

ارزیابی اثر میزان سازگار کننده بر جذب آب و واكشیدگی ضخامت بلند مدت مواد مرکب هیبریدی پلی پروپیلن، آرد چوب و الیاف شیشه

علیرضا قطبی فر^۱، سعید کاظمی نجفی^{۲*}، ربیع بهروز اشکیکی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در این پژوهش، تاثیر میزان (۲، ۳ و ۵ درصد) مالئیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP) بر جذب آب و واكشیدگی ضخامت مواد مرکب هیبریدی پلی پروپیلن، آرد چوب و الیاف شیشه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه هایی با سطح مقطع ۷۰×۱۰mm با بهره گیری از اکسترودر دو مارپیچ ناهمسو گرد ساخته شد. برای بررسی روند جذب آب و واكشیدگی ضخامت بلند مدت، مواد مرکب هیبریدی ساخته شده برای چندین هفته تا رسیدن به بیشینه میزان جذب آب، غوطه ور در آب بودند. ضریب انتشار آب و نرخ واكشیدگی ضخامت در مواد مرکب هیبریدی تعیین شدند. نتایج نشان داد افزودن ۲ درصد MAPP و افزایش آن تا ۵ درصد باعث کاهش ضریب انتشار آب، نرخ واكشیدگی ضخامت و بیشینه میزان جذب آب و واكشیدگی ضخامت مواد مرکب هیبریدی می شود.

واژه های کلیدی: مواد مرکب هیبریدی، مالئیک انیدرید پلی پروپیلن، الیاف شیشه، آرد چوب، جذب آب و واكشیدگی ضخامت

مقدمه:

که با به کارگیری پرکننده‌ها می‌توان ویژگی‌های مکانیکی بهتری در آنها به وجود آورد [۵].

مالئیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP) از جمله ترکیب‌های پلی اولفینی گرفت شده با مالئیک انیدرید است که چسبندگی بالایی را بین پرکننده لیگنوسولوزی و ماتریس ایجاد می‌کنند. افزودن مالئیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP) به عنوان سازگارکننده در مواد مرکب هیبریدی الیاف طبیعی و الیاف شیشه به وسیله پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۴ و ۶]. نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب هیبریدی با افزودن MAPP افزایش می‌یابد.

میزان مالئیک انیدرید پلی پروپیلن افزوده شده تا حد معینی تاثیرگذار است. زیرا واکنش بین عامل انیدریدی سازگارکننده و گروه‌های هیدروکسیل آزاد آرد چوب محدود به میزان معینی از مالئیک انیدرید پلی پروپیلن است، بنابراین مصرف بیشتر آن منجر به تشکیل فرآورده‌های فرعی می‌شود؛ بنابراین ویژگی‌های مکانیکی کاهش پیدا می‌کند [۷ و ۸].

امروزه بهره‌گیری از پرکننده‌های طبیعی مانند آرد چوب (به‌ویژه در درصد‌های بالا) در ساخت مواد مرکب چوب پلاستیک به شدت مورد توجه می‌باشد اما درصد‌های بالای آرد چوب سبب جذب آب به نسبت قابل توجه و کاهش مقاومت‌های مکانیکی مواد مرکب چوب پلاستیک می‌شود.

افزودن میزان بسیار کمی الیاف شیشه و تهیه هیبریدی از آرد چوب و الیاف شیشه به عنوان تقویت کننده سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب چوب پلاستیک می‌شود. نظر به اینکه به دلیل چسبندگی ضعیف مواد تقویت کننده با پلیمر، بهره‌گیری از سازگار کننده ضروری می‌باشد و در درصد‌های بالاتر پرکننده اهمیت دو چندان می‌یابد، بررسی چگونگی تاثیرگذاری سازگارکننده بر ویژگی‌های فیزیکی مانند جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مواد مرکب تولیدی و تعیین میزان بهینه مصرف ضروری به نظر می‌رسد.

مواد مرکب هیبریدی نتیجه ترکیب دو یا چند نوع از تقویت کننده‌های (آلی- معدنی، معدنی- معدنی، آلی-آلی) می‌باشند. هر یک از تقویت کننده‌ها دارای ویژگی‌هایی است که کمبودهای تقویت کننده‌های دیگر را می‌پوشاند [۱ و ۲]. تولید مواد مرکب هیبریدی از روش‌های بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب چوب پلاستیک است. در واقع برای بهره‌گیری از برتری‌های هر دو نوع پرکننده طبیعی و مصنوعی می‌توان آنها را در یک ماتریس یکسان ترکیب کرد تا مواد مرکب هیبریدی تولید نمود [۳].

در مواد مرکب هیبریدی الیاف طبیعی (آرد چوب و الیاف چوب) و الیاف شیشه هر دو این تقویت کننده‌ها قطبی هستند. بنابراین هر دو نوع تقویت کننده چسبندگی ضعیفی با مواد پلیمر غیر قطبی مانند پلی پروپیلن دارند [۴].

