

۱ - مقدمه

الیاف چوب مادهٔ خام اصلی در صنعت کاغذسازی است و خمیر چوبهای نرم (صنوبر و کاج) در مقایسه با انواع دیگر بیشترین مصرف را در تولید کاغذ دارد ولی از چوبهای سخت (سپیدار و غان) که در حجم زیادی موجود می‌باشد جهت تولید کاغذ استفاده چندانی نشده است [1]. از طرف دیگر پلیمرهای گرمانرم دسته مهمی از مواد با کاربردهای بسیار متنوع را تشکیل میدهد [2] که در دهه اخیر مصرف آنها از رشدی برابر با ۶/۳٪ در سال برخوردار بوده است [3].

قیمت پلیمر در دهه اخیر، به علت افزایش مصرف و تقاضای بالا، به سرعت افزایش یافته است به طوری که استفاده از مواد پرکننده را به عنوان عامل ارزان کنندهٔ محصول نهایی ضروری ساخته است [4]. در میان مواد پرکننده، پرکننده‌های معدنی مانند الیاف شیشه (۲۹۰۰ دلار بر تن) و میکا (۹۰۰ دلار بر تن) که زیاد مصرف می‌شوند، در مقایسه با الیاف چوب (۳۵۰ دلار بر تن) بسیار گران است [5] و از این رو مطالعهٔ حاضر برای بررسی امکان کاربرد الیاف چوب به عنوان پرکننده در پلی اتیلن صورت گرفت. افزایش پرکننده‌های سلولزی به پلیمرها با حفظ سختی و بازده و وزن، هزینه‌های محصول نهایی را به طور قابل توجه کاهش می‌دهد. وودهمز (Woodhams) و همکاران [6] گزارش می‌کنند که کامپوزیت‌های پلی پروپیلن حاوی ۴۰ تا ۵۰٪ خمیر چوب در مقایسه با سایر

#### Use of Wood Fiber as a Filler in Polyethylene

Studies on Mechanical Properties. By: R. G. Raj, B. V. Kokta, G. Groleau & C. Daneault

Plastics and Rubber Processing and Applications/ Vol. 11, No. 4, 1989

ترجمه: دکتر حسن دبیری اصفهانی

مهندس آذر محمدلوی عباسی

واژه‌های کلیدی:

کامپوزیت، پلی تن، چوب، کاغذ، خواص

در این مقاله استفاده از الیاف چوب به عنوان پرکننده در پلی اتیلن با چگرم مخصوص متوسط (MDPE) مورد بررسی قرار گرفته است. از سه نوع الیاف مختلف چوب (خمیر مکنیکی، آرد چوب و خمیر سلولزی) حاوی مقادیر متفاوت لیگنین استفاده شده و برای بهبود چسبندگی الیاف به پلیمر، ابتدا الیاف چوب با یک عامل جفت کننده سیلان و یک پلی ایزوسیانات آغشته شده است. استحکام کششی کامپوزیت‌های حاوی ۴۰٪ وزنی لیف آغشته شده یا سیلان ۱۷۲ - از ۱۰۰ AMPa (الیف آغشته نشده) به ۱۸/۵ MPa افزایش می‌یابد. ولی انرژی شکست و ازدیاد طول با افزایش غلظت پرکننده کاهش پیدا می‌کند و تغییر ضریب کششی در لیف آغشته شده چندان محسوس نیست.

Key Words:

Composit, Polyethylene, Wood, Paper, Properties.

خواص	سپیدار CTMP	تم آلفا ۶۸۱۶	تم سولو ۲۰
درخشندگی، Elrepho	۶۰/۹	۹۲/۲	۹۲/۸
سلولز آلفا (%)	۶۲/۶	۹۲/۳	۹۵/۶
خاکستر (%)	۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۰۸
وزن (%)	-	۰/۰۳	۰/۲۸
لیگنین (%)	۱۷/۹	-	-

۲ - ۲ آغشته سازی الیاف

الیاف سپیدار قبل از آمیختن با ماتریس با عامل جفت کننده سیلان ۱۷۲ - A به روش زیر آغشته شده است:

در ظرف واکنش ۱۵۰ CC محلول کربن تتراکلرید، ۲۵ گرم الیاف سپیدار (خشک شده در دمای ۵۵°C به مدت ۴۸ ساعت در یک آون)، سیلان ۱۷۲ - A (۱۰٪) و یک آغازگر مانند دی کومیل پروکسید (۵٪) با یکدیگر مخلوط شدند. این مخلوط در دمای ۷۰°C به مدت سه ساعت هم زده شد و پس از سرد شدن تا ۲۳°C حلال آن تسخیر و الیاف باقیمانده در یک آون در دمای ۵۵°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شد.

پلی متیلن پلی فنیل ایزوسیانات (PMPPIC) به میزان ۰/۵ تا ۲/۱۰٪ وزنی پلیمر به طور مستقیم به پلیمر (MDPE) در درون بشری اضافه و در ۲۳°C برای ۱۵ دقیقه هم زده شد. سپس الیاف چوب با غلظتهای مختلف (تا ۴۰٪ وزنی) به آن اضافه و دوباره مخلوط برای ۱۰ دقیقه قبل از همگن شدن در یک اکسترودر اختلاط هم زده شد.

۲ - ۳ تهیه کامپوزیت

آمیزش پلیمر و الیاف چوب در یک اکسترودر تک مارپیچ (CST Max Extruder 194) که دمای دهانه آن ۱۷۰°C - ۱۲۰°C بود، انجام شد. محصول تا دانه بندی ۲۰ خرد و در دمای ۶۵°C به مدت ۱۲ ساعت خشک شد. در روش دیگر، پلیمر (MDPE) و الیاف چوب در یک آسیاب غلطکی (Brabender Prep. Roll Mill No. 064) که دمای غلطکهای اختلاط آن ۱۶۰°C - ۱۳۰°C بود مخلوط شد. عمل اختلاط برای ۸ - ۵ بار تکرار گردید و سپس مخلوط به دست آمده تا دانه بندی ۲۰ خرد شد و از آن نمونه های کشتی به شکل استخوان قلم (۶/۹ x ۱/۰ x ۰/۴ cm) از طریق قالب ریزی تراکمی در یک پرس آزمایشگاهی (Carver) در دمای ۱۵۵°C و تحت فشار ۳/۳ MPa تهیه شد. قالب در دمای ۸۵°C مورد استفاده قرار گرفت و سپس دما کم کم تا ۱۵۵°C افزایش یافت. قالب در این دما به مدت ۱۵ دقیقه حفظ شد و سپس به سرعت تا دمای اتاق سرد گردید.

