است آب حاصل از واکنش پخت رزین اپوکسی در حضور



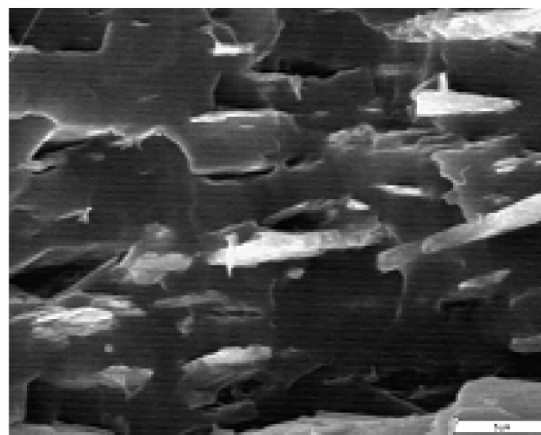
شکل ۱: نمای فرآیند تولید پوشش پودری.



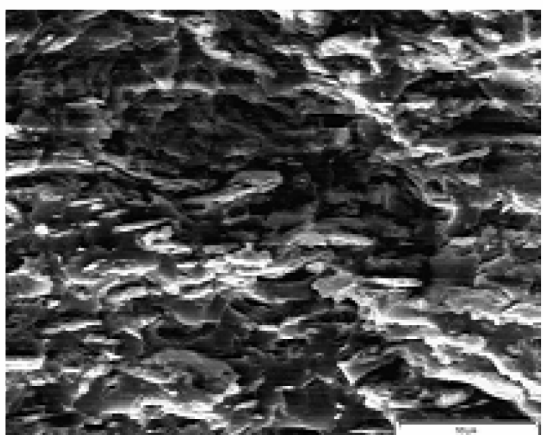
شکل ۲: نحوه آرایش ماردون اکسترودر دو مارپیچ و برنامه حرارتی مورد استفاده.



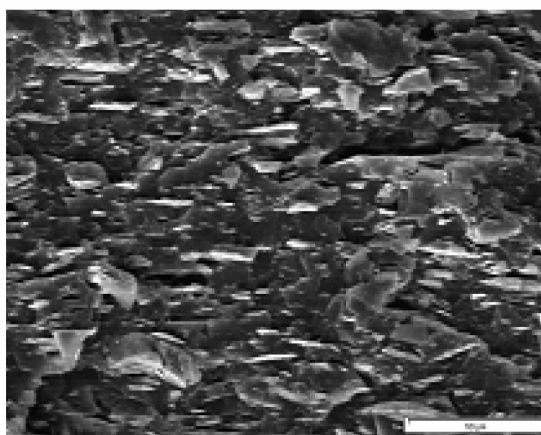
(ب) PP+20%Talc(4000 X)



(الف) PP+20%Talc +10% Resin(4000X)



(د) PP+20%Talc+20%Resin(600X)



(ج) PP+20%Talc+10%Resin(600X)

شکل ۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی از سطح مقطع کامپوزیت‌ها.

وسیله واکنش پیش‌رونده پخت و اختلاط جزئی تالک و در نتیجه ذرات ورقه‌ای شکل به دلیل انرژی برشی به کار برده شده، افزایش می‌یابد. تداخل بین فاز آلی زمینه و فاز معدنی تالک که با یک سطح آلی اپوکسی - پلی‌استر رزین پوشش داده شده بیشتر از تداخل فازی زمینه (پلی‌پروپیلن) و پرکننده تالک می‌باشد. ضایعات پودری موجب بهبود پخش ذرات تالک در بستر پلی‌پروپیلن شده و موجب تسهیل در جهت‌گیری ذرات تالک در جهت جریان قالب‌گیری می‌شود. مکانیسم عمل بدین شکل است که از سر قطبی رزین اپوکسی - پلی‌استر که شامل گروه‌های عاملی کربوکسیل، هیدروکسیل و اپوکسی می‌باشد به سطح تالک متصل شده و سطح آن را پوشش می‌دهد. ذرات جامد ورقه‌ای شکل در زمینه در تصاویر با بزرگ‌نمایی 600X در شکل ۳-ج و ۳-د به وضوح دیده می‌شوند. در مطالعاتی درباره آمیخته‌های پلی‌پروپیلن - اپوکسی پخت شده دینامیکی، گزارش گردید که رزین اپوکسی در آلیاژ ۷۰ به ۳۰ پلی‌پروپیلن به اپوکسی، به صورت ذرات

