جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳
ص۷۰۷-۷۱۷

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱۱/۲۹

مطالعهٔ ویژگی‌های مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازهٔ آرد کلش برنج تیمارشده با سیلان/ پلی‌پروپیلن

❖ **مهدی کلاگر *؛** دانشجوی دکتری صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
❖ **حبیب‌الله خادمی اسلام؛** دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
❖ **سحاب حجازی؛** استادیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

در این پژوهش تأثیر غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مقاومت‌های مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازهٔ حاصل از آرد کلش برنج/ پلی‌پروپیلن بررسی شده است. از محلول تری اتوکسی وینیل سیلان در دو غلظت ۵ و ۱۰ درصد، که هر غلظت دارای دو زمان غوطه‌وری ٤٥ و ۹۰ دقیقه بودند، برای تیمار آرد کلش برنج به‌عنوان پرکننده استفاده شد. همچنین از پلی‌پروپیلن، به‌عنوان ماتریس به میزان ٦٥ درصد وزنی، و انیدرید مالئیک (MAPP)، به‌عنوان جفت‌کننده به میزان ۵ درصد وزنی، در ساخت همهٔ نمونه‌های آزمونی استفاده شد. برای اختلاط مواد اولیه از دستگاه هک و برای ساخت نمونه‌های استاندارد آزمون از روش قالب‌گیری تزریقی استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که چندسازهٔ حاوی آرد کلش برنج تیمارشده با محلول سیلان در غلظت و زمان‌های ذکرشده در مقایسه با چندسازهٔ بدون تیمار باعث افزایش چشمگیری در ویژگی‌های خمش و کشش (مدول و مقاومت) شد. همچنین افزایش در غلظت و زمان تیمار سیلانی در بین نمونه‌های تیمارشده نیز باعث افزایش در ویژگی‌های خمشی و کششی شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ریخت‌شناسی چندسازه‌ها، مشخص شد تیمار سیلانی باعث بهبود در چسبندگی سطح مشترک پرکننده/ ماتریس، پراکنش بهتر پرکننده در ماتریس، و در نهایت باعث افزایش معنی‌داری در ویژگی‌های مکانیکی می‌شود.

واژگان کلیدی: آرد کلش برنج، چندسازه، ریخت‌شناسی، غلظت و زمان تیمار سیلانی، ویژگی‌های مکانیکی.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۹۱۲۴۱۱۱۵۵۶
Email: Mehdi.Kalagar@gmail.com

مقدمه

فرایند استفاده از الیاف طبیعی در ساخت چندسازهٔ چوب پلاستیک به‌عنوان تقویت‌کننده در سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است [۱]. چندسازهٔ پلیمری تقویت‌شده با الیاف شامل الیاف به‌عنوان تقویت‌کننده و پلیمر به‌عنوان ماتریس است. پلیمر پلاستیک شامل پلی‌اتیلن با دانسیتهٔ بالا (HDPE)، پلی‌اتیلن با دانسیتهٔ کم (LDPE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی اتر اتر کتون (PEEK)، و غیره به‌عنوان ماتریس (مادهٔ زمینه) گزارش شده‌اند [۲، ۳]. فیبرهای طبیعی مانند کتان، جوت، صباره، و غیره در سال‌های اخیر از سوی برخی محققان به‌عنوان الیاف تقویت‌کننده برای چندسازه به کار رفته است [۴]. مزیت فیبرهای طبیعی بر الیاف مصنوعی شامل دانسیتهٔ کم، قیمت پایین، قابلیت بازیافت، و قابلیت تجدید بیولوژیکی است [۵]، که باید ارزان‌بودن الیاف طبیعی به‌خصوص الیاف لیگنوسلولزی را نیز به این مزیت‌ها افزود که عامل بسیار مهمی است که باعث تولید محصول نهایی با قیمت بسیار پایین‌تر می‌شود [۶]. ویژگی‌های سطح مشترک کم بین الیاف و پلیمر ماتریس اغلب باعث کاهش پتانسیل عامل تقویت‌کننده می‌شود که علت آن طبیعت آبدوستی الیاف طبیعی است. اصلاح سطح الیاف به‌وسیلهٔ مواد شیمیایی از ساده‌ترین و در عین حال مؤثرترین روش‌ها برای بهبود اتصال مابین الیاف طبیعی و پلیمر گرمانرم است. یکی از اهداف اصلاح سطحی الیاف این است که بتوان انرژی سطحی الیاف را به‌گونه‌ای بهبود بخشید که با ترکیباتِ دارای انرژی سطحی پایین مانند پلی‌اولفین‌ها سازگار شوند. در واقع ترکیبات لیگنوسلولزی به‌دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیلی انرژی سطحی بالایی دارند، در حالی که انرژی سطحی ترکیبات پلی‌اولفین بسیار پایین است [۳]. اصلاح شیمیایی تفکر صحیحی برای مناسب‌سازی اتصال الیاف است. تیمارهای شیمیایی می‌تواند با فعال‌کردن گروه‌های هیدروکسیل یا به‌وجودآمدن مکان‌های جدید به‌طور مؤثر باعث اتصال الیاف با ماتریس شود. ارزیابی قطعی این تئوری برای مکانیسم اتصال به‌وسیلهٔ شیمی در چندسازه مشکلی پیچیده است. سیلان یک ترکیب شیمیایی با فرمول شیمیایی SiH_4 است. ترکیبات سیلانی به‌عنوان اتصال‌دهنده برای چسبندگی الیاف با ماتریس پلیمر و افزایش پایداری مواد چندسازه به‌کار می‌رود [۷]. اتصال‌دهندهٔ سیلان می‌تواند باعث کاهش تعداد گروه‌های هیدروکسیل در سطح مشترک فیبر و ماتریس شود. ترکیبات سیلانی شامل یک هستهٔ سیلیکونی و دارای دو سر واکنش‌پذیر مشخص‌اند که از طریق یک رابط به هستهٔ سیلیکونی متصل هستند. در واقع سیلان‌ها از یک سر به پلیمرهای اولفینی متصل می‌شوند و از سر دیگر می‌توانند به هر ماده‌ای که دارای گروه‌های هیدروکسیل باشد بچسبند [۷]. ابتدا در حضور رطوبت گروه قابل هیدرولیز به سیلانول تبدیل خواهد شد. سپس سیلانول با گروه‌های هیدروکسیلی الیاف واکنش می‌دهد و با تشکیل پیوندهای کووالانسی سیلوکسان به‌صورت شیمیایی به سطوح الیاف جذب می‌شود و به دیوارهٔ سلولی می‌چسبد. واکنش شماتیک سیلان به شرح ذیل است [۷]:

$$CH_2CHSi(OC_2H_5)_3 \xrightarrow{H_2O} CH_2CHSi(OH_3) + 3C_2H_5OH \quad (1)$$

$$CH_2CHSi(OC_2H_5)_3 + FiBer - OH \rightarrow CH_2CHSi(OH)_2O - Fiber + H_2O \quad (2)$$

لاچازو و همکاران با بررسی چندسازهٔ حاوی ۵۰ درصد پودر چوب تیمارشده با محلول آبی سیلان گزارش کردند که چندسازه‌های تیمارشده با محلول سیلانی باعث افزایش در مدول و مقاومت کششی

نسبت به چندسازهٔ تیمارنشده شدند [۸]. کیه و همکاران از سه نوع تیمار سطحی بر روی خاک اره (روش قلیایی، روش سیلانی، و ترکیبی از روش قلیایی و سیلانی) استفاده و گزارش کردند که ترکیب دو روش سیلانی و روش قلیایی بیشترین افزایش را در مدول خمشی و مقاومت خمشی نشان می‌دهد [۹]. با توجه به اینکه در اکثر تحقیقات از اتصال‌دهنده‌ها به‌صورت پودری استفاده می‌شود، در این تحقیق سیلان به‌صورت محلول برای اصلاح آرد کلش برنج استفاده شده است و با توجه به اینکه از انیدرید مالیئک پیوندخورده با پلی‌پروپیلن (MAPP) در تمامی نمونه‌ها به‌صورت ثابت استفاده شده، با انجام این پژوهش می‌توان نشان داد که آیا با افزودن پرکنندهٔ سلولزی تیمارشده با سیلان در غلظت و زمان‌های گوناگون تغییری در ویژگی‌های مکانیکی و مرفولوژی چندسازه‌های ساخته‌شده رخ خواهد داد یا نه.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن محصول شرکت پتروشیمی اراک با شاخص مذاب (MFI) g/ ۱۰ min ۱۶ به‌عنوان مادهٔ زمینه و کاه برنج از منطقهٔ کشاورزی رویان به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده شد. همچنین از انیدرید مالیئک پیوندخورده با پلی‌پروپیلن (MAPP) با شاخص جریان مذاب g/۱۰min ۰/۱ درصد برای ساخت چندسازه استفاده شد. کلش‌های برنج به کمک آسیاب چکشی آزمایشگاه آسیاب و با الک الکتریکی از الک ۴۰ مش عبور داده شدند.

تیمار سیلانی آرد کاه برنج الیاف در مخلوط آب/ الکل به نسبت ۶:۴ که حاوی اتصال‌دهندهٔ سیلانی (تری اتوکسی وینیل سیلان) به میزان ۵ و ۱۰ درصد است خیسانده شد و با افزودن اسید استیک pH محلول در حد ۴ نگه داشته شد. فیبرها به مدت ۴۵ و ۹۰ دقیقه در این حالت قرار گرفتند و مخلوط آب/ الکل نیم ساعت در هوا خشک شد و سپس در اون برای ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت [۸].

با توجه به جدول ۱، عملیات اختلاط پلیمر و آرد کلش برنج در دستگاه Haake در دمای ۱۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد با سرعت rpm ۴۵ به مدت ۱۱ دقیقه انجام شد. نمونه‌های آزمون مکانیکی، به روش قالب‌گیری تزریقی با دمای سیلندر ۱۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد و فشار تزریق ۵۰ بار تهیه شد.

جدول ۱. تیمارها و سطوح اختلاط مواد

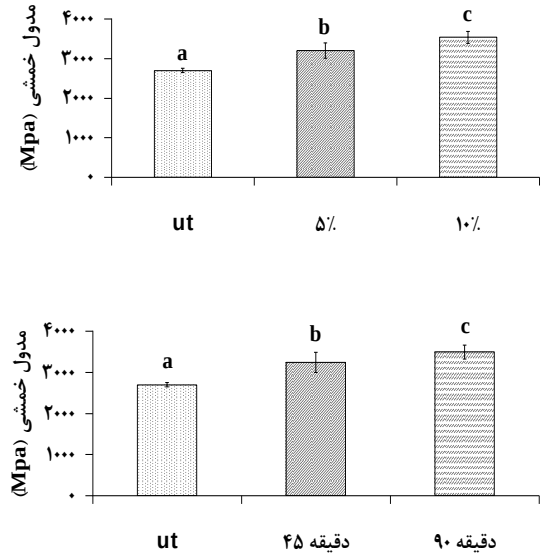
شمارهٔ اختلاط	کد	غلظت تیمار (٪)	زمان تیمار (٪)	آرد کلش برنج (٪)	پلی‌پروپیلن (٪)	MAPP (%)
۱	UT	۰	۰	۳۰	۶۵	۵
۲	S11	۵	۴۵	۳۰	۶۵	۵
۳	S12	۵	۹۰	۳۰	۶۵	۵
۴	S21	۱۰	۴۵	۳۰	۶۵	۵
۵	S22	۱۰	۹۰	۳۰	۶۵	۵