پلاستیکهای پر شده یا فلزات با توجه به وزن و سختی آنها در برابر خم شدن ارزاتر است.

الیاف چوب ساینده نیست و در نتیجه می توان غلظتهای نسبتاً زیاد الیاف را با پلی الفینها مخلوط کرد بدون اینکه باعث قسرسایش زیاد ماشینها در طول اختلاط و فرارورش شود [7,8]. همان طور که انتظار می رود الیاف سلولزی با پلیمرهای غیر قطبی مانند پلی اتیلن و پلی پروپیلن سازگار نیست و در نتیجه کمکهای فرارورش جهت افزایش چسبندگی بین الیاف چوب و ماتریس ضروری است. این کار معمولاً توسط اصلاح سطح مشترک پرکننده با استفاده از عوامل جفت کننده مختلف یا افزودنیها انجام می گیرد [9-12]. دالواگ (Dalvag) و همکاران موفق شدند که با استفاده از پلی پروپیلن اصلاح شده با مالئیک انیدرید، پلی پروپیلن را با آرد چوب تقویت کنند. آنها گزارش کرده اند که استحکام و قابلیت تورق این کامپوزیت افزایش یافته است [11].

در این مقاله اثر افزودنیها بر خواص مکانیکی پلی اتیلن با جرم مخصوص متوسط (MDPE) که با سه نوع الیاف چوب پُر شده است، گزارش می گردد. الیاف چوب دارای مقادیر متفاوتی از لیگنین\* می باشند و نسبت طول به قطر (L/D) متفاوت دارند. جهت بهبود چسبندگی بین الیاف و ماتریس الیاف چوب با یک عامل جفت کننده سیلان و یک پلی ایزوسیانات آغشته شده اند.

۲ - نجری

۲ - مواد

پلی اتیلن با جرم مخصوص متوسط (MDPE، ۰/۹۴ g/cm) از شرکت صنایع شیمیایی کانادا تأمین شده است. خمیر شیمیایی حرارتی مکانیکی چوب سپیدار (CTMP) در دستگاه رشته ساز سوند (Sund) تهیه شده است [5]. خمیرهای سلولز تم آلفا ۶۸۱۶ (تم سولو ۲۰، Temalfa) (6816, Temsol 20) از شرکت تمبک (Tembec) کانادا بدست آمده است. در جدول ۱ خصوصیات الیاف مختلف چوب خلاصه شده است. پرکننده ها مقادیر مختلفی لیگنین دارند، بدین ترتیب که خمیر مکانیکی چوب سپیدار ۱۷/۹٪ و آرد چوب سپیدار ۲۱/۸٪ لیگنین دارند و خمیرهای سلولزی فاقد لیگنین اند. مقدار متوسط طول به قطر (L/D) ایسن پرکننده ها از ۱۱/۹ (سپیدار) تا ۵/۲ (آرد چوب) تغییر می کند. عوامل جفت کننده و مواد پیوند دهنده زیر در آزمایشها مورد استفاده قرار گرفته است:

- (۱) وینیل تری (۲ - متوکسی اتوکسی) سیلان (سیلان ۱۷۲ - A، یونیون کاربید)
- (۲) پلی متیلن پلی فنیل ایزوسیانات (PMPPIC، پلی ساینسز)
- (۳) اتیل ایزوسیانات (مرک)

\* جزء اصلی تشکیل دهنده چوب را که عاری از کریویدرات است لیگنین می نامند. این ماده تقریباً ربع وزنی چوب را تشکیل می دهد و فرمول ساده آن به صورت  $(C_9H_{10}O)_n$  گزارش شده است. - مترجم.

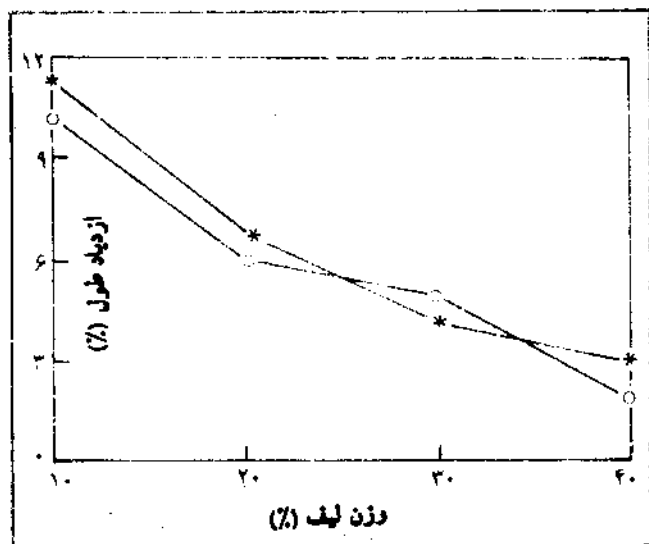
نمونه‌های قالبگیری شده در  $23^{\circ}\text{C}$  و  $50\%$  رطوبت نسبی به مدت ۱۲ ساعت قبل از آزمایش حالت گرفت. خواص کششی با دستگاه کشش (*Instron Model 4201*)، اندازه‌گیری شد. دست کم ۶ نمونه در هر مورد آزمایش شد. نتایج آزمایش به طور خودکار به کمک کامپیوتر *HP86B* و با استفاده از برنامه آزمایش کششی (*Instron 2412005*) محاسبه گردید. خواصی که گزارش شده عبارت‌اند از: (الف) استحکام کششی در نقطه تسلیم، (ب) ازدیاد طول و انرژی شکست در نقطه تسلیم و (ج) ضریب کششی ( کرنش  $0.1\%$ ). ضریب تغییر در خواصی که گزارش شده کمتر از  $7.0\%$  است.