## ۳- نتایج و بحث

### مطالعه ریخت‌شناسی کامپوزیت‌ها

تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی از سطح مقطع کامپوزیت‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشتر ذرات در سطح مقطع به شکل ورقه‌ای<sup>۱</sup> با اندازه ذرات مختلف می‌باشد. متوسط اندازه ذرات تالک حدود ۱۰ میکرون می‌باشد. ذرات کوچکتری در تصاویر دیده می‌شد که می‌تواند مربوط به ذرات ریزتر پودر تالک و همچنین ذرات ورقه‌ای شکل پخت شده اپوکسی - پلی‌استر رزین باشد. شکل و اندازه ذرات اپوکسی رزین پخت شده در شکل ۳-الف دیده می‌شود. اپوکسی - پلی‌استر رزین پخت شده در زمینه<sup>۲</sup> پلی‌پروپیلن از ذرات جامد به مواد گرانبه‌تری یک فرآیند رئوشیمیایی<sup>۳</sup> تغییر می‌یابد. گرانبه‌تری به

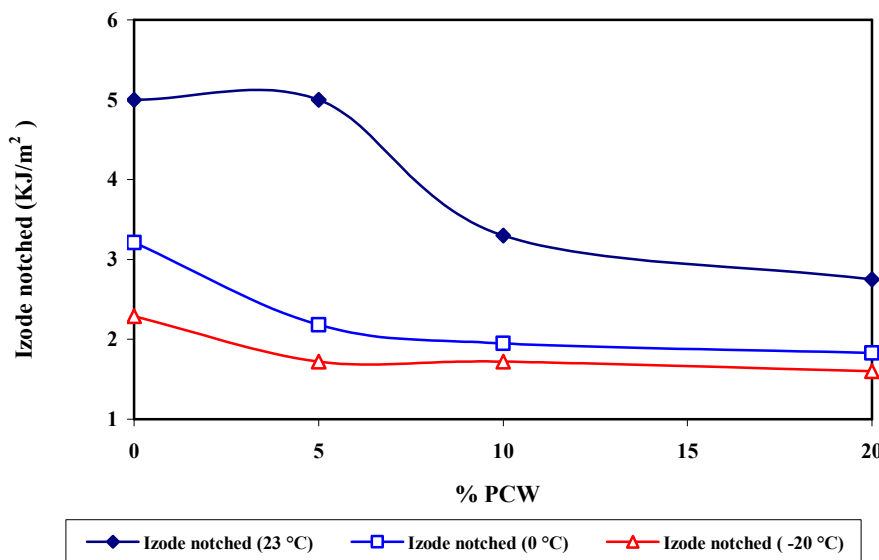
- 1- Platy
- 2- Matrix
- 3- Chemo-rheologically

