

## بررسی ساخت فرآورده مرکب الیاف چوب - پلی استر با استفاده از الیاف بازیافتی کاغذ روزنامه

اصغر امیدوار<sup>(۱)</sup> حبیب الله ثابت رفتار<sup>(۲)</sup>

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی امکان استفاده از الیاف بازیافتی روزنامه - به عنوان تقویت کننده پلی استرهای غیراشباع - جهت تولید فرآورده مرکب الیاف چوب - پلاستیک انجام شد. دو هدف مهم در این تحقیق مدنظر بود: یکی مقایسه بین خواص پلی استر غیراشباع تقویت نشده و تقویت شده با الیاف، و دیگری مطالعه اثر سیلان به عنوان عامل جفت کننده<sup>(۳)</sup> و درصدالیاف به عنوان تقویت کننده<sup>(۴)</sup> بر روی خواص فرآورده فوق.

شش تیمار مختلف از پلی استر و الیاف تهیه شد. یکی از آنها پلی استر خالص، چهار تیمار دیگر حاوی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد الیاف آغشته به سیلان و تیمار آخری حاوی ۱۰ درصد الیاف بدون سیلان بود. همه تیمارهای فوق بدون استفاده از حرارت خارجی و تنها با بکارگیری فرآیندهای شیمیایی و روش قالبگیری تهیه شدند. مقاومت‌های مکانیکی (کشش، خمش و ضربه) فرآورده‌های مرکب اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش‌ها به طور کلی نشان دهنده بهبود خواص پلی استر در اثر تقویت با الیاف بازیافتی کاغذ بود. روند افزایش بهبود تا درصد معینی از افزایش الیاف (در این تحقیق ۱۵ درصد) ادامه داشت و بیشتر از آن اثر منفی بر روی خواص فرآورده گذاشت. همچنین استفاده از سیلان موجب بهبود خواص فرآورده مرکب گردید.

**واژه‌های کلیدی:** فرآورده مرکب الیاف چوب - پلی استر، سیلان، عامل جفت کننده، عامل تقویت کننده، آزمون‌های مکانیکی

۱- استادیار دانشجو، مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- Coupling agent

۳- کارشناس ارشد صنایع چوب و کاغذ

۴- Reinforcer

## مقدمه

فرآورده‌های مرکب<sup>(۱)</sup> موادی هستند که از اختلاط دو یا چند ماده تشکیل شده‌اند. اجزاء مذکور به گونه‌ای با یکدیگر تلفیق می‌شوند که خواص مفید هر یک از آنها در فرآورده مرکب حفظ شده باشد. به طور کلی فرآورده‌های مرکب شامل دوفاز می‌باشند: فاز زمینه<sup>(۲)</sup> و فاز تقویت کننده<sup>(۳)</sup> (امیرخیزی ۱۳۷۳). وظیفه فاز تقویت کننده تحمل تنش‌های مکانیکی وارده است و فاز زمینه تنش‌های وارده را از یک جزء تقویت کننده به جزء دیگر منتقل کرده و بدین ترتیب در تمام حجم فرآورده مرکب توزیع می‌نماید (درودیانی ۱۳۷۳).

تعریف فوق طیف وسیعی از مواد مرکب را در برمی‌گیرد، از آن جمله می‌توان به پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف، موادمعدنی (سیمان) تقویت شده با الیاف، فلزهای تقویت شده با الیاف، بتون پیش تنیده و آلیاژهای فلزی اشاره کرد. اما آنچه که در این تحقیق بیشتر مدنظر بوده است پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف می‌باشد. خواص پلاستیک‌های تقویت شده به عواملی مثل: نوع پلاستیک، نوع الیاف تقویت کننده، نحوه آرایش و جهت‌گیری الیاف در فاز پلیمری و همچنین چگونگی اتصال بین الیاف و پلیمر بستگی دارد (هاشمی ۱۳۷۲). الیاف باید در جهتی قرار گیرند که احتمال وارد آمدن تنش بیشتری وجود دارد (محسنی شکیب ۱۳۷۳). کیفیت اتصال بین الیاف و پلیمر زمینه یکی از مهمترین عوامل موثر بر خواص پلاستیک‌های تقویت شده می‌باشد. در واقع هرچه چسبندگی و اتصال بین الیاف و پلیمر بیشتر باشد، خواص فرآورده مرکب بهبود بیشتری پیدا می‌کند. به همین لحاظ عموماً از یک‌سری عوامل جفت کننده به عنوان حد واسط و اتصال دهنده دوفاز الیاف و پلیمر استفاده می‌گردد. این گونه مواد به طور همزمان با هر دو فاز مذکور اتصالات شیمیایی برقرار کرده و بدین ترتیب به صورت یک پل رابط سبب چسبندگی دوفاز می‌گردند. امروزه برای تقویت پلاستیک‌ها از الیاف شیشه، کربن، آرامید و بور استفاده می‌شود. اغلب این مواد طی فرآیندهای پیچیده و با صرف هزینه زیاد تولید می‌گردند (درودیانی ۱۳۷۳).

طی دهه اخیر امکان استفاده از مواد لیگنوسلولزی مانند الیاف چوب، کنف، باگاس، نارگیل و سایر مواد با منشأ طبیعی

به عنوان تقویت کننده پلاستیک‌ها مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. از جمله فوائد این مواد می‌توان به قیمت ارزان، سهولت فرآورش، اثر سایشی کم بر روی تجهیزات فرآورش در مقایسه با الیاف مصنوعی، سهولت اصلاح سطوح الیاف با مواد جفت‌کننده، مقدار زیاد نسبت مقاومت به وزن، تجدید شونده‌گی و در دسترس بودن منابع آنها اشاره کرد (وودهامز<sup>(۴)</sup> و همکاران ۱۹۹۱).