## ۳-۲ اثر آغشته سازی لیف

اثر عوامل مختلف جفت کننده و پیوند دهنده گوناگون روی خواص کششی کامپوزیت‌های الیاف سیدار - پلی اتیلن در شکلهای ۶ تا ۹ نشان داده شده است. از عامل جفت کننده سیلان و یک پلی ایزوسیانات برای بهبود چسبندگی سطح مشترک الیاف با ماتریس استفاده شده است. استحکام کششی و ضریب کششی کامپوزیت بهبود اساسی می‌یابد. در ضمن افزایش قابل ملاحظه‌ای در استحکام کششی پلیمر (*MDPE*) پر شده با الیاف آغشته شده با سیلان و پلی ایزوسیانات مشاهده می‌شود (شکل ۶). استحکام کششی پلیمر (*MDPE*) حاوی  $40\%$  الیاف آغشته شده با سیلان، حدود  $92/4\%$  نسبت به پلیمر (*MDPE*) پر نشده افزایش نشان می‌دهد. بیشترین استحکام کششی در حالتی مشاهده می‌شود که پلیمر (*MDPE*) با کامپوزیت‌های الیاف آغشته شده با سیلان و پلی متیلن پلی فنیل ایزوسیانات (*PMPPIC*) پر شده است، بدین ترتیب که استحکام کششی از  $9/3\text{MPa}$  برای پلیمر (*MDPE*) پر نشده به  $18\text{MPa}$  برای پلیمر (*MDPE*) حاوی  $40\%$  پرکننده افزایش می‌یابد.

اثر عوامل مختلف جفت کننده و پیوند دهنده گوناگون روی خواص کششی کامپوزیت‌های الیاف سیدار - پلی اتیلن در شکلهای ۶ تا ۹ نشان داده شده است. از عامل جفت کننده سیلان و یک پلی ایزوسیانات برای بهبود چسبندگی سطح مشترک الیاف با ماتریس استفاده شده است. استحکام کششی و ضریب کششی کامپوزیت بهبود اساسی می‌یابد. در ضمن افزایش قابل ملاحظه‌ای در استحکام کششی پلیمر (*MDPE*) پر شده با الیاف آغشته شده با سیلان و پلی ایزوسیانات مشاهده می‌شود (شکل ۶). استحکام کششی پلیمر (*MDPE*) حاوی  $40\%$  الیاف آغشته شده با سیلان، حدود  $92/4\%$  نسبت به پلیمر (*MDPE*) پر نشده افزایش نشان می‌دهد. بیشترین استحکام کششی در حالتی مشاهده می‌شود که پلیمر (*MDPE*) با کامپوزیت‌های الیاف آغشته شده با سیلان و پلی متیلن پلی فنیل ایزوسیانات (*PMPPIC*) پر شده است، بدین ترتیب که استحکام کششی از  $9/3\text{MPa}$  برای پلیمر (*MDPE*) پر نشده به  $18\text{MPa}$  برای پلیمر (*MDPE*) حاوی  $40\%$  پرکننده افزایش می‌یابد.

افزودن الیاف چوب به پلیمر (*MDPE*) به طور مؤثری ازدیاد طول

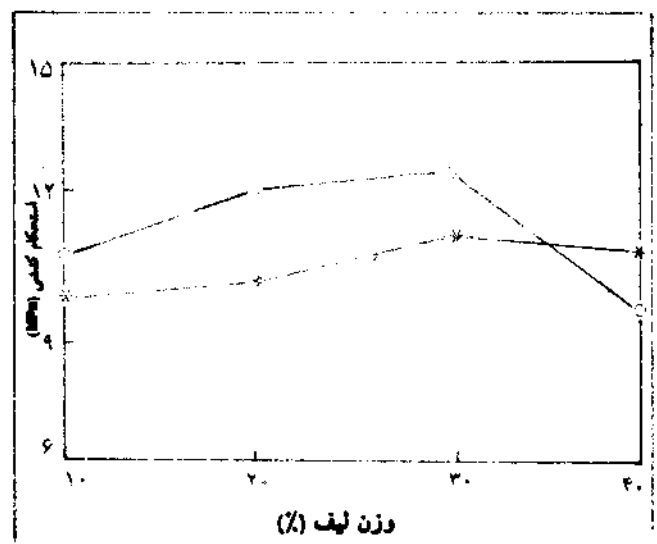


شکل ۲ - اثر فرایند آمیزه‌سازی بر ازدیاد طول کامپوزیت‌های الیاف سیدار - پلی اتیلن (\* آسپاب غلطکی، (O) اکسترودر - ملاحظه‌مانند شکل ۱ است.

## ۳-۱ اثر شرایط فراروش

شکلهای ۱ تا ۳ مقایسه‌ای از خواص کششی کامپوزیت‌های سیدار - پلی اتیلن را نشان می‌دهد که در یک اکسترودر مخلوط کننده و آسیاب غلطکی همگن شده‌اند. دمای اختلاط  $160^{\circ}\text{C}$  -  $150^{\circ}\text{C}$  است. استحکام کششی با افزایش غلظت پرکننده در کامپوزیتها به طور یکنواخت افزایش می‌یابد (شکل ۱). استحکام کششی بیشتری در کامپوزیت‌های حاصل از اکسترودر نسبت به کامپوزیت‌های به دست آمده از آسیاب غلطکی مشاهده می‌شود. در نمونه‌ها ازدیاد طول با افزایش مقدار پرکننده به طور یکنواخت کاهش می‌یابد (شکل ۲). فرایند اختلاط اثر کمی بر ازدیاد طول کامپوزیتها دارد. افزودن پرکننده به پلیمر (*MDPE*) به مقدار قابل توجهی ضریب کششی را طبق شکل ۳ افزایش می‌دهد. ضریب کششی نمونه‌هایی که توسط اکسترودر آمیخته شده‌اند اندکی بیشتر است.

