

بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک آرد چوب/اکریلونیتریل بوتادیان استایرن

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه آرد چوب/اکریلونیتریل بوتادیان استایرن تحت تأثیر سازگارکننده استایرن مالئیک انیدرید SMA (در دو سطح ۰ و ۴ phc^{*}) و ماده پرکننده آرد چوب (در سه سطح ۳۰، ۴۰، ۵۰ درصد وزن کل) و نوع دست‌اول و بازیافتی پلیمر اکریلونیتریل بوتادیان استایرن (ABS) انجام شد. نمونه‌های مورد آزمایش توسط روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شده و آزمون فیزیکی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت برای اندازه‌گیری ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکنشیدگی ضخامت و آزمون‌های مکانیکی شامل مقاومت و مدول کششی و سختی بر روی نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار آرد چوب، بر مقادیر جذب آب، واکنشیدگی ضخامت، ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکنشیدگی ضخامت و مقاومت و مدول کششی و نیز سختی چندسازه‌ها افزوده می‌شود. استفاده از ABS دست‌اول در ساخت چندسازه‌ها موجب افزایش خواص کششی و سختی و کاهش جذب آب، واکنشیدگی ضخامت و پارامترهای آن می‌شود. استفاده از سازگارکننده SMA سختی چندسازه را کاهش داد.

واژگان کلیدی: اکریلونیتریل بوتادیان استایرن، چندسازه چوب پلاستیک، ضریب انتشار رطوبت، نرخ واکنشیدگی ضخامت، خواص کششی.

عبدالله نجفی^{۱*}
محمد علی بای^۲

^۱ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

^۲ دانشجوی دکتری علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

مسئول مکاتبات:
ab_najafi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳/۰۸/۱۳۹۲
تاریخ پذیرش: ۱۳/۱۰/۱۳۹۳

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از الیاف طبیعی به‌عنوان تقویت‌کننده و یا پرکننده در ساخت چندسازه‌های پلیمری مورد توجه بسیاری از محققین و بخش‌های مختلف صنعت قرار گرفته است. این الیاف در مقایسه با دیگر تقویت‌کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های معدنی دارای مزیت‌های فراوانی از جمله دانسیته کمتر، مقاومت و مدول ویژه بالاتر، سائیدگی

نسبی کم و سهولت اصلاح سطح الیاف بوده و ضمناً به‌طور گسترده‌ای در دسترس می‌باشند. همچنین این الیاف ارزان‌تر از الیاف مصنوعی بوده و می‌توانند در بسیاری از کاربردهایی که در آن‌ها صرفه‌جویی در هزینه بر خواص مقاومتی محصول ارجح است جایگزین الیاف مصنوعی گردند [۱، ۲، ۳ و ۴]. این واقعیت که الیاف طبیعی، قابل بازیافت و تجزیه در طبیعت و تجدیدشونده هستند در استفاده از این مواد در آینده نقش مهمی ایفاء می‌کند و

ساخته شده است. این ترکیب می تواند از ۱۵ تا ۳۵ درصد اکریلونیتریل، ۵ تا ۳۰ درصد بوتادیان به استایرن و ۴۰ تا ۶۰ درصد استایرن متفاوت باشد. گروه نیتریل به دلیل قطبی بودن و جذب یکدیگر و اتصال محکم زنجیرها ABS را قوی تر از پلی استایرن کرده است. استایرن به پلاستیک، سطح براق و غیرقابل نفوذ می دهد و بوتادیان ماده لاستیک را فراهم می کند که انعطاف پذیری حتی در درجه حرارت پایین را فراهم سازد [۸]. پلیمر ABS بیشترین کاربرد را در صنعت خودروسازی و وسایل الکترونیک دارد [۹]. از آنجایی که سازندگان اتومبیل به دنبال ساخت بخش های اتومبیل از مواد قابل بازیافت و زیست تخریب پذیر می باشند، استفاده از چندسازه چوب پلاستیک در داخل یا خارج اتومبیل، با رشد روزافزونی همراه است [۷]. در ساخت چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده از ABS می توان از هر دو نوع پلیمر دست اول و بازیافتی استفاده نمود [۱۰]. به طوری که می توان از ضایعات کیبورد و مانیتور کامپیوتر در کنار ضایعات قطعات پلیمری اتومبیل در ساخت چندسازه استفاده کرد [۱۱]. چندسازه های ساخته شده از ABS خواص بهتری در مقایسه با چندسازه های ساخته شده از پلی الفین های معمولی دارند [۱۰].

مدت زیادی در استفاده از پلیمر ABS برای ساخت چندسازه چوب پلاستیک در دنیا نمی گذرد و در ایران نیز پژوهشی در استفاده از ABS برای تولید چندسازه چوب پلاستیک انجام نشده است. این پژوهش به دنبال بررسی تولید چندسازه های حاصل از اکریلونیتریل بوتادیان استایرن به صورت دست اول و بازیافتی و همچنین تأثیر عواملی مانند سازگارکننده استایرن مالئیک انیدرید و مقدار ماده پرکننده آرد چوب، بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه آرد چوب/ اکریلونیتریل بوتادیان استایرن است.

مواد و روش ها

در این بررسی، اکریلونیتریل بوتادیان استایرن (ABS)، با نام تجاری ABS SR-0300 چگالی ۱/۰۵ و شاخص جریان مذاب (g/10min) ۱۰/۷ (وزنه ۲/۱۶ کیلوگرم و دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد) تولیدی شرکت پتروشیمی سامسونگ کره جنوبی به عنوان ماده پلیمری مورد استفاده قرار گرفت. پلیمر بازیافتی اکریلونیتریل

علاقه روزافزون مصرف کنندگان به خرید محصولات دوستدار محیط زیست نیاز صنایع به استفاده از مواد طبیعی را افزایش داده است [۵]. تولیدکنندگان و مهندسان همواره به دنبال یافتن مواد جدیدی هستند که بتواند فرآیند تولید را ارتقا داده و محصول بهتری تولید کنند. به همین دلیل چندسازه ها کاربردهای فراوانی در صنایع خودروسازی، هوافضا، دریایی، الکترونیک و ساختمان سازی پیدا کرده است. چندسازه ها دارای بازار گسترده ای هستند و از مهم ترین بخش این بازار استفاده از چندسازه ها در اجزاء اتومبیل می باشد و این مواد به صورت یک لایه خارجی در داشبورد، تودری، بالشتک صندلی، پشت سری و آستر داخل اتاقک به کار می روند. الیاف گیاهی به طور گسترده ای به عنوان عایق صوت و گرما نیز مورد استفاده قرار می گیرند. قابل بازیافت بودن محصولات تولیدی جدید نیز یکی از فاکتورهای مهم محصول نهایی است که بر اساس دستورالعمل اتحادیه اروپا، ۸۵٪ از اجزای خودرو باید قابل بازیافت و استفاده مجدد باشند که این مقدار تا سال ۲۰۱۵ به ۹۵٪ افزایش خواهد یافت که این امر نیز باعث شده تا استفاده از این چندسازه ها گسترش بیش از پیش پیدا کنند [۶]. استفاده از الیاف طبیعی در خودرو باعث کاهش وزن از ۱۰ تا ۳۰ درصد و نیز کاهش قیمت تمام شده آن می شود. در واقع امروزه تمام تولیدکنندگان بزرگ اتومبیل در کشور آلمان در کاربردهای مختلف از چندسازه چوب پلاستیک استفاده می کنند و تحقیقات نشان می دهد که استفاده از الیاف لیگنوسلولوزی در چندسازه های داخل اتومبیل مزایای فراوانی دارد [۶]. به لحاظ فنی این چندسازه ها موجب افزایش خواص مکانیکی و عملکرد صوتی، کاهش وزن مواد و بالطبع کاهش مصرف سوخت، کاهش هزینه های تولید، راحتی و آسایش سفر و نیز کاهش آسیب ناشی از دمای بالای اجزای داخل اتومبیل در مقایسه با دیگر چندسازه های مصرفی در صنایع اتومبیل سازی اند [۷].