بیشتر تحقیقاتی که تاکنون انجام یافته مربوط به استفاده از مواد لیگنوسلولزی به عنوان تقویت کننده یا پرکننده پلاستیک‌های گرمانرم<sup>(۵)</sup> به عنوان ماده زمینه بوده است. مثلاً پلی وینیل کلراید با آرد چوب صنوبر توسط کوکتا و راج<sup>(۶)</sup> (۱۹۸۹)، پلی اتیلن با جرم مخصوص متوسط با خمیر مکانیکی، آرد چوب و خمیر سلولز توسط دانولت<sup>(۷)</sup> و همکارانش (۱۹۹۰)، پلی پروپیل و پلی اتیلن با الیاف بازیافتی کاغذ روزنامه توسط وودهامز و همکارانش (۱۹۹۱) پلی استایرین با الیاف بازیافتی روزنامه توسط هان و سین<sup>(۸)</sup> (۱۹۹۲)، پلی اورتان با خمیر صنوبر توسط شلر<sup>(۹)</sup> و همکارانش (۱۹۹۳)، پلی پروپیلن با خاک اره چوب نوئل توسط پنگ و هوانگ<sup>(۱۰)</sup> (۱۹۹۴)، پلی اتیلن و الیاف چوب توسط ونگ جون و ونگ ژنگ<sup>(۱۱)</sup> (۱۹۹۵)، ضایعات لاستیک و چوب توسط لی وئون هی<sup>(۱۲)</sup> (۱۹۹۷) نمونه‌هایی از تحقیقات انجام شده در این زمینه است.

در حالی که در مورد پلاستیک‌های گرما سخت<sup>(۱۳)</sup> و بخصوص پلی استرهای غیر اشباع مطالعات بسیار کمی انجام یافته است. تنها تحقیق به عمل آمده در مورد پلی استرهای غیراشباع مربوط به یوشیوکا و شیرایشی<sup>(۱۴)</sup> (۱۹۹۴) از کشور ژاپن می‌باشد که در آن از آرد چوب به عنوان پرکننده

- |                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| ۱- Composites             | ۲- Matrix        |
| ۳- Reinforcer             | ۴- Woodhams      |
| ۵- Thermoplastic          | ۶- Kokta & Raj   |
| ۷- Daneault               | ۸- Hon & Sean    |
| ۹- Shaler                 | ۱۰- Peng & Huang |
| ۱۱- Wang Jun & Wang Zheng |                  |
| ۱۲- Lee Weonhee           | ۱۳- Thermoset    |
| ۱۴- Yoshioka & Shiraishi  |                  |

مش<sup>(۴)</sup> آسیاب گردید و در ظروف شیشه‌ای سربسته جمع‌آوری شد.

#### ۱-۲- آغشته‌سازی الیاف

الیاف بازیافت شده قبل از اختلاط با پلی استر، به وسیله ماده Polymethyl Hydrogen Siloxan (MERK) که یک نوع جفت کننده سیلانی می‌باشد پوشش داده شد. برای این کار، ابتدا ۱۱۰ گرم از الیاف پس از توزین در داخل یک بشر ۲۵۰۰ cc ریخته شد. سپس مقدار ۲ درصد وزن الیاف یعنی ۲/۲ گرم سیلان به الیاف افزوده شد. آنگاه مقدار ۱/۵ درصد وزن الیاف یعنی ۱/۶۵ گرم استنارات روی - به عنوان سرعت دهنده واکنش - به مخلوط الیاف و سیلان اضافه گردید. مخلوط حاصل سپس به خوبی هم زده شد و به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در داخل اتو قرار گرفت.

یادآور می‌شود که سیلان مورد استفاده در این تحقیق که به صورت مایع بود، در درجه حرارت بالا و با حضور استنارات روی به تدریج با الیاف اتصال شیمیایی برقرار نمود و بدین ترتیب سطوح الیاف را پوشش داد. ضمناً مقدار ۲۰ گرم از الیاف که به سیلان آغشته نشده بود کنار گذاشته شد تا پس از اختلاط با پلی استر برای تهیه نمونه شاهد فرآورده مرکب به کار رود.

#### ۱-۳- قالب‌گیری فرآورده مرکب

در این تحقیق، فرآورده‌های مرکب ابتدا به صورت ورقه‌هایی به ضخامت ۲ و ۵ میلی متر ساخته شد و سپس نمونه‌های آزمایشی با توجه به استانداردهای مربوط از طریق برش ورقه‌ها تهیه گردید.

برای تهیه ورقه از دو قالب فلزی از جنس آهن گالوانیزه به ابعاد ۲۰×۱۵×۲ و ۱۵×۱۰×۲ (طول × عرض × ضخامت) سانتی‌متر استفاده شد.

بناً منظور بررسی اثر غلظت الیاف و همچنین ماده جفت‌کننده برخواص مکانیکی فرآورده مرکب، در مجموع ۶ تیمار به شرح زیر تهیه شد:

استفاده شد. در این تحقیق، خواص مکانیکی فرآورده تولید شده مورد ارزیابی قرار گرفت و بهبود نسبی آن مشاهده شد (یوشیوکا و شیرایشی ۱۹۹۴). با توجه به سهولت تولید پلی‌استرهای تقویت شده و مقاومت‌های مکانیکی بالایی که این محصولات دارند، امروزه موارد مصرف زیادی در کارخانجات اتومبیل‌سازی و صنعت هوانوردی (محسنی شکیب ۱۳۷۳) و همچنین مخازن نگهداری تحت فشار و لوله‌های تا قطر ۵ متر (ودرهد<sup>(۱)</sup>، ۱۹۸۰)، ساخت قایق، لوازم بهداشتی، لوازم الکتریکی خانگی و انواع چمدان‌ها و عایق پشت بام پیدا کرده است (امیرخیزی ۱۳۷۳). با مصارف زیادی که این فرآورده مرکب دارد و تحقیقات بسیار اندکی که در مورد آن صورت گرفته، ضرورت این تحقیق و ادامه آن توجیه‌پذیر می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### ۱- ساخت فرآورده مرکب

در این تحقیق، برای ساخت فرآورده مرکب، رزین پلی استر غیراشباع به عنوان ماده زمینه و الیاف بازیافتی کاغذ روزنامه به عنوان ماده لیفی تقویت کننده مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین، نخست الیاف بازیافتی تهیه گردید، سپس عمل اختلاط پلی استر و الیاف و همچنین قالب‌گیری فرآورده مرکب انجام شد. در زیر به شرح هر یک از مراحل فوق پرداخته می‌شود:

#### ۱-۱- بازیافت الیاف

۱۵۰ گرم کاغذ روزنامه در ۱۰ لیتر آب به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور گردید. سپس به منظور جداسازی الیاف، کاغذ مذکور به همراه ۱ لیتر آب در دستگاه همزن آزمایشگاهی<sup>(۲)</sup> به مدت ۱ دقیقه هم زده شد. در این مرحله الیاف کاغذ روزنامه کاملاً از هم جدا شدند. با عبور الیاف غوطه‌ور در آب از صافی‌های مخصوص، عمل آب‌گیری از الیاف انجام گرفت. الیاف جمع شده بر روی صافی‌ها پس از انتقال به سینی‌های فلزی در داخل اتو قرار داده شد و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. الیاف خشک شده به وسیله آسیاب آزمایشگاهی و به کمک الک الکتریکی<sup>(۳)</sup> به ابعاد ۱۰

۱- Weatherhead

۲- Blender

۳- Shaker

۴- Mesh

گردیده بود و از طریق اعمال فشار بر سطح فرآورده، ماده خمیری به صورت یکنواخت در داخل قالب پخش گردید و در اثر ادامه فشار، ضخامت آن به ۳ میلیمتر در قالب های مربوط به کشش و خمش و ۵ میلیمتر در قالب ضربه رسانده شد. پس از گذشت زمانی حدود ۱ ساعت فرآیند پخت فرآورده مرکب موجود در قالب کامل گردید.

۶- فرآورده مرکب پس از سخت شدن کامل و بعد از برداشتن صفحه پرس و بازکردن قالبها، به صورت ورقه‌هایی درآمد. یادآور می‌شود که فرآیند پخت فرآورده مرکب در دمای اتاق و بدون استفاده از حرارت خارجی صورت گرفت.

با توجه به تعداد آزمون‌های مکانیکی و همچنین تعداد تیمارها، در مجموع ۱۲ ورقه فرآورده مرکب تولید گردید که از این ۱۲ ورقه، ۶ ورقه به ابعاد  $20 \times 15 \times 0.3$  سانتی‌متر متعلق به شش تیمار آزمون‌های کشش و خمش بود و ۶ ورقه دیگر به ابعاد  $15 \times 10 \times 0.5$  سانتی‌متر به شش تیمار آزمون ضربه تعلق داشت.

## ۲- آزمون‌های خواص مکانیکی (۱)

### ۲-۱- آزمون کشش

آزمون مقاومت کششی با استفاده از آئین نامه D6۳۸ استاندارد ASTM انجام گرفت (هاشمی ۱۳۷۲). با توجه به مشکلاتی که برای تهیه نمونه‌های دمبلی شکل وجود داشت، نمونه‌ها به شکل مکعب مستطیل و به ابعاد اسمی  $7 \times 4 \times 1.3$  سانتی‌متر تهیه گردید. برای هر تیمار ۵ نمونه آزمایشی در نظر گرفته شد و با توجه به تعداد کل تیمارها در مجموع ۳۰ نمونه برای آزمون کشش آماده گردید. قبل از انجام آزمایش، ابعاد واقعی نمونه‌ها به وسیله کولیس با دقت  $0.02$  میلی‌متر اندازه گیری شد.

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی و مدول الاستیسیته

۱- یادآور می‌شود که در برخی آزمایش‌ها، به دلیل مشکلات و محدودیت‌های موجود، رعایت صددراستنداردها از نظر شکل و اندازه نمونه‌های آزمون امکان‌پذیر نبود. بنابراین، داده‌ها می‌تواند مبنای مقایسه برای چنین فرآورده مرکب باشد و نمی‌بایست با سایر فرآورده‌ها مقایسه شود.

-رزین پلی استر بدون الیاف به عنوان شاهد،

۱- فرآورده مرکب حاوی ۵ درصد وزنی الیاف سیلان دار،  
- فرآورده مرکب حاوی ۱۰ درصد وزنی الیاف سیلان دار،  
- فرآورده مرکب حاوی ۱۰ درصد وزنی الیاف بدون سیلان،

- فرآورده مرکب حاوی ۱۵ درصد وزنی الیاف سیلان دار،  
- فرآورده مرکب حاوی ۲۰ درصد وزنی الیاف سیلان دار.  
با توجه به نوع تیمارهای فوق می‌توان دریافت که پنج تیمار برای بررسی اثر درصد الیاف و یک تیمار برای مطالعه اثر سیلان به عنوان ماده جفت کننده در نظر گرفته شد. در واقع با مقایسه خواص فرآورده‌های مرکب متعلق به دو تیمار ۱۰ درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان، تاثیر ماده جفت کننده برخواص مختلف فرآورده مرکب مشخص می‌گردد. به طور کلی برای تولید فرآورده‌های مرکب به ترتیب مراحل زیر انجام یافت:

۱- به مقدار لازم برای هر تیمار، پلی استر غیراشباع به صورت مایع در داخل ظرف فلزی که به منظور اختلاط اولیه مواد در نظر گرفته شده بود، ریخته شد.

۲- به میزان ۱ تا ۳ درصد وزن پلی استر، پراکسید به آن افزوده شد و به خوبی با پلی استر موجود در ظرف مخلوط گردید.

۳- با توجه به نوع تیمار و درصد الیاف آن، الیاف بازیافتی به تدریج به داخل پلی استر موجود در ظرف فلزی اضافه شد. به منظور توزیع یکنواخت الیاف، همزمان با افزودن آن به پلی استر، مخلوط به طور پیوسته به وسیله همزن آزمایشگاهی هم زده می‌شد.

۴- برای ایجاد واکنش پخت و سخت شدن پلی استر، با توجه به نوع تیمار، بین  $0.3$  تا  $0.7$  درصد وزن پلی استر ماده شتاب‌دهنده کبالت نفتنات اضافه گردید. عمل هم‌زدن تا رسیدن به ماده خمیری شکل ادامه پیدا کرد. ماده خمیری حاوی کبالت، قبل از سخت شدن به داخل قالب‌های فلزی که سطوح داخلی آن به پارافین مایع آغشته شده بود انتقال یافت.

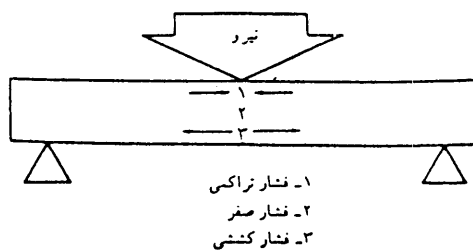
۵- پس از قرار گرفتن ماده خمیری در قالب‌های فلزی، به کمک نوعی پرس دستی مخصوص که به همین منظور تهیه

(تارنوپولسکی و کینسیز<sup>(۱)</sup> ۱۹۸۵).