چسبندگی ضعیف تقویت کننده‌ها با پلیمر منجر به پخش ضعیف تقویت کننده در مواد گرم‌انرم (ترموپلاستیک) مذاب و ایجاد فاز میانی ضعیف بین تقویت کننده و ماتریس می‌شود که هر دو عامل تاثیر زیادی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب دارند. تقویت کننده‌ها برای اینکه موثر باشند باید با پلیمر اتصال قوی ایجاد کنند. برای افزایش میل ترکیبی تقویت کننده‌ها با پلیمر از عوامل اتصال دهنده بهره‌گیری می‌شود.

عوامل اتصال دهنده موادی هستند که دارای یک سر قطبی و یک سر غیر قطبی می‌باشند. بنابراین نقش یک پل ارتباطی را بین مواد تقویت کننده قطبی و پلیمر غیر قطبی بازی می‌کنند. از عوامل اتصال دهنده مهم می‌توان به ایزوسیانات‌ها، آلکوکسی سیلان‌ها، انیدریدها (مانند انیدرید فتالیک و انیدرید مالئیک) اشاره نمود.

امروزه شمار زیادی از ترکیب‌های پلی اولفینی با مالئیک انیدرید، پلیمرهای پیوندی تشکیل می‌دهند.

در صنعت به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی یا سازگاری از ترکیب‌های دو جزئی از نوع پلی اولفین‌ها، پلی آمیدها، پلی استرها یا الاستومرها بهره‌گیری می‌شود

چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن به کمک مخلوط کن آزمایشگاهی با سرعت ۱۵۰۰ rpm و به مدت ۲۰ دقیقه با هم مخلوط شدند. مواد مخلوط شده مورد نیاز برای هر ترکیب با یک دستگاه تزریق (اکسترودر) دو ماریچ نا همسوگرد مدل WPC-۴۸۱۵ ساخت شرکت برنا پارس مهر به باریکه های با سطح مقطع ۱ سانتی متر (ضخامت) در ۷ سانتی متر (پهنا) تبدیل شدند. سرعت و دمای دستگاه تزریق (اکسترودر) برای تولید باریکه برابر با جدول ۲ تنظیم شد.

اندازه گیری جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

برای ارزیابی ویژگی های فیزیکی نمونه ها روند جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بلند مدت نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین پنج نمونه از هر اختلاط گزینش شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای $20 \pm 10^\circ \text{C}$ در درون آن خشک شد. پس از آن وزن و ضخامت نمونه های خشک شده به ترتیب با ترازوی دیجیتالی با دقت 0.001 گرم و میکرومتر با دقت 0.001 میلی متر اندازه گیری شدند و در آب مقطر و در دمای اتاق قرار داده شدند. برای هر بار اندازه گیری جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه ها از آب برداشته شدند و سطح آنها با دستمال کاغذی خشک شده و میزان وزن و ضخامت آنها بار دیگر [۹] وزن و ضخامت نمونه ها در فاصله های زمانی معین (تا زمان ثابت شدن وزن و ضخامت) اندازه گیری شدند. میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بر پایه روابط ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$WA(t) = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

WA = میزان جذب آب در زمان غوطه وری t (%)

W_o = وزن خشک نمونه قبل از غوطه وری (g)

W_t = وزن نمونه ها در زمان غوطه وری t (g)

$$TS(t) = \frac{T_t - T_o}{T_o} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

TS = واکنشیدگی ضخامت در زمان غوطه وری t (%) ؛

T_t = ضخامت نمونه در حالت خشک (mm)

T_o = ضخامت نمونه ها در زمان غوطه وری t (mm)

بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی اثر MAPP به عنوان سازگارکننده روی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بلند مدت مواد مرکب هیبریدی پلی پروپیلن - آرد چوب - الیاف شیشه و یافتن میزان بهینه مصرف آن می باشد.

مواد و روش ها

مواد

پلی پروپیلن: در این پژوهش، از پلی پروپیلن تولیدی پتروشیمی تبریز با مشخصه SI-080 و شاخص جریان مذاب (MFI^1) $9 \text{ gr}/10 \text{ min}$ به عنوان فاز زمینه بهره گیری شده است.

ماده سازگارکننده: مالٹیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP) ساخت شرکت کیمیا جاوید با مشخصه G 6070 و شاخص جریان مذاب $10 \text{ gr}/10 \text{ min}$ به عنوان سازگار کننده یا عامل جفت کننده بهره گیری شد.

آرد چوب سوزنی برگ: با توجه به حجم و موارد زیاد کاربرد چوب سوزنی برگ وارداتی در نواحی شمال کشور در ساخت انواع مصنوعات چوبی هر ساله میزان زیادی خاک اره از برش آنها تولید می شود که بهره گیری از آنها در ساخت مواد مرکب چوب پلاستیک می تواند مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در این پژوهش آرد چوب مورد نیاز از کارگاه های نجاری شهرستان نور واقع در استان مازندران تهیه و با بهره گیری از الک مش $40/60+$ دانه بندی شده است.

الیاف شیشه: الیاف شیشه از نوع E-Glass chopped

strands با طول ۳ میلی متر بهره گیری شده است.