اثر دمای اختلاط روی خواص کششی کامپوزیت‌های سیدار - پلی



شکل ۱ - اثر فرایند آمیزه‌سازی بر استحکام کششی کامپوزیت‌های الیاف سیدار - پلی اتیلن (*MDPE-CTMP*) (\* آسپاب غلطکی، (O) اکسترودر

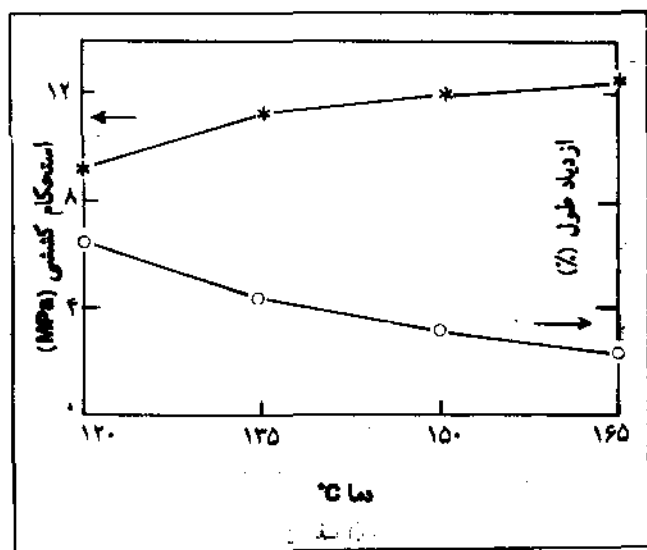
جدول ۲ - اثر آغشته سازی الیاف با PMPPIC بر روی استحکام کششی و ازدیاد طول کامپوزیتهای خمیر سلولز - پلیمر (MDPE)

نسبت طول		استحکام کششی (MPa)				ازدیاد طول (%)			
۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰		
تم سلولز ۲۰									
۱۱۸	۱۲۲	۱۲۸	۱۳۲	۱۱۰	۱۱۲	۱۱۴	۱۱۶	۲۰	۲۲
۱۱۸	۱۲۲	۱۲۸	۱۳۲	۱۱۰	۱۱۲	۱۱۴	۱۱۶	۲۰	۲۲
تم سلولز ۳۰									
۱۱۸	۱۲۲	۱۲۸	۱۳۲	۱۱۰	۱۱۲	۱۱۴	۱۱۶	۲۰	۲۲
۱۱۸	۱۲۲	۱۲۸	۱۳۲	۱۱۰	۱۱۲	۱۱۴	۱۱۶	۲۰	۲۲

نشان می دهند که به ترتیب ۱۳/۸ و ۱۷/۵ MPa در مقایسه با ۱۱ MPa برای الیاف آغشته شده است (شکل ۱۰). با اتیل ایزوسیانات افزایش متوسطی در استحکام کششی مشاهده می شود، ولی آغشته سازی الیاف اثر کمی بر ضرایب کششی کامپوزیتها دارد (شکل ۱۱). حداکثر مقدار ضریب کششی ۲۸۳ MPa برای کامپوزیتهای الیاف آغشته شده با سیلان در مقایسه با ۱۵۰ MPa برای پلیمر (MDPE) پرنشده مشاهده می شود.

### ۳ - اثر الیاف مختلف چوب

خواص کششی پلیمر (MDPE) پر شده با الیاف سیدار آرد چوب و الیاف سلولز تم آلفا ۶۸۱۶ در شکلهای ۱۴-۱۲ نشان داده شده است. در کامپوزیتهای هیچ گونه عامل جفت کننده / یوندهنده به کار نرفته است. از سه نوع پرنشده، به مقدار ۱۰٪ الیاف سلولز استحکام کششی بیشتری (۱۱/۳ MPa) در مقایسه با آرد چوب (۱۰/۱ MPa) و الیاف سیدار (MPa) ۹/۷ ایجاد کرده است (شکل ۱۲). ولی الیاف سیدار در نمونه های حاوی پرنشده بیشتر، عملکرد بهتری دارد. ازدیاد طول به طور یکنواخت بسا افزایش غلظت پرنشده کاهش می یابد (شکل ۱۳). با افزایش مقدار

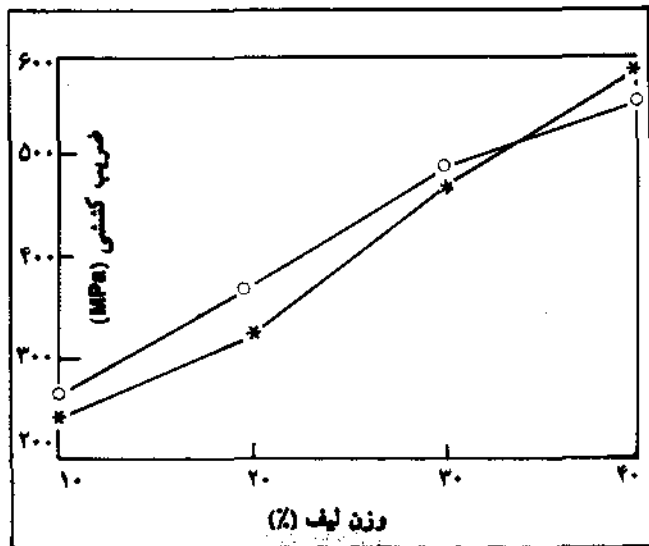


شکل ۴ - اثر دمای اختلاط (اکسترودر) بر استحکام کششی و ازدیاد طول کامپوزیتهای الیاف سیدار - پلی اتیلن

کامپوزیت را کاهش می دهد، نکته جالب این است که کاهش ازدیاد طول کامپوزیتهای حاوی الیاف آغشته به سیلان کمتر مشخص است. انرژی شکست (سطح زیر منحنی تنش - کرنش) و ازدیاد طول با غلظت پرنشده به طور مشابه کم می شود (شکل ۸). اثر آغشته سازی الیاف آغشته شده بر ضریب کششی در شکل ۹ نشان داده شده است. اضافه کردن ۴۰٪ پرنشده مقدار ضریب کششی را از ۱۵۰ MPa پلیمر (MDPE) پرنشده به ۴۹۶ MPa افزایش می دهد. افزودن سیلان یا ایزوسیانات اثر چندانی بر ضریب کششی ندارد.