است، به ذرات تالک با انرژی سطحی زیاد می‌چسبند. از طرفی وجود ذرات پخت شده اپوکسی - پلی‌استر می‌توانند به عنوان نقاط تمرکز تنش عمل کرده و موجب کاهش مقاومت در برابر ضربه‌پذیری کامپوزیت‌ها شوند. ذکر این نکته ضروری است که ذرات اپوکسی - پلی‌استر حاوی دی‌اکسید تیتانیوم در فرمولاسیون رنگ پودری نیز می‌باشند. ذرات اضافه شده در زمینه پلیمر همواره به عنوان نقاط تمرکز تنش ایفای نقش می‌کنند. افزودن ضایعات پودری اگر چه منجر به افت استحکام ضربه‌پذیری نمونه‌ها می‌شود ولی میزان کاهش ناچیز می‌باشد. برای نمونه پلی‌پروپیلن حاوی ۲۰ درصد تالک دارای ضربه‌پذیری در دمای محیط حدود  $5 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$  می‌باشد که با افزودن ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد ضایعات به ترتیب به ۳،۹، ۲،۹  $\text{(kJ/m}^2\text{)}$  می‌رسد. کاهش این مقادیر ضربه‌پذیری برای نمونه پلی‌پروپیلن حاوی ۲۰ درصد تالک در دماهای  $0^\circ\text{C}$  و  $-20^\circ\text{C}$  که در زیر دمای انتقال شیشه‌ای پلی‌پروپیلن می‌باشند، بسیار ناچیز بوده به طوری که شاید بتوان از آن صرف نظر کرد. در دمای صفر  $^\circ\text{C}$  ضربه‌پذیری نمونه پلی‌پروپیلن حاوی ۲۰٪ تالک با افزودن رزین اپوکسی - پلی‌استر از  $3,1 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$  به  $2,09$  می‌رسد. این مقادیر در دمای  $20^\circ\text{C}$  برای همین نمونه از ۲،۱ به  $1,8 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$  کاهش می‌یابد، در حالی که برای نمونه پلی‌پروپیلن حاوی ۴۰٪ تالک این مقدار به  $1 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$  می‌رسد.

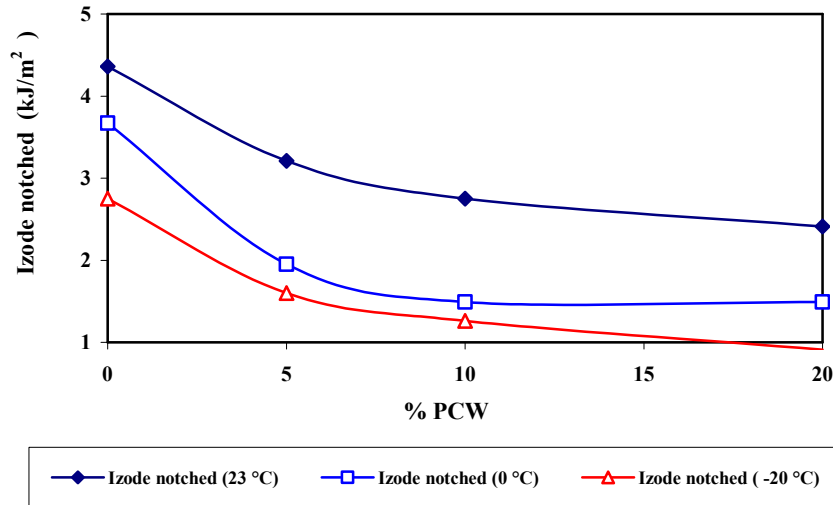
کروی در پلی‌پروپیلن پخش شده‌اند (با قطر ۳-۴ میکرون) [۱۵]. با توجه به این نتیجه‌گیری از یک طرف و تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی به دست آمده در این مقاله از طرف دیگر می‌توان ذرات جامد ورقه‌ای شکل در زمینه موجود در تصاویر را به دلیل تأثیر تالک در رئولوژی مخلوط اپوکسی - تالک دانست.