ساخت نمونه های آزمونی: در آغاز آرد چوب در آن با دمای $30 \pm 10^\circ \text{C}$ و به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و سپس برای جلوگیری از جذب رطوبت در درون کیسه های پلاستیکی نگهداری شد. آرد چوب خشک شده، الیاف شیشه، پلی پروپیلن و MAPP با نسبت درصد وزنی مورد نظر (برابر جدول ۱) برای ساخت نمونه مخلوط شدند. برای اختلاط بهتر و همگن در آغاز آرد

¹Melt Flow Index

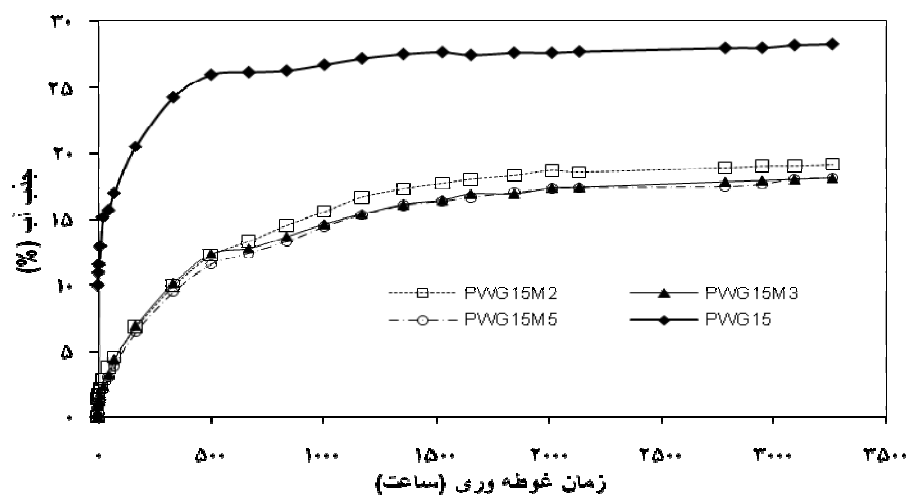
جدول ۱- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیب‌های مختلف مواد مرکب هیبریدی پلی پروپیلن، آردچوب و الیاف شیشه

شماره	کد	آرد چوب (%)	پلی پروپیلن (%)	الیاف شیشه (%)	سازگارکننده (%)
۱	PWG15	۵۵	۳۰	۱۵	۰
۲	PWG15M2	۵۵	۲۸	۱۵	۲
۳	PWG15M3	۵۵	۲۷	۱۵	۳
۴	PWG15M5	۵۵	۲۵	۱۵	۵

*P پلی پروپیلن؛ W آرد چوب؛ G الیاف شیشه؛ M سازگارکننده * درصدها وزنی است.

جدول ۲- شرایط مورد استفاده برای ساخت مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن

فرایند اکستروژن	دما (°C)						دمای قالب		سرعت (rpm)
	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	۱	۲	
	۱۷۵	۱۷۰	۱۶۵	۱۵۵	۱۵۰	۱۳۵	۱۳۵	۱۱۰	۹۰



شکل ۱- روند جذب آب مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن

نتایج و بحث

بررسی روند جذب آب بلند مدت مواد مرکب

هیبریدی

شکل ۱ روند جذب آب مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن با ۰، ۲، ۳ و ۵ درصد از MAPP را نشان می‌دهد. جذب آب مواد مرکب هیبریدی ساخته شده با افزایش زمان غوطه وری افزایش می‌یابد و مدت زمان رسیدن به بیشینه میزان جذب آب مواد مرکب هیبریدی ساخته شده با درصد های مختلفی از MAPP متفاوت می‌باشد. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد مواد مرکب هیبریدی بدون MAPP پس از ۱۳۵۹ ساعت غوطه وری در آب به حداکثر جذب آب می‌رسند. در حالی که با افزودن ۲، ۳، ۵ و درصد MAPP در مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن زمان رسیدن به بیشینه میزان جذب آب به ترتیب تا حدود ۲۱۳۶، ۳۰۹۳ و ۳۰۹۳ ساعت افزایش می‌یابد. همچنین با افزودن ۲ درصد MAPP و افزایش آن به ۵ درصد، بیشینه میزان جذب آب مواد مرکب هیبریدی در حدود ۳۳ الی ۳۵ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۳). به عبارت دیگر جذب آب مواد مرکب بدون MAPP به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از مواد مرکب

که رابطه ۴ از رابطه ۳ مشتق شده است. شکل ۲ یک مثال از همخوانی داده‌های تجربی مواد مرکب هیبریدی بدون MAPP و دارای MAPP را با رابطه ۴ نشان می‌دهد. جدول ۳ نیز میزان ضریب n و K به دست آمده از این روش را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود ضریب n برای کلیه تیمارها برابر یا کمتر از ۰/۵ می‌باشد

