

## بررسی و ارزیابی رفتار کششی و جذب آب چند سازه‌های چوب / اپوکسی و چوب / پلی‌استر

امیرسپهیل پیرایش فر<sup>۱</sup>، محمدمهدی جلیلی<sup>۱\*</sup> و سید یحیی موسوی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ساختمان فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر

### چکیده

در این پژوهش، دو نوع رزین اپوکسی با غلظت (ویسکوزیته) بالا و پایین و یک نوع رزین پلی‌استر غیر اشباع گزینش شد و برای تولید نمونه‌های رزین خالص و همچنین چندسازه مورد استفاده قرار گرفتند. در این بررسی ویژگی‌های کششی، جذب آب و میزان شدت تخریب نمونه‌ها در آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که اضافه کردن پودر چوب به رزین‌های یاد شده تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر ویژگی‌های کششی و جذب آب آنها دارد. آزمون کشش نشان داد که اگرچه مدول رزین پلی‌استر خالص تا حدودی پایین‌تر از رزین اپوکسی با غلظت کم بود، ولی به هر حال پس از اضافه شدن پودر چوب، ویژگی‌های کششی چندسازه پلی‌استر در مقایسه با چندسازه اپوکسی با غلظت کم بهینه‌تر گزارش شد. بررسی میزان جذب آب نشان داد که رزین پلی‌استر خالص و چندسازه ساخته شده از آن کمترین میزان جذب آب را در مقایسه با نمونه‌های همانند رزین اپوکسی دارند، به علاوه میزان تخریب نمونه پلی‌استر خالص و چندسازه‌های ساخته شده از آن در مقایسه با نمونه‌های همانند از رزین اپوکسی پایین‌تر بود، به طوری که پس از گذشت ۵۰ روز غوطه‌وری در آب، کمترین میزان مواد استخراجی از چندسازه‌های پلی‌استری به درون آب وارد شده بود.

**واژه‌های کلیدی:** رزین اپوکسی، رزین پلی‌استر غیر اشباع، چندسازه، ویژگی‌های کشش، جذب آب

## مقدمه

امروزه چوب در کاربردهای بسیاری مانند ساخت انواع کابینت، در و پنجره، انواع کمد، آلات موسیقی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاید بتوان مهم‌ترین دلایل این استفاده‌ها را قیمت پایین و در دسترس بودن همیشگی در کنار زیبایی و جلوه خاص آن برشمرد. با این حال استفاده از چوب معایبی نیز به دنبال دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به حساسیت بسیار بالای قطعه‌های چوبی به رطوبت و همچنین مقاومت پایین آنها در برابر ضربه و تنش‌های مکانیکی اشاره کرد. به علاوه فرآیند ساخت قطعه‌های چوبی بسیار زمان‌بر و دشوار می‌باشد. موارد یاد شده بالا سبب توجه بیشتر دانشمندان به تولید چندسازه‌هایی که در آنها ذرات پودری چوب در بین ماتریس پلیمری قرار گرفته اند، شد به طوری که با کاربرد این چندسازه‌ها بتوان ضمن بهره‌گیری از برتری‌های چوب عیب‌های آن را برطرف نمود [۲۱].

برای تولید این چندسازه‌ها از رزین‌های پلیمری و ذرات چوب (در اندازه‌های مختلف) به‌عنوان تقویت‌کننده پلیمرها استفاده می‌شود، به طوری که ذرات چوب توسط پلیمر در بر گرفته می‌شوند. پلیمرهای اصلی که برای ساختن چندسازه‌های چوب‌پلیمر مورد استفاده قرار می‌گیرند به طور معمول پلیمرهای گرمانرم مانند پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن (که هم در حلال حل می‌شوند و هم می‌توان آنها را بارها و بارها ذوب نمود)، می‌باشند که علت گسترش آن کاربرد فرآیندپذیری آسان و قیمت مناسب رزین‌های گرمانرم است [۳، ۴، ۵، ۶، ۷]. از این رو در بررسی‌های گسترده‌ای ویژگی‌های مختلف چندسازه‌های چوب‌پلیمر ساخته شده با رزین‌های گرمانرم بررسی شده است [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲].

اگرچه کاربرد رزین‌های گرمانرم در سال‌های گذشته رشد بسیار بالایی داشته است، با این حال باید توجه داشت که رزین‌های گرمانرم پلیمرهای غیر قطبی می‌باشند. به همین دلیل در حالت عادی سازگاری مناسبی در بین رزین‌های گرمانرم با ساختاری غیر قطبی و چوب که دارای گروه‌های قطبی هیدروکسیلی است، وجود ندارد.

تلاش‌ها برای رفع این نارسایی به طور معمول به اضافه کردن عامل‌های سازگار کننده بر روی ماتریس پلیمری و یا انجام عملیات سطحی مختلف بر روی تقویت‌کننده (چوب) منجر شده است [۱۳، ۱۴، ۱۵].

از دیگر عیب‌های کاربرد رزین‌های گرمانرم که آن نیز از خنثی و غیر قطبی بودن آنها منجر می‌شود نارسایی‌هایی است که در زمینه رنگ‌آمیزی آنها وجود دارد، به طوری که به طور معمول رنگ‌آمیزی یکنواخت آنها سختی‌های بسیار زیادی برای تولیدکنندگان به همراه دارد، اگرچه چندسازه‌های ساخته شده با رزین‌های گرمانرم با استفاده از انواع رنگدانه‌ها در هنگام ساخت رنگ‌آمیزی می‌شوند ولی به هر حال یکنواختی و کیفیت رنگ‌آمیزی آنها نسبت به چندسازه‌های ساخته شده با رزین‌های گرماسخت که به طور معمول قطبی و غیر خنثی می‌باشند، پایین‌تر است [۱۶ و ۱۷].

در این میان بسیاری از تحقیقات تایید کرده است که با کاربرد رزین‌های گرماسخت به جای پلیمرهای گرمانرم می‌توان بسیاری از نارسایی‌های بالا را برطرف نمود. در رزین‌های گرماسخت به طور معمول در یک واکنش شیمیایی موسوم به پخت ساختاری به کلی یکپارچه که به هیچ عنوان قابل ذوب و یا حل شدن نیست، تشکیل می‌شود. با توجه به اینکه کاربرد رزین‌های گرماسخت همیشه با انجام یک واکنش شیمیایی برای پخت همراه می‌باشد به همین دلیل در این رزین‌ها همیشه گروه‌های عاملی بسیاری که آماده انجام واکنش‌های شیمیایی می‌باشند، وجود دارد و همین گرایش بالا به انجام واکنش شیمیایی سبب می‌شود که با جایگزین نمودن آنها به جای رزین‌های گرمانرم بتوان بسیاری از نارسایی‌های یاد شده را مرتفع ساخت [۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱].

اگرچه در مورد کاربرد رزین‌های گرماسخت برای ساخت چندسازه‌های چوب‌پلیمر تحقیقاتی انجام شده است ولی در این زمینه کمبود منابع تحقیقاتی تا حدودی مشهود می‌باشد [۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱]. به همین دلیل در این پژوهش دو نوع رزین گرماسخت اپوکسی و پلی‌استر غیر اشباع گزینش شد و ویژگی‌های چندسازه‌های ساخته شده از

سفت کننده، در همه نمونه‌ها از درجه ضد کف BYK N066 به میزان ۱٪ وزنی کل فرمولاسیون استفاده شد. برای تولید چندسازه از پودر چوب درخت صنوبر مش ۳۰-۴۰ مورد استفاده قرار گرفت.