#### مطالعه خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها

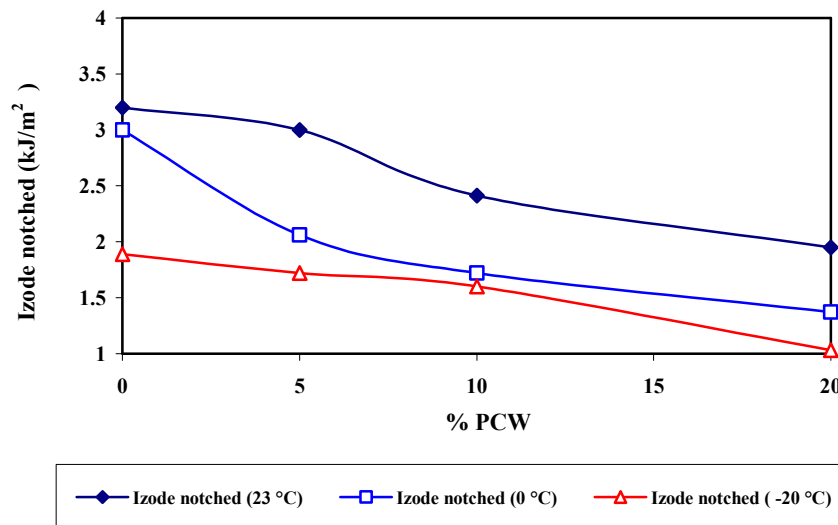
شکل‌های ۴ الی ۶ تأثیر میزان ضایعات پوشش پودری بر ضربه‌پذیری نمونه‌های کامپوزیتی پروپیلن - تالک در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. به طوری که در این شکل‌ها دیده می‌شود، با افزایش تالک و ضایعات پوشش پودری در کامپوزیت‌ها استحکام ضربه‌ای کاهش می‌یابد. در دمای اتاق مقاومت در برابر ضربه‌پذیری برای نمونه‌های بدون رزین از  $5 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$  برای پلی‌پروپیلن حاوی ۲۰ درصد تالک به حدود  $3 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$  برای پلی‌پروپیلن حاوی ۴۰ درصد تالک می‌رسد. اختلاط پرکننده با برهمکنش ضعیف زمینه اثر معکوسی را در استحکام ضربه و کشش کامپوزیت‌ها نشان می‌دهد. تالک یک ماده معدنی از نوع هیدروکسید سیلیکات منیزیم بوده و نمی‌تواند برهم‌کنشی با رزین غیر قطبی پلی‌پروپیلن انجام دهد. رزین اپوکسی - پلی‌استر موجود در ضایعات پودری که قطبی بوده و ذاتاً چسبنده