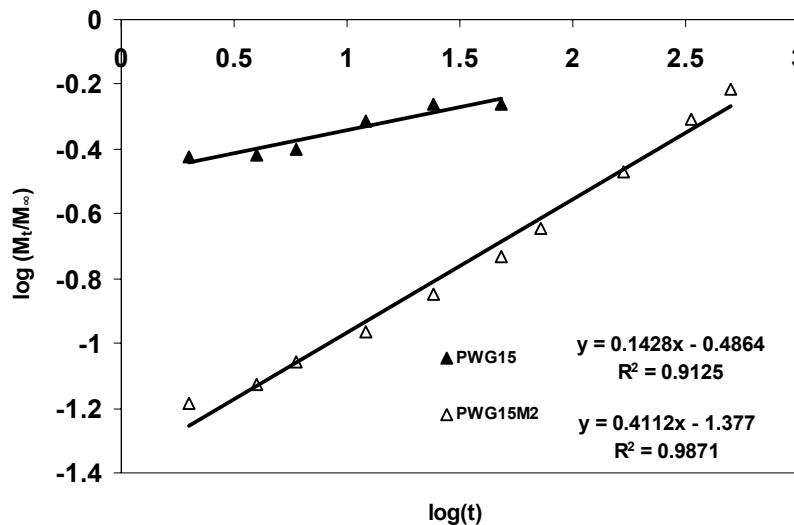
دارای MAPP است. به طور کلی، افزودن MAPP در مواد مرکب چوب پلاستیک اثر معنی داری در کاهش جذب آب دارد [۱۱ و ۱۰] و زمان رسیدن به بیشینه میزان جذب آب با افزایش MAPP افزایش می‌یابد [۱۲]. ضریب انتشار مهم‌ترین مشخصه در بیان چگونگی جذب آب و رطوبت در مواد مرکب چوب پلاستیک می‌باشد. به طور کلی از نظر نظری، ضریب انتشار آب به وسیله شیب منحنی جذب آب با بهره‌گیری از رابطه ۳ تعیین می‌شود:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = Kt^n \quad \text{رابطه ۳:}$$

که M_t میزان رطوبت در زمان t ، M_∞ میزان جذب آب اشباع، K و n نیز ثابت می‌باشند. میزان ضریب n اختلاف رفتاری مواد مختلف را از نظر انتشار رطوبت نشان می‌دهد. برای موادی که انتشار آب در آنها از نظریه انتشار فیک پیروی می‌کند (مانند مواد مرکب چوب پلاستیک) $n \leq 0.5$ می‌باشد. بدین ترتیب تجزیه سازوکار انتشار در مواد مورد بررسی، بر پایه نظریه انتشار فیک و همخوانی داده‌های به دست آمده با رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$\log\left(\frac{M_t}{M_\infty}\right) = \log(K) + n \log(t) \quad \text{رابطه ۴:}$$

که بیانگر پیروی جذب آب مواد مرکب هیبریدی مورد بررسی از نظریه انتشار فیک می‌باشد. میزان ضریب K با زمان رسیدن به نقطه تعادل جذب آب مواد مرکب هیبریدی در ارتباط می‌باشد به طوری که بالا بودن آن بیانگر رسیدن به بیشینه میزان جذب آب در زمان کوتاه است.



شکل ۲- همخوانی داده‌های تجربی با نظریه انتشار رطوبت در تیمار PWG15 و PWG15M2

افزایش MAPP از ۲ به ۵ درصد در مواد مرکب هیبریدی کاهش یافته است زیرا انجام واکنش‌های استری بین گروه‌های انیدریدی MAPP و گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب باعث کاهش تماس مولکول‌های آب با گروه‌های هیدروکسیل آزاد آرد چوب می‌شود. بنابراین با افزایش MAPP گروه‌های هیدروکسیلی بیشتری از چوب استری می‌شوند بدین ترتیب میزان گروه‌های هیدروکسیلی آزاد در دسترس برای واکنش با مولکول‌های آب کاهش می‌یابد [۱۵]. رایج‌ترین سازوکار نفوذ آب به درون مواد مرکب انتقال موئینگی می‌باشد که آب به درون روزنه‌ها و شکاف‌ها نفوذ کرده و در فاز میانی بین مواد تقویت کننده و ماتریس جریان می‌یابد و از این راه به طور کامل، تر و غوطه ور می‌شوند. بنابراین با بهتر شدن چسبندگی مواد پلیمری با تقویت کننده در فاز میانی، فرایند انتشار و جذب آب مواد مرکب کاهش می‌یابد. در مواد مرکب هیبریدی ساخته شده آرد چوب و الیاف شیشه دارای سطح قطبی می‌باشند بنابراین با پلی پروپیلن نمی‌توانند اتصال مناسبی داشته باشند به همین دلیل در مرحله میانی تقویت کننده با پلیمر فضاهای بین مرحله‌ای ایجاد می‌شود و در هنگام غوطه وری ماده مرکب هیبریدی در آب، مولکول‌های آب وارد فضاهای

ضریب انتشار مهم‌ترین مشخصه مدل فیک می‌باشد و بیانگر توانایی نفوذ مولکول‌های حلال به درون ساختار مواد مرکب هیبریدی می‌باشد. برای زمان‌های کوتاه ($M_t/M_\infty \leq 0.5$) رابطه ۵ را می‌توان بهره‌گیری کرد [۱۴ و ۱۳].

$$\text{رابطه ۵: } \frac{M_t}{M_\infty} = \frac{4}{L} \left(\frac{D}{\pi} \right)^{0.5} t^{0.5}$$

با رابطه ۵ ضریب انتشار آب از شیب قسمت خطی منحنی M_t/M_∞ در برابر $t^{0.5} \cdot L^{-1}$ (شکل ۳) به دست می‌آید که در این رابطه D ضریب انتشار آب و L ضخامت نمونه‌ها می‌باشد.