جدولهای ۲ و ۳ اثر PMPPIC را بر خواص کششی پلیمر (MDPE) پر شده با خمیرهای سلولز نشان می دهد. نتایج افزایش قابل توجه استحکام کششی نمونه های حاوی الیاف آغشته شده با PMPPIC را نشان می دهد (جدول ۲). در مقایسه با کامپوزیتهایی که الیاف آنها آغشته نشده است، افزایش ۹۶/۷٪ در استحکام کششی پلیمر (MDPE) حاوی ۴۰٪ تم آلفا ۶۸۱۶ آغشته شده با PMPPIC نسبت به پلیمر (MDPE) پرنشده، مشاهده می شود. ازدیاد طول به طور یکنواخت با افزایش غلظت پرنشده در پلیمر کاهش می یابد. انرژی شکست پلیمر (MDPE) حاوی الیاف سلولز آغشته به PMPPIC در مقایسه با کامپوزیتهای دارای الیاف آغشته نشده، کمی بیشتر است (جدول ۳). ضریب کششی با افزودن مواد پرنشده از ۱۵۰ MPa (پلیمر پرنشده) تا ۵۳۱ و ۵۸۳ MPa (حاوی ۴۰٪ پرنشده)، به ترتیب در کامپوزیتهای الیاف تم سلولز ۲۰ آغشته شده با PMPPIC و آغشته نشده، افزایش یافته است.

مقایسه اثر انواع مختلف آغشته سازی الیاف بر استحکام کششی و ضریب کششی پلیمر (MDPE) پر شده با ۰/۳۰ الیاف سیدار CTMP به ترتیب در شکلهای ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. نمونه های شامل الیاف آغشته شده به PMPPIC و سیلان افزایش قابل توجهی در استحکام کششی

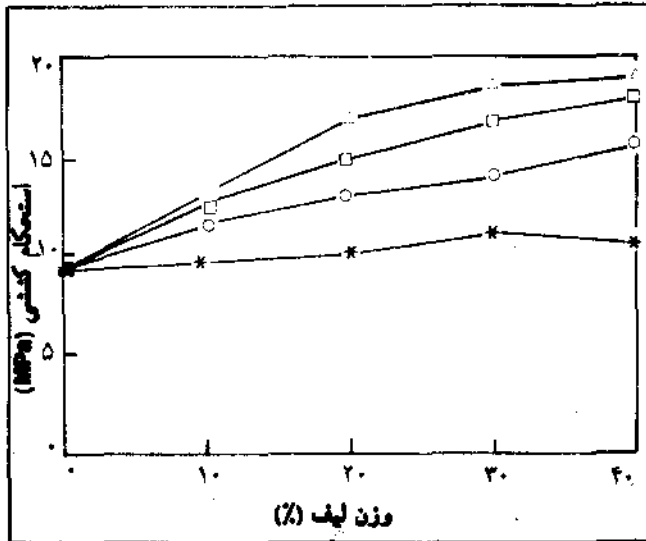


شکل ۳ - اثر فرآیند آمیزه سازی بر ضریب کششی کامپوزیتهای الیاف سیدار - پلی اتیلن (\* آسیاب غلطکی، (O) اکسترودر علامتها مانند شکل ۱ است.

جدول ۳ - اثر آغشته سازی با PMPPIC بر انرژی شکست و ضریب کششی کامپوزیت‌های خمیر سلولز - پلیمر (MDPE)

ضریب کشش در دمای ۵۰°C	انرژی شکست (J)				ضریب کشش در دمای ۵۰°C	ضریب کشش در دمای ۱۵۰°C
	۰%	۱۰%	۲۰%	۳۰%		
۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶

افزودن الیاف آغشته شده با PMPPIC و سیلان به پلیمر (MDPE) اثر قویتری بر استحکام کششی کامپوزیتها دارد. استحکام کششی از MPa ۱۰/۸ برای کامپوزیت‌های با الیاف آغشته نشده به ۱۸/۵ MPa در سطح پرکننده ۴۰٪، افزایش می‌یابد. عملکرد بهتر با PMPPIC به علت واکنش پذیری بیشتر ایزوسیانات با الیاف چوب است. ایزوسیانات به آسانی با گروه OH سلولز جهت تشکیل یک ساختار پورتان، واکنش می‌دهد [14]. سطح فعال‌شده سلولز به سطح پلیمر، جهت تکمیل ساختار پل مانند، متصل می‌شود. الیاف سپیدار که با PMPPIC آغشته شده است، نتایج بهتری در مقایسه با اتیل ایزوسیانات می‌دهد که احتمالاً به علت پوشش بهتر سطح الیاف چوب با PMPPIC است (شکل ۱۰). همان‌طور که انتظار می‌رود، افزودن الیاف چوب به پلیمر (MDPE) به طور قابل توجهی قابلیت ورقه شدن نمونه‌ها را کاهش می‌دهد که توسط یک آفت شدید در ازدیاد طول منعکس می‌شود. آغشته سازی الیاف اثر کمتری بر ضریب کششی دارد. تفاوت زیادی در استحکام کششی کامپوزیتها با استفاده از سه نوع پرکننده مختلف، در غلظت‌های کم، مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۲). در الیاف



شکل ۶ - اثر آغشته سازی الیاف پر استحکام کششی کامپوزیت‌های الیاف سپیدار- پلی اتیلن. (●) آغشته نشده، (○) آغشته شده با PMPPIC، (□) آغشته شده با سیلان، (△) آغشته شده با PMPPIC و سیلان