شکل ۴: تأثیر میزان ضایعات پوشش پودری بر ضربه‌پذیری نمونه‌های PP + 20% Talc



شکل ۵: تأثیر میزان ضایعات پوشش پودری بر ضربه‌پذیری نمونه‌های PP + 30% Talc

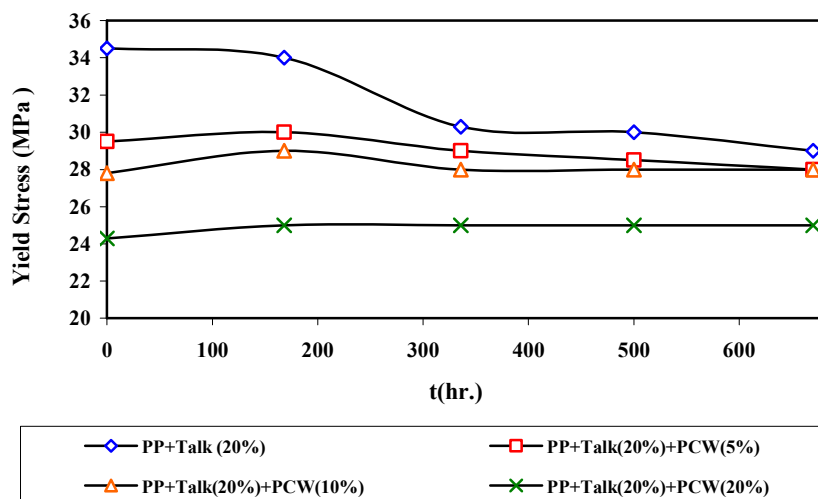


شکل ۶: تأثیر میزان ضایعات پوشش پودری بر ضربه‌پذیری نمونه‌های PP + 40% Talc

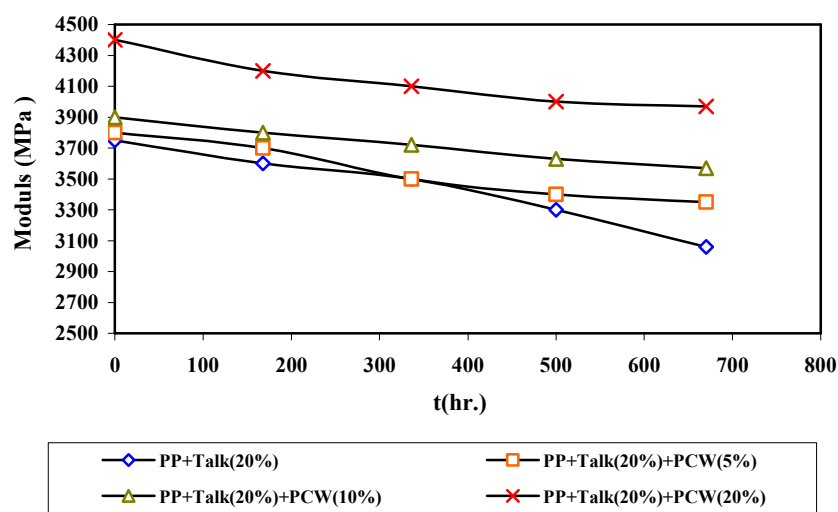
برابر اثرات فرسودگی می‌تواند ناشی از چسبندگی رزین‌های پلی‌استر و اپوکسی موجود در ضایعات بر روی تالک باشد که این مسأله با توجه به وجود ناخالصی‌های فلزی در پرکننده‌های معدنی که موجب تسریع فرسودگی حرارتی پلیمرها می‌شود، قابل توجیه است. همواره در فرآیند تولید پرکننده‌های معدنی مقداری ناخالصی‌های فلزی وجود دارد که وجود این ناخالصی‌ها می‌تواند موجب سرعت بخشیدن به مکانسیم فرسودگی حرارتی شود.

#### 1- Thermal aging

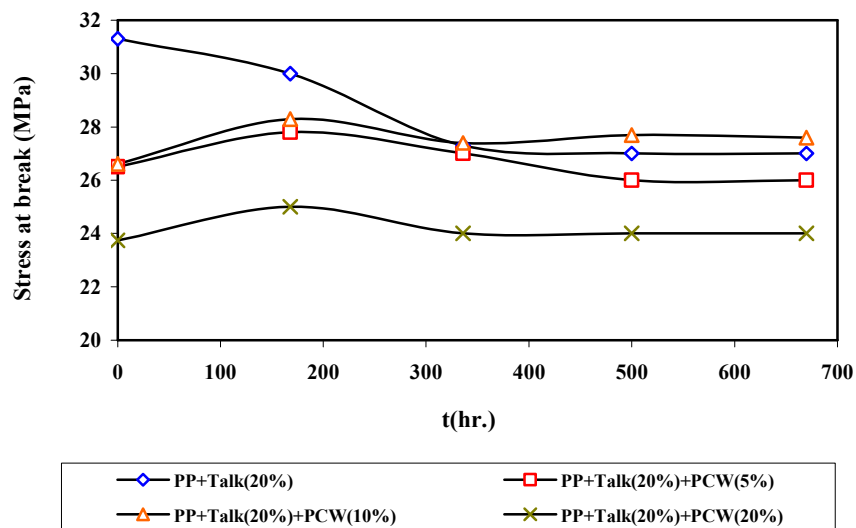
مقاومت کششی، مدول کشسان و مقاومت در نقطه شکست از جمله خواص مکانیکی است که برای همه کامپوزیت‌ها در دو حالت نو و بعد از فرسودگی حرارتی<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها برای فرسودگی حرارتی به مدت ۴ هفته در (°C) ۱۰۰ قرار گرفتند. همان گونه که در شکل‌های ۷ تا ۹ دیده می‌شود با افزایش مقدار ضایعات پوشش پودری به فرمول‌ها پایداری حرارتی بیشتر شده و خواص مکانیکی دچار افت کمتری شده است. در شکل‌های ۷ تا ۹ نمونه عاری از PCW با افزایش زمان فرسودگی کاهش خواص شدیدی دارد که با افزودن PCW این خواص به میزان بسیار کمتری افت نشان داده و در نمونه PP+Talc (20%) + PCW(20%) تقریباً در مقابل فرسودگی حرارتی مقاوم شده است. بهبود مقاومت خواص مکانیکی در کامپوزیت‌ها در



شکل ۷: تغییرات تنش در نقطه تسلیم برای آمیزه‌ها با زمان فرسودگی حرارتی.