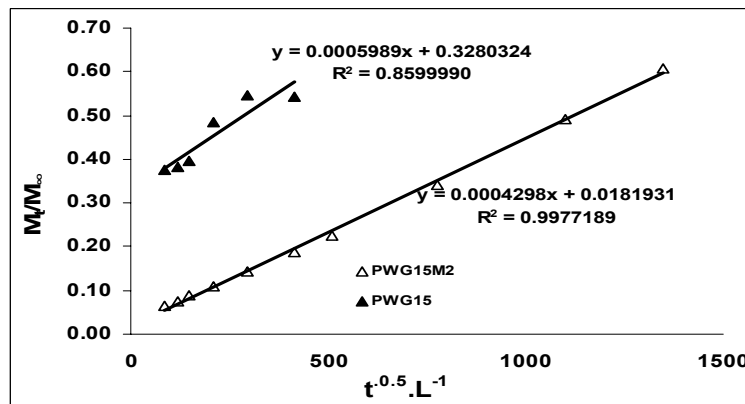
در جدول ۳ ضریب انتشار آب مواد مرکب هیبریدی با میزان‌های مختلف MAPP آمده است. نتایج نشان می‌دهد افزودن MAPP اثر معنی داری در کاهش ضریب انتشار آب داشته است، به طوری که با افزودن ۲، ۳ و ۵ درصد MAPP به ترتیب ۵۱، ۵۲ و ۵۸ درصد کاهش می‌یابد. اما دیده می‌شود که با افزودن ۳ و ۵ درصد MAPP در مواد مرکب هیبریدی دارای ۲ درصد MAPP، به ترتیب ۳/۷ و ۱۴/۱۲ درصد کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که سرعت حرکت مولکول‌های آب با

تمایل به جذب آب کمی دارد. به همین دلیل با افزودن MAPP و ایجاد اتصال بهتر در مرحله میانی می‌توان دسترسی مولکول‌های آب به مواد تقویت کننده به ویژه آرد چوب را محدود کرد و بدین گونه می‌توان روند جذب آب را در مواد مرکب هیبریدی کند نمود.

خالی شده و می‌توانند در تماس مستقیم با مواد تقویت کننده و پلیمر قرار گیرند. آرد چوب به دلیل داشتن ویژگی جذب و دفع رطوبت (هیگروسکوپیک) گرایش به جذب آب بیشتری را در مقایسه با الیاف شیشه و پلی پروپیلن دارد. به طور کلی الیاف شیشه به دلیل داشتن سطح قطبی تنها توانایی نگه داری مولکول‌های آب را در سطح خود دارند اما مولکول‌های آب نمی‌تواند وارد ساختار آنها شوند [۷]. از طرف دیگر پلی پروپیلن نیز

جدول ۳- ضریب انتشار، بیشینه میزان جذب آب و ضریب‌های n و k در تیمارهای مختلف

کد تیمار	n	K(h ²)	بیشینه میزان جذب آب (%)	زمان رسیدن به غوطه‌وری (ساعت)	ضریب انتشار آب (m ² s ⁻¹)
PWG15	۰/۱۵۸۱	۰/۳۱۱۵	۲۷/۵۳	۱۳۵۹	۷/۴ E -۱۲
PWG15M2	۰/۴۱۱۲	۰/۰۴۲۰	۱۸/۴۹	۲۱۳۶	۳/۶۵ E -۱۲
PWG15M3	۰/۴۸۳۶	۰/۰۲۸۰	۱۸/۰۱	۳۰۹۳	۳/۵۲ E -۱۲
PWG15M5	۰/۵۴۱۲	۰/۰۲۱۲	۱۸/۰۲	۳۰۹۳	۳/۱۴ E -۱۲