آزمون مقاومت خمشی با الهام از آئین نامه DV۹۰ استاندارد ASTM انجام یافت (ASTM ۱۹۹۵). نمونه‌ها به شکل مکعب مستطیل و به ابعاد اسمی  $۱۲ \times ۴ \times ۰/۳$  سانتی‌متر تهیه شدند. برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی و مدول الاستیسته خمشی نمونه‌ها، از دستگاه آزمون خواص مکانیکی Instron مدل ۶۰۲۵ استفاده شد. فاصله دو تکیه گاه و یا در واقع طول دهانه پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. سرعت بارگذاری باتوجه به استاندارد مربوط  $۱/۳$  میلی متر در دقیقه تعیین گردید.

### ۲-۳- آزمون ضربه

برای اندازه‌گیری مقاومت به ضربه نمونه‌ها، از دستگاه آزمون ضربه دیجیتالی استفاده شد. دستگاه مذکور دارای چکشی با قابلیت حرکت پاندولی بود (شکل ۲) (ASTM ۱۹۹۵).

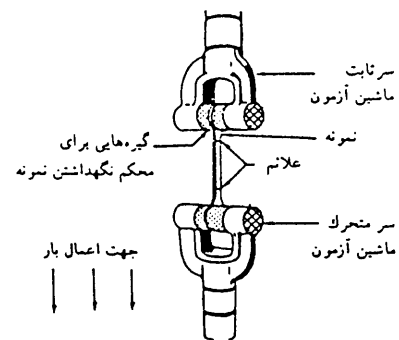


شکل ۲- آزمایش خمش استاتیکی

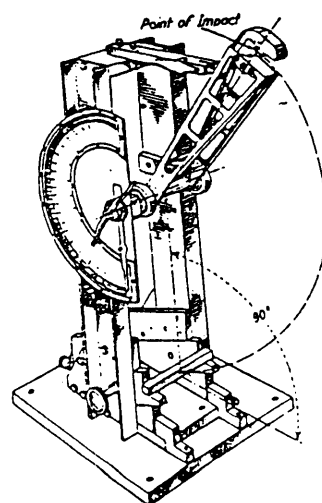
نمونه‌ها، از دستگاه آزمون خواص مکانیکی Instron مدل ۶۰۲۵ استفاده شد. دستگاه مذکور مطابق شکل ۱ دارای دو فک ثابت و متحرک می‌باشد. نمونه آزمایش کشش پس از قرارگرفتن در بین دو فک کاملاً در جای خود تثبیت گردید. فاصله بین دو فک دستگاه در هنگام نگهداشتن نمونه آزمایشی ۲۵ میلی متر بود. با اعمال نیروی کششی از دو طرف، نمونه تحت اثر تنش کششی قرار گرفت. اعمال نیرو تا مرحله شکست نمونه ادامه پیدا کرد.

### ۲-۲- آزمون خمش

هدف از انجام این آزمون ارزیابی و مقایسه مقاومت فرآورده‌های مرکب با تیمارهای مختلف نسبت به تنش خمشی می‌باشد. دلیل اهمیت آزمون خمش این است که در فرآیند خم کردن، نمونه به طور همزمان تحت تأثیر نیروهای کششی و فشاری قرار می‌گیرد (شکل ۲). بنابراین، این آزمون می‌تواند معیار خوبی برای سنجش استحکام فرآورده مرکب باشد



شکل ۱- دستگاه آزمون کشش



شکل ۲- دستگاه آزمون مقاومت به ضربه

دارد. بنابراین، این دو تیمار را از نظر نوع اثر می‌توان مشابه دانست و در یک گروه قرار داد. به همین ترتیب می‌توان سه تیمار ۰، ۵ و ۲۰ درصد الیاف را در یک گروه در نظر گرفت.

جدول ۳ نتیجه مقایسه میانگین تیمارهای حاوی ۱۰ درصد الیاف (سیلان دار و بدون سیلان) را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشخص می‌گردد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌های دو تیمار در سطوح ۱٪ و ۵٪ وجود ندارد. به عبارت دیگر، هر چند استفاده از سیلان سبب افزایش مقاومت کششی و در نتیجه مقدار تنش کششی می‌گردد ولی این تاثیر از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

#### مدول الاستیسیته کششی

در آزمون کششی هنگامی که نمونه‌ها تحت تنش کششی قرار می‌گیرند و در اثر این تنش شکسته می‌شوند، علاوه بر محاسبه تنش کششی نهایی، به طور همزمان مدول الاستیسیته نشان دهنده نسبت تنش به کرنش در هنگامی است که این دو دارای رابطه خطی باشند (امیرخیزی ۱۳۷۳). شکل ۵ مقادیر اندازه‌گیری شده برای مدول کششی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان می‌دهد که اختلاف میانگین‌های مدول کششی تیمارهای مختلف در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. به عبارت دیگر، با وجود افزایش نسبی مدول کششی در اثر زیاد شدن درصد الیاف در مقایسه با پلی استر خالص (تیمار صفر درصد)، از نظر آماری این مقدار تغییر معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین نتایج آزمون ۱ که در جدول ۵ آمده است نشان می‌دهد که بین دو تیمار ده درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان در دو سطح ۱٪ و ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. به عبارت دیگر، اثر سیلان - به عنوان ماده جفت کننده - بر مدول الاستیسیته کششی از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. هر چند که میانگین مدول کششی تیمار سیلان دار تا حدودی افزایش نشان می‌دهد.

#### آزمون خمش

شکل ۶ نتایج اندازه‌گیری تنش خمشی را نشان می‌دهد. همچنین تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان می‌دهد که اختلاف

#### محاسبات آماری

پس از انجام آزمون‌های خواص مکانیکی فرآورده‌های مرکب و استخراج نتایج، محاسبات آماری به صورت زیر انجام یافت (زالی و جعفری ۱۳۶۹):

الف برای هر یک از تیمارها در تمام آزمون‌ها مقادیر میانگین و انحراف معیار داده‌ها محاسبه گردید.