شکل ۸: تغییرات مدول برای آمیزه‌ها با زمان فرسودگی حرارتی.



شکل ۹: تغییرات تنش در نقطه شکست برای آمیزه‌ها با زمان فرسودگی حرارتی.



#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که ضایعات پوشش‌های پودری به عنوان پرکننده و یا سازگارکننده در کنار سایر مواد پرکننده معدنی از قبیل تالک قابل مصرف در کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن خواهند بود. رزین اپوکسی - پلی‌استر موجود در ضایعات پودری که قطبی بوده و ذاتاً چسبنده است، به ذرات تالک با انرژی سطحی زیاد می‌چسبد. با افزایش ضایعات پوشش‌های پودری مدول در کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن - تالک افزایش یافته و موجب بهبود مقاومت حرارتی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن - تالک می‌گردند. بهبود مقاومت خواص مکانیکی در کامپوزیت‌ها در برابر اثرات فرسودگی می‌تواند ناشی از چسبندگی رزین‌های پلی‌استر و اپوکسی موجود در ضایعات بر روی تالک باشد که این مسأله با توجه به وجود ناخالصی‌های فلزی در پرکننده‌های معدنی که موجب تسریع فرسودگی حرارتی پلیمرها می‌شود، قابل توجه است. از طرفی ذرات پخت شده اپوکسی - پلی‌استر موجود در ضایعات پوشش پودری می‌توانند به عنوان نقاط تمرکز تنش عمل کرده و موجب کاهش مقاومت در برابر ضربه‌پذیری کامپوزیت‌ها شوند.

#### تشکر و قدردانی

از همکاری و پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران ریاست جمهوری در این پروژه به شماره ۸۵۰۲۶/۰۲ تشکر و قدردانی می‌شود.

1- Reactive

اثرات مشابهی برای مدول الاستیکی کامپوزیت‌ها دیده می‌شود (شکل ۸). مدول الاستیکی کامپوزیت‌ها با افزایش رزین‌های پلی‌استر و اپوکسی موجود در ضایعات افزایش می‌یابد. در خلال اختلاط واکنشی<sup>۱</sup> اپوکسی رزین و تالک با پلی‌پروپیلن مقداری از تالک با اپوکسی و پلی‌استر از قبل واکنش می‌دهد، ضمن اینکه در ابتدای ناحیه اکسترودر واکنش بین دو سطح مشترک، تالک با پلی‌پروپیلن و اپوکسی پلی‌استر پخت شده حاوی تالک با پلی‌پروپیلن، اتفاق می‌افتد. در انتهای مراحل اختلاط در اکسترودر دو مارپیچ، لایه نازکی از رزین اپوکسی - پلی‌استر حاوی ذرات تالک به صورت دینامیکی پخت و یک فاز جدید گرماسخت را در کامپوزیت تشکیل می‌دهند. اثر ذرات اپوکسی - پلی‌استر پخت شده (پر شده با تالک) و پودر تالک در مدول کامپوزیت متفاوت می‌باشد. در شکل ۹ تغییرات تنش در نقطه شکست برای آمیزه‌ها با زمان فرسودگی حرارتی مشاهده می‌گردد. به طوری که در این شکل دیده می‌شود نمونه عاری از ضایعات پودری با زمان فرسودگی افت استحکام را نشان می‌دهد (از ۳۲ MPa به ۲۵ MPa بعد از گذشت ۶۰۰ ساعت فرسودگی حرارتی) در حالی که برای نمونه‌های حاوی ضایعات (یا به عبارتی رزین اپوکسی پلی‌استر) در ابتدا با زمان فرسودگی حرارتی (حدود ۱۵۰ ساعت) افزایش استحکام وجود دارد که می‌تواند ناشی از شبکه‌ای شدن باقیمانده رزین‌های اپوکسی پلی‌استری که احیاناً در فرآیند قالب‌گیری شبکه‌ای نشده‌اند، باشد. بعد از این افزایش، با زمان فرسودگی حرارتی تغییر چندانی در استحکام تنش مشاهده نشده به طوری که برای نمونه حاوی ۲۰ درصد تالک و ۲۰ درصد ضایعات پودری تغییرات استحکام ثابت می‌باشد. این امر می‌تواند ناشی از فراوانی رزین‌های اپوکسی و پلی‌استر و در نتیجه پوشش‌دهی کامل ناخالصی‌های فلزی و نهایتاً کاهش اثر فرسودگی حرارتی باشد.