آنها و پودر چوب مثل ویژگی های مکانیکی و جذب آب مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مواد

دو نوع رزین اپوکسی که یکی با غلظت (ویسکوزیته) کم و دارای رقیق کننده فعال با نام تجاری Araldite GY257 (viscosity=500-600cps و EEW=182-192) تولید شده توسط کمپانی Huntsman (سوئیس) و دیگری رزین اپوکسی غلظت بالا Araldite 828 (viscosity=1000-1300cps و EEW=182-192) تولید شده توسط شرکت Shell (هلند) که هر دو به همراه سفت کننده سیکلوالیفاتیک آمین Aradure F205 (H<sup>+</sup>active=105) در نسبت‌های استوکیومتری پیشنهاد شده توسط شرکت (در مورد رزین غلظت کم ۵۰٪ رزین و ۵۰٪ هاردنر و در مورد رزین غلظت زیاد ۶۰٪ رزین و ۴۰٪ سفت کننده) پخت شده‌اند، تهیه شدند. همچنین رزین گرماسخت پلی‌استر غیراشباع اورتوفتالیک با نام تجاری بوش پل B-610 محلول در ۶۰٪ استایرن تولید شده توسط صنایع شیمیایی بوشهر (ایران)، به همراه متیل اتیل کتون پراکساید (MEKP) به عنوان آغازگر و به میزان ۱٪ مورد استفاده قرار گرفت. برای از بین بردن حباب‌های ایجاد شده در مرحله مخلوط کردن رزین و

### روش ساخت

در آغاز رزین گرماسخت با عامل های پخت ترکیب شد و مخلوط یاد شده برای ساخت نمونه‌های رزین خالص در درون قالب‌های تهیه شده در ابعاد (۳۰×۲×۲) سانتیمتر مکعب ریخته شد. در نمونه‌های دارای پودر چوب در آغاز پودر چوب با رزین مخلوط شده و آنگاه عامل های پخت به آن اضافه شدند (نسبت انتخاب شده به دلیل فرآیند دستی اختلاط ۵/۵۵٪ پودر چوب و ۴۴/۵٪ رزین و عامل های پخت می‌باشد) و در نهایت آمیخته بالا پس از مخلوط شدن در درون قالب‌های تهیه شده برای ساخت چندسازه چوب پلیمر ریخته شد. همه نمونه‌ها طی مدت ۲ روز در دمای محیط سخت شدند با این حال برای اطمینان از پخت شدن کامل، همه نمونه‌ها قبل از خارج شدن از قالب در اتوکلاو Astell مدل AMB 220N به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. فهرست نمونه‌های تهیه شده در این پژوهش، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- فهرست نمونه‌های بررسی شده در این پژوهش

| کد نمونه‌ها | چوب | پودر چوب (٪) | رزین اپوکسی    |                  |
|-------------|-----|--------------|----------------|------------------|
|             |     |              | گرانروی کم (٪) | گرانروی زیاد (٪) |
| Wood        | *   | --           | --             | --               |
| Elv P       | --  | --           | ۱۰۰            | --               |
| Elv W       | --  | ۵۵/۵         | ۴۴/۵           | --               |
| Ehv P       | --  | --           | ۱۰۰            | --               |
| Ehv W       | --  | ۵۵/۵         | ۴۴/۵           | --               |
| Ps P        | --  | --           | --             | ۱۰۰              |
| Ps W        | --  | ۵۵/۵         | --             | ۴۴/۵             |

## آزمون‌ها

### آزمون کشش

در آزمون کشش همه نمونه‌ها برابر استاندارد ASTM D638 به صورت دمبلی شکل با رعایت نمودن زاویه‌ها و اندازه‌های پیشنهاد شده توسط استاندارد بریده و در دستگاه کشش Elima (ساخت ایران) با شتاب ۱ میلی‌متر بر دقیقه کشیده شدند و نمودار تنش- کرنش نهایی آنها توسط دستگاه ترسیم شد. برای اطمینان از درستی نتایج، آزمایش‌ها برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد.

### جذب آب

برای تعیین این مشخصه، مکعب‌هایی در اندازه‌های (۲×۲×۲) سانتیمتر مکعب از همه نمونه‌ها بریده شد. در ادامه برای خشک شدن کامل، همه نمونه‌های بریده شده به مدت ۴۰ دقیقه در آون خشک و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند (علت‌گزینش این شرایط ایجاد نمودن محیطی برای خارج کردن رطوبت‌های سطحی جذب شده از محیط بود)، پس از سرد شدن کامل آون، نمونه‌ها بی‌درنگ از آون خارج و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شدند و سپس در آب مقطر قرار گرفتند. پس از آن در بارهای پرشمار و در زمان‌های معین وزن شدند. درصد جذب آب نمونه‌ها با استفاده از معادله ۱ تعیین شد.

$$M = [(M_t - M_0) / M_0] \times 100 \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله  $M_0$  وزن اولیه نمونه،  $M_t$  وزن نمونه پس از گذشت هر دوره غوطه‌وری و  $M$  درصد جذب آب نمونه پس از گذشت هر دوره زمانی می‌باشد.

### میکروسکوپ نوری

تجزیه میزان حباب‌های موجود در ساختار نمونه‌های رزین‌های خالص، با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل TK-C1380E ساخت Victor Company (Japan) با بزرگنمایی ۴۰ برابر انجام شد.

## طیف‌سنجی FT-IR

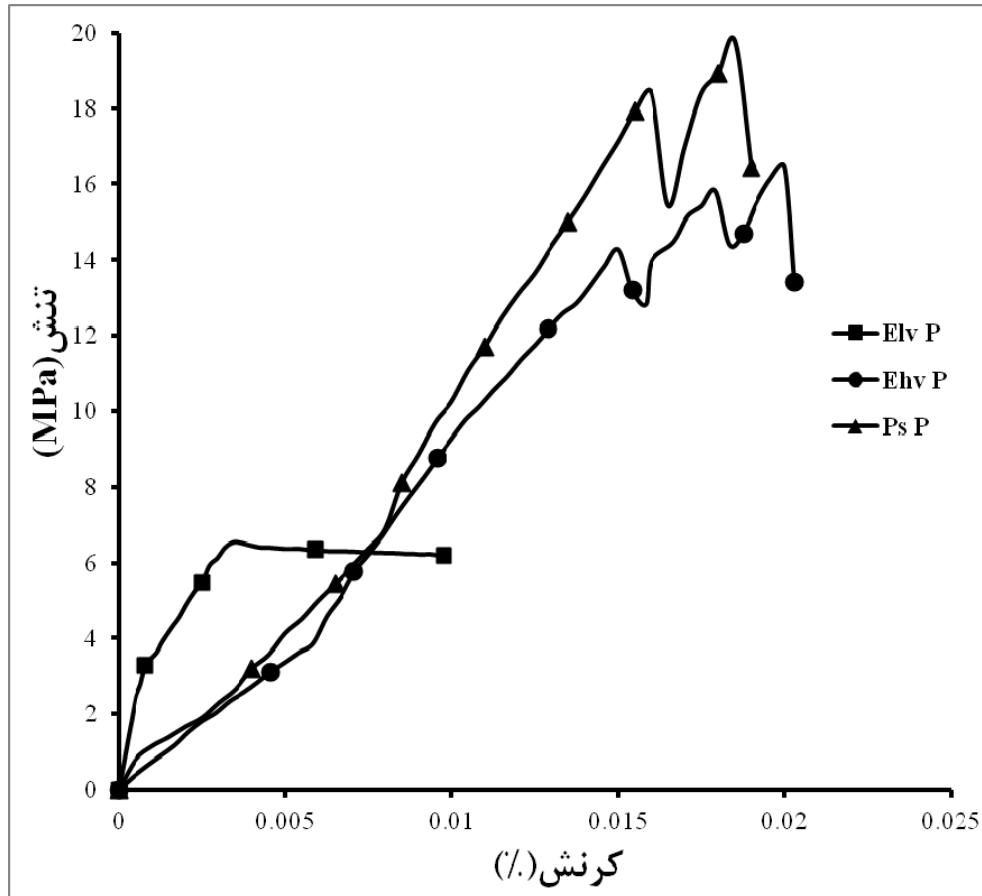
برای تجزیه مواد استخراج شده از نمونه‌ها به درون آب مقطر، از دستگاه FT-IR مدل NEXUS 870 استفاده شد، بدین منظور در انتهای دوره غوطه‌وری در آب مقطر، همه آبی که نمونه‌ها در آن غوطه‌ور بوده‌اند جدا شده و آنگاه با استفاده از اجاق (هیتر) مدل Heidolph MR 3001k آب مربوطه گرما داده شد، در نهایت پس از تبخیر بخش اصلی آب، چند قطره که بسیار غلیظ بود به جای ماند. میزان‌های به جای مانده بر روی قرص KBr تهیه شده ریخته شد، به منظور تبخیر باقی‌مانده آب، قرص تهیه شده با استفاده از سشوار تا خشک شدن کامل آن گرما داده شد. در نهایت از قرص یاد شده بالا طیف‌های انتقال FT-IR برای تعیین گروه‌های عاملی موجود در آن تهیه شد.