از جمله پلیمرهایی است که به طور گسترده در اتومبیل سازی و ساخت لوازم الکترونیکی استفاده می شود، ABS است. پلیمر اکریلونیتریل بوتادیان استایرن (ABS) دارای نقطه ذوب حدود ۱۰۵ درجه سانتی گراد است. ABS از اکریلونیتریل، بوتادیان و استایرن مشتق شده است. این کوپلیمر از استایرن و اکریلونیتریل در حضور پلی بوتادیان

فرآیند اختلاط مواد (مطابق جدول ۱) با دستگاه اکسترودر دو ماردون ساخت آلمان موجود در پژوهشگاه پتروشیمی و پلیمر ایران در دمای ناحیه انتهایی °C، سرعت اختلاط ۸۰ دور در دقیقه انجام شد، پس از اختلاط مواد چندسازه بی شکل تولید و پس از سرد شدن دوباره آسیاب و به دستگاه قالب گیری تزریقی منتقل شده اند و این دستگاه پس از ذوب مجدد آن ها، ماده مذاب را به درون قالب تزریق نموده و نمونه های آزمونی تهیه شدند.

بوئادی ان استایرن با شاخص جریان مذاب (g/10min) ۳/۲ (وزنه ۲/۱۶ کیلوگرم و دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد) و عامل سازگارکننده مالئیک انیدرید پیوندخورده با پلی استایرن (SMA) با نام تجاری SMA 3000F و شاخص جریان مذاب (g/10min) ۸۹ (وزنه ۲/۱۶ کیلوگرم و دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد) محصول شرکت کیمیا بسپار و از آرد چوب راش تهیه شده از شرکت آریا سلولز، با اندازه مش ۶۰ استفاده گردید.

جدول ۱ - کد تیمارها و چگونگی ترکیب مواد اولیه

ردیف	پلیمر (%)	چوبی ماده (%)	سازگارکننده (phc)*	کد شناسایی		
					بازیافتی	دست اول
۱	-	۳۰	۰	30- Re 0%	۷۰	-
۲	-	۳۰	۴	30- Re 4%	۷۰	-
۳	۷۰	۳۰	۰	30- vir 0%	-	۷۰
۴	۷۰	۳۰	۴	30- vir 4%	-	۷۰
۵	-	۴۰	۰	40- Re 0%	۶۰	-
۶	-	۴۰	۴	40- Re 4%	۶۰	-
۷	۶۰	۴۰	۰	40- vir 0%	-	۶۰
۸	۶۰	۴۰	۴	40- vir 4%	-	۶۰
۹	-	۵۰	۰	50- Re 0%	۵۰	-
۱۰	-	۵۰	۴	50- Re 4%	۵۰	-
۱۱	۵۰	۵۰	۰	50- vir 0%	-	۵۰
۱۲	۵۰	۵۰	۴	50- vir 4%	-	۵۰

* به ازای صد در صد ترکیب

ضخامت نمونه ها از میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ mm موجود در مجتمع آزمایشگاهی کارخانه پیشرو پلیمر طبرستان استفاده گردید.

در نهایت مقدار جذب آب و واکنش پذیری ضخامت با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید:

$$WA_{(1200)} = \frac{W_{(1200)} - W_{(0)}}{W_{(0)}} \times 100 \quad (1)$$

$WA_{(1200)}$ = درصد جذب آب بعد از ۱۲۰۰ ساعت،
 $W_{(1200)}$ = وزن نمونه بعد از ۱۲۰۰ ساعت،
 $W_{(0)}$ = وزن خشک نمونه قبل از غوطه وری

خواص فیزیکی

آزمایش های فیزیکی شامل جذب آب و واکنش پذیری ضخامت طولانی مدت مطابق آیین نامه D ۷۰۳۱ استاندارد ASTM انجام شد. برای این منظور نمونه هایی با اندازه ابعاد استاندارد ۲/۵*۲/۵ سانتی متر تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۸۵ درجه سانتی گراد قرار داده تا خشک شوند. نمونه های خشک شده بلافاصله توزین و ابعاد آن اندازه گیری شدند، سپس به مدت ۱۲۰۰ ساعت در آب مقطر در محیط آزمایشگاه قرار داده و در پایان هر فاصله زمانی نمونه ها را از آب خارج کرده و توسط یک پارچه خشک سطح خیس آن ها را پاک و بلافاصله وزن و ضخامت آن ها اندازه گیری شد. برای توزین نمونه ها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ gr و برای اندازه گیری

پارامتر KSR می‌تواند بهترین مناسب‌سازی را بین داده‌های تجربی و پیش‌بینی انجام دهد و این هنگامی به-وقوع می‌پیوندد که مجموع تفاوت مربعات واکشیدگی (SS) ضخامت تجربی و پیش‌بینی حداقل باشد که در این حالت یعنی مقدار واکشیدگی تجربی و مقدار واکشیدگی پیش‌بینی است.

$$SS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (۶)$$

اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی برای بررسی و ارزیابی اثر عوامل متغیر بر خواص چندسازه، شامل مقاومت و مدول کششی بر اساس استاندارد ASTM D638 توسط دستگاه Instron با سرعت بارگذاری ۲/۵ mm/min و نیز سختی با استفاده از استاندارد ASTM D221 توسط دستگاه سختی سنج شور دی انجام‌شد.

طیف جذبی زیر قرمز تبدیل فوریه

جهت مشاهده اختلاف بین دو پلیمر دست‌اول و بازیافتی از طیف جذب FT-IR استفاده گردید. مقدار یک میلی‌گرم از پودر پلیمر با ۱۰۰ میلی‌گرم برمید پتاسیم مخلوط و به‌منظور طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه به شکل قرص‌هایی تهیه‌شده و با استفاده از دستگاه FT-IR مدل SP1100, PUYCOM طیف زیر قرمز تهیه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به عوامل متغیر و سطوح آن‌ها در کل ۱۲ تیمار ایجاد که برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب و واکشیدگی بعد از ۱۲۰۰ ساعت غوطه‌وری و نیز خواص مکانیکی با استفاده از طرح کاملاً تصادفی متعادل انجام گردید. نتایج خواص مکانیکی با استفاده از گروه‌بندی میانگین‌های دانکن دسته‌بندی شدند.

نتایج و بحث

خواص فیزیکی

نتایج جذب آب، واکشیدگی ضخامت پس از ۱۲۰۰ ساعت غوطه‌وری، ضریب پخش آب و نرخ واکشیدگی

$$TS_{(1200)} = \frac{T_{(1200)} - T_{(0)}}{T_{(0)}} \times 100 \quad (۲)$$

$TS_{(1200)}$ = درصد واکشیدگی ضخامت بعد از ۱۲۰۰ ساعت غوطه‌وری، $T_{(1200)}$ = ضخامت نمونه‌ها بعد از ۱۲۰۰ ساعت غوطه‌وری، $T_{(0)}$ = ضخامت اولیه نمونه

ضریب انتشار رطوبت

ضریب انتشار رطوبت مهم‌ترین پارامتر در بیان نحوه جذب آب و رطوبت در مواد مرکب چوب پلاستیک است [۱۲].