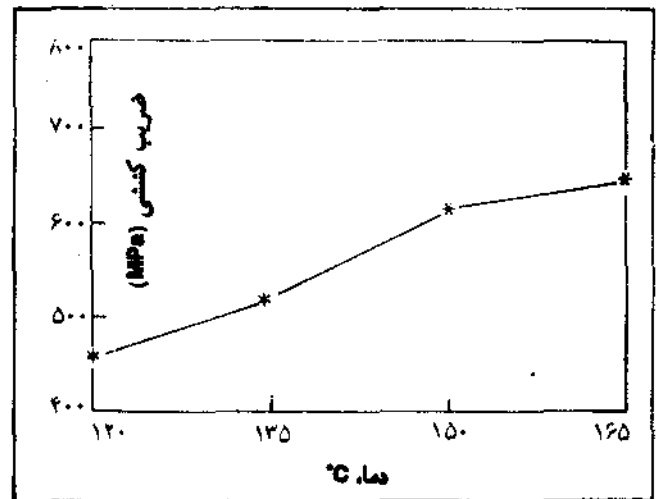
پرکننده، ازدیاد قابل توجهی در ضریب کششی پلیمر (MDPE) مشاهده می‌شود (شکل ۱۲). ضریب کششی از ۱۵۰ MPa برای پلیمر پر نشده به ۵۹۰ MPa به ازای ۴۰٪ پرکننده در کامپوزیت‌های سپیدار افزایش می‌یابد.

۴ - بحث

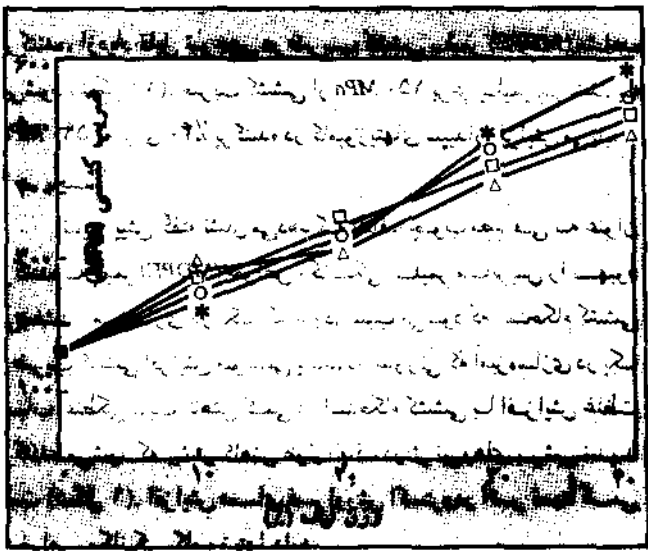
نتایج پیش گفته نشان می‌دهد که الیاف چوب مصرفی به عنوان پرکننده به پلیمر (MDPE) خواص مکانیکی پلیمر ماتریس را بهبود می‌بخشد. آمیزه سازی در یک اکسترودر سبب می‌شود که استحکام کششی و ضریب کششی افزایش متوسطی یابند، در صورتی که آمیزه سازی در یک آسیاب غلطکی سبب کاهش کمی در استحکام کششی با افزایش غلظت پرکننده می‌شود که بیشتر کاهش طول الیاف در اثر نیروهای برشی شدید است (شکل ۱). افزایش دمای فرآورش اکسترودر اثر نسبتاً کمی بر خواص مکانیکی کامپوزیتها دارد.

آغشته سازی الیاف با سیلان و PMPPIC، قبل از آمیخته شدن با ماتریس پلیمر، استحکام کششی کامپوزیتها را به طور قابل توجه بهبود می‌بخشد (شکل ۶). این پدیده به طور عمده به دلیل بهبود چسبندگی بین پرکننده و ماتریس است. مکانیسم جفت شدن الیاف چوب و سیلان را به نحو زیر می‌توان توضیح داد:

عامل جفت کننده سیلان را می‌توان با فرمول کلی YRSiX نمایش داد که در آن X گروه آلکوکسی قابل هیدرولیز، Y یک گروه عاملی آلی و R یک زنجیر آلیفاتیک کوچک را نشان می‌دهد. چوب رطوبت محدودی دارد که می‌تواند جهت هیدرولیز عامل جفت کننده عمل کند. سیلانول هیدرولیز شده  $Si(OH)_2$  - یک پیوند کوالانسی یا پیوندهای هیدروژنی با گروه‌های OH سلولز تشکیل می‌دهد [13]. واکنش بعدی گروه عاملی، Y، با ماتریس استقرار پل مولکولی بین پلیمر و سطح الیاف چوب را تکمیل می‌کند.

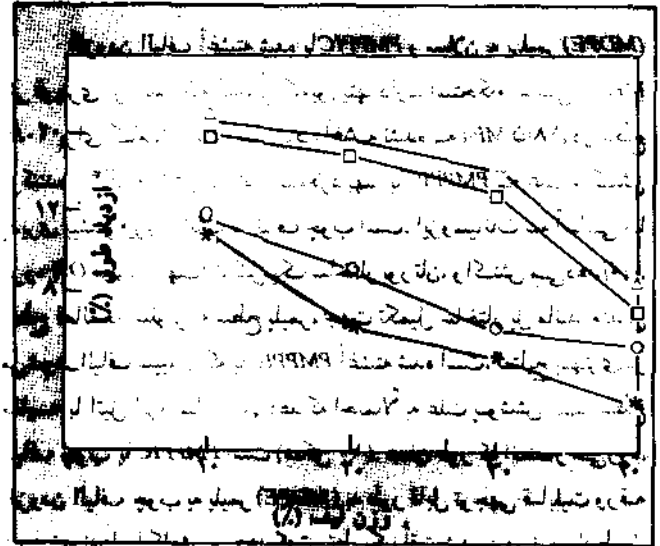


شکل ۵ - اثر دمای اختلاط (اکسترودر) بر ضریب کششی کامپوزیت‌های الیاف سپیدار - پلی اتیلن.