## نتایج و بحث

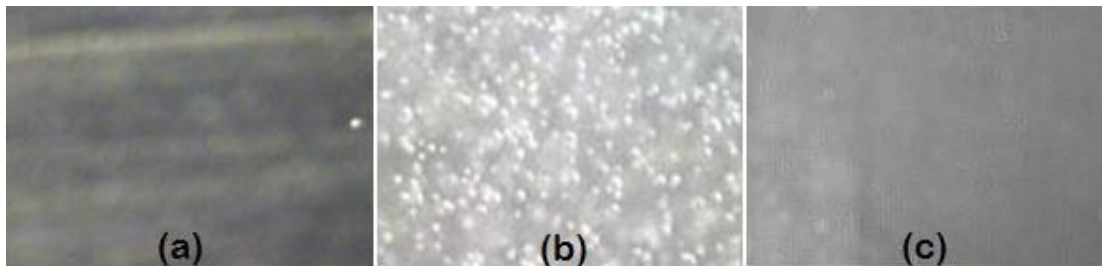
نتایج به دست آمده از آزمون کشش برای نمونه‌های ساخته شده با رزین خالص (Ehv P, Elv P, Ps P) در شکل ۱ نشان داده شده است. شاید در نگاه اول با توجه به وجود رقیق کننده در نمونه Elv P انتظار می‌رفت که مدول آن نسبت به مدول نمونه Ehv P پایین‌تر باشد، این در حالی است که چنانچه در شکل ۱ نیز می‌توان ملاحظه نمود میزان مدول نمونه Elv P بیشتر از نمونه Ehv P است. در توجیه علت این پدیده باید به غلظت پایین نمونه Elv P اشاره کرد به طوری که حباب‌هایی که در مرحله مخلوط کردن رزین و عامل‌های پخت به وجود آمده‌اند، به دلیل غلظت پایین رزین، آسان‌تر می‌توانند آن را ترک کنند، به علاوه غلظت پایین رزین به کار رفته برای ساخت نمونه Elv P سبب می‌شود مدت زمان بیشتری برای سخت شدن این نمونه نیاز باشد، بنابراین حباب‌های به وجود آمده زمان بیشتری برای ترک کردن رزین دارند. عامل‌های بالا سبب می‌شود تا نمونه‌هایی ساخته شده با رزین Elv P بسیار یکنواخت و خالی از حباب باشد، این در حالی است که در نمونه Ehv P مدت زمان پخت کمتر و همچنین غلظت بالاتر سبب می‌شود

در این میان به نظر می‌رسد که وجود حباب در درون نمونه Ehv P سبب کاهش مدول نهایی این نمونه در مقایسه با نمونه Elv P شده است [۲۲].

که در نمونه نهایی میزان قابل ملاحظه‌ای حباب وجود داشته باشد. میزان حباب موجود در نمونه‌های ساخته شده با رزین‌های خالص در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار تنش و کرنش به دست آمده از کشش نمونه های Ehv P, Elv P و Ps P



شکل ۲- عکس های گرفته شده با میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۴۰ برابر از a: Elv P, b: Ehv P و c: Ps P

داده شده است. چنانچه در شکل ۳ ملاحظه می شود نمونه Elv W ویژگی های مکانیکی بالاتری در مقایسه با نمونه Ehv W از خود نشان داده است که علت این پدیده را باید در برهمکنش های موجود در بین رزین و پودر چوب جستجو کرد. به طور کلی سازوکارهای ایجاد کننده چسبندگی بین رزین و پرکننده شامل موارد قفل شدن مکانیکی<sup>۳</sup>، نظریه (فرضیه) الکترونیک و الکتروستاتیک<sup>۴</sup>، نظریه جذب یا توانایی خیس کردن<sup>۵</sup>، نظریه نفوذ<sup>۶</sup>، نظریه ایجاد پیوند شیمیایی<sup>۷</sup> و نظریه تشکیل لایه های مرزی ضعیف و بین فازی<sup>۸</sup> می باشد [۲۶ و ۲۷]. توانایی بیشتر رزین اپوکسی با غلظت پایین در خیس کردن و نفوذ در چوب سبب می شود که با توجه به سازوکارهای یاد شده، سطح مشترک<sup>۹</sup> ایجاد شده در بین رزین و پودر چوب در نمونه Elv W نسبت به نمونه Ehv W بیشتر و قوی تر باشد. البته باید توجه داشت که این تنها علت ویژگی های مکانیکی بالاتر در نمونه Elv W نسبت به Ehv W نیست، بلکه وجود حباب های بیشتر در نمونه Ehv W به دلایلی که پیشتر اشاره شد نیز تاثیر به سزایی در اختلاف ویژگی ها در بین نمونه های Elv W و Ehv W دارد. میزان عددی مدول نمونه های Ehv W، Elv W و Ps P استخراج شده از شکل ۳ در جدول ۳ نشان داده شده است.

بررسی نتایج به دست آمده از آزمون کشش در نمونه پلی استری نشان می دهد که ویژگی های مکانیکی این نمونه از نمونه Ehv P بالاتر می باشد، که علت این پدیده چنانچه پیشتر نیز اشاره شد وجود شمار بسیاری حباب در درون نمونه Ehv P است. چنانچه در شکل ۱ می توان ملاحظه نمود مدول نمونه Ps P پایین تر از نمونه Elv P است. دقت در شکل ۲ نیز نشان می دهد که هر دو نمونه های Elv P و Ps P نمونه هایی یکنواخت و خالی از حباب می باشند. بنابراین علت ویژگی های متفاوت این دو رزین را باید در تفاوت های موجود در ساختار شیمیایی و سازوکارهای پلیمریزاسیون و پخت آنها جستجو کرد. سازوکار پلیمریزاسیون و پخت رزین پلی استر با سازوکار افزایشی<sup>۱</sup> و پلیمریزاسیون و پخت رزین اپوکسی توسط سازوکار مرحله ای<sup>۲</sup> صورت می گیرد. در پلیمریزاسیون مرحله ای، زنجیره های پلیمری بزرگ تر از برخورد زنجیره های کوچک تر تشکیل می شوند، به همین دلیل پس از مدتی منومرها و زنجیره های کوچک در سامانه کار به پایان می رسند. اما در پلیمریزاسیون افزایشی، تشکیل زنجیره های پلیمری بزرگ تر از اضافه شدن تک به تک منومرها به زنجیره های کوچک تر خواهد بود، بنابراین می توان انتظار داشت که همیشه در درون سامانه کار منومر و یا زنجیره هایی با جرم مولکولی پایین موجود باشد. از این رو، با توجه به اینکه پلیمریزاسیون و پخت رزین پلی استر با استفاده از سازوکار افزایشی صورت می گیرد بنابراین همیشه در ساختار شیمیایی رزین پلی استر میزانی منومر و یا زنجیره هایی با جرم مولکولی پایین موجود خواهند بود، همین منومرها و زنجیره های کوچک سبب می شود که ویژگی های مکانیکی رزین پلی استر در مقایسه با رزین اپوکسی، که پلیمریزاسیون و پخت آن با سازوکار مرحله ای صورت می گیرد، پایین تر باشد [۲۵، ۲۳]. میزان عددی مدول نمونه های Ehv P، Elv P و Ps P استخراج شده از شکل ۱ در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون های کشش به دست آمده برای چند سازه های (Ehv W، Elv W و Ps W) در شکل ۳ نشان