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = \frac{4}{L} \left(\frac{D}{\pi} \right)^{0.5} t^{0.5} \quad (۳)$$

ضریب انتشار رطوبت (D) از شیب قسمت خطی منحنی M_t/M_{sat} در مقابل حاصل ضریب $t^{-0.5}$ به دست می‌آید که L ضخامت نمونه‌ها، M_t رطوبت در زمان و M_{sat} رطوبت حداکثر است [۱۲].

پارامتر واکشیدگی ضخامت

واکشیدگی ضخامت نتیجه عملکرد ضخامت نمونه‌ها در هنگام غوطه‌وری است که می‌تواند با رابطه ۴ بیان گردد [۱۳].

$$\frac{dL}{dT} = K_{SR} L \quad (۴)$$

L ضخامت تخته، T زمان و K_{SR} پارامتر واکشیدگی ضخامت است. تغییرات نرخ با استفاده از رابطه ۵ در یک شرایط مرزی که $L(t)=L_0$ در زمانی که $t=0$ و در رابطه ۵، L_{∞} ضخامت نهایی تخته و KSR ثابت نرخ واکشیدگی ضخامت است، نشان داده می‌شود.

$$TS(t) = \left(\frac{L_{\infty}}{L_0 + (L_{\infty} - L_0)e^{-K_{SR}t}} - 1 \right) \times 100 \quad (۵)$$

مقدار KSR از رابطه ۵ که وابسته به چگونگی شدت واکشیدگی چندسازه و نیز مقدار واکشیدگی ضخامت نهایی است، به دست می‌آید. برای به دست آوردن مقدار KSR یک منحنی رگرسیون غیرخطی و با روش مناسب‌سازی داده‌های تجربی در رابطه ۶ و با استفاده از روش‌های آماری و نرم‌افزار کامپیوتری قابل‌دستیابی است.

ضخامت در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج پارامترهای جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۱۲۰۰ ساعت غوطه‌وری چندسازه‌ها

چندسازه	جذب آب ۱۲۰۰ ساعت (%)	ضریب پخش آب (m ² /s)	واکنشیدگی ضخامت ۱۲۰۰ ساعت (%)	نرخ واکنشیدگی ضخامت (h ⁻¹)
30- Re 0%	۶/۲	۴/۶۷×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۹۲	۳/۷×۱۰ ^{-۳}
30- Re 4%	۵/۰	۴/۲۱×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۲۷	۳/۵×۱۰ ^{-۳}
30- vir 0%	۴/۲	۴/۰۸×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۷۵	۲/۶×۱۰ ^{-۳}
30- vir 4%	۴/۱	۳/۸۱×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۰۵	۱/۹×۱۰ ^{-۳}
40- Re 0%	۷/۴	۵/۳۳×۱۰ ^{-۱۳}	۴/۳۱	۶/۴×۱۰ ^{-۳}
40- Re 4%	۶/۵	۵/۳×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۵۳	۳/۸×۱۰ ^{-۳}
40- vir 0%	۶/۴	۴/۹×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۸۹	۴/۸×۱۰ ^{-۳}
40- vir 4%	۵/۴	۵/۹۳×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۱۱	۳/۲×۱۰ ^{-۳}
50- Re 0%	۷/۶	۷/۸۵×۱۰ ^{-۱۳}	۵/۳۱	۹/۰×۱۰ ^{-۳}
50- Re 4%	۷/۴	۶/۷۵×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۸۱	۴/۸×۱۰ ^{-۳}
50- vir 0%	۷/۳	۶/۴۳×۱۰ ^{-۱۳}	۴/۳۲	۸/۴×۱۰ ^{-۳}
50- vir 4%	۶/۶	۵/۰۱×۱۰ ^{-۱۳}	۳/۳۵	۶/۴×۱۰ ^{-۳}

بدون سازگارکننده ساخته شده‌اند و کمترین مقدار نیز در چندسازه‌های دارای ۳۰ درصد آرد چوب و ساخته شده از پلیمر دست‌اول و دارای سازگارکننده دیده می‌شود.

بیشترین مقدار جذب آب، واکنشیدگی ضخامت، ضریب پخش آب و نرخ واکنشیدگی ضخامت در چندسازه‌هایی که با ۵۰ درصد آرد چوب و با استفاده از پلیمر بازیافتی و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر خواص چندسازه‌ها

منابع تغییرات	ویژگی	جذب آب	واکنشیدگی ضخامت	سختی	مقاومت کششی	مدول کششی
مقدار آرد چوب	**./۰۰۰	**./۰۰۳	**./۰۰۰	**./۰۰۰	**./۰۰۰	**./۰۰۰
نوع پلیمر	۰/۰۹۱ ^{ns}	*./۰۴۴	**./۰۰۶	**./۰۰۰	**./۰۰۰	**./۰۰۰
وجود سازگارکننده	*./۰۱۹	*./۰۴۰	**./۰۰۰	**./۰۰۰	**./۰۰۰	**./۰۰۰
مقدار آرد چوب × نوع پلیمر	*./۰۱۳	*./۰۴۵	**./۰۰۰	**./۰۰۰	**./۰۰۱	**./۰۰۱
مقدار آرد چوب × وجود سازگارکننده	۰/۷۸۵ ^{ns}	۰/۵۴۳ ^{ns}	**./۰۰۵	**./۰۰۰	**./۰۰۰	**./۰۰۰
نوع پلیمر × وجود سازگارکننده	۰/۸۷۵ ^{ns}	۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۰۵۷ ^{ns}	۰/۰۸۲ ^{ns}	۰/۱۴۹ ^{ns}	۰/۱۴۹ ^{ns}
مقدار آرد چوب × نوع پلیمر × وجود سازگارکننده	**./۰۰۹	**./۰۰۱	۰/۱۹۵ ^{ns}	۰/۱۶۵ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}

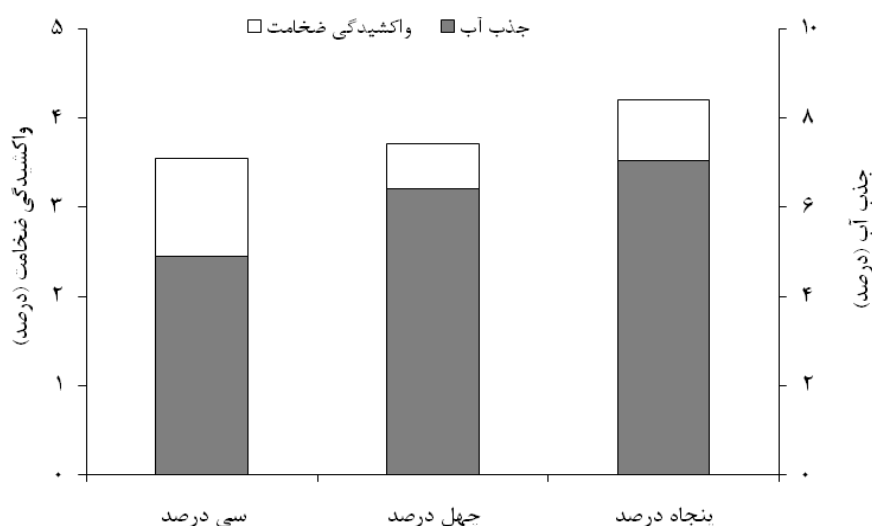
** معنی‌داری در سطح ۱٪ * معنی‌داری در سطح ۵٪ ns عدم معنی‌داری