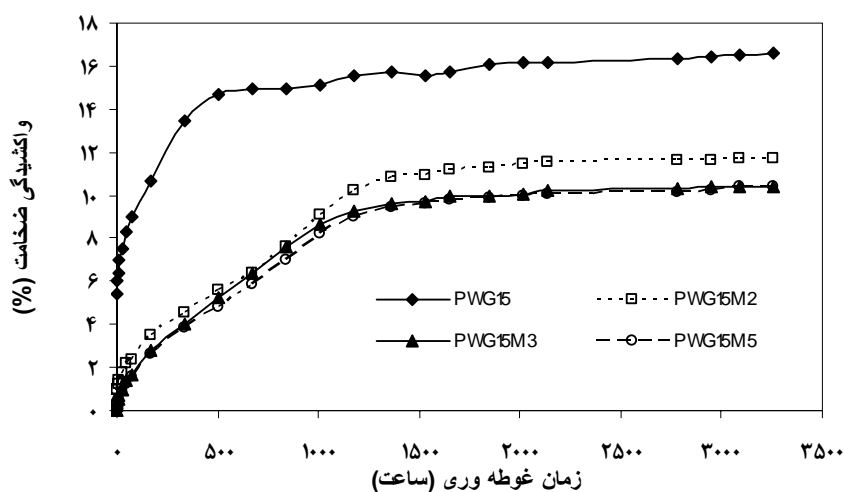


شکل ۳- چگونگی تعیین ضریب انتشار در مواد مرکب هیبریدی در تیمار PWG15 و PWG15M2

غوطه وری افزایش می‌یابد و مدت زمان رسیدن به بیشینه واکنشیدگی ضخامت در مواد مرکب هیبریدی ساخته شده با درصد های مختلفی از MAPP متفاوت می‌باشد. واکنشیدگی ضخامت مواد مرکب بدون MAPP بیشتر از مواد مرکب دارای MAPP است.

۲- بررسی روند واکنشیدگی ضخامت بلند مدت مواد مرکب هیبریدی

شکل ۴ روند واکنشیدگی ضخامت مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن با ۰، ۲، ۳ و ۵ درصد از MAPP را نشان می‌دهد. واکنشیدگی ضخامت مواد مرکب هیبریدی ساخته شده با افزایش زمان



شکل ۴- روند واکنشیدگی ضخامت مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن

مواد مرکب هیبریدی ساخته شده بخش عمده واکنشیدگی مربوط به آرد چوب می‌باشد. کاهش واکنشیدگی ضخامت مواد مرکب هیبریدی با افزایش MAPP را می‌توان مربوط به ایجاد اتصال بهتر در فاز میانی مواد تقویت کننده و پلیمر مواد مرکب هیبریدی دانست، زیرا با بهتر شدن اتصالها در مرحله میانی به ویژه آرد چوب با پلی پروپیلن دسترسی مولکولهای آب به گروههای هیدروکسیل آزاد در سطح آرد چوب محدود می‌شود. در صورت نفوذ آب در مرحله میانی مواد تقویت کننده و پلیمر و تخریب اتصال بین آنها (بویژه در طولانی مدت) می‌تواند سبب تشدید واکنشیدگی شود. روند واکنشیدگی ضخامت در مواد مرکب چوب پلاستیک بوسیله شمار محدودی از پژوهشگران مورد بررسی قرار

همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد مواد مرکب هیبریدی بدون MAPP پس از ۱۱۷۵ ساعت غوطه وری در آب به بیشینه واکنشیدگی ضخامت می‌رسند در حالی که با افزودن ۰، ۲، ۳ و ۵ درصد MAPP زمان رسیدن به بیشینه واکنشیدگی ضخامت در مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن به ترتیب ۲۹۴۹، ۳۰۹۳ و ۳۰۹۳ ساعت افزایش می‌یابد. با افزودن ۲ درصد MAPP و افزایش آن به ۵ درصد، بیشینه واکنشیدگی ضخامت مواد مرکب هیبریدی در حدود ۲۵ الی ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. در مواد مرکب چوب پلاستیک جذب آب باعث نفوذ مولکولهای آب به نواحی آمورف سلولزی پر کننده های لیگنو سلولزی می‌شود و بدین ترتیب باعث تورم و واکنشیدگی در پر کننده می‌شود. در

واکسیدگی ضخامت مواد مرکب چوبی را توضیح دهد. کاظمی و همکاران [۱۶] از این مدل در توصیف واکسیدگی ضخامت مواد مرکب چوب پلاستیک مورد بررسی ساخته شده از پلاستیک‌های پسماندی و خاک اره نیز بهره‌گیری کردند. در این مدل از مشخصه نرخ واکسیدگی (K_{SR}) بهره‌گیری می‌شود که وابسته به سرعت واکسیدگی، واکسیدگی ضخامت بیشینه و ضخامت اولیه نمونه می‌باشد. تغییرات نرخ با رابطه ۶ نشان داده می‌شود:

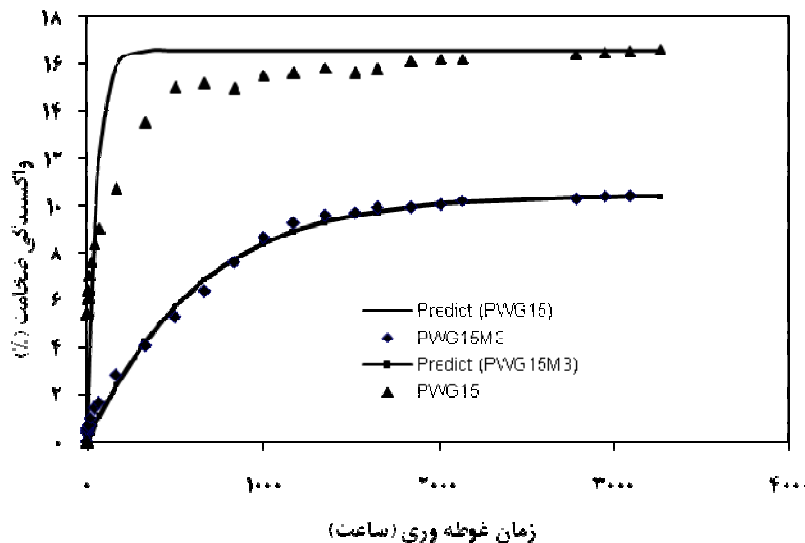
$$TS(t) = \left(\frac{T_{\infty}}{T_0 + (T_{\infty} - T_0)e^{-K_{SR}t}} - 1 \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۶}$$