آزمون کشش و خمش به‌ترتیب طبق آیین‌نامهٔ D۶۳۸ و D۷۹۰ استاندارد ASTM به‌وسیلهٔ دستگاه INSTRON مدل ۴۴۸۹ موجود در آزمایشگاه مکانیک گروه صنایع چوب دانشکدهٔ منابع طبیعی کرج با سرعت بارگذاری mm/min ۵ بر روی نمونه‌های استاندارد انجام شد. مطالعهٔ ریخت‌شناسی (SEM)[1] چندسازه‌ها به‌منظور تحلیل بهتر نتایج حاصل و مطالعهٔ مرفولوژی سطوح شکست و ناحیهٔ بینابینی پلیمرها و الیاف سلولزی با استفاده از مقاطع شکست نمونه در آزمون خمش انجام شد. با توجه به عوامل متغیر و سطح آن‌ها، در کل ۵ تیمار موجود بود که برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و با استفاده از تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین‌ها با توجه به گروه‌بندی دانکن به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس تجزیهٔ واریانس اثر مستقل غلظت و زمان تیمار سیلانی بر مدول خمشی چندسازه در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل غلظت و زمان تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اثر مستقل غلظت تیمار سیلانی کلش برنج نشان می‌دهد که در غلظت ۵ درصد سیلان مدول خمشی چندسازه ۱۸ درصد و در غلظت ۱۰ درصد محلول سیلان مدول خمشی چندسازه ۳۱ درصد به چندسازهٔ بدون تیمار افزایش نشان داد و با توجه به شکل ۱ (سمت چپ) گروه‌بندی دانکن هریک از تیمارها در گروه‌های متفاوتی قرار گرفتند.

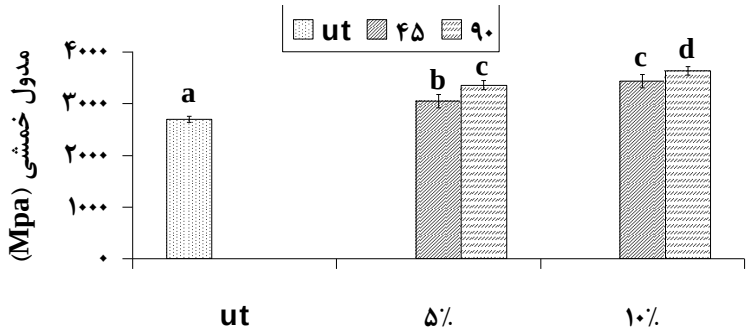
با توجه به شکل ۱ (سمت چپ) اثر مستقل زمان تیمار سیلانی کلش برنج نشان می‌دهد که با افزایش زمان غوطه‌وری آرد کلش برنج در محلول سیلان پس از ۴۵ و ۹۰ دقیقه مدول خمشی چندسازه ۲۰ و ۲۹ درصد به‌ترتیب نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار افزایش نشان داد. با توجه به گروه‌بندی دانکن هریک از زمان‌های تیمار در گروه‌های متفاوتی قرار گرفتند.



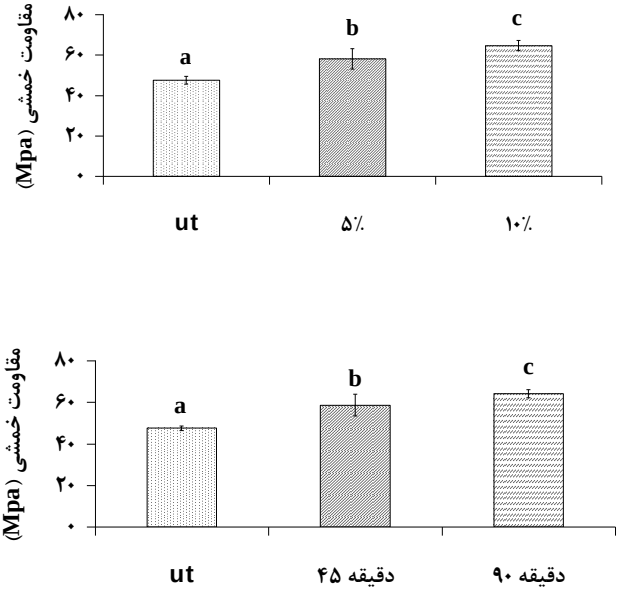
شکل ۱. تأثیر مستقل غلظت (سمت راست) و زمان تیمار سیلانی (سمت چپ) آرد کلش برنج بر مدول خمشی چندسازه

بر اساس تجزیهٔ واریانس، اثر مستقل غلظت و زمان و اثر متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مقاومت خمشی چندسازهٔ حاصل در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به شکل ۳ (سمت راست)، که اثر مستقل غلظت تیمار سیلانی را نشان می‌دهد، با افزایش غلظت تیمار به ۵ و ۱۰ درصد به‌ترتیب مقاومت خمشی چندسازه نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار ۲۲ و ۳۶ درصد افزایش نشان دادند. همچنین با توجه به شکل ۳ (سمت چپ) مشخص می‌شود که با افزایش زمان تیمار از ۴۵ به ۹۰ دقیقه مقاومت خمشی ۲۲ و ۳۵ درصد افزایش نسبی به چندسازهٔ بدون تیمار نشان می‌دهد. گروه‌بندی دانکن نیز اثر مستقل غلظت و زمان را در سه گروه متفاوت قرار داد.