معنی‌دار است. بر اساس جدول ۳، تأثیر مستقل مقدار آرد چوب، نوع پلیمر، وجود یا عدم وجود سازگارکننده و تأثیر متقابل مقدار آرد چوب و نوع پلیمر و نیز تأثیر متقابل کلیه عوامل مورد بررسی بر واکنشیدگی ضخامت معنی‌دار است. بر اساس شکل ۱، با افزایش مقدار آرد چوب در چندسازه، مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت آن‌ها

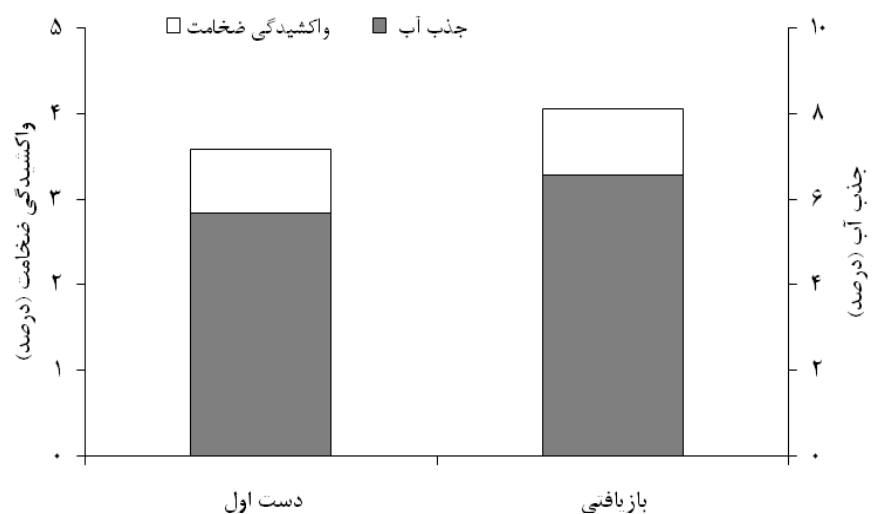
جدول ۳ تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر مورد مطالعه بر مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه بعد از ۱۲۰۰ ساعت غوطه‌وری را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۳ تأثیر مستقل مقدار آرد چوب، وجود یا عدم وجود سازگارکننده و تأثیر متقابل مقدار آرد چوب و نوع پلیمر و نیز تأثیر متقابل همه عوامل مورد بررسی بر جذب آب

افزایش می‌یابد. کمترین مقدار جذب آب و واکسیدگی ضخامت در چندسازه‌های ساخته‌شده با ۳۰ درصد آرد چوب و بیشترین مقدار در چندسازه‌هایی با ۵۰ درصد آرد چوب مشاهده می‌شود. تأثیر نوع دست‌اول یا بازیافتی بودن پلیمر بر جذب آب و واکسیدگی ضخامت در شکل ۲ نمایان شده است. بر اساس شکل ۲، چندسازه‌هایی که از پلیمر دست‌اول ساخته‌شده‌اند، مقدار جذب آب و واکسیدگی ضخامت آن‌ها کمتر از چندسازه‌های ساخته‌شده از پلیمر بازیافتی است. بر اساس شکل ۳ چندسازه‌هایی که دارای سازگارکننده‌اند، نسبت به چندسازه‌های فاقد سازگارکننده، جذب آب و

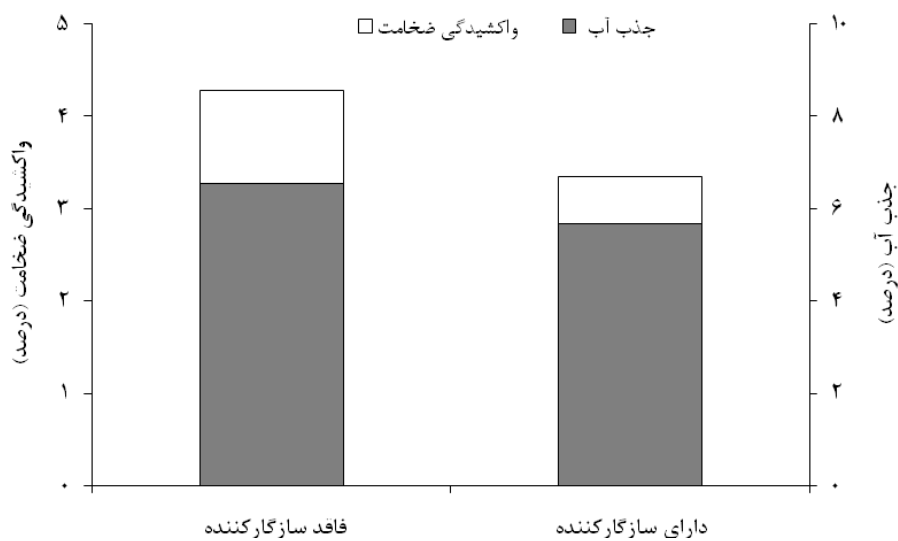
واکسیدگی ضخامت کمتری نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۴، با افزایش مقدار آرد چوب، بر مقدار ضریب انتشار رطوبت افزوده می‌شود. علاوه بر این، با افزایش مقدار آرد چوب نرخ واکسیدگی ضخامت چندسازه نیز افزایش می‌یابد. شکل ۵ تأثیر استفاده از پلیمر بکر یا بازیافتی بر ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکسیدگی ضخامت چندسازه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استفاده از پلیمر بازیافتی در ساخت چندسازه، مقدار ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکسیدگی ضخامت را افزایش می‌دهد.



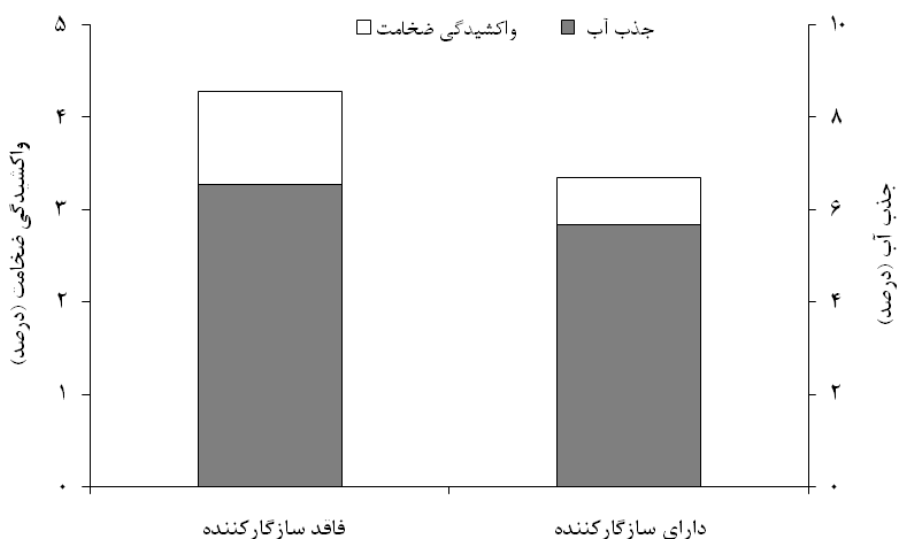
شکل ۱- تأثیر مقدار آرد چوب بر جذب آب و واکسیدگی ضخامت چندسازه‌ها