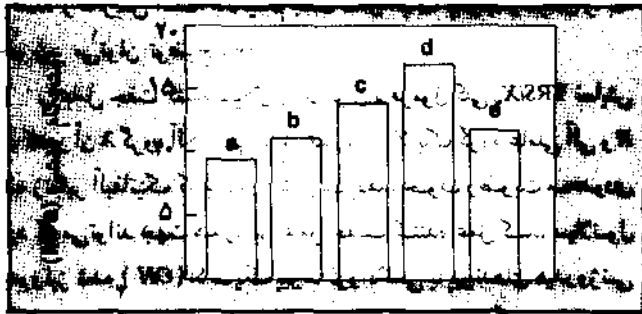


سپیدار، مقادیر استحکام کششی بیشتری در سطح پرکننده بالاتر از ۴٪ ایجاد می‌شود که ممکن است به علت پخش بهتر الیاف سپیدار در ماتریس پلیمر باشد. فرایند خمیرسازی شیمیایی حرارتی مکانیکی (CTMP)، الیاف چوبی با خاصیت رشته‌سازی افزایش یافته، تولید می‌کنند که می‌تواند در پخش الیاف کمک کند، در حالی که الیاف سلولز تحویل به جمع ماتریس پلیمر دارند. اثر سفت شدن زیاد پلیمر (MDPE) پر شده یا الیاف سپیدار نیز در آزمایشها مشاهده می‌شود (شکل ۱۲). الیاف سپیدار به علت نسبت طول به قطر (LD) بالاتری که دارند موثرترند.

شکل ۹ - اثر آغشته سازی الیاف بر ضریب کششی کامپوزیتهای الیاف سپیدار - پلی اتیلن. علامتها مانند شکل ۶ است.

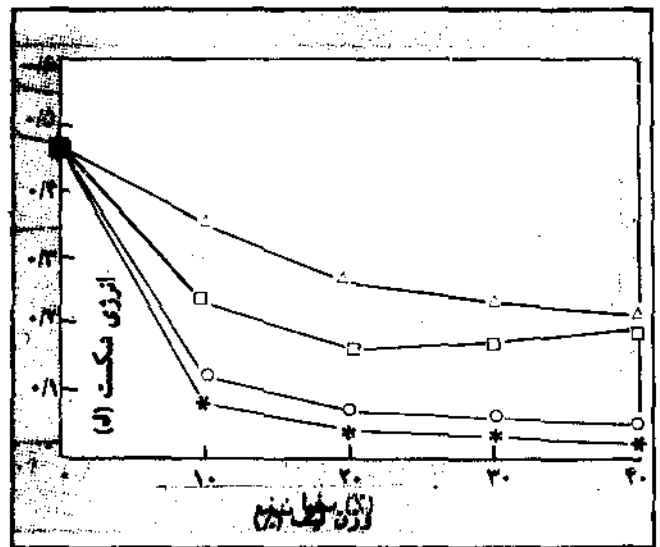


شکل ۷ - اثر آغشته سازی الیاف بر ازدیاد طول کامپوزیتهای الیاف سپیدار - پلی اتیلن. علامتها مانند شکل ۶ است.

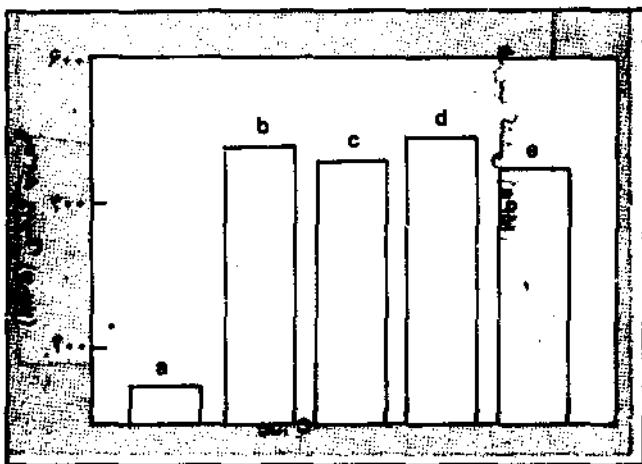


شکل ۱۰ - اثر آغشته سازی بر استحکام کششی کامپوزیتهای الیاف سپیدار - پلی اتیلن (۳۰٪ وزنی الیاف):

(الف) پلیمر پر نشده، (ب) لیف آغشته شده، (ج) لیف آغشته شده با PMPIC، (د) لیف آغشته شده با سیلان، (ه) لیف آغشته شده با اتیل ایزوسیانات.



شکل ۸ - اثر آغشته سازی الیاف بر اثرژی شکست کامپوزیتهای الیاف سپیدار - پلی اتیلن. علامتها مانند شکل ۶ است.



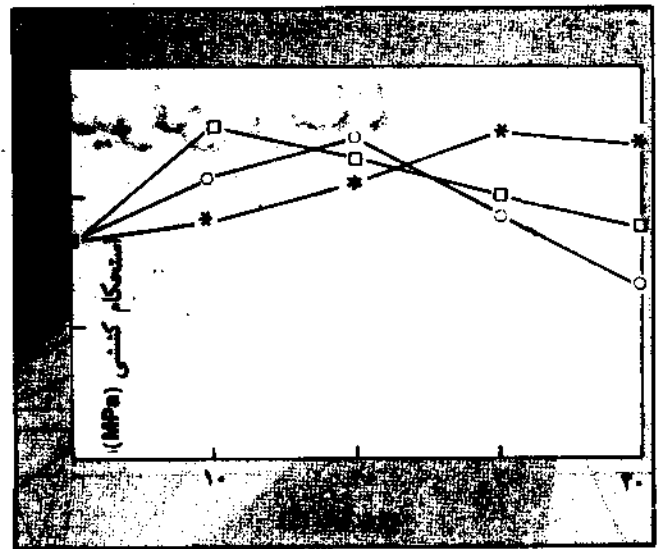
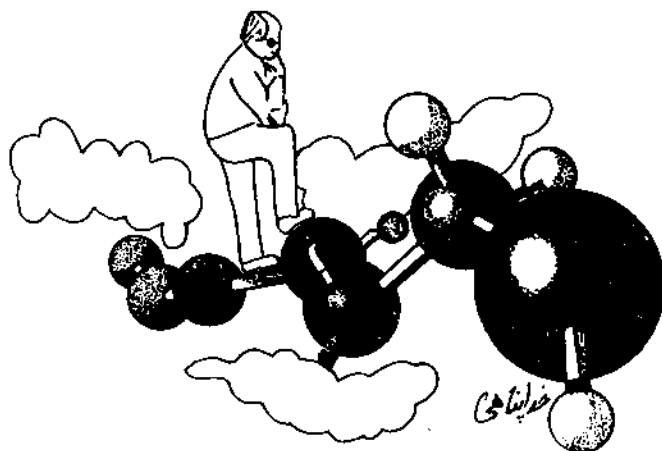
شکل ۱۱ - اثر آغشته سازی بر ضریب کششی کامپوزیتهای الیاف سپیدار - پلی اتیلن (۳۰٪ وزنی لیف). علامتها مانند شکل ۱۰ است.