پایه کمینه اختلاف مربعات برای بدست آوردن مشخصه نرخ واکسیدگی ضخامت مواد مرکب چوب پلاستیک دیده می‌شود. بهترین مناسب سازی داده های تجربی و پیش‌بینی شده در مواد مرکب با واکسیدگی ضخامت کمتر بدست می‌آید. در شکل ۵ نیز به خوبی قابل مشاهده است که با افزودن MAPP و کاهش واکسیدگی ضخامت بهترین نتیجه بدست می‌آید.

گرفته است [۱۷ و ۱۶]. همچنین روند واکسیدگی ضخامت این مواد با دیگر مواد مرکب چوبی مانند تخته خرده چوب و MDF مقایسه شده است [۱۸]. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روند واکسیدگی ضخامت مواد مرکب چوب پلاستیک کندتر و کمتر از مواد مرکب چوبی (تخته خرده چوب و MDF) و حتی چوب است.

Shi و Gardner [۱۷] توانستند نرخ واکسیدگی ضخامت مواد مرکب را کمی سازند که بدین ترتیب می‌توان واکسیدگی مواد مختلف را به سادگی مقایسه نمود. آنان مدلی را گسترش دادند که می‌تواند روند

که در آن T_0 ضخامت اولیه نمونه، T_{∞} ضخامت نهایی، $TS(t)$ واکسیدگی ضخامت در زمان t و K_{SR} ثابت نرخ واکسیدگی ضخامت است. میزان K_{SR} در رابطه ۶ وابسته به چگونگی شدت واکسیدگی ماده مرکب و نیز میزان ضخامت نهایی و اولیه محاسبه می‌شود. از روش مناسب سازی منحنی غیر خطی با بهره‌گیری از داده‌های تجربی برای بدست آوردن میزان K_{SR} بهره‌گیری شده است. در شکل ۵ مناسب سازی داده‌های تجربی و پیش‌بینی بر



شکل ۵- مناسب سازی منحنی داده های تجربی و پیش بینی شده واکسیدگی ضخامت در تیمار PWG15M3 و PWG15

جدول ۴- ضخامت اولیه، ضخامت نهایی، بیشینه واکنشیدگی ضخامت، معیار نرخ واکنشیدگی ضخامت

کد تیمار	T_0 (mm)	T_{∞} (mm)	TS (%)	$K_{SR}(\times 10^{-3}h^{-1})$
PWG15	۱۰/۰۹۴	۱۱/۷۶۷	۱۵/۵۹	۲۰
PWG15M2	۱۰/۰۳۱	۱۱/۲۳۲	۱۱/۶۶	۱/۶
PWG15M3	۱۰/۰۴۲	۱۱/۰۸۷	۱۰/۴۱	۱/۷
PWG15M5	۱۰/۰۴۰	۱۱/۰۸۸	۱۰/۴۰	۱/۵

می دهد. اما با افزایش MAPP از ۲ به ۵ درصد، K_{SR} به میزان کمی کاهش می یابد

نتیجه گیری:

اثر میزان های مختلف MAPP روی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در مواد مرکب هیبریدی آرد چوب، الیاف شیشه و پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه گیری های زیر از نتایج بدست آمده از این پژوهش قابل دستیابی است:

- بررسی روند جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بلند مدت مواد مرکب هیبریدی ساخته شده نشان می دهد که با افزودن MAPP بیشینه میزان جذب آب و واکنشیدگی کاهش یافته ضمن اینکه زمان رسیدن به این بیشینه ها افزایش می یابد.
- با افزایش MAPP، سرعت انتشار آب و K_{SR} (مشخصه نرخ واکنشیدگی ضخامت) به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

مشخصه نرخ واکنشیدگی به همراه ضخامت اولیه، ضخامت نهایی، بیشینه واکنشیدگی ضخامت در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که در جدول ۴ دیده می شود میزان K_{SR} مواد مرکب هیبریدی با میزان های مختلفی از MAPP متفاوت می باشد. مواد مرکب هیبریدی بدون MAPP بالاترین میزان K_{SR} را دارند. بالا بودن K_{SR} بیانگر آن است که سرعت واکنشیدگی ضخامت ماده مرکب بالا می باشد، بنابراین ماده مرکب در زمان کوتاهی به نقطه تعادل واکنشیدگی ضخامت می رسد. همان طور که در شکل ۴ قابل دیدن است مواد مرکب هیبریدی بدون MAPP در زمان کوتاهی به بیشینه واکنشیدگی ضخامت می رسند. بنابراین میزان K_{SR} آنها در مقایسه با مواد مرکب هیبریدی دارای MAPP بالا می باشد. K_{SR} به طور معنی داری در مواد مرکب هیبریدی دارای MAPP کاهش می یابد. به طوری که در مقایسه با مواد مرکب هیبریدی بدون MAPP، K_{SR} با افزودن ۲، ۳ و ۵ درصد MAPP در حدود ۹۰ درصد کاهش را نشان