ب - برای تجزیه و تحلیل آماری آزمون‌های مکانیکی کشش، خمش و ضربه، از طرح کامل تصادفی استفاده شد. در هر آزمون، میانگین‌های پنج تیمار (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد) به منظور بررسی اثر درصد الیاف موجود در فرآورده مرکب بر خواص مکانیکی آن از طریق تشکیل جدول تجزیه واریانس و انجام آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

ج - به منظور بررسی اثر سیلان - به عنوان ماده جفت کننده - بر خواص فرآورده مرکب، تیمارهای ده درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان از طریق آزمون الاستیودنت<sup>(۱)</sup> مورد مقایسه قرار گرفتند.

#### نتایج و بحث

##### آزمون کشش

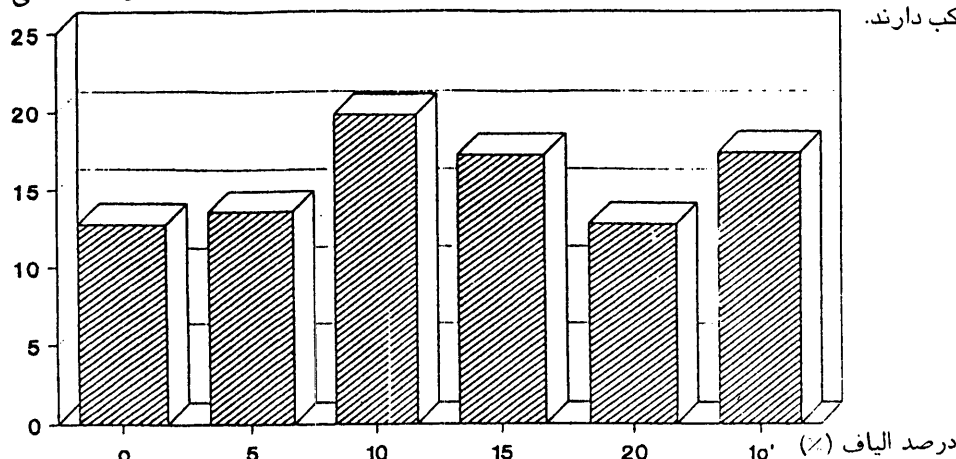
نتایج اندازه‌گیری تنش کششی نهایی شش تیمار مختلف فرآورده‌های مرکب در شکل ۴ آمده است. لازم به یادآوری است که در کلیه آزمون‌ها، تیمار ده درصد الیاف بدون سیلان با نماد (۱۰') و تیمار ده درصد الیاف سیلان دار با نماد (۱۰) مشخص شده‌اند.

با توجه به جدول ۱ می‌توان دریافت که اختلاف بین میانگین‌های تیمارهای مختلف در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. بنابراین از نظر آماری می‌توان گفت که به احتمال ۹۹٪ مقدار درصد الیاف موجود در فرآورده‌های مرکب بر میزان تنش کششی نهایی آن تاثیر دارد. با توجه به نتایج آزمون مقایسه‌ای دانکن که در جدول ۲ آمده است، می‌توان اثر الیاف بر تنش کششی را به دو گروه a و b تقسیم کرد. بدین معنی که وجود ۱۰ یا ۱۵ درصد الیاف (گروه a) در فرآورده مرکب از نظر آماری تقریباً اثر مشابهی را بر تنش کششی فرآورده

با توجه به نتایج جدول ۸ مشخص می‌گردد که بین میانگین‌های دو تیمار ده درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. یعنی تاثیر سیلان بر مقدار تنش خمشی نهایی از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. بنابراین استفاده از سیلان به عنوان ماده جفت‌کننده سبب افزایش قابل ملاحظه مقاومت خمشی فرآورده مرکب می‌گردد.

میانگین‌های تیمارها در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. یعنی مقدار درصد الیاف در فرآورده مرکب از نظر آماری برمیزان تنش خمشی نهایی آن موثر است. با توجه به نتایج آزمون مقایسه‌ای دانکن که در جدول ۷ آمده است، می‌توان گفت تیمارهای مختلف به دو گروه a و b قابل دسته‌بندی هستند. به عبارت دیگر می‌توان گفت که از نظر آماری به احتمال ۹۵ درصد تیمارهایی که در یک گروه هستند اثر مشابهی بر تنش خمشی فرآورده مرکب دارند.

مقاومت کششی (Mpa)



شکل ۴- نمودار تغییرات تنش کششی نهایی برحسب درصد الیاف

جدول ۱- تجزیه واریانس تنش کششی نهایی

F	میانگین مربعات M.S	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی DF	منبع تغییرات S.O.V
۱۱/۷۶۵۳***	۴۹/۶۴۹۹	۱۹۸/۵۹۹۶	۴	درصد الیاف
—	۴/۲۲۰۰	۸۴/۴۰۱	۲۰	خطا (Error)
—	—	۲۸۳/۰۰۰۶	۲۴	کل (Total)

\*\*\* در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد.

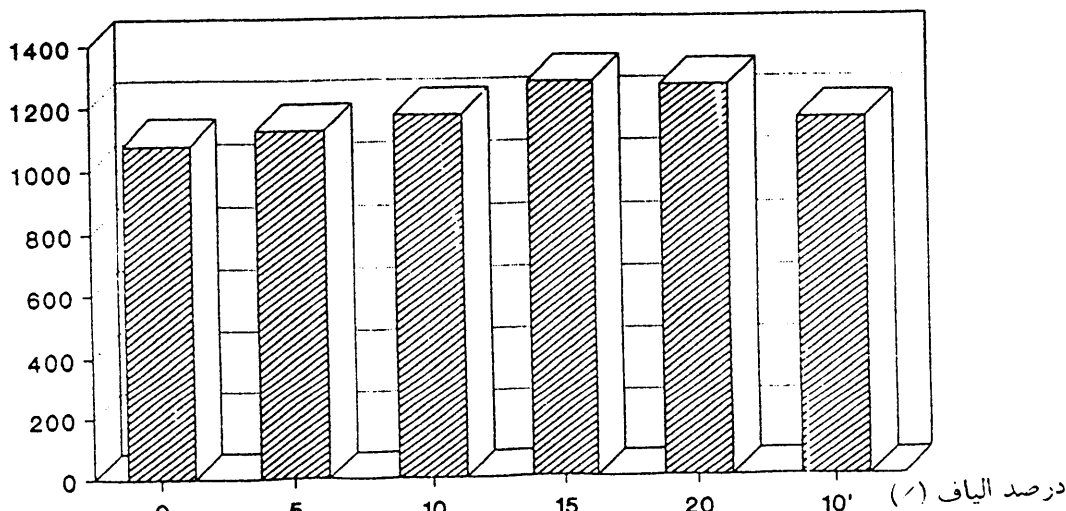
جدول ۲- مقایسه میانگین‌های تنش کششی نهایی