<sup>3</sup> Mechanical interlocking

<sup>4</sup> Electronic or electrostatic theory

<sup>5</sup> Adsorption (thermodynamic) or wetting theory

<sup>6</sup> Diffusion theory

<sup>7</sup> Chemical (covalent) bonding theory

<sup>8</sup> Theory of weak boundary layers and interphases

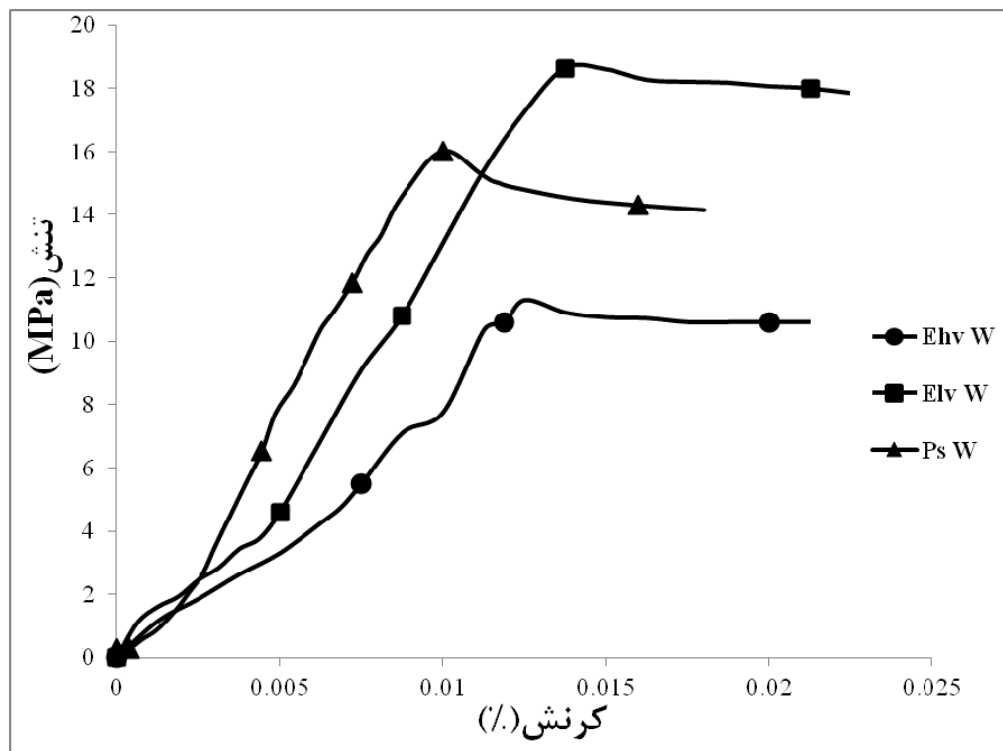
<sup>9</sup> Interface

<sup>1</sup> Additional Polymerization

<sup>2</sup> Condensation Polymerization

جدول ۲- میزان عددی مدول استخراج شده از نمودار تنش و کرنش نمونه‌های Ps P و Elv P .Ehv P

| Ps P | Elv P | Ehv P | مدول (GPa) |
|------|-------|-------|------------|
| ۱/۱  | ۱/۹   | ۰/۹   |            |



شکل ۳- نمودار تنش و کرنش به دست آمده از کشش نمونه‌های Ps W و Elv W .Ehv W

جدول ۳- میزان عددی مدول استخراج شده از نمودار تنش و کرنش نمونه‌های Ps W و Elv W .Ehv W

| Ps W | Elv W | Ehv W | مدول (GPa) |
|------|-------|-------|------------|
| ۱/۶  | ۱/۴   | ۰/۹۴  |            |

در برهمکنش‌های موجود بین رزین‌های مورد استفاده قرار گرفته (پلی‌استر و اپوکسی) و پودر چوب جستجو کرد. در این میان با توجه به اینکه سازوکار پخت و پلیمریزاسیون رزین پلی‌استر افزایشی می‌باشد به همین دلیل همیشه در درون رزین میزان زیادی منومر با جرم مولکولی کم موجود خواهد بود. باید توجه داشت که این

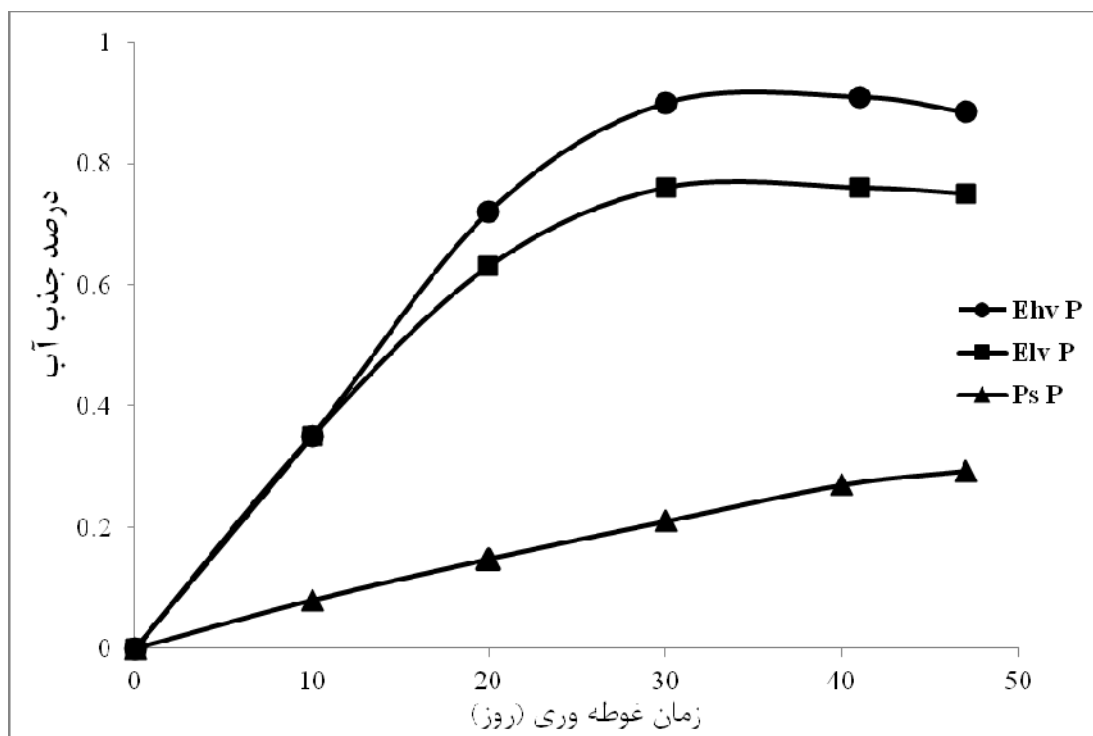
همان گونه که در جدول ۳ می‌توان دید مدول نمونه Ps W از مدول هر دو چندسازه ساخته شده با رزین‌های اپوکسی بالاتر می‌باشد. این در حالی است که چنانچه پیشتر نیز اشاره شد ویژگی‌های ذاتی رزین اپوکسی به دلیل سازوکار مرحله‌ای پلیمریزاسیون و پخت آن بالاتر از رزین پلی‌استر می‌باشد. بدون شک علت پدیده بالا را باید

چوب سبب می شود که ساختار نهایی چندسازه Ps W بسیار یکپارچه‌تر از چندسازه Elv W باشد و به همین دلیل ویژگی های مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده با رزین پلی استر غیر اشباع بالاتر از چندسازه‌های ساخته شده با رزین‌های اپوکسی خواهد بود.

### اندازه‌گیری میزان جذب آب

میزان جذب آب رزین‌های خالص مورد بررسی قرار گرفته در این پژوهش (Ehv P, Elv P و Ps P) در شکل ۴ نشان داده شده است

منومرها به دلیل کوچکی، خیلی آسان‌تر از زنجیره‌های پلیمری می‌توانند در درون خلل و فرج موجود در ساختار چوب نفوذ کنند. حال با توجه به اینکه واکنش شبکه‌ای شدن رزین پلی‌استر افزایشی می‌باشد منومرهایی که درون خلل و فرج چوب گرفتار شده‌اند به یکباره در واکنش شبکه‌ای شدن شرکت می‌کنند و سبب تشکیل جزئی از پلیمر که به شدت در ساختار چوب نفوذ کرده است، می‌شوند. این در حالی است که در رزین اپوکسی با سازگار پلیمریزاسیون و پخت مرحله‌ای، به دلیل نبود منومر و یا زنجیره‌هایی با جرم مولکولی پایین، امکان نفوذ و قفل شدن مکانیکی تا به این اندازه وجود ندارد. فصل- مشترک قوی‌تر ایجاد شده بین رزین پلی‌استر و پودر



شکل ۴- میزان جذب آب نمونه‌های Ehv P, Elv P و Ps P پس از ۴۷ روز قرارگیری در آب مقطر

گزارش شده برای رزین پلی‌استر می‌باشد. برای توجیه این پدیده باید به میزان های بسیار زیاد گروه عاملی هیدروکسیلی که در درون شبکه اپوکسی وجود دارد، اشاره نمود. به طوری که این گروه‌های هیدروکسیلی می‌توانند با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی ایجاد کرده و به همین دلیل سبب افزایش میزان جذب آب رزین اپوکسی