#### ۵- مراجع

1. Y. Jahani, M. Ehsani, The rheological modification of talc-polypropylene by epoxy-polyester hybrid resin and its effect on morphology, crystallinity, and mechanical properties. *Poly. Eng. Sci.* 49(2009), 619-629.
2. X. Chen, S. Guo, Thermal oxidative degradation kinetics of PP and PP/Mg (OH) flame-retarded composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 103(2007), 1978-1884.
3. Y. Chen, Q. Wang, Thermal oxidative degradation kinetics of flame-retarded polypropylene with intumescent flame-retardant master batches in situ pre-prepared in twin-screw extruder. *Polym. Degrad. Stab.* 92 (2007), 280-291.
4. L. Wang, J. Sheng, A kinetic study on the thermal degradation of polypropylene/attapulgit nanocomposites. *J. Macromol. Sci. Part B: Phys.* 45(2006), 1-11.
5. F. Zhang, J. Zhang, Y. Wang, Modeling study on the combustion of intumescent fire-retardant polypropylene. *Express Polym. Lett.* 1(2007), 157-165.
6. A. Marcilla, A. Gomez, J. A. Reyes-Labarta, A. Giner, F. Hernandez, Kinetic study of polypropylene pyrolysis using ZSM-5 and an equilibrium fluid catalytic cracking catalyst. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 68(2003), 467-480.
7. J. G. Filho, E. C. Graciliano, A. O. S. Silva, M. J. B. Souza, A. S. Araujo, Thermo gravimetric kinetics of polypropylene degradation of zsm-12 and zsm -5 catalysts. *Catal. Today.* 107(2005), 507-512.
8. S-W. Kim, Y. S. Cho, M. J. Shim, Thermal degradation kinetics of PE by the kisinger equation. *Mater. Chem. Phys.* 52(1998), 94-97.
9. H. T. Kim, S. C. Oh, Kinetics of thermal degradation of waste polypropylene and high-density polyethylene. *J. Ind. Eng. Chem.* 11(2000), 648-656.
10. J. Gersten, V. Fanberg, G. Hetsroni, Y. Shindler, Kinetic

- Study of the Thermal decomposition of poly-propylene, oil shale, and their mixture. *Fuel*. 79(2000), 1679-1686.
11. H. Pehlivan, F. Ozmihi, T. Tihminlioglu, D. Balkose, S. Ulku, Water and water vapor sorption studies in polypropylene-zeolite composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 90(2003), 3068-3075.
  12. H. Ismail, Z. Mohamad, A. Bakar, Comparative study of processing, mechanical properties, thermo-oxidative aging, water adsorption and morphology of rice husk powder and silica fillers in polystyrene/styrene butadiene rubber blends. *Polym. Plast. Technol. Eng.* 42(2003), 81-103.
  13. M. Kac, H. Djidjelli, A. Boukerri, L. Zaidi, Effect of wood filler treatment and ebagma compatibilizer on morphology and mechanical properties of low density polyethylene/olive husk flour composites. *Express Polym. Lett.* 1(2007), 467-473.
  14. H. Kim, S. H. Yang, H. J Kim, Thermo-Gravimetric analysis of rice husk flour filled thermo-plastic polymer composites. *J. Therm. Anal. Calorim.* 76(2004), 395-404.
  15. X. Jiang, H. Huang, Y. Zhang, Dynamically cured polypropylene/epoxy blends. *J. Appl. Polym. Sci.* 92(2004), 1437-1448.