Archive of SID

بررسی اثر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده لیگنوسلولزی بر ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک *

بهروز کُرد[1]، بهزاد کُرد[2]، سارا پورعباسی[3]، آزاده کیائی‌فر[4]

چکیده

در این تحقیق تاثیر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده لیگنوسلولزی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، دو نوع ماده لیگنوسلولزی شامل: آرد چوب و الیاف کتان با نسبت‌های وزنی متفاوت 30،40،50 و60 درصد به‌طور جداگانه با پلی‌پروپیلن مخلوط شد، همچنین برای سازگاری میان آنها، از ماده سازگارکننده مالئیک‌دار به میزان 2 درصد در تمام ترکیب‌ها استفاده شد. سپس کامپوزیت با استفاده از روش قالبگیری تزریقی ساخته شد، و آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی، مطابق استاندارد ASTM بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد با افزایش مقدار ماده تقویت کننده لیگنوسلوازی، مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کامپوزیت افزایش یافته، در حالیکه مقاومت به ضربه فاقدار کاهش می‌یابد. همچنین مقاومت‌های مکانیکی و قابلیت جذب آب کامپوزیت ساخته‌شده از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت، تقویت‌کننده، آرد چوب، الیاف کتان، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی

---

* *مستخرج از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر*

1- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر

2- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، مسئول مکاتبات Behzad_k8498@ yahoo.com

3- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر

4- عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از الیاف طبیعی به‌عنوان تقویت‌کننده و یا پرکننده در ساخت کامپوزیت‌های پلیمری مورد توجه بسیاری از محققین و بخش‌های مختلف صنعت قرار گرفته‌است. این الیاف در مقایسه با دیگر تقویت کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده های معدنی دارای مزیت‌هایی فراوانی از جمله دانسیته کمتر، مقاومت و مدول ویژه بالاتر، ساینده‌گی 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[1،3 و4]. این واقعیت که الیاف طبیعی، قابل بازیافت و تجزیه در طبیعت و تجدید شونده هستند در استفاده از این مواد در آینده نقش مهمی ایفاء می کند و علاقه روز افزون مصرف-کنندگان به خرید محصولات دوست‌دار محیط زیست نیاز صنایع به استفاده از مواد طبیعی را افزایش داده است [2]. از این‌رو طیف وسیعی از مواد لیگنوسلولزی وجود دارند که می‌توانند به عنوان پرکننده و تقویت-کننده در ساخت کامپوزیت‌های پلیمری مورد استفاده قرار گیرند که این مواد را می‌توان به آرد و الیاف چوب، آرد و الیاف پسماندهای کشاورزی (الیاف کتان، کنف، بامبو، کاه و کلش، باگاس، سبوس برنج و ...) تقسیم‌بندی نمود. بنابراین بررسی مقایسه‌ای خواص کامپوزیت حاصل از مواد لیگنوسلولزی با شکل‌های متفاوت (الیاف یا آرد) می‌تواند جهت بالا بردن ارزش افزوده محصولات و کاهش هزینه‌ها، در ساخت کامپوزیت‌ها، جزو مهمترین فعالیت‌های تحقیقاتی به‌شمار آید[5 و6].

باتایله[1] و همکاران (1989) در مطالعه‌ای که بر روی اثر الیاف سلولزی بر کامپوزیت های الیاف چوب و پلی پروپیلن انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مدول الاستیک به‌تدریج با افزایش درصد الیاف زیاد می-شود، و به‌طور معمول در مقدار 30 درصد الیاف ویژگی‌ها به حداکثر خود می‌رسند. همچنین بیان کردند که با استفاده از عوامل سازگار کننده ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی با ایجاد اتصال درون سطحی افزایش قابل‌توجهی می‌یابند[7].

مارکوویچ و همکاران[2] (2000) از آرد چوب به‌عنوان پرکننده پودری و الیاف آگار به‌عنوان تقویت‌کننده لیفی در ساخت کامپوزیت‌های پلی‌استری به‌طور جداگانه و با هم استفاده نمودند و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های غیر هیبرید و هیبرید را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های کامپوزیت تولید شده از الیاف به‌مراتب بالاتر از آرد چوب می‌باشد، همچنین با افزودن مقدار ماده سلولزی مقاومت و مدول کششی افزایش می‌یابد[12].