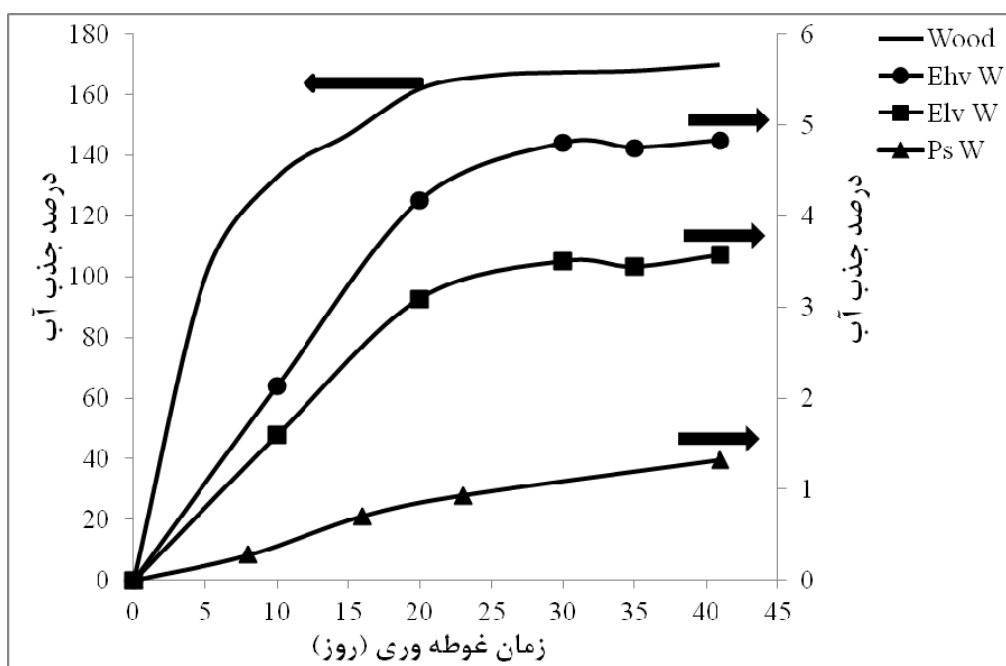
چنانچه در شکل ۴ می‌توان ملاحظه نمود کمترین میزان جذب آب متعلق به نمونه رزین پلی‌استر خالص می‌باشد به طوری که میزان جذب آب این نمونه پس از ۵۰ روز غوطه‌وری در آب بسیار ناچیز و در حدود ۰/۲ درصد می‌باشد. این در حالی است که میزان جذب آب در هر دو نوع رزین‌های اپوکسی گزینش شده بیشتر از میزان



کم خواهد شد)، نمودارهای جذب آب به دست آمده خلاف امر بالا را نشان می‌دهند که در توجیه این موضوع نیز باید به حباب‌های موجود در نمونه Ehv P اشاره نمود، به طوری که وجود این حباب‌ها سبب ایجاد محل‌هایی مناسب برای ورود آب به درون نمونه ساخته شده با رزین غلظت بالا شده است.

میزان جذب آب چندسازه‌های چوب پلیمر ساخته شده (Ehv W، Elv W و Ps W) به همراه یک نمونه شاهد چوبی در شکل ۵ نشان داده شده است.

نسبت به رزین پلی‌استر شوند. بررسی میزان جذب آب رزین‌های اپوکسی گزینش شده نشان می‌دهد که روند جذب آب هر دو نمونه Ehv P و Elv P، نزدیک به یکسان می‌باشد (شکل ۴). همچنین بر خلاف انتظار اولیه که به دلیل غلظت بالاتر رزین بکار رفته برای ساخت نمونه Ehv P انتظار می‌رفت که این رزین تراوایی کمتری در رویارویی با آب داشته باشد (زیرا در رزین غلظت کم برای کم کردن غلظت میزان‌های رقیق‌کننده به رزین اضافه شده که همین سبب افت ویژگی‌های نهایی رزین غلظت



شکل ۵- میزان جذب آب نمونه‌های Wood و Ps P، Elv W، Ehv W پس از ۴۲ روز قرارگیری در آب مقطر

به طور کلی سازوکارهای نفوذ آب به درون چندسازه‌ها شامل موارد زیر است [۲۸-۳۰]

- نفوذ مستقیم مولکول‌های آب در درون ماتریس و گاهی در درون تقویت‌کننده
- جریان موئینی مولکول‌های آب در فصل مشترک تقویت‌کننده و ماتریس
- نفوذ آب از راه ترک‌های بسیار ریز (میکروتراک‌ها)، خلل‌و فرج<sup>۱</sup> و نقاط شکست<sup>۲</sup> که در ماده وجود دارد.

چنانچه در شکل ۵ به روشنی می‌توان دید نمونه چوبی بیشترین میزان جذب آب را به خود اختصاص داده است همچنین شتاب جذب آب این نمونه در مقایسه با نمونه‌های چندسازه بسیار بالاتر می‌باشد. باید توجه داشت که میزان جذب آب همه نمونه‌های چندسازه حتی پس از ۴۰ روز قرارگیری در آب بسیار ناچیز و در محدوده ۱ الی ۵ درصد است که در مقایسه با میزان جذب آب چوب بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر می‌باشد (میزان جذب آب چوب در حدود ۱۷۰٪ است).

<sup>۱</sup> Void

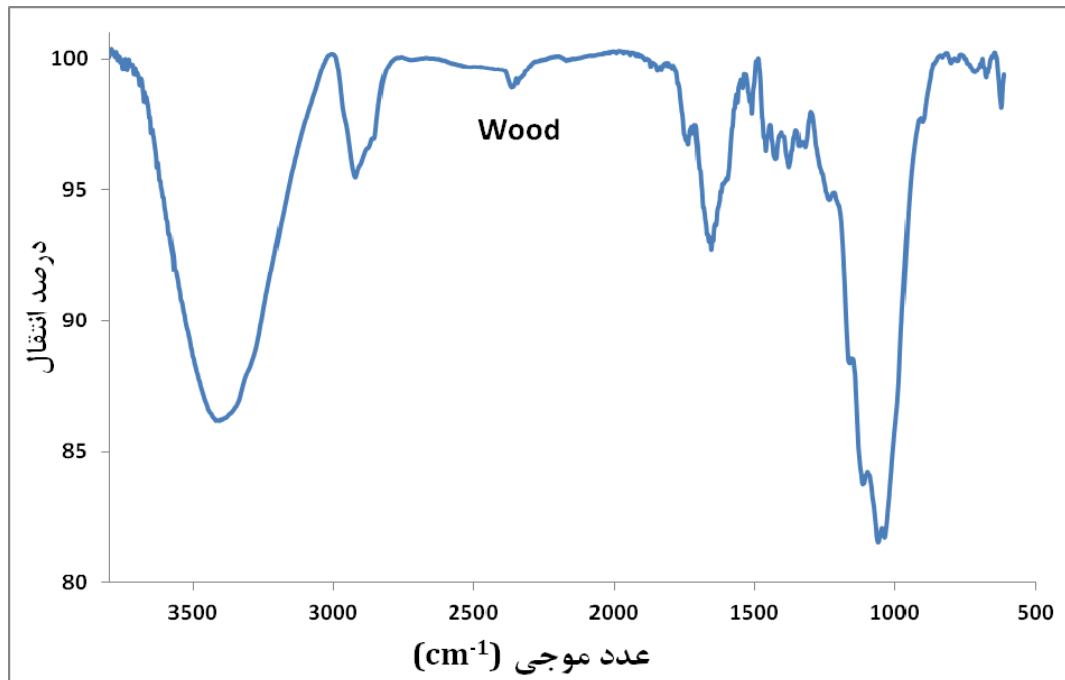
<sup>۲</sup> Defect point

شده است، میزان جذب آب نمونه  $E_{hv} W$  بیشتر از نمونه  $E_{lv} W$  می‌باشد، که برای توجیه این پدیده می‌توان دلایلی همانند با آنچه که پیشتر در مورد آزمون کشش بیان شد را تکرار کرد.