منابع

- 1- AL-KAFI, A., Abedin, M.Z., Be, M.D.H., Pickering, K.L. and Khan, A.M., 2006. Study on the Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber-reinforced Unsaturated Polyester Hybrid Composites: Effect of Surface Modification by Ultraviolet Radiation, Journal of Reinforced Plastic and Composites 62: 339-353.
- 2- Jiang, H., Kamden, D.P., Bezubic, B. and Ruede, P., 2003. Mechanical Properties of Poly (vinyl chloride)/Wood Flour/Glass Fiber Hybrid Composites. Journal of Vinyl and Technology 9: 38-145.
- 3- Ahmed, K.S., Vijayarangan, S. and Rajput, C., 2006. Mechanical Behavior of Isothalic Polyester based Untreated Woven Jute and Glass Fabric Hybrid Composites, Journal of Reinforced Plastic and Composites 25: 1549-1569.

- 4-Arbelaiz, A., Fernandez, B., Cantero, G., Llano-Ponte, R., Valea, A. and Mondragon, I., 2005. Mechanical Properties of Flax Fiber/Polypropylene Composites. Influence of Fibre/Matrix Modification and Glass Fibre Hybridization, *Journal of Composites* 36: 1637-1644.
- 5-Semsarzarzadeh, M. A., Mehrabzade, M. and Salehe, M., 1999. Maleic Anhydride Reaction of HDPE and Preparation of High Impact HDPE by Using Calcium Carbonate, *J. Polym. Sci. Technol* 1: 37-44. (In Persian)
- 6- Thwe, M.M. and Liao, K., 2003. Durability of Bamboo-Glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites, *Journal of Composites Science and Technology* 63: 375-387.
- 7- LIN, Q., ZHOU, X. and DAI, G., 2002. Effect of Hydrothermal Environment on Moisture Absorption and Mechanical Properties of Wood Flour-Filled Polypropylene Composites, *Journal of Applied Polymer Science* 85: 2824-2832.
- 8- Wambua, P., Ivens, J. and Verpoest, I., 2003. Natural fibres: Can They Replace Glass in Fiber Reinforced Plastics? *Journal of Composites Science and Technology* 36: 1259-1264.
- 9- Standard Guide for Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Products, *Annual Book of ASTM D 7031-04*, 2004.
- 10-Bledzki, A.K. and Faruk, O., 2003. Wood Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Fiber Geometry and Coupling Agent on Physico-Mechanical Properties, *Journal of Applied Composite Materials* 10: 365-379.
- 11-Taib, R.M., Ishak, M., Rozman, H.D. and Glasser, W.G., 2006. Effect of Moisture Absorption on the Tensile Properties of Steam-Exploded *Acacia mangium* Fiber-Polypropylene Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 19:475-489.
- 12- Adhikary, K.B., Pang, Sh. and Staiger, M. P., 2007. Long-term Moisture Absorbition and Thickness Swelling Behavior of Recycled Thermoplastics Reinforced with *Pinus radiata* sawdust, *chemical engineering journal* doi:10.1016/j.cej.2007.11.024.
- 13- 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, *Journal of Composites Part A* 35: 1267-1276.
- 14- Kazemi, S., Kiaeifar, A., Tajvidi, M. and Hamidinia, E., 2007. Water Absorption Behavior and Thickness Swelling Rate of Composites from Sawdust and Recycled Plastics, *Journal of Reinforced Plastic and Composites* 26(3): 341-348.
- 15- Taib, R.M., Mohd Ishak, Z.A., Rozman, H.D. and Glasser, W.G., 2006. Effect of Moisture Absorption on the Tensile Properties of Steam-exploded *Acacia mangium* Fiber Polypropylene Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials Composites* 19: 475-489.
- 16- Kazemi, S., Kiaeifar, A., Tajvidi, M. and Hamidinia, E., 2007. Hygroscopic Thickness Swelling Rate of Composites from Sawdust and Recycled Plastics, *Journal of Wood Science and Technology* 42:161-168.
- 17- Shi, QS. And Gardner, D.J., 2006. Hygroscopic Thickness Swelling Rate of Compression Molded Wood fiber and Wood fiber/Polymer Composite, *Journal of Composites Part A* 37: 1276-1285.
- 18- Yang, H.S., Kim, H.J., Park, H.J., Lee, B.J. and Hawang, T.S., 2006. Water Absorption Behavior and Mechanical Properties of Lignocellulosic Filler-Polyolefin Bio-composites, *Journal of Composite Structures* 72: 429-437.