1. Scanning Electron Microscopy



شکل ۲. تأثیر متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مدول خمشی چندسازه



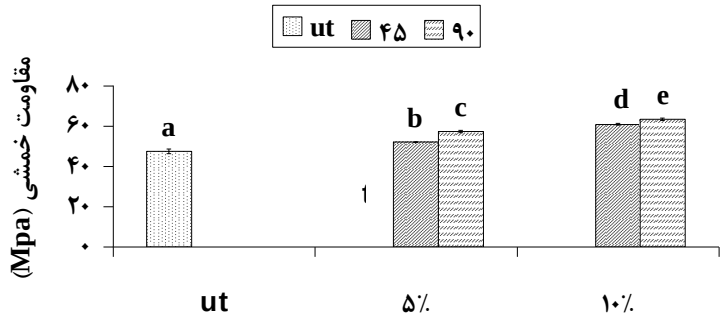
شکل ۳. تأثیر مستقل غلظت (سمت چپ) و زمان تیمار سیلانی (سمت راست) آرد کلش برنج بر مقاومت خمشی چندسازه

شکل ۴ اثر متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مقاومت خمشی چندسازه را نشان می‌دهد. در غلظت ۵ درصد محلول سیلان و زمان غوطه‌وری ۴۵ و ۹۰ دقیقه به‌ترتیب ۱۳ و ۳۱ درصد افزایش نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار مشاهده شد و با افزایش غلظت محلول سیلان به ۱۰ درصد و زمان غوطه‌وری ۴۵ و ۹۰ دقیقه، ۳۳ و ۳۸ درصد افزایش در چندسازه نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار مشاهده شد. گروه‌بندی دانکن نیز نشان داد که مقاومت خمشی بین چندسازهٔ حاوی آرد کلش برنج در محلول سیلان ۵ درصد و زمان غوطه‌وری ۹۰ دقیقه و محلول سیلان ۱۰ درصد و زمان غوطه‌وری ۴۵ دقیقه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه قرار گرفتند؛ در حالی که سایر تیمارها در گروه‌های جداگانه قرار گرفتند.

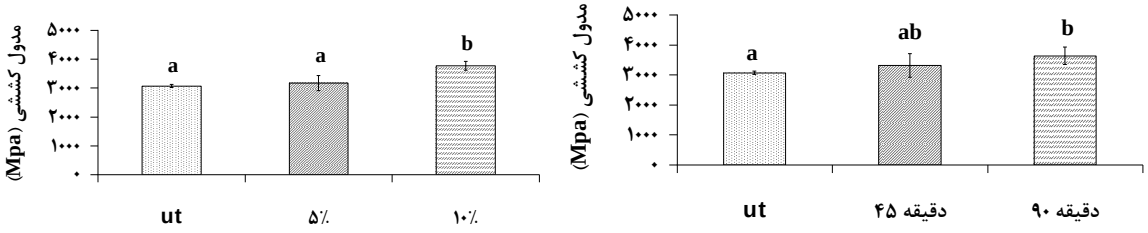
بر اساس تجزیهٔ واریانس، اثر مستقل غلظت و زمان تیمار سیلانی بر مدول کششی چندسازه در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل غلظت و زمان تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اثر مستقل غلظت تیمار سیلانی کلش برنج نشان

می‌دهد که در غلظت ۵ درصد سیلان مدول کششی چندسازه نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار افزایش چشمگیری نشان نداد و در گروه‌بندی دانکن در یک گروه قرار گرفتند. در غلظت ۱۰ درصد محلول سیلان مدول کششی چندسازه ۲۳ درصد نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار افزایش نشان داد و با توجه به گروه‌بندی دانکن در گروه جداگانه قرار گرفت (شکل ۵، سمت چپ).

همچنین شکل ۵ (سمت راست) نشان می‌دهد که مدول کششی چندسازه در زمان غوطه‌وری ۴۵ دقیقه افزایش چندانی نشان نداد و در گروه‌بندی دانکن با چندسازهٔ بدون تیمار در یک گروه قرار گرفتند. در حالی که با افزایش زمان غوطه‌وری به ۹۰ دقیقه ۱۸ درصد افزایش در مدول کششی چندسازه نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار مشاهده شد و در یک گروه جداگانه در گروه‌بندی دانکن قرار گرفتند.



شکل ۴. تأثیر متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مقاومت خمشی چندسازه

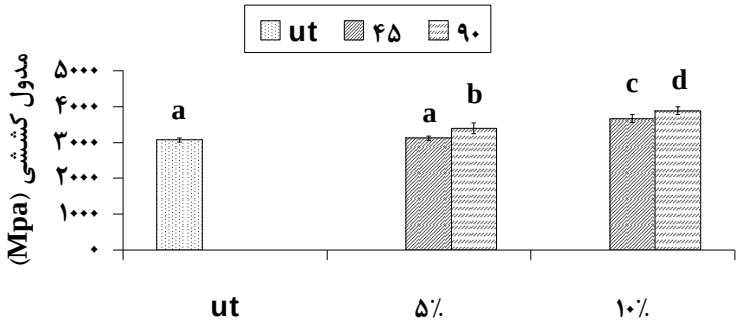


شکل ۵. تأثیر مستقل غلظت (سمت چپ) و زمان تیمار سیلانی (سمت راست) آرد کلش برنج بر مدول کششی چندسازه