#### مقاومت در برابر آب

به منظور بررسی بیشتر و دقیق‌تر چگونگی و میزان تخریب نمونه‌های چندسازه‌ی ساخته شده، از آب‌هایی که نمونه‌های بالا در درون آنها قرار داشتند طیف FT-IR گرفته شد. لازم به یادآوری است که طیف‌سنجی FT-IR ابزاری مناسب برای بررسی نوع و میزان مواد انتقال یافته از چندسازه‌ها به درون آب می‌باشد [۳۱]. به منظور مقایسه دقیق‌تر، از آبی که نمونه چوبی در آن قرار داشت طیف FT-IR گرفته شد که طیف بالا در شکل ۶ نشان داده شده است.

چنانچه در شکل ۵ می‌توان دید، ساختار آبدوست چوب با درصد جذب آب بسیار بالا سبب شده است که میزان جذب آب کلیه چندسازه‌های چوب پلیمر ساخته شده در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده از رزین‌های خالص بالاتر باشند. همان گونه که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود میزان جذب آب چندسازه چوب پلیمر ساخته شده با رزین پلی-استر از چندسازه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی پایین‌تر می‌باشد که این موضوع را می‌توان به ویژگی‌های شیمیایی رزین پلی‌استر (که بر روی آن گروه‌های آبدوست وجود ندارد) و همچنین ویژگی‌های فیزیکی این رزین (که به دلیل غلظت پایین آن در درون چندسازه ساخته شده حبابی وجود ندارد) ارتباط داد. همچنین برهمکنش قوی در بین رزین پلی‌استر و پودر چوب، که پیشتر به آن اشاره شد، سبب ایجاد فصل مشترک قوی بین رزین و تقویت‌کننده شده است که این موضوع نیز امکان نفوذ آب به درون ساختار چندسازه را با جریان موئینگی کاهش می‌دهد. چنانچه در شکل ۵ نشان داده

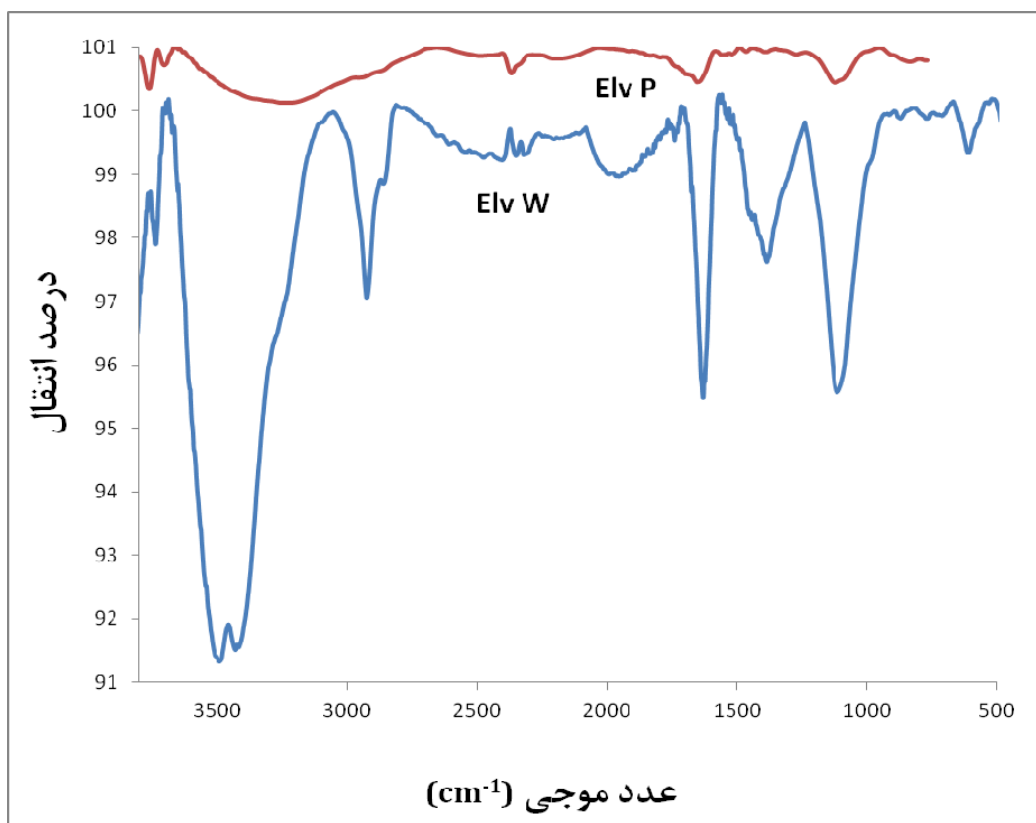


شکل ۶- طیف انتقال FT-IR به دست آمده از تجزیه آبی که نمونه چوب در آن غوطه‌ور بوده

همچنین با بررسی ساختار شیمیایی مواد می‌توان وجود گروه‌های کربوهیدراتی (سلولز و همی‌سلولز) و لیگنین را به تایید رسانید. این مهم پیشتر نیز توسط محققان دیگر ارائه شده بود [۳۲ و ۳۳].

نمودار به دست آمده از FT-IR آب‌هایی که نمونه‌های Elv P و Elv W در آن قرار داشتند، در شکل ۷ آورده شده است.

بررسی طیف به دست آمده از آبی که نمونه چوب درخت صنوبر در درون آن بوده است، نشان می‌دهد که در آب یاد شده میزان زیادی گروه عاملی O-H وجود دارد که نقطه اوج (پیک) مربوط به آن در محدوده 3300-3600  $\text{cm}^{-1}$  می‌باشد. همچنین گروه‌های عاملی C-H نیز در محدوده 2800-3000  $\text{cm}^{-1}$  و چندین نقطه اوج در محدوده بین 500  $\text{cm}^{-1}$  تا 1750  $\text{cm}^{-1}$  قابل دیدن هستند. با تحلیل پیوندهای که با طیف FT-IR شناسایی شدند و



شکل ۷- طیف انتقال FT-IR به دست آمده از تجزیه آب‌هایی که نمونه‌های Elv P و Elv W در آن‌ها غوطه‌ور بوده

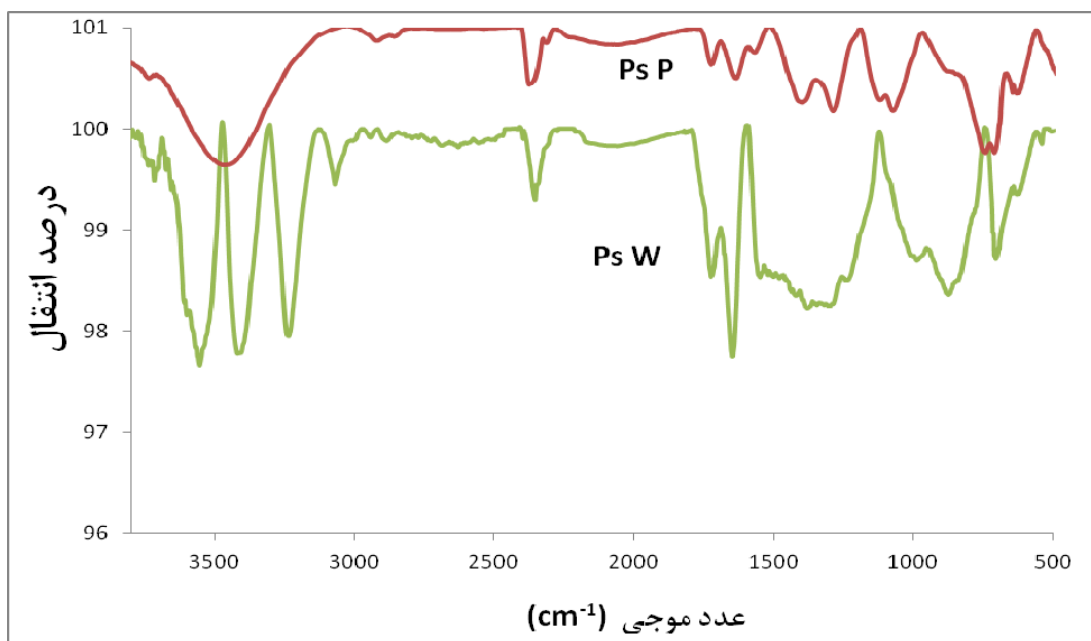
قرار گرفته است به درون آب وارد شده است. به علاوه نقطه اوج پهنی که در محدوده 3000-3600  $\text{cm}^{-1}$  وجود دارد نشان دهنده ارتعاش کششی پیوند O-H است، که احتمال دارد گروه عاملی بالا از گروه‌های اپوکسی واکنش نداده به درون آب وارد شده است.