افزایش غلظت الیاف چوب در پلیمر (MDPE) به عنوان پرکننده سبب افزایش قابل ملاحظه ضریب کششی آن می‌شود. استحکام کششی را می‌توان با آغشته سازی قبلی الیاف با عامل جفت کننده سیلان / ایزوسیانات قبل از اختلاط با پلیمر، بهبود بخشید. آمیزه سازی توسط اکسترودر در مقایسه با آسیاب غلطکی استحکام کششی و ضریب کششی بیشتری ایجاد می‌کند. عملکرد پلیمر (MDPE) که با خمیر مکانیکی پر شده بهتر از پر شده با الیاف سلولز و آرد چوب است.

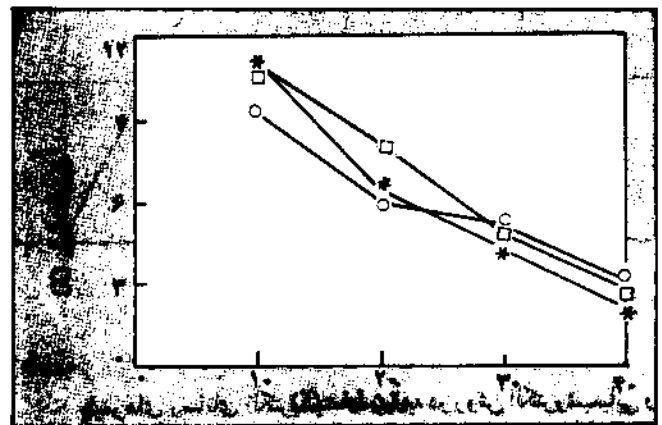


REFERENCES

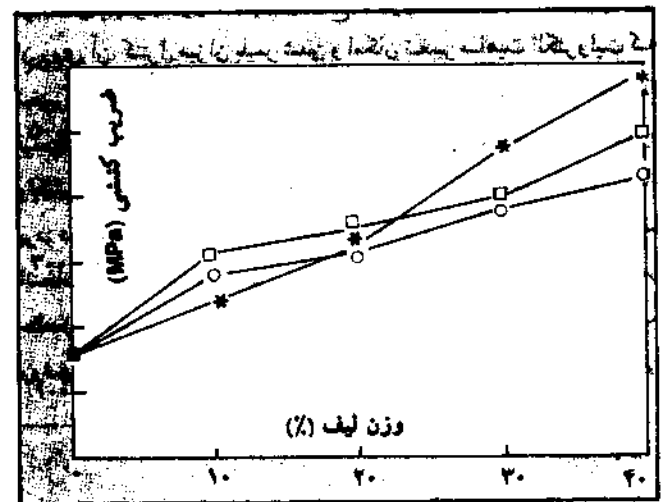
[1] Kokta, B. V., Chen, R., Daneault, C. & Valade, J. L., Polymer Composites, 4 (1983) 229-32.  
 [2] Stedfield, R., Mater. Eng., 93 (1981) 5-11.  
 [3] Modern Plastics, 65 (1) (1988) 98-103.  
 [4] Seymour, R. B., Astr. Plastics and Rubber, 30 (7) (1979) 10-14.  
 [5] Beshay, A. D., Kokta, B. V. & Daneault, C., Polymer Composites, 6 (4) (1985) 261-71.  
 [6] Woodhams, R. T., Thomas, G. & Rodgers, D. K., Polym. Eng. and Sci., 24 (15) (1984) 1166-71.  
 [7] Czikovszky, T., Kunststoffe, 73 (11) (1983) 710-14.  
 [8] Czarnecki, L. & White, J. L., Appl. Polym. Sci., 25 (1981) 1217-44.  
 [9] Monte, S. J. & Sugarman, G., Polym. Plast. Technol. Eng., 17 (1981) 95-122.  
 [10] Kalinski, R., Galeski, A. & Kryszewski, M., J. Appl. Polym. Sci., 26 (1981) 4047-56.  
 [11] Dalvag, H., Kalson, C. & Stromvall, H.-E., Intern. J. Polym. Mater., 11 (1985) 9-38.  
 [12] Raj, R. G., Kokta, B. V., Maldas, D. & Daneault, C., J. Appl. Polym. Sci., 37 (1989) 1089-103.  
 [13] Plueddemann, P. E., J. Appl. Polym. Sci., Appl. Polym. Symp., 14 (1970) 95-105.  
 [14] Johns, W. E., J. Adhesion, 15 (1986) 59-67.



شکل ۱۲ - استحکام کششی پلیمر (MDPE) پر شده با الیاف مختلف چوب (●) سیسدار، (○) لیف چوب، (□) لیف سلولز.



شکل ۱۳ - ازدیاد طول پلیمر (MDPE) پر شده با الیاف مختلف چوب. علامتها مانند شکل ۱۲ است.



شکل ۱۴ - ضریب کششی پلیمر (MDPE) پر شده با انواع مختلف چوب. علامتها مانند شکل ۱۲ است.