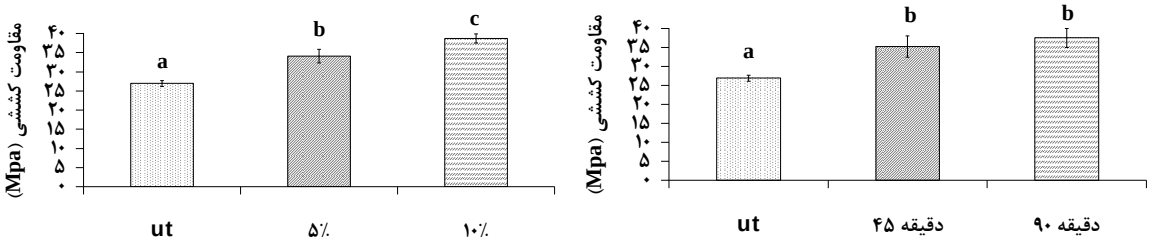
شکل ۶ اثر متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مدول کششی چندسازه را نشان می‌دهد. تیمار کلش برنج در غلظت ۵ درصد محلول سیلان و در زمان غوطه‌وری ۴۵ دقیقه افزایش چندانی را نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار نشان نداد و بر اساس گروه‌بندی دانکن در یک گروه قرار گرفتند؛ اما با افزایش زمان به ۹۰ دقیقه مدول کششی ۱۴ درصد و در غلظت محلول ۱۰ درصد با افزایش زمان از ۴۵ به ۹۰ دقیقه مدول کششی ۲۳ و ۳۱ درصد نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار افزایش یافت و بر اساس گروه‌بندی دانکن در گروه‌های متفاوتی قرار گرفتند.

بر اساس تجزیهٔ واریانس، اثر مستقل و متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی بر مقاومت کششی چندسازه در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به شکل ۷ (سمت چپ) با افزایش غلظت

محلول سیلانی از ۵ به ۱۰ درصد مقاومت کششی چندسازه به‌ترتیب ۲۵ و ۴۳ درصد افزایش نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار نشان داد و بر اساس گروه‌بندی دانکن هریک از تیمارها در گروه‌های متفاوتی قرار گرفتند. بر اساس شکل ۷ (سمت راست) مشاهده می‌شود که با افزایش زمان غوطه‌وری کلش برنج در محلول سیلانی از ۴۵ به ۹۰ دقیقه مقاومت کششی چندسازه نسبت به چندسازهٔ تیمارنشده به‌ترتیب ۳۰ و ۳۹ درصد افزایش یافت، اما بر اساس گروه‌بندی دانکن بین دو زمان ۴۵ و ۹۰ دقیقه تیمار سیلانی تفاوتی مشاهده نشد و هر دو زمان در یک گروه قرار گرفتند و چندسازهٔ بدون تیمار در گروه جداگانه قرار گرفت.



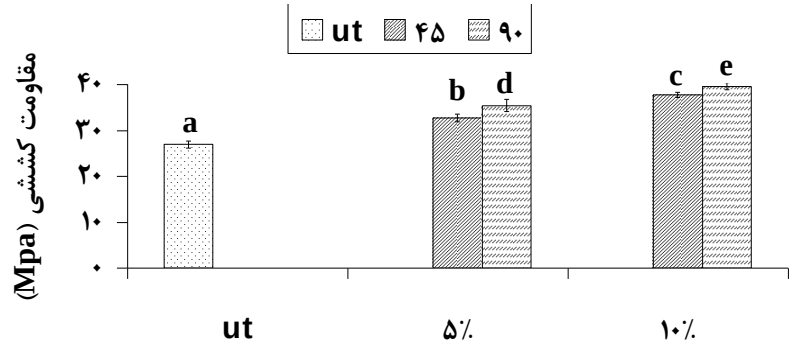
شکل ۶. تأثیر متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مدول کششی چندسازه



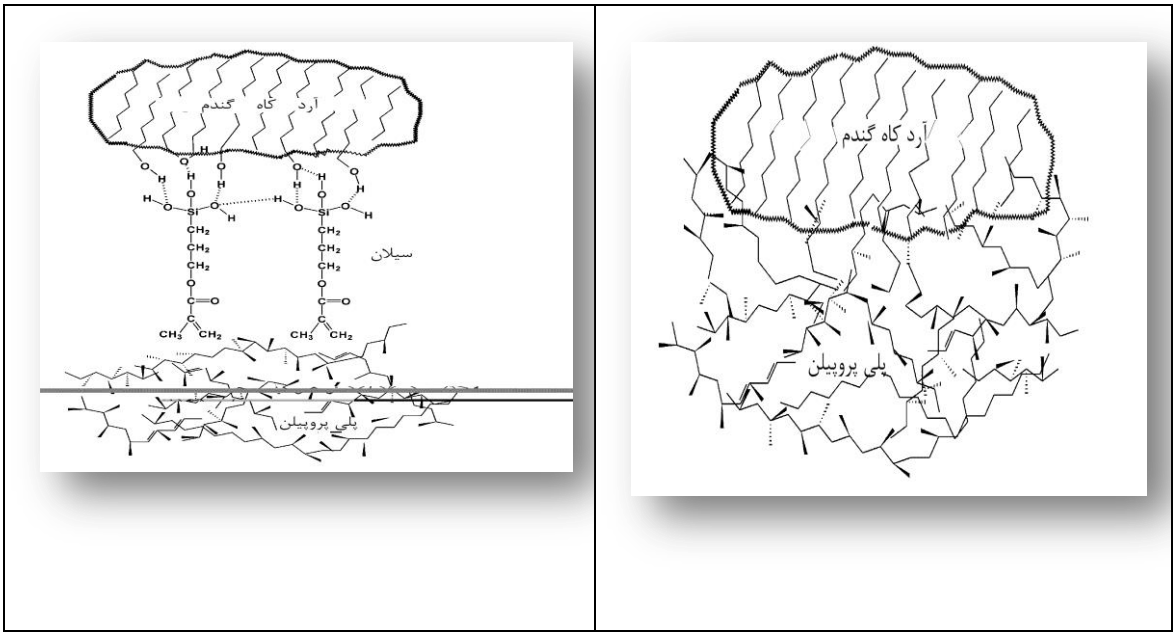
شکل ۷. تأثیر مستقل غلظت (سمت چپ) و زمان تیمار سیلانی (سمت راست) آرد کلش برنج بر مقاومت کششی چندسازه

با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که در غلظت ۵ درصد و دو زمان ۴۵ و ۹۰ دقیقه غوطه‌وری کلش برنج در محلول سیلانی مقاومت کششی چندسازه به میزان ۲۱ و ۳۱ درصد افزایش نشان داد و با افزایش غلظت محلول سیلانی به ۱۰ درصد و دو زمان ۴۵ و ۹۰ دقیقه مقاومت کششی چندسازه به میزان ۴۰ و ۴۷ درصد افزایش نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار مشاهده شد و بر اساس گروه‌بندی دانکن هریک از تیمارها در گروه‌های جداگانه قرار گرفتند.

تفاوت مشاهده‌شده بین چندسازه‌های متفاوت مورد مطالعه (بدون و با تیمار سیلانی) را می‌توان به‌وسیلهٔ مکانیسم چسبندگی ذرات توصیف کرد. چندسازه‌های بدون تیمار سیلانی مکانیسم چسبندگی خیلی ضعیفی را در بین پرکننده و ماتریس نشان می‌دهند که اتصال بین آن دو ماده از طریق نفوذ ماکرومولکولی شکل گرفته است (شکل ۱۳). در حالی که چندسازهٔ حاوی تیمار سیلانی دارای پیوند کووالانسی و اتصالات هیدروژنی بین دو فاز است که مکانیسم شیمیایی چسبندگی این دو فاز بسیار قوی‌تر از چندسازه‌های بدون تیمار خواهد بود (شکل ۹).

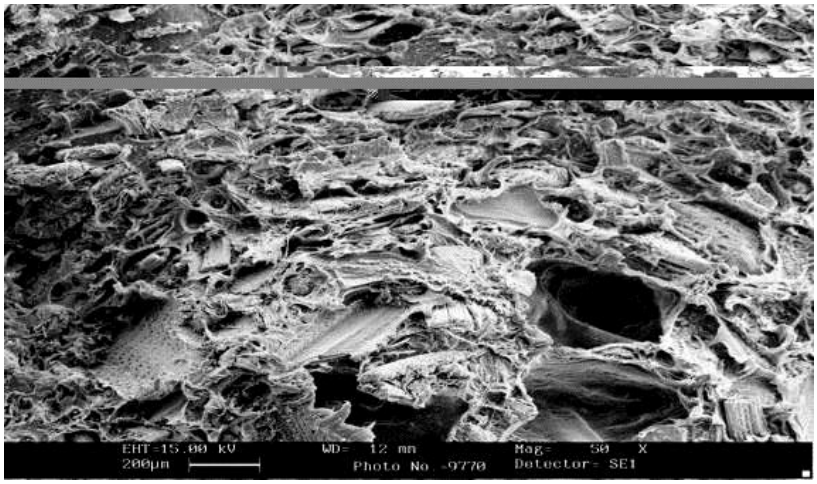


شکل ۸. تأثیر متقابل غلظت و زمان تیمار سیلانی آرد کلش برنج بر مقاومت کششی چندسازه

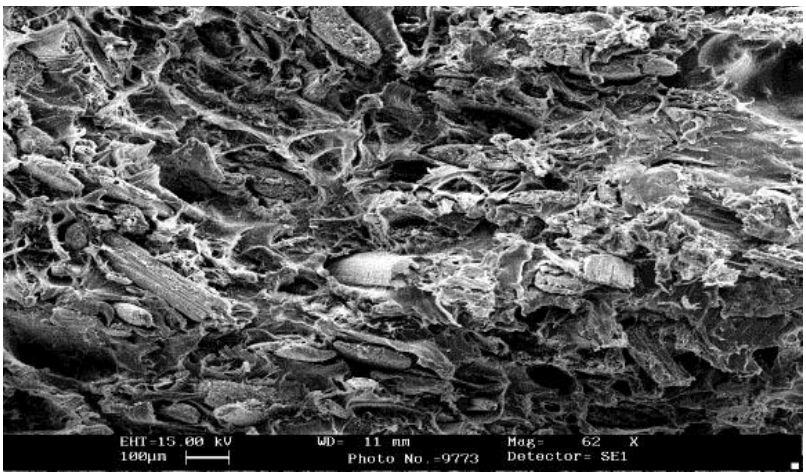


شکل ۹. مکانیسم چسبندگی برای چندسازهٔ بدون تیمار (راست)؛ مکانیسم چسبندگی برای چندسازهٔ تیمارشده با سیلان (چپ) [۱۰]