[3]-Bataille
[2]-Marcovich & et al

www.SID.ir

Archive of SID

وانگ و همکاران[1] (2002) در مطالعاتی که بر روی کامپوزیت‌های الیاف چوب/ پلاستیک انجام دادند، عنوان نمودند که درصد الیاف و دانسیته تخته، نقش مهمی در میزان جذب آب داشته و حداکثر میزان جذب آب زمانی است که درصد الیاف چوب بالا رود [18].

تجویدی (1382) در مطالعه بر روی خواص مهندسی و ویسکو الاستیک کامپوزیت‌ها، از پلی پروپیلن و پلی اتیلن سنگین به‌عنوان ماده زمینه و از الیاف کنف، آرد چوب، سبوس برنج و کاغذروزنامه به‌عنوان تقویت‌کننده در درصدهای وزنی 25 و 50% استفاده کرد. نتایج نشان دادند که در هر یک از درصدهای وزنی یاد شده، بیشترین مدول الاستیسیته و مقاومت‌های کششی و خمشی در مورد ترکیبات الیاف کنف و کمترین آنها در مورد ترکیبات حاوی سبوس برنج می‌باشد. همچنین در هر ترکیب با افزایش درصد الیاف، مدول-الاستیسیته و مقاومت‌های کششی و خمشی افزایش یافتند[1].

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده (آرد چوب و الیاف کتان) بر ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی کامپوزیت پلیمری صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از پلی پروپیلن، تولید شده توسط شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب 18 g/10min و چگالی 0/9 g/cm^3 با نام تجاری Moplen V30S به‌عنوان ماده پلیمری، از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن از محصولات شرکت بلژیکی Solvay با شاخص جریان مذاب 64g/10min و نام تجاری Priex 20070 به عنوان عامل سازگارکننده، و از آرد چوب و الیاف کتان به عنوان تقویت‌کننده لیگنوسلولزی تهیه شده از شرکت سلولز آریا، مورد استفاده قرار گرفت، که آنالیز ابعاد این تقویت‌کننده‌ها در جدول 1 ارائه شده‌است.

جدول 1- مقادیر میانگین ابعاد تقویت کننده‌های لیگنوسلولزی

نوع تقویت‌کننده	میانگین طول الیاف (میلی‌متر)	میانگین قطر الیاف (میلی‌متر)	ضریب لاغری (L/d)
الیاف کتان	6/22	0/097	64/12
آرد چوب	0/238	0/115	1/07

1-Wang & et al

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌ها

فرآیند اختلاط

فرآیند اختلاط مواد براساس جدول 2 توسط دستگاه مخلوط کـن داخلـی[1] در پژوهـشگاه پلیمـر و پتروشیمی ایران با دمای اختلاط 190°C، سرعت اختلاط 60 دور در دقیقه انجام شد، که پس از اختلاط مواد، چند سازه بی‌شکل تولید شده پس از سرد شدن دوباره آسیاب شده و به دستگاه قالب گیری تزریقی[2] منتقل شده و این دستگاه پس از ذوب مجدد، ماده مذاب را به درون قالب تزریق نموده و نمونه‌های مورد نظر تهیه شد.

جدول 2- درصد وزنی اجزای به‌کاررفته در ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک

شماره تیمار	ماده تقویت کننده (%)	پلی پروپیلن (%)	ماده سازگارکننده (%)
1	30	68	2
2	40	58	2
3	50	48	2
4	60	38	2

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش سه‌نقطه‌ای و آزمون کشش به‌ترتیب مطابق استاندارد ASTM D 747 و ASTM D 638 [8] توسط دستگاه اینسترون مدل 1186 با سرعت بارگذاری 2 میلی‌متر بر دقیقه انجام گرفت. مقاومت به ضربه فاقدار نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM D 256 در حالت شکاف‌دار و ایزود با استفاده از دستگاه ضربه مدل 5102 ساخت شرکت Zwick در دمای محیط اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی

آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت مطابق استاندارد ASTM D 7031 [8] انجام شد. برای این منظور نمونه‌هایی با اندازه ابعاد استاندارد تهیه و به مدت 24 ساعت در آون با دمای 80°C قرار داده تا خشک شوند. نمونه‌های خشک شده بلافاصله توزین و ابعاد آن اندازه‌گیری شدند، سپس در فاصله زمانی 24 ساعت در آب مقطر در دمای معمولی اتاق 23 °C قرار داده شدند و در نهایت توسط یک پارچه خشک سطح خیس آنها پاک شده و بلافاصله وزن و ضخامت آنها اندازه‌گیری شد. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال با دقت 0/001 گرم و برای اندازه گیری ضخامت نمونه ها از میکرومتر با دقت 0/001 میلی‌متر استفاده گردید. در نهایت مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

[1]-Haake
[2]-Injection Molding

www.SID.ir

Archive of SID

$$WA(t)=\frac{W(t)-W(o)}{W(o)}\times 100$$

که در آن: WA(t)= مقدار جذب آب بعد از 24 ساعت غوطه‌وری، W(t)= وزن نمونه بعد از 24 ساعت غوطه‌وری و W(o)= وزن خشک نمونه قبل از غوطه وری را نشان می‌دهد.

$$TS(t)=\frac{T(t)-T(o)}{T(o)}\times 100$$

در این رابطه : TS(t)= واکشیدگی ضخامت بعد از 24 ساعت غوطه‌وری، T(o)= ضخامت اولیه نمونه‌ها و T(t)= ضخامت بعد از 24 ساعت غوطه‌وری را بیان می‌دارد.

تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری Spss در قالب طرح آنالیز واریانس دوطرفه انجام شد و در نهایت مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان 99% انجام گرفت.

نتایج

خواص فیزیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده بر خواص فیزیکی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اعتماد 99% معنی‌دار است (جدول 3). همان‌طوری‌که در شکل‌های 1 و 2 مشاهده می‌شود با افزایش مقدار ماده تقویت کننده (آرد چوب، الیاف کتان) از 30 به 60 درصد، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کامپوزیت چوب پلاستیک کاهش می‌یابد. همچنین کامپوزیت حاصل از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب از جذب آب و واکشیدگی ضخامت بالاتری برخوردار است.

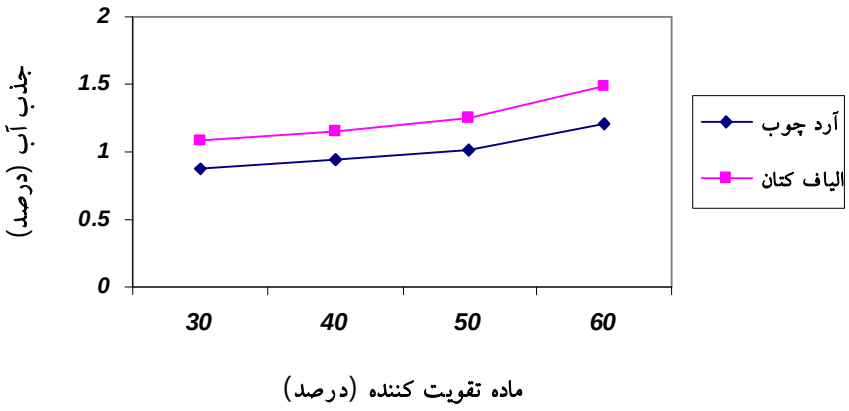
جدول 3- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر مقدار و نوع تقویت کننده بر خواص فیزیکی کامپوزیت چوب پلاستیک

ویژگی	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
جذب آب (درصد)	مقدار تقویت‌کننده	3	1/660	0/553	2/111*
	نوع تقویت‌کننده	1	1/465	1/465	5/592*
	مقدار × نوع تقویت‌کننده	3	1/020	0/340	1/298*
	خطا	16	4/195	0/262	-
	کل	23	8/34	-	-
واکشیدگی ضخامت (درصد)	مقدار تقویت‌کننده	3	1/058	0/353	1/697*
	نوع تقویت‌کننده	1	1/140	1/140	5/481*
	مقدار × نوع تقویت‌کننده	3	1/074	0/358	1/721*
	خطا	16	3/330	0/208	-
	کل	23	6/602	-	-

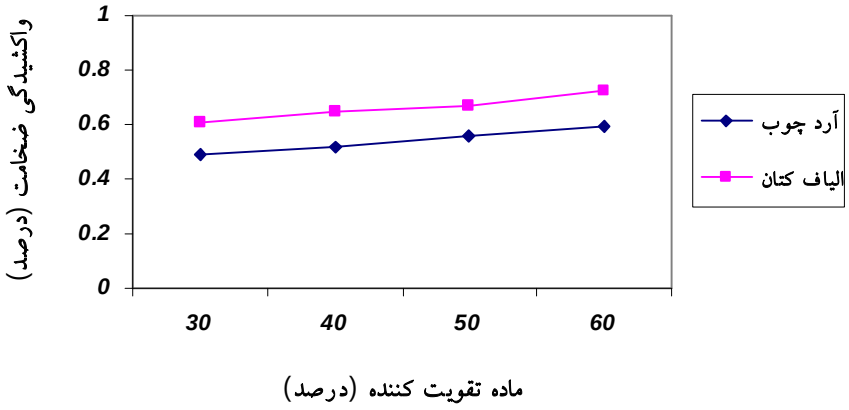
* - معنی‌دار در سطح 1 درصد

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- تأثیر نوع ماده تقویت‌کننده بر جذب آب کامپوزیت چوب پلاستیک



شکل 2- تأثیر نوع ماده تقویت‌کننده بر واکشیدگی ضخامت کامپوزیت چوب پلاستیک

خواص مکانیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده بر خواص مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اعتماد 99% معنی‌دار است (جدول 4). همان‌طوری‌که در شکل‌های 3 الی 7 مشاهده می‌شود با افزایش مقدار ماده تقویت کننده (آرد چوب، الیاف کتان) از 30 به 60 درصد، مقاومت و مدول خمشی، مقاومت و مدول کششی کامپوزیت چوب پلاستیک افزایش می‌یابد، در حالی‌که مقاومت به ضربه فاقدار کاهش می‌یابد. همچنین کامپوزیت حاصل از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب از مقاومت و مدول خمشی، مقاومت و مدول کششی و مقاومت به ضربه بالاتری برخوردار است.

www.SID.ir

Archive of SID

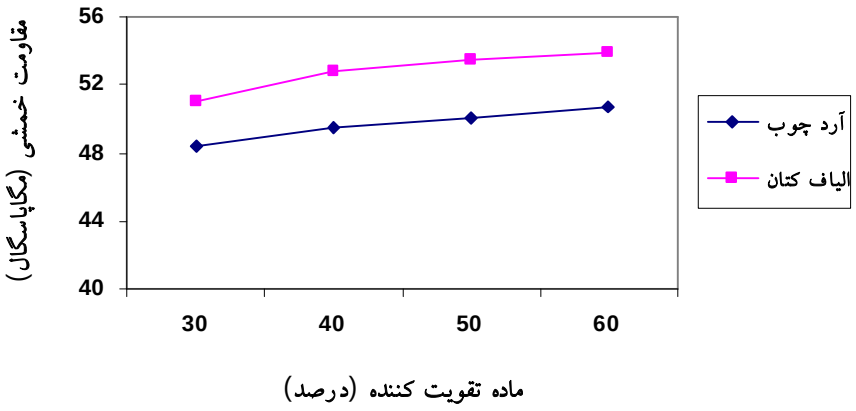
جدول 4- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر مقدار و نوع تقویت کننده بر خواص مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک

ویژگی	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
مقاومت خمشی	مقدار تقویت‌کننده	3	108/954	36/318	4/585*
(مگاپاسگال)	نوع تقویت‌کننده	1	128/167	128/167	16/181*
	مقدار × نوع تقویت‌کننده	3	39/562	13/187	1/665*
	خطا	16	126/731	7/921	-
	کل	23	403/414	-	-
مدول خمشی	مقدار تقویت‌کننده	3	5136550/543	1712183/514	41/127*
(مگاپاسگال)	نوع تقویت‌کننده	1	296573/728	296573/728	7/124*
	مقدار × نوع تقویت‌کننده	3	170868/19	56956/063	1/368*
	خطا	16	666104/667	41631/542	-
	کل	23	6270097/128	-	-
مقاومت کششی	مقدار تقویت‌کننده	3	134/195	44/732	5/407*
(مگاپاسگال)	نوع تقویت‌کننده	1	142/740	142/740	17/254*
	مقدار × نوع تقویت‌کننده	3	41/481	13/827	1/671*
	خطا	16	132/367	8/273	-
	کل	23	450/783	-	-
مدول کششی	مقدار تقویت‌کننده	3	6016174/247	2005391/416	26/197*
(مگاپاسگال)	نوع تقویت‌کننده	1	338872/765	238872/765	3/120*
	مقدار × نوع تقویت‌کننده	3	277627/37	92542/457	1/209*
	خطا	16	1224826/667	76551/667	-
	کل	23	7757501/049	-	-
مقاومت به ضربه	مقدار تقویت‌کننده	3	112/711	37/570	4/721*
(ژول بر متر)	نوع تقویت‌کننده	1	50/656	50/656	6/365*
	مقدار × نوع تقویت‌کننده	3	28/749	9/583	1/204*
	خطا	16	127/334	7/958	-
	کل	23	319/45	-	-

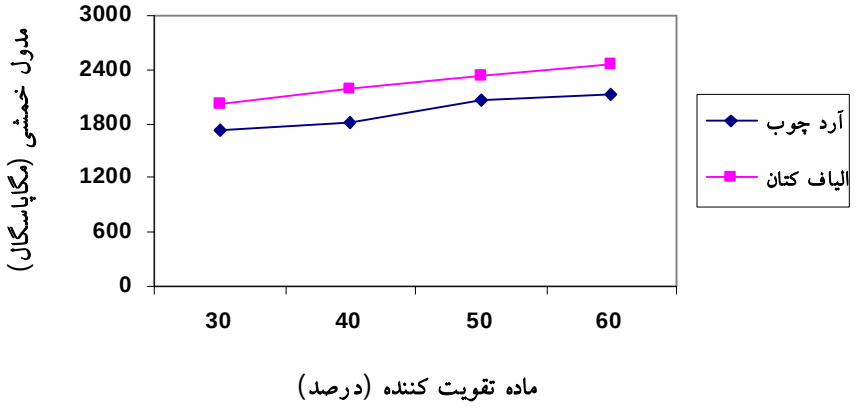
*- معنی دار در سطح 1 درصد

www.SID.ir

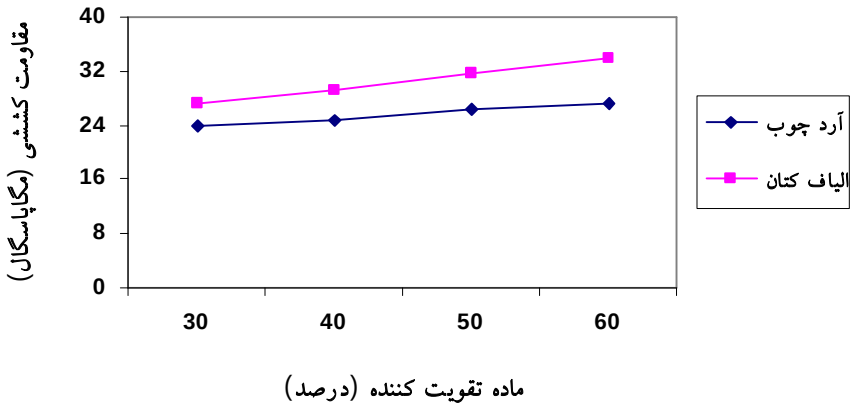
Archive of SID



شکل 3- تأثیر نوع ماده تقویت‌کننده بر مقاومت خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک