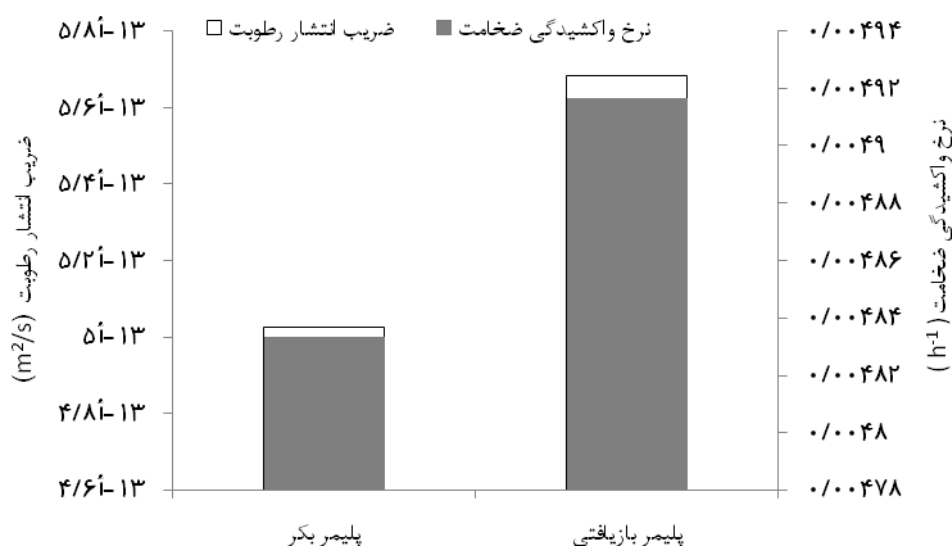
شکل ۲- تأثیر نوع پلیمر بر جذب آب و واکسیدگی ضخامت چندسازه‌ها



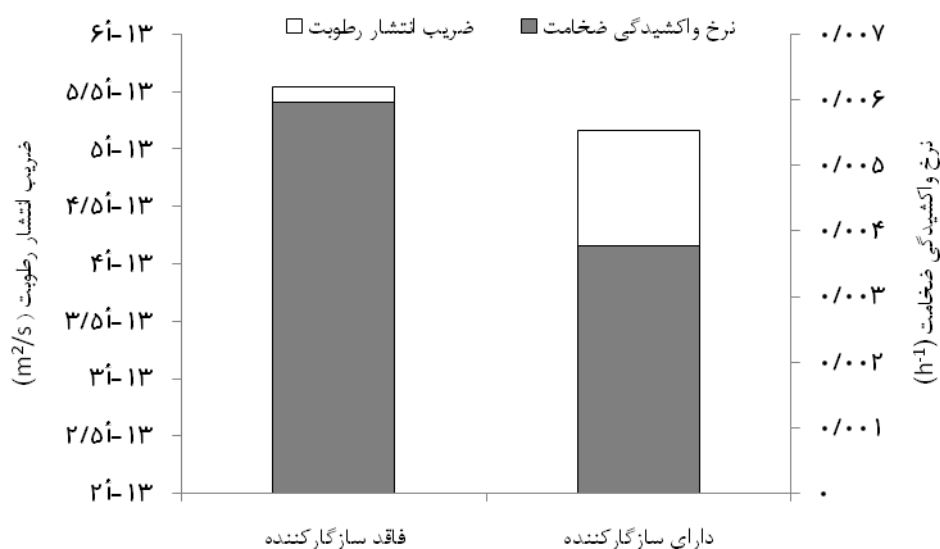
شکل ۳- تأثیر وجود سازگارکننده بر جذب آب و واکسیدگی ضخامت چندسازه‌ها



شکل ۴- تأثیر مقدار آرد چوب بر ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکسیدگی ضخامت چندسازه‌ها



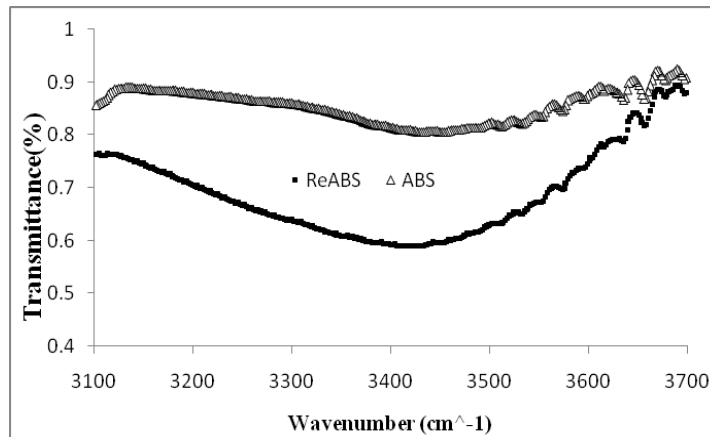
شکل ۵- تأثیر نوع پلیمر بر ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکسیدگی ضخامت چندسازه‌ها



شکل ۶- تأثیر سازگار کننده بر ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکسیدگی ضخامت چندسازه‌ها

ناحیه مربوط به جذب گروه هیدروکسیل است. همان گونه که مشاهده می‌شود بعد بازیافت پلیمر شدت جذب در این ناحیه افزایش یافته، به طوری که پیک پلیمر بازیافتی ABS در این ناحیه پهن و کشیده تر نشان می‌دهد.

بر اساس شکل ۶، استفاده از سازگار کننده در هنگام ساخت چندسازه، مقدار ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکسیدگی ضخامت را کاهش می‌دهد. شکل ۷ طیف مادون قرمز پلیمر ABS دست‌اول و بازیافتی را در ناحیه جذبی 3200 cm^{-1} الی 3600 cm^{-1} نشان می‌دهد. این



شکل ۷- طیف مادون قرمز پلیمر ABS بکر و بازیافتی

ضخامت چندسازه افزایش پیدا کرد. با توجه به اینکه پلیمرهای گرمانرم به علت غیرقطبی بودن، موادی آب‌گریز هستند و این موضوع برعکس طبیعت قطبی و آب‌دوست لیاف سلولزی است، از این رو افزودن تقویت‌کننده‌های لیگنوسولوزی به ماتریس پلیمری سبب افزایش جذب آب چندسازه‌ها می‌گردد. از طرفی وجود گروه‌های هیدروکسیل آب‌دوست قابل دسترس زنجیرهای سلولزی آرد چوب سبب تشکیل پیوندهای هیدروژنی جدیدی با مولکول‌های آب شده که این عمل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بیشتر و نیز افزایش ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکنشیدگی ضخامت بیشتر را به همراه دارد [۱۴، ۱۵]. چندسازه‌های ساخته‌شده از پلیمر دست‌اول نسبت به چندسازه‌های ساخته‌شده از پلیمرهای بازیافتی میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کمتری دارند. بر اساس طیف‌سنجی مادون قرمز در ناحیه 3200 cm^{-1} الی 3600 cm^{-1} که محل جذب گروه عاملی هیدروکسیل است، نشان از تمایل بیشتر پلیمر بازیافتی نسبت به پلیمر دست‌اول به جذب آب و در نتیجه واکنشیدگی ضخامت بیشتر چندسازه‌های حاوی آن است. بعلاوه شاخص جریان مذاب پلیمر بکر ($10\text{ g}/10\text{ min}$) است که برای پلیمر بازیافتی به $3/2\text{ g}/10\text{ min}$ کاهش یافته است. کاهش شاخص جریان مذاب موجب کاهش تأثیر ترک‌کننده‌گی آرد چوب توسط پلیمر بازیافتی نسبت به پلیمر دست‌اول شده و بر خواص فاز اتصال بین آرد چوب و پلیمر تأثیر گذاشته و در نهایت موجب افزایش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و ضرایب و پارامترهای مربوط به آن می‌شود. همچنین با

در چندسازه‌های چوب پلاستیک جذب آب با سازوکارهای مختلفی انجام می‌شود: الف) جذب آب از راه دیواره سلولی آرد چوب که ناشی از طبیعت آب‌دوست آن است و منجر به واکنشیدگی ضخامت چندسازه می‌شود. ب) جذب آب با فرآیند موئینگی که از راه فاصله و شکاف‌های موجود در حفاصل بین پلیمر و آرد چوب به دلیل اتصال ضعیف بین چوب و پلیمر ایجاد می‌شود. ج) جذب آب از طریق خلل و فرج موجود در چندسازه که ناشی از فرآیند تولید است [۱۲]. واکنشیدگی ضخامت در چندسازه‌های چوبی بسیار پیچیده است و تأثیر مخربی بر خواص فیزیکی و مکانیکی دارد. واکنشیدگی ضخامت در چندسازه‌ها ابتدا به علت واکنشیدگی عناصر چوبی که آن را می‌سازند، به وجود می‌آید. قسمتی از این واکنشیدگی در اثر آزادسازی تنش‌هایی است که در هنگام ساخت در داخل چندسازه محبوس شده‌اند و نفوذ رطوبت موجب آزاد کردن آن می‌شود، ایجاد می‌شود. در هنگامی که چندسازه‌های چوب پلاستیک در شرایطی قرار بگیرند که آب جذب نمایند ابتدا واکنشیدگی آهسته است زیرا تخلخل موجود در مواد مرکب چوب پلاستیک موجب آزادی حرکت لیافی که واکنشیده شدند می‌شود. با گذشت زمان واکنشیدگی با نرخ معین ادامه پیدا می‌کند، زیرا واکنشیدگی بعضی از عناصر چوبی کامل شده است. در زمان مشخص و در یک نقطه معلوم واکنشیدگی کامل می‌گردد. از پارامترهای مهم در این زمینه می‌توان به نرخ واکنشیدگی ضخامت اشاره کرد [۱۳].

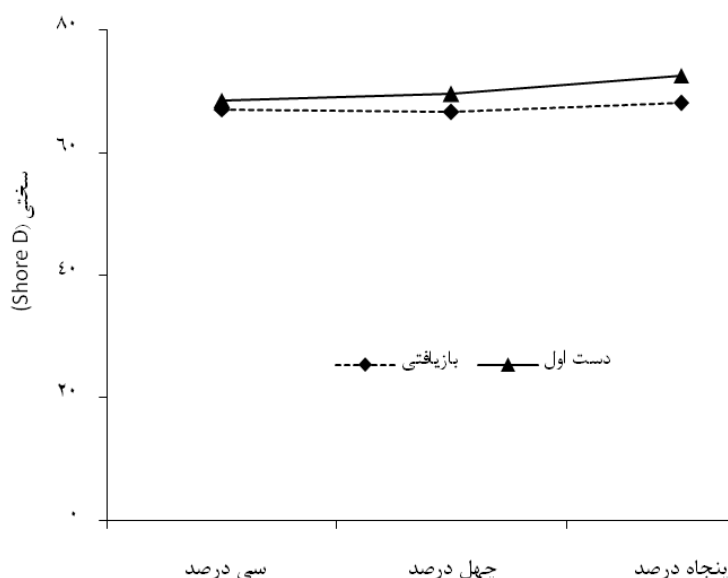
با افزایش مقدار آرد چوب، جذب آب و واکنشیدگی

خواص مکانیکی

مقاومت سختی

بر اساس جدول ۳ تأثیر مستقل مقدار آرد چوب، نوع پلیمر و وجود یا عدم وجود سازگارکننده و نیز تأثیر متقابل مقدار آرد چوب و نوع پلیمر و تأثیر متقابل مقدار آرد چوب و وجود یا عدم وجود سازگارکننده بر سختی چندسازه‌های موردبررسی معنی‌دار است. شکل ۸ تأثیر متقابل مقدار پرکننده و نوع پلیمر را بر سختی نشان می‌دهد، همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در چندسازه‌های موردبررسی هر چه مقدار پرکننده بیشتر شود، مقدار سختی آن نیز افزایش می‌یابد. Soundrarajan و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای بر روی چندسازه آرد چوب ABS / نشان دادند که با افزایش پرکننده سختی چندسازه افزایش می‌یابد [۱۰]. گروه‌بندی دانکن، چندسازه‌های دارای ۳۰ و ۴۰ درصد آرد چوب را در یک گروه و چندسازه‌های دارای ۵۰ درصد آرد چوب را به‌تنهایی در گروه برتر قرار داد. بعلاوه تأثیر دست‌اول و یا بازیافتی بودن پلیمر نیز بر سختی چندسازه نشانگر آن است که در چندسازه‌های حاوی پلیمر بازیافتی سختی کاهش می‌یابد.

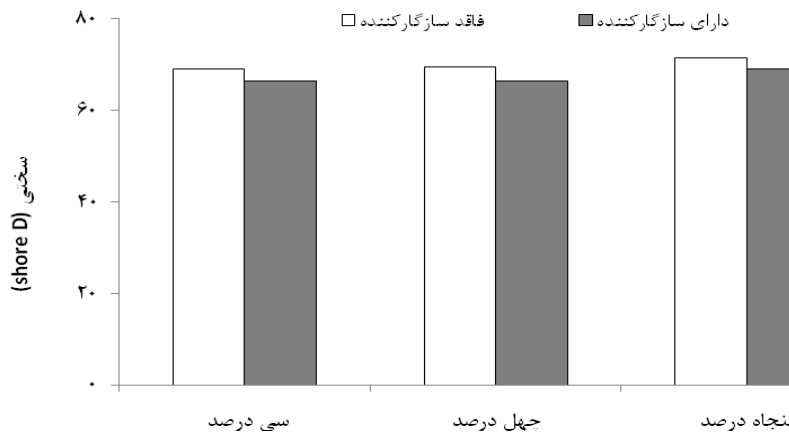
افزودن ماده سازگارکننده SMA به چندسازه‌های ساخته‌شده از پلیمر بازیافتی میزان جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت آن‌ها کاهش‌یافته و خواص فیزیکی آن‌ها بهبود می‌یابد [۱۱، ۱۶]. انجام واکنش‌های استری بین گروه‌های انیدریدی SMA و گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب باعث کاهش تماس مولکول‌های آب با گروه‌های هیدروکسیل آزاد آرد چوب می‌شود؛ بنابراین وجود SMA موجب می‌شود که گروه‌های هیدروکسیلی آرد چوب استری شوند. بدین ترتیب میزان گروه‌های هیدروکسیلی آزاد در دسترس برای واکنش با مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. بعلاوه بهبود اتصال بین پلیمر و آرد چوب باعث حذف فضاهای موجود در حدفاصل بین ABS و آرد چوب شده و موجب کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت در چندسازه خواهد شد. علاوه بر این سازگارکننده سبب می‌شود تا پوشش آرد چوب توسط پلیمر بهتر انجام شود و ضمن کاهش دسترس‌پذیری آرد چوب به آب، از جذب آب توسط دیواره‌های سلول چوبی کاسته شده که منجر به کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه می‌گردد.



شکل ۸- تأثیر متقابل مقدار پرکننده و نوع پلیمر بر سختی چندسازه‌های موردبررسی

پلاستیک مورد مطالعه، مشاهده کردند که چندسازه‌های حاوی سازگارکننده سختی کمتری دارند که آن را به طبیعت ترموپلاستیک سازگارکننده نسبت به مواد لیگنوسلولزی نسبت دادند [۱۷].

مطابق شکل ۹، چندسازه‌هایی که فاقد سازگارکننده‌اند نسبت به چندسازه‌های دارای سازگارکننده، سختی بیشتری نشان می‌دهند. Kaymakci و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خواص سطحی و سختی چندسازه چوب

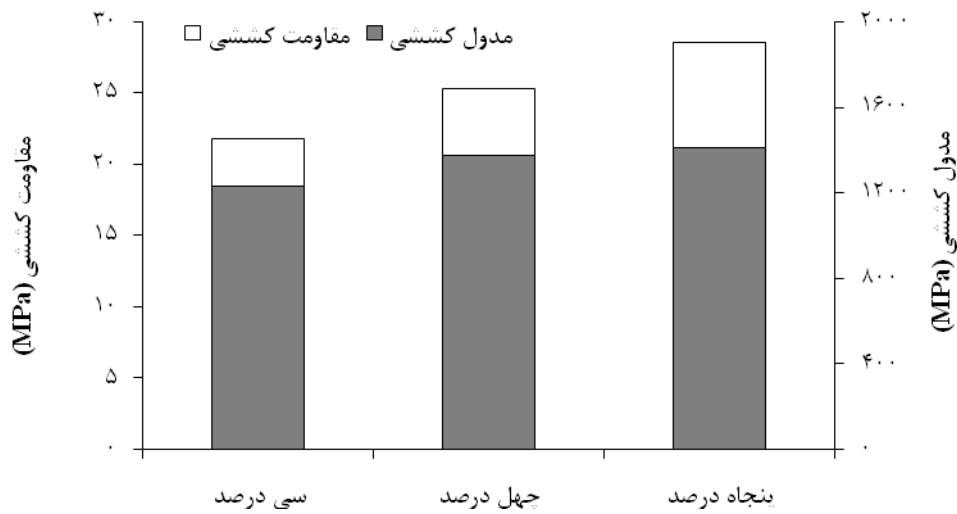


شکل ۹- تأثیر متقابل مقدار پرکننده و وجود سازگارکننده بر سختی چندسازه

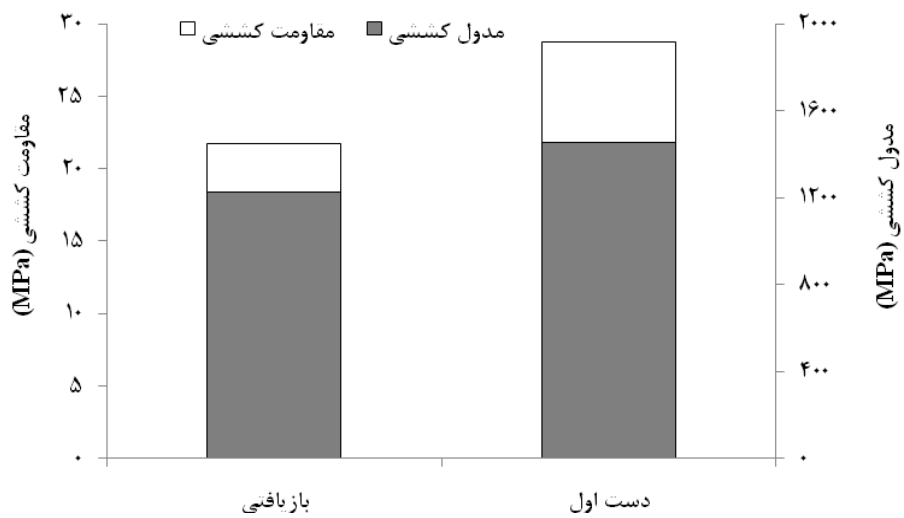
پلیمر شده و کیفیت اتصال بین پرکننده و پلیمر را تحت تأثیر قرار داده و بر خواص کششی چندسازه تأثیر می‌گذارد. بر اساس شکل ۱۲ چندسازه‌های حاوی سازگارکننده دارای مقادیر بیشتری مقاومت و مدول کششی نسبت به چندسازه‌های فاقد سازگارکننده می‌باشند. سازگارکننده سبب بهبود اتصال بین پلیمر و آرد چوب شده و موجب می‌شود تا خواص کششی چندسازه بهبود یابد [۱۷].

خواص کششی

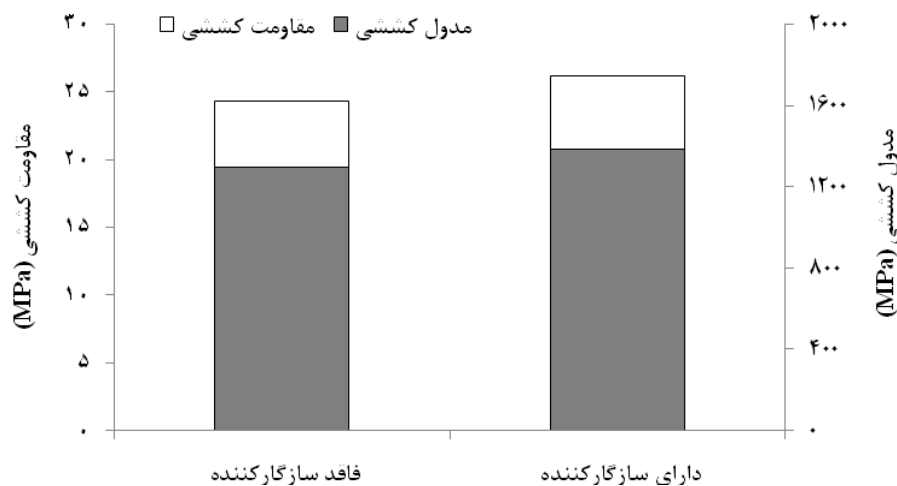
تأثیر مستقل مقدار آرد چوب، نوع پلیمر و وجود یا عدم وجود سازگارکننده و تأثیر متقابل مقدار آرد چوب و نوع پلیمر و نیز تأثیر متقابل مقدار آرد چوب و وجود یا عدم وجود سازگارکننده بر مقاومت و مدول کششی چندسازه‌های مورد بررسی معنی‌دار است (جدول ۳). با افزایش مقدار پرکننده از ۳۰ به ۵۰ درصد، مقاومت و مدول کششی افزایش می‌یابد (شکل ۱۰). گروه‌بندی دانکن تأثیر سطوح مختلف آرد چوب بر مقاومت کششی را هر یک در یک گروه دسته‌بندی کرد، به طوری که چندسازه‌های حاوی ۵۰ درصد آرد چوب گروه برتر آن را تشکیل می‌دهد؛ اما گروه‌بندی دانکن نتایج مدول کششی را در دو گروه دسته‌بندی کرده به طوری که چندسازه‌های حاوی ۴۰ و ۵۰ درصد آرد چوب در یک گروه قرار گرفتند. Soundrarajan و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی خواص چندسازه آرد چوب ABS / نشان دادند که با افزایش پرکننده مقاومت کششی چندسازه افزایش می‌یابد [۱۰]. در شکل ۱۱ چندسازه‌های ساخته شده از پلیمر دست‌اول دارای مقادیر بیشتری مقاومت و مدول کششی می‌باشند. کاهش شاخص جریان مذاب در پلیمر بازیافتی موجب کاهش ترشوندگی آرد چوب توسط



شکل ۱۰- تأثیر مقدار پرکننده بر مقاومت و مدول کششی چندسازه‌ها



شکل ۱۱- تأثیر نوع پلیمر بر مقاومت و مدول کششی چندسازه‌ها



شکل ۱۲- تأثیر وجود یا عدم وجود سازگار کننده بر مقاومت و مدول کششی چندسازه‌ها

نتیجه‌گیری

حاضر استفاده از سازگار کننده SMA موجب بهبود خواص کششی و کاهش پارامترهای جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه شده است ولی سختی را کاهش داد. استفاده از پلیمر دست‌اول ABS در ساخت چندسازه نیز خواص مورد مطالعه را بهبود بخشید.

سپاسگزاری

نگارندگان از آقای طلوعی و شرکت پیشرو پلیمر طبرستان به خاطر همه کمک‌ها و همکاری‌ها تشکر می‌کنند.

این پژوهش به بررسی تأثیر مقادیر متفاوت آرد چوب، دست‌اول یا بازیافتی بودن ABS و وجود یا عدم وجود سازگار کننده SMA بر خواص فیزیکی مثل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۱۲۰۰ ساعت غوطه‌وری، پارامترهای جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و خواص مکانیکی مثل مقاومت و مدول کششی و سختی چندسازه‌های آرد چوب/اکریلونیتریل بوتادی‌ان استایرن پرداخته و نتایج زیر به دست آمده است.

افزایش مقدار پرکننده آرد چوب در چندسازه آرد چوب/ABS خواص فیزیکی مرتبط با جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و خواص مکانیکی مثل سختی و مقاومت و مدول کششی را افزایش می‌دهد. در مطالعه

مراجع

- [1] Saffarzadeh, S. and Ebrahimi, Gh., 2000. A Study of cellulosic fibers /High Density Polyethylene Composites and their Mechanical Properties. Iranian Journal of Natural Resources, 53(3): 217-226. (In Persian).
- [2] Karimi, A.N., Roohani, M., Parsapazouh, D. and Ebrahimi, GH., 2004. A Study of the Feasibility of the Use of Lignocellulosic, Bagasse and Kenaf Fibers in the Manufacture of Fiber-Polypropylene Composites. Iranian Journal of Natural Resources, 57(3): 379-390. (In Persian).
- [3] Tajvidi, M. and Ebrahimi, GH., 1998. Study of the Feasibility of the Use of Cellulose, Paper and Wood Fibers in the Manufacture of Fiber-Polypropylene Composites. Iranian Journal of Natural Resources. 51(2): 35-45. (In Persian).

- [4] Rahimi, H., 2000. Introduction of Composites. In: Proceedings of the 2nd short time specialist and learning course reinforced plastics. Iran Polymer and Petrochemical Institute, Nov. 12 Tehran, Iran. p 129-134. (In Persian).
- [5] Kim, J. K. and Pal, K., 2010. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 323 p.
- [6] Ashori, A., 2008. Wood-Plastic composites as promising green-composites for automotive industries!. *Bioresource Technology*. 99(11): 4661-4667.
- [7] Yeh, S.K., Agarwal, S. and Gupta, R.K., 2006. Process Development for ABS-Based Wood-Plastic Composites. *Progress in Wood and Bio-Fiber Plastic Composites. International Conference*, May. 1 – 2 Toronto, Ontario, Canada, p 355-364.
- [8] Soundrarajan, S., Palanivelu, K. and Sharma, S.K., 2012. Studies on twin screw compounding and mechanical, thermal & electrical properties of wood flour filled ABS. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 7(1): 1-10.
- [9] Croucher, M., Linnell, J., Gupta, R., Facemyer, K., GangaRao, H., Ritchie, D., Cairns, D., Tucker, J., Wang, J. and Shi, X., 2010. Final Report For the Project Entitled: Continuation of Research, Commercialization, and Workforce Development in the Polymer/Electronics Recycling Industry, West Virginia University Research Corporation. 206 P.
- [10] Yeh, S.K., Agarwal, S. and Gupta, R.K., 2009. Wood-plastic composites formulated with virgin and recycled ABS. *Composite Science and Technology*, 69(13): 2225-2230.
- [11] Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson S., 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibers from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. *Composites: Part A, Applied Science and Manufacturing*, 35(11): 1267–1276.
- [12] Shi, S. Q. and Gardner, D. J., 2005. Hygroscopic thickness swelling rate of compression mold wood fiberboard and wood fiber/polymer composite. *Composites Part A, Applied Science and Manufacturing*, 37(9): 1276-1285.
- [13] Stark, N., 2001. Influence of Moisture Absorption on Mechanical Properties of Wood Flour-polypropylene Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 14(5): 421–432.
- [14] Mishra, S., Naik, J.B. and Patil, Y.P., 2004. Studies on swelling properties of wood polymer composites based on agrowaste and novolac. *Journal of Advances in Polymer Technology*, 23(1): 46-50.
- [15] Yeh, S.K., Agarwal, S. and Gupta, R. K., 2007. Recycling ABS from End-of-Life Electronics into Wood-Plastic Composites. *Global Plastics Environmental Conference, Society of Plastics Engineers*: March. 4-7 Orlando, Florida, USA, p 1315-1319.
- [16] Kaymakci, A., Ayrilmis, N. and Gulec, T., 2013. Surface Properties and Hardness of Polypropylene Composites Filled With Sunflower Stalk Flour. *BioResources*, 8(1): 592-602.

Study on physical and mechanical properties of wood flour/ABS omposites

Abstract

The aim of this research was to study the effect of SMA, as coupling agent (0, 4 phc), wood flour filler loading (30, 40, 50% of total weight), wood flour filler loading (30, 40, 50% of total weight), and virgin and recycled ABS on physical and mechanical properties of wood flour/Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). Samples of composites were made by injection molding method, and physical tests including long term water absorption and thickness swelling, and mechanical tests containing hardness and tensile strength and also their moduli were performed according to ASTM standards method. The results showed that by increasing the amount of wood flour, water absorption, water absorption coefficient, thickness swelling, hygroscopic thickness swelling rate, hardness, tensile strength and modulus of composites were increased. Using virgin ABS in composites increased the tensile properties and hardness, but water absorption, thickness swelling, and the other parameters decreased. Using SMA in composites decreased the hardness of the composites.

Keywords: acrylonitrile butadiene styrene, wood plastic composites, water absorption coefficient, hygroscopic thickness swelling rate, tensile properties.

A. Najafi ^{1*}
M.A. Bei ²

¹ Assistant Professor, Wood and Paper Science and Technology department, Islamic Azad University, Chalous branch, Chalous, Iran

² Ph.D. student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Islamic Azad University, Science and Research branch, Tehran, Iran

Corresponding author:
ab_najafi@yahoo.com

Received: 2013.11.04
Accepted: 2015.01.03