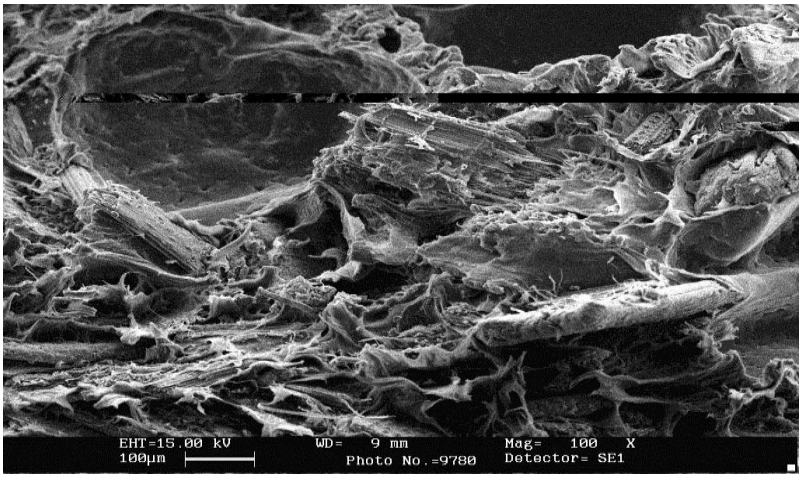
چندین تصویر از سطح شکست چندسازه‌های ساخته‌شده برای تجزیه و تحلیل مرفولوژی چندسازه در دمای اتاق تهیه شد که سه تصویر از این تصاویر برای درک بهتر مرفولوژی چندسازهٔ آرد کاه برنج/ پلی‌پروپیلن ارائه شده است. شکل‌های ۱۰-۱۲ سطوح شکست مربوط به چندسازه‌های ساخته‌شده با پلی‌پروپیلن/ آرد کاه برنج تیمارشده با سیلان و بدون تیمار را نشان می‌دهند. در شکل ۱۰ که مربوط به چندسازهٔ بدون تیمار است مشخص شده که چسبندگی بین آرد کلش برنج و ماتریس بسیار اندک بوده و این موضوع در شکل‌گیری فضای اطراف پرکننده مشخص است. در شکل ۱۱ و ۱۲ چسبندگی بهتر بین پرکننده و ماتریس مشاهده شده که می‌توان آن را به تیمار سیلانی پرکننده نسبت داد. مهم‌ترین نکته در سطح مشترک کاهش خلل و فرج و پراکنش بهتر آرد کاه برنج در چندسازهٔ تیمارشده نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار است که این موضوع باعث برهم‌کنش بهتر پرکننده با ماتریس شده و در نهایت تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های مکانیکی خواهد گذاشت.



شکل ۱۰. تصویر SEM برای سطح شکست چندسازهٔ بدون تیمار (UT)



شکل ۱۱. تصویر SEM برای سطح شکست چندسازهٔ تیمارشده (S12)



شکل ۱۲. تصویر SEM برای سطح شکست چندسازهٔ تیمارشده (S22)

نتیجه‌گیری

مقاومت‌های مکانیکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی مواد است که بر کلیهٔ ویژگی‌های محصول نهایی تأثیر بسزایی دارد. هدف از انجام‌دادن آزمون‌های مکانیکی دستیابی به اطلاعاتی دربارهٔ رفتار مادهٔ تحت تنش و حدود ظرفیت تحمل این تنش‌ها، تعیین ثابت‌های الاستیک ماده، و بررسی عوامل تأثیرگذار بر رفتار مادهٔ تحت تنش است. در این بررسی برای تعیین ظرفیت تحمل تنش و ثابت‌های الاستیک، پودر حاصل از الیاف کاه ساقهٔ برنج در غلظت و زمان‌های متفاوت تحت تأثیر تیمار سیلانی قرار گرفت و از آزمون‌های کششی (مقاومت کششی و مدول کششی) و آزمون‌های خمشی (مقاومت خمشی و مدول خمشی) استفاده شد.

تیمارهای شیمیایی در جهت کاهش انرژی سطحی پرکننده و سازگارکردن آن‌ها با پلیمر به‌کار می‌روند که نهایتاً به ایجاد اتصالات قوی در منطقهٔ بین‌فازی منجر می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزایش غلظت محلول سیلان و زمان غوطه‌وری آرد کلش برنج در محلول سیلان تأثیر بسزایی در کاهش انرژی سطحی الیاف داشت، زیرا الیاف دارای انرژی سطحی بالاتر از پلیمر بود و این عامل را می‌توان یکی از عوامل سازگاری کم بین آرد کلش برنج و پلی‌پروپیلن دانست که باعث کاهش مقاومت‌های مکانیکی و به‌خصوص مدول و مقاومت خمشی می‌شود. همچنین ویژگی‌های مکانیکی چندسازه به شیمی سطح الیاف و توزیع مناسب الیاف لیگنوسلولزی در ماتریس بستگی دارد [۱۱] که باعث ترپذیری پرکنندهٔ لیگنوسلولوزی می‌شود که از این طریق توزیع بهتر پرکننده در ماتریس صورت می‌گیرد و افزایش در ویژگی‌های مکانیکی را سبب می‌شود. بر اساس بررسی‌های راج و همکاران استفاده از تیمار شیمیایی باعث کاهش انرژی سطحی الیاف سلولزی و در منطقهٔ بین‌فازی باعث بهبود اتصال و افزایش مقاومت‌ها شد [۱۲]. البته هر ترکیبی به اندازهٔ نفوذ به ساختار ترکیبات سلولزی و نحوهٔ واکنش با پلی‌پروپیلن در تغییر مقاومت‌ها نقش دارد. ویژگی‌های مکانیکی و نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر SEM به‌وضوح واکنش بین ترکیبات چندسازهٔ ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