مقایسه دانکن ٪۵	میانگین (MPa)	درصد الیاف
b	۱۲/۷۹	۰
b	۱۲/۶۰	۵
a	۱۹/۸۲	۱۰
a	۱۷/۲۴	۱۵
b	۱۲/۷۸	۲۰

جدول ۳- مقایسه میانگین تنش کششی نهایی در تیمار ده درصد الیاف به روش آزمون ۱

نوع تیمار	میانگین $\bar{X}$ (MPa)	انحراف معیار ox	ضریب تغییرات %CV	آزمون t
ده درصد سیلان دار (۱۰)	۱۹/۸۲	۳/۲۶	۱۶/۴۵	$t(4 و 0.01) = 4/604$
ده درصد بدون سیلان (۱۰)	۱۷/۳۹	۱/۴۶	۸/۴۰	$t(4 و 0.05) = 2/776$ $t = 1/4$

مدول کششی (Mpa)



شکل ۵- تغییرات مدول الاستیسیته کششی برحسب درصد الیاف

جدول ۴- تجزیه واریانس مدول الاستیسیته کششی

F	میانگین مربعات M.S	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی DF	منبع تغییرات S.O.V
۰/۷۵۸ <sup>N.S</sup>	۳۶۱۳۴/۹۰	۱۴۴۵۳۹/۶۰	۴	درصد الیاف
—	۴۷۶۳۸/۹۸	۹۵۲۸۸۹/۶۷	۲۰	خطا (Error)
—	—	۱۰۹۷۴۲۹/۲۷	۲۴	کل (Total)

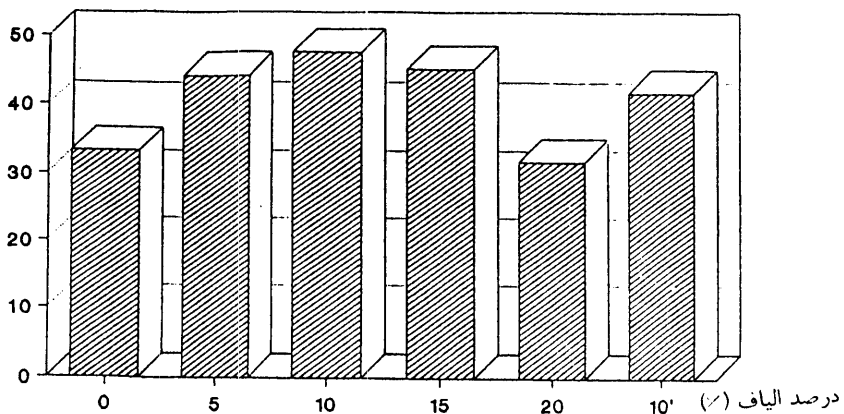
N.S در سطح ۵٪ معنی دار نمی باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین مدول کششی در تیمار ده درصد الیاف به روش آزمون ۱

نوع تیمار	میانگین $\bar{X}$ (MPa)	انحراف معیار ox	ضریب تغییرات %CV	آزمون t
ده درصد سیلان دار (۱۰)	۱۱۷۱	۹۹/۰۵	۸/۴۶	$t(4 و 0.01) = 4/604$
ده درصد بدون سیلان (۱۰)	۱۱۵۳	۳۱۳/۴۳	۲۷/۱۸	$t(4 و 0.05) = 2/776$ $t = 0/159$



مقاومت خمشی (Mpa)



شکل ۶- نمودار تغییرات تنش خمشی نهایی برحسب درصد الیاف

جدول ۶- تجزیه واریانس تنش خمشی نهایی

F	میانگین مربعات M.S	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی DF	منبع تغییرات S.O.V
۰/۷۵۸ <sup>**</sup>	۲۶۶/۴۵	۱۰۶۵/۸۱	۴	درصد الیاف
—	۱۸/۸۶	۲۷۷/۲۵	۲۰	خطا (Error)
—	—	۱۳۴۳/۰۶	۲۴	کل (Total)

\*\* در سطح ۱٪ معنی دار می باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین های تنش خمشی نهایی

مقایسه دانکن ٪۵	میانگین (MPa)	درصد الیاف
b	۳۳/۳۶	۰
a	۴۴/۲۷	۵
a	۴۷/۶۴	۱۰
a	۴۵/۲۶	۱۵
b	۳۱/۸۸	۲۰

جدول ۸- مقایسه میانگین تنش خمشی نهایی دو تیمار ده درصد الیاف به روش آزمون ۱

آزمون ۱	ضریب تغییرات %CV	انحراف معیار ox	میانگین $\bar{X}$ (MPa)	نوع تیمار
$t(4 و 0.01) = 4/604$	۱۰/۶۰	۵/۰۵	۴۷/۶۴	ده درصد سیلان دار (۱۰)
$t(4 و 0.05) = 2/776$	۸۷/۹۲	۴/۱۵	۴/۷۴	ده درصد بدون سیلان (۱۰)
$1 = 4/402$				

## مدول الاستیسیته

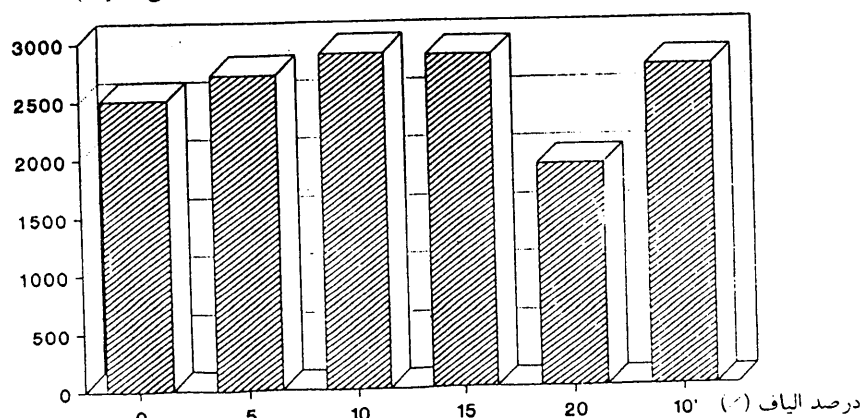
تیمار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند. هر چند استفاده از سیلان سبب افزایش مدول خمشی می گردد ولی این تغییر از نظر آماری معنی دار نیست.