بررسی طیف FT-IR آبی که نمونه Elv W در آن قرار داشته، گویای آن است که همه گروه‌های عاملی که در نمونه Elv P دیده شده است در آب به دست آمده از

چنانچه در طیف FT-IR به دست آمده از آبی که نمونه Elv P در آن قرار داشته، می‌توان دید نقطه اوجی کوچک در طول موج 1122  $\text{cm}^{-1}$  وجود دارد که بدون شک نشان دهنده گروه اتری که از گروه عاملی اپوکسی به درون آب آمده است، می‌باشد. نقطه اوج های موجود در محدوده 1560-1640  $\text{cm}^{-1}$  نیز نشان دهنده ارتعاش خمشی پیوند N-H است که عامل بالا به احتمال از سفت‌کننده آمینی که برای پخت اپوکسی مورد استفاده

طیف‌های FT-IR به دست آمده قابل دیدن است، به کلی تایید می‌کند که میزان مواد استخراج شده از نمونه Elv W بیشتر از نمونه Elv P می‌باشد که با توجه به وجود چوب در نمونه چندسازه و انحلال‌پذیری بالای ترکیبات سلولوزی چوب در آب بسیار منطقی به نظر می‌رسد. نمودار به دست آمده از FT-IR آب‌هایی که نمونه‌های Ps P و Ps W در آن قرار داشتند، در شکل ۸ آورده شده است.

نمونه Elv W نیز البته با شدتی بیشتر وجود دارد. افزایش شدت گروه‌های اتری C-O-C (در  $1122\text{cm}^{-1}$ ) و نیز افزایش ارتعاش کششی پیوند O-H (در  $3000-3500\text{cm}^{-1}$ ) بدون شک به خاطر استخراج ترکیبات سلولوزی و همی-سلولوزی از چوب به درون آب می‌باشد. به علاوه نقطه اوجی که در  $2925\text{cm}^{-1}$  وجود دارد به ارتعاش کششی پیوند C-H که بیشتر در چوب نیز دیده شده بود، برمی-گردد. دیدن شدت طیف‌های انتقال که در محور عمودی



شکل ۸- طیف انتقال FT-IR به دست آمده از تجزیه آب‌هایی که نمونه‌های Ps W و Ps P در آن غوطه‌ور بوده

که میزانی از منومرهای استایرن و همچنین شماری از ترکیبات هیدروکسیلی با جرم مولکولی کم به احتمال از Ps P به درون آب آمده‌اند.

در مورد نمونه Ps W استخراج ترکیبات سلولوز و همی سلولوزی که شامل گروه‌های هیدروکسیل و اتری می-باشند، سبب شده است که نقطه اوج‌های دیده شده برای نمونه Ps W دارای شدت بیشتری نسبت به Ps P باشند. به علاوه با مقایسه شکل‌های ۷ و ۸ می‌توان دریافت که میزان تخریب رزین پلی‌استر خالص و چندسازه‌های چوب پلیمر تولیدی از آن در آب به مراتب کمتر از تخریب نمونه‌های همانند ساخته شده با رزین اپوکسی است، زیرا شدت نقطه اوج‌های FT-IR در نمونه‌های اپوکسی تا

چنانچه در شکل ۸ ملاحظه می‌شود، در طیف به دست آمده برای نمونه Ps P دو نقطه اوج در ناحیه‌ای که ارتعاش کششی پیوند C-O در آن ناحیه وجود دارد ( $1100-1200\text{cm}^{-1}$ ) دیده می‌شود. همچنین دو نقطه اوج در محدوده  $1680-1740\text{cm}^{-1}$  ملاحظه می‌شود که نقطه اوج‌های بالا نشان دهنده ارتعاش کششی پیوند C=O می‌باشند. به علاوه یک نقطه اوج پهن در محدوده  $3500\text{cm}^{-1}$  که نشان دهنده ارتعاش کششی پیوند O-H و نقطه اوج‌هایی ضعیف در نزدیکی  $1547\text{cm}^{-1}$  و  $1650\text{cm}^{-1}$  که به پیوند C=C حلقوی (آروماتیک) و دوگانه (آلکنی) برمی‌گردند، به آسانی قابل ملاحظه می-باشد. با جمع بندی موارد بالا می‌توان نتیجه‌گیری کرد

مدول چندسازه ساخته شده با اپوکسی گزارش شد که علت این پدیده امکان نفوذ شدید منومرهای استایرن با جرم مولکولی کم در درون خلل و فرج موجود در چوب میباشد و با آغاز پلیمریزاسیون پخت، منومرهایی که به شدت در درون چوب نفوذ کرده‌اند نیز در واکنش پلیمریزاسیون افزایشی شرکت کرده و ساختاری از شبکه که در درون خلل و فرج چوب نفوذ کرده است را به وجود می‌آورند.

در ادامه میزان جذب آب کلیه نمونه‌ها به همراه نمونه شاهد چوبی اندازه‌گیری شد، نتایج نشان داد که در بین رزین‌های خالص میزان جذب آب رزین پلی‌استر خالص کمتر از دیگر رزین‌ها می‌باشد، جذب آب چندسازه‌های چوب پلیمر ساخته شده با رزین‌های اپوکسی و پلی‌استر نیز روند همسانی را پیروی نمود. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که میزان جذب آب همه چندسازه‌های چوب پلیمر از نمونه‌های رزین خالص سازنده آنها بیشتر، ولی با این حال میزان‌های بالا نسبت به جذب آب نمونه شاهد چوبی بسیار ناچیز بود.

نتایج بررسی طیف FT-IR از آب‌هایی که نمونه‌ها در آنها قرار داشتند، نشان داد شدت تخریب چوب در آب به مراتب بالا و بسیار بیشتر از شدت تخریب چندسازه‌های چوب پلیمر و رزین‌های خالص بود. همچنین مقایسه مواد استخراج شده از رزین‌های خالص و چندسازه‌های ساخته شده بر پایه این رزین‌ها نشان داد که میزان مواد بیشتری از چندسازه‌های چوب پلیمر به درون آب منتقل شده است. همچنین نتایج بیانگر تخریب کمتر رزین خالص پلی‌استر و چندسازه تولیدی از آن در آب نسبت به نمونه‌های همانند ساخته شده با رزین اپوکسی بودند.

حدودی بیشتر از نمونه‌های پلی‌استری می‌باشند. همچنین لازم به یادآوری است که با توجه به مقاومت بسیار بالای نمونه‌های پلیمری خالص و چندسازه‌های آنها با پودر چوب در برابر آب، پس از پایان دوره غوطه‌وری بر خلاف نمونه چوبی که به شدت دچار آسیب شده بود، در هیچ یک از آنها تغییر محسوسی در شرایط ظاهری دیده نشد. با دقت در طیف FT-IR چند سازه‌های ساخته شده با رزین‌های اپوکسی و پلی‌استر و مقایسه آنها با طیف به دست آمده برای نمونه چوبی می‌توان دریافت که تا حدودی بیشترین نقطه اوج‌های دیده شده در نمونه چوبی را با شدتی به مراتب پایین‌تر می‌توان در طیف چندسازه‌های چوب پلیمر نیز دید.

### نتیجه گیری

در این پژوهش، نمونه‌هایی از رزین‌های اپوکسی غلظت پایین و بالا و همچنین رزین پلی‌استر خالص به همراه چندسازه‌های چوب پلیمر ساخته شده با آنها مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی ویژگی‌های فیزیکی مکانیکی نمونه‌های ساخته شده نشان داد که کاربرد رزین اپوکسی غلظت پایین به دلیل امکان ساخت نمونه‌هایی یکنواخت و خالی از حباب در مقایسه با رزین اپوکسی غلظت بالا موفقیت‌آمیزتر بود. نتایج به دست آمده از آزمون کشش نشان داد که به دلیل ویژگی‌های ذاتی بالاتر رزین اپوکسی میزان مدول نمونه اپوکسی کم غلظت خالص بالاتر از مدول نمونه پلی‌استر خالص می‌باشد، این در حالی است که پدیده بالا در چندسازه‌های چوب پلیمر ساخته شده با رزین اپوکسی کم غلظت و رزین پلی‌استر برعکس می‌شود، به طوری که مدول چندسازه چوب پلیمر ساخته شده با رزین پلی‌استر غیر اشباع بیشتر از

### منابع

- 1- Oromiehie, A. and Jafarzadeh, F., 2008. Wood plastic composites, Iranian Polymer and Petrochemical Institute Press, Tehran.
- 2- Scaar, C., 1998. Wood - water relations, Springer, New York.
- 3- Bodig, J., 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, New York.
- 4- Klesov, A. A., 2007. Wood-plastic composites. Wiley Interscience.

- 5- Li, X., Tabil, L. G. and Panigrahi, S., 2007. Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites. A Review, *Polymer Environment* 15: 25-33.
- 6- Mengeloglu, F., Kurt, R., Gardner, D. J. and O'Neill, S., 2007. Mechanical Properties of Extruded High Density Polyethylene and Polypropylene Wood Flour Decking Boards, *Iranian Polymer Journal* 16: 477-487.
- 7- Gassan J. and Bledzki, A. K., 2000. Possibilities to Improve the Properties of Natural Fiber Reinforced Plastics by Fiber Modification – Jute Polypropylene Composites, *Apply Composite Materials* 7: 373-385.
- 8- Ichazo, M. N., Albano, C., Gonzalez, J., Perera, R. and Candal, M. V., 2001. Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties, *Composite Structure* 54: 207-214.
- 9- Yeh, S. K. and Gupta, R. K., 2008. Improved wood-plastic composites through better processing, *Composites Part A* 39: 1694-1699.
- 10- Albano, C., Reyes, J., Ichazo, M., González, J., Brito, M. and Moronta, D., 2002. Analysis of the mechanical, thermal and morphological behavior of polypropylene compounds with sisal fiber and wood flour, irradiated with gamma rays, *Polymer Degradation Stability* 76: 191-203.
- 11- Yang, H. S., Wolcott, M. P., Kim, H. S., Kim, S. and Kim, H.J., 2007. Effect of different compatibilizing agents on the mechanical properties of lignocellulosic material filled polyethylene bio-composites, *Composite Structure* 79: 369-375.
- 12- Mirbagheri, J., Tajvidi, M., Hermanson, J. C. and Ghasemi, I.: Tensile properties of wood flour/kenaf fiber polypropylene hybrid composites. *Apple Polymer Science* 105: 3054-3059.
- 13- Bledzki, A. K. and Faruk, O., 2003. Wood Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Fibre Geometry and Coupling Agent on Physical-Mechanical Properties, *Apple Composite Materials* 10: 365-379.
- 14- Dominkovics, Z., Danyadi, L. and Pukanszky, B., 2007. Surface modification of wood flour and its effect on the properties of PP/wood composites. *Composites, Part A* 38: 1893-1901.
- 15- Mohanty, S. and Nayak, S. K., 2009. Dynamic and steady state viscoelastic behavior and morphology of MAPP treated PP/sisal composites, *Material Science Engineering A* 443: 202-208.
- 16- Ataefard, M., Moradian, S., Mirabedini, M., Ebrahimi, M. and Asiaban, S., 2009. Investigating the effect of power/time in the wettability of Ar and O<sub>2</sub> gas plasma-treated low-density polyethylene. *Prog. Org. Coat.* 64: 482-488.
- 17- Jung, C. K., Bae, I. S., Lee, S. B., Cho, J. H., Shin, E. S., Choi, S. C. and Boo, J. H., 2006. Development of painting technology using plasma surface technology for automobile parts. *Thin Sol. Film.* 506-507: 316-322.
- 18- Marcovich, N. E., Reboredo, M. M. and Aranguren, M. I., 1999. Moisture diffusion in polyester-woodflour composites, *Polymer* 40: 7313-7320.
- 19- Marcovich, N. E., Reboredo, M. M. and Aranguren, M. I., 2001. Modified woodflour as thermoset fillers II. Thermal degradation of woodflour and composites. *Thermochem. Acta.* 372: 45-57.
- 20- Farias, M.A., Farina, M.Z., Pezzin, A.P.T. and Silva, D.A.K., 2009. Unsaturated polyester composites reinforced with fiber and powder of peach palm: Mechanical characterization and water absorption profile. *Material Science Engineering C* 29: 510-513.
- 21- Sebe, G., Cetin, N. S., Hill, C.S. and Hughes, M., 2000. RTM Hemp Fiber-Reinforced Polyester Composites, *Appl. Compos. Mat* 7: 341-349.
- 22- Barikani, M., 2005. Polyurethane chemistry, application and ageing. Iranian Polymer and Petrochemical Institute Press, Tehran.
- 23- Sajjadi Emami, S. h., 1996. Fundamental of polymerization reactions engineering. Polymer Research Center of Iran Press, Tehran.
- 24- Middleman, S., 1977. Fundamentals of polymer processing. McGraw-Hill.
- 25- Flory, P. J., 1953. Principles of polymer chemistry. Cornell University Press.

- 26- Jalili, M. M., Moradian, S. and Hosseinpour, D., 2009. The use of inorganic conversion coatings to enhance the corrosion resistance of reinforcement and the bond strength at the rebar/concrete, *Const. Build. Mat.* 23: 233–238.
- 27- Mukhopadhyay, S. and Fanguero, R., 2009. Physical Modification of Natural Fibers and Thermoplastic Films for Composites - A Review, *Thermoplast. Compos. Mat.* 22: 135-162.
- 28- Hodzic, A., Kim, J. K., Lowe, A. E. and Stachurski, Z. H., 2004. The effects of water aging on the interphase region and interlaminar fracture toughness in polymer-glass composites, *Compos. Sci. Technol.* 64: 2185-2195.
- 29- Brewis, D. M., Comyn, J. and Phanopoulos, C., 1987. Effect of water on some wood adhesives, *Adhes.* 7: 43-48.
- 30- Thomason, J. L., 1995. The interface region in glass fiber reinforced epoxy resin composites: 2. water absorption, voids and the interface. *Composites* 26: 477–485.
- 31- Jalili, M. M. and Moradian, S., 2009. Deterministic performance parameters for an automotive polyurethane clear coat loaded with hydrophilic or hydrophobic nano-silica. *Prog. Organ. Coat.* 66: 359–366.
- 32- Gruchow, F., Machill, S., Thiele, S., Herm, C. and Salzer, R., 2008. Imagine FTIR Spectroscopic investigations of wood: paint interface of aged polychrome art objects. Proceedings of the 8th international conference of the Infrared and Raman Users' Group (IRUG) in Vienna, Austria, 26-29 March.
- 33- Dobrica, I., Bugheanu, P., Stanculescu, I. and Ponta, C., 2008. FTIR spectral data of wood used in Romanian traditional village constructions. *Analele Universitatii din Bucuresti – Chimie, Anul XVII (serie noua) I*, 33-37.

## **A Study on Tensile Behavior and Water Uptake of Wood Powder-Composites Based on Epoxy and Unsaturated Polyester Resins**

**A. S. Pirayeshfar<sup>1</sup>, M. M. Jalili<sup>\*1</sup>, S. Y. Mousavi<sup>1</sup>**

### **Abstract**

In this study, two kinds of epoxy resins (i.e. high-viscosity and low-viscosity) as well as one polyester resin (orthophthalic grade) were selected and examined as pure resins and also as a polymeric matrix for producing wood-composites. In this study, tensile properties, water uptake, and degradation of samples in water were also investigated. The results show that addition of wood particles to the thermoset resins strongly impresses on their tensile behavior and water uptake. Tensile studies show that addition of wood powder improves the tensile properties of polyester resin as compared with viscosity epoxy one, although its modulus value is relatively less than that of low viscosity epoxy resin. Water uptake measurements also revealed that pure polyester resin and its related composites possess minimum water uptake and less degradation in water as compared with corresponding epoxy specimens and from which the lowest extent of materials is extracted and migrated to the water even after 50 days immersion in water.

**Keywords:** Epoxy resin, Unsaturated polyester resin, Wood powder-composite, Tensile, Water uptake, Extracted materials.

---

\* Corresponding author: Email: m.jalili@srbiau.ac.ir