تصاویر SEM به‌صورت چشمگیر نشان می‌دهد که استفاده از تیمار سیلانی تماس بین پرکننده و ماتریس را افزایش داده است. نتایج آزمون مقاومت کششی چندسازهٔ حاوی آرد کلش برنج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت و زمان تیمار آرد کلش برنج در محلول سیلانی مقاومت کششی چندسازه نسبت به چندسازهٔ بدون تیمار افزایش یافته که علت آن هیدرولیز سیلان و تراکم سیلانول بوده که با گروه‌های هیدروکسیل سلولز واکنش داده و باعث شکل‌گیری پیوندهای کووالانت و هیدروژنی [۱۳] بین آرد کلش برنج و پلی‌پروپیلن شده است و ایجاد چنین اتصالاتی باعث افزایش مقاومت کششی چندسازهٔ حاصل می‌شود [۱۴]. در بسیاری از تحقیقات، توزیع مناسب فیبرها و افزایش چسبندگی سطح مشترک علت افزایش در ویژگی‌های مکانیکی چندسازهٔ تیمارشده با سیلان ذکر شده است، که تأثیری مثبت در انتقال تنش بین ماتریس و فیبر داشته و پیوندهای مناسب در سطح مشترک ایجاد می‌کند [۱۵، ۱۶]. بنابراین سازگاری ضعیف بین پرکننده‌های لیگنوسلولزی آبدوست و ترموپلاستیک آبگریز باعث می‌شود که تیمار سطحی الیاف برای اتصال بهتر دو فاز ضروری باشد [۱۷-۱۹].

References

[1]. Oksman, K., Skrifvars, M., and Selin, J. (2003). Natural fiber as reinforcement in polylactic acid composites. Composite Science and Technology, 63(2): 113-120.

[2]. Bledzki, A.K., and Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibers. Polymer Science, 24 (1): 221-274.

[3]. Velde Van de, K., and Kiekens, P. (2001). Thermoplastic polymers: overview of several properties and their consequences in flax fiber reinforced composites. Polymer Testing, 20(1): 140-152.

[4]. Rouison, D., Sain, M., and Couturier, M. (2004). Resin transfer molding of natural fiber reinforced composites. Composite Science and Technology, 64(1): 175-184.

[5]. Van de Velde, K., and Baetens, E., (2001). Thermal and mechanical properties of flax fibers as potential composites reinforcement. Macromolecular Materials and Engineering, 86(1): 120-127.

[6]. Carrasco, F., Kokta, B., Arnau, J., and Page´s, P. (1993). The effect of low-temperature exposure on mechanical properties of polyethylene wood fiber composites. Composites, 33(2): 47-58.

[7]. Agrawal, R. Saxena, B. Sharma, B. Thomas, S., and Sreekala, M.S. (2000). Activation energy and crystallization kinetics of untreated and treated oil palm fiber reinforced phenol formaldehyde composite. Materials Science and Engineering A, 16(2): 77-82.

[8]. Lachazo, M. Albano, C. Ganzalez, J. Perera, R., and Canada, M. (2001). Polypropylene/ wood Flour composites: treatment and properties. Composite Structure, 54 (1): 207-214.

[9]. Cui, Y. Lee, S. Noruzian, B. Cheung, M., and Tao, J. (2007). Fabrication and interfacial modification of wood/ recycled plastic composites. Applied Science and Manufacturing Part A, 39 (1): 655-661.

[10]. Colom, X. Carrasco, F. Pages, P., Canavate, J. (2003). Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. Composites Science and Technology, 63(2q): 161-169.

[11]. Kazayawoko, M., Balatinecz, J., Woodhams, T., and Law, S. (1997). Effect of the ester linkages on the mechanical properties of wood fiber-polypropylene composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 16(15):1385-1395.

[12]. Raj, R., Kokta, B., and Daneault, C. (1990). The influence of coupling agent on mechanical properties of composites containing cellulosic fillers. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 294(2): 339-353.

[13]. Karnani, R., Krishnan, M., and Narayan, R. (1997). Biofibers reinforced polypropylene composites. Polymer Engineering & Science, 37(2): 476-483.

[14]. Herrera, P., and Aguilar, M. (1997). Effect of fiber treatment on the mechanical properties of LDPE- henequen cellulosic fiber composite. Journal Applied Polymer Science, 65 (2): 197-205.

[15]. Carrasco, F., Kokta, B., Arnau, J., and Page´s, P. (1993). The effect of low-temperature exposure on mechanical properties of polyethylene wood fiber composites. Composites, 33(2): 46-54

[16]. Coutinho, F., Costa, T., and Carvalho, D. (1997). Polypropylene wood fiber composites: Effects of treatment and mixing conditions on mechanical properties. Journal of Applied Polymer Science, 65(8): 1227-1236.

[17]. Sapieha, S., Allard, P., and Zang H. (1990). Dicumyl peroxide modified cellulose LLDPE composites. Journal of Applied Polymer Science, 41 (3): 2039-2045.

[18]. Kuruvilla, J., Sabu, T., and Pavithran, C. (1996). Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal-fiber-reinforced polyethylene composites. Polymer, 37(23): 99-106.

[19]. Manikandana, N., Diwan, S., and Sabu, T. (1996). Tensile properties of short sisal fiber reinforced polystyrene composites. Journal of Applied Polymer Science, 60(7): 1483-1492.