## آزمون ضربه

شکل ۸ نتایج اندازه گیری مقاومت به ضربه را نشان می دهد. تجزیه واریانس (جدول ۱۱) نشان می دهد که اختلاف بین میانگین های مقاومت به ضربه در سطح ۵٪ معنی دار است. یعنی از نظر آماری می توان گفت که به احتمال ۹۵٪ تغییر درصد الیاف موجود در فرآورده مرکب سبب تغییر معنی دار مقاومت به ضربه آن میگردد. نتایج آزمون دانکن که در جدول ۱۲ آمده است نشان میدهد که به طور کلی تیمارهای مختلف را می توان از نظر اثر درصد الیاف بر مقاومت به ضربه به سه گروه a، b و c تقسیم کرد. تیمارهایی نظیر ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد الیاف به گونه ای بر مقاومت به ضربه تاثیر می گذارند که آنها را به طور همزمان می توان در ۲ یا ۳ گروه در نظر گرفت. ضمناً مقایسه بین میانگین های دو تیمار ده درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان در سطوح ۱٪ و ۵٪ معنی دار نبود.

شکل ۷ نتایج اندازه گیری مدول الاستیسیته خمشی را نشان می دهد. همچنین تجزیه واریانس (جدول ۹) نشان می دهد که اختلاف میانگین های مدول خمشی تیمارهای مختلف در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. یعنی درصد الیاف موجود در فرآورده مرکب به طور معنی داری بر روی مدول خمشی آن تاثیر می گذارد. وجود الیاف در فرآورده مرکب سبب بهبود قابل ملاحظه مدول الاستیسیته خمشی نسبت به حالت بدون الیاف (تیمار صفر درصد) می گردد. آزمون دانکن (جدول ۱۰)، مشخص می نماید که تیمارهای مختلف را از نظر میزان اثر درصد الیاف بر مدول الاستیسیته خمشی می توان به سه گروه a، b و c تقسیم کرد. تیمارهای موجود در هر گروه اثر مشابهی بر مدول خمشی فرآورده مرکب دارد. تیمار ۵ درصد الیاف خصوصیات هر دو گروه a و b را از نظر میزان اثر بر مدول الاستیسیته خمشی از خود نشان می دهد. نتیجه مقایسه بین تیمار ده درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان که از طریق آزمون t انجام گرفت نشان داد که میانگین های این دو نوع

مدول خمشی (Mpa)



شکل ۷- نمودار تغییرات مدول الاستیسیته خمشی بر حسب درصد الیاف

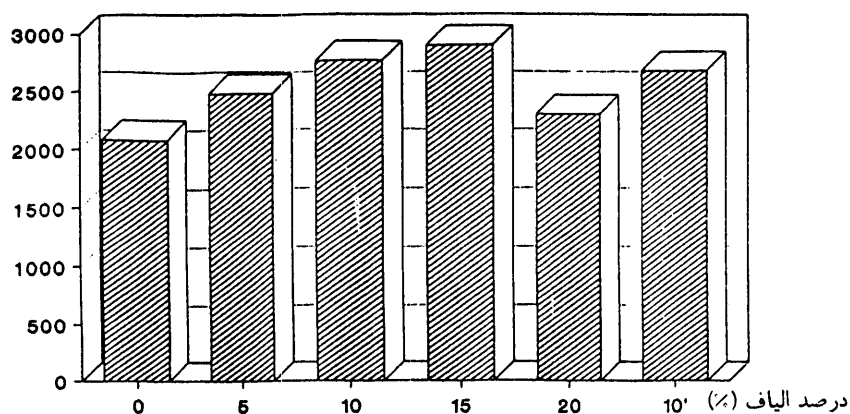
جدول ۹- تجزیه واریانس مدول الاستیسیته خمشی

F	میانگین مربعات M.S	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی DF	منبع تغییرات S.O.V
۱۹/۸۸ <sup>***</sup>	۸۱۲۷۶۵/۳	۳۲۵۱۰۶۱/۲	۴	درصد الیاف
—	۴۰۸۸۲/۴۴	۸۱۷۶۴۸/۸	۲۰	خطا (Error)
—	—	۴۰۶۸۷۱۰	۲۴	کل (Total)

\*\*\* در سطح ۱٪ معنی دار می باشد.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین‌های مدول الاستیسیته خمشی

مقایسه دانکن %۵	میانگین (MPa)	درصدالیاف
b	۲۵۰۱	۰
ab	۲۷۱۶	۵
a	۲۸۹۱/۲	۱۰
a	۲۸۶۶/۲	۱۵
c	۱۹۱۱/۶	۲۰

مقاومت به ضربه ( $J/M^2$ )

شکل ۸- نمودار تغییرات مقاومت به ضربه برحسب درصد الیاف

جدول ۱۱- تجزیه واریانس مقاومت به ضربه

F	میانگین مربعات M.S	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی DF	منبع تغییرات S.O.V
۳/۶۲***	۵۵۳۰۲۴/۱۱۵	۲۲۱۲۱۷۶/۴۶	۴	درصد الیاف
—	۱۵۲۶۴۵/۹۶۸	۳۰۵۲۹۱۹/۳۶	۲۰	خطا (Error)
—	—	۵۲۶۵۰۹۵/۸۲	۲۴	کل (Total)

\* در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین‌های مقاومت به ضربه

مقایسه دانکن %۵	میانگین (MPa)	درصدالیاف
c	۲۰۸۴/۷۴	۰
abc	۲۴۷۸/۵۲	۵
ab	۲۷۶۲/۷۵	۱۰
a	۲۸۹۸/۱۶	۱۵
bc	۲۲۹۴/۴۹	۲۰

## نتیجه‌گیری

متعلق به تیمار ۱۰ درصد الیاف آغشته به سیلان بود.  
 (۳) تیمار حاوی ۱۵ درصد الیاف آغشته به سیلان حداکثر مقاومت به ضربه را از خود نشان داد.

(۱) به طور کلی مقاومت‌های مکانیکی پلی استر تقویت شده با الیاف بازیافتی کاغذ روزنامه نسبت به پلی استر تقویت نشده به طور موثری بهبود یافت. کمترین مقدار مقاومت‌ها مربوط به تیمارهای صفر و ۲۰ درصد الیاف بود. پایین بودن مقاومت تیمار ۲۰ درصد ممکن است به دلیل غلظت بالای الیاف و افزایش سطح تماس و در نتیجه عدم آغشتگی کامل به پلی استر و  $\delta^2$  برقراری اتصال سست بین الیاف و پلی استر باشد.  
 (۲) حداکثر مقاومت در برابر تنش‌های کششی و خمشی در بین تیمارهای مختلف فرآورده مرکب الیاف چوب - پلی استر،

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به خاطر حمایت‌های مالی در انجام این تحقیق تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از پژوهشگاه پلیمر ایران بویژه آقای دکتر سیدعلی هاشمی به خاطر همکاری‌های ارزنده‌شان صمیمانه قدردانی به عمل می‌آید.

## منابع مورد استفاده

- ۱- امیرخیزی، محمدحسین، ۱۳۷۳. ترجمه، آمیزه کاری در صنایع پلیمری - دیک، جان، اس، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۱۱ صفحه.
- ۲- درودیانی، سعید، ۱۳۷۳. ترجمه، تکنولوژی و کاربرد مواد چندسازه - آندرسن، ای و ب، لوکس، مرکب نشر دانشگاهی، ۱۲۶ صفحه.
- ۳- زالی، عباسعلی و جمشید جعفری، ۱۳۶۹. ترجمه، مقدمه‌ای بر احتمالات و آمار - آدر، هنری و ادوارد راسلر، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۴ صفحه.
- ۴- محسنی، کیب، سیدمحسن، ۱۳۷۳. آنالیز و طراحی سازه‌های مرکب چندلایه. انتشارات دانشگاه امام حسین، ۳۳۴ صفحه.
- ۵- میرشکرایی، احمد، ۱۳۷۴. ترجمه، تکنولوژی خمیر و کاغذ، ج ۱ و ۲ - اسموک، گری، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۶۹۹ صفحه.
- ۶- هاشمی، سیدعلی، ۱۳۷۲. ترجمه، الیاف کربن و کامپوزیت‌های آن - فیتدر، اریک، انتشارات مرکز تحقیقات پلیمر ایران، ۲۵۷ صفحه.
- ۷- یآوری، عیسی و موسی قائمی، ۱۳۷۰. ترجمه، شیمی و تکنولوژی پلاستیک‌ها - درایور و والتر، مرکز نشر دانشگاهی، ۲۸۶ صفحه.
- 8- ASTM standards, 1995. Plastics (I): D256-D2343. Volume 08.01.
- 9- Daneault, C., R.G. Raj & G. Kokta, 1990. Use of wood fiber as a filler in polyethylene, studeies on mechanical properties. Plastics and Rubber processing and applicatons. Vol. 11, No.4, 43-48.
- 10- Hon, d. & T. Sean, 1992. Composites from newsprint fiber and polyolefin: their processability and propetries. Wood/plastic composites conference proceeding. 63-67. Madison, Wis, U.S.A
- 11- Lee, Weonhee, 1997. Studeis on wood based composite panel with waste tire properties of composite boards in relation to hot pressing conditions. Forest products abstracts, May 1998, 84-84.
- 12- Peng, W.T. & Huang Yansan , 94. Research and development of wood/plastic compositie materials (II) Dynamic Viscoelasticities of three types of wood fiber/PP

- composites, Spruce wood and particle board, Forest products abstracts, May 1996. 36-36.
- 13- Raj, R.G. & B.V. Kokta, 1989. Studeis on mechanical properties of polyvinyl chloride/wood fiber composites. Forest products absracts, Vol. 15, No.1, 91-91.
- 14- Shaler, M, d. Stokke, & G. Hatala, 1993. Evaluation of reaction injection molded polyurethane composites. Wood/plastic composites conference. Madison, Wis, U.S.A., 14-19
- 15- Tarnopolskii, Yu. M. & T. Kincis, 1985. Static test methods for composites. Published by Van Nostrand Reinhold company. New York. U.S.A., 285 PP.
- 16- Wang, Jion Jun. & Wang Zheng, 1995. Study of modified PE for wood fiber/plastic composite manufacuture. Forest products abstracts, Vol. 19, No. 2, 46-46.
- 17- Weatherhead, R.G. 1980. FRP Technology, Fiber Reinforced Resin Systems. Applied Science Publishers, LTD. London, 458 PP.
- 18- Woodhams, R.T., L. Shiang & J. Balatinecz, 1991. Internsive mixing of wood fiber with therm plastics for injection-molded composites. Wood/plastic composites conference proceeding, 75-78. Madison, Wis, U.S.A.
- 19- Yoshioka, M & N. Shiraishi, 1994. Composites of wood and unsaturated polyesters, Forest products abstracts, July 1994, 56-56.

---

## An Investigation of Manufacturing Wood Fiber/Polyester Composite Using Recycled Newspaper

by

A. Omidvar<sup>(1)</sup>

H. Sabetraftar<sup>(2)</sup>

### Abstract

This investigation was carried out to evaluate the possibility of utilization of recycled newspaper fibers as reinforcer in unsaturated polyester to be used in the making of Wood Fiber/Polyester Composite (WFPC). The objectives of the study were: to compare reinforced with unreinforced polyester; to study the effect of Silan as a coupling agent, and percent by weight of fibers, as reinforcer, on the Properties of WFPC.

Six treatments were employed, one of which was pure polyester and among the rest, four contained 5, 10, 15 and 20 percent Silan - coated fibers while the last one carried 10 percent uncoated fiber. All treatments were carried out using only chemical processes and moulding methods without application of any external heat. The results of mechanical tests revealed improvement of polyester properties when reinforced by recycled newspaper fibers. Positive effect of Silan on WFPC became evident too.

**Keywords:** Wood fiber/polyester composite , Silan , Coupling agent , Reinforcer, Treatment , Mechanical tests

---

*1- Assistant Professor, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gorgan*

*2- Senior expert of Wood and Paper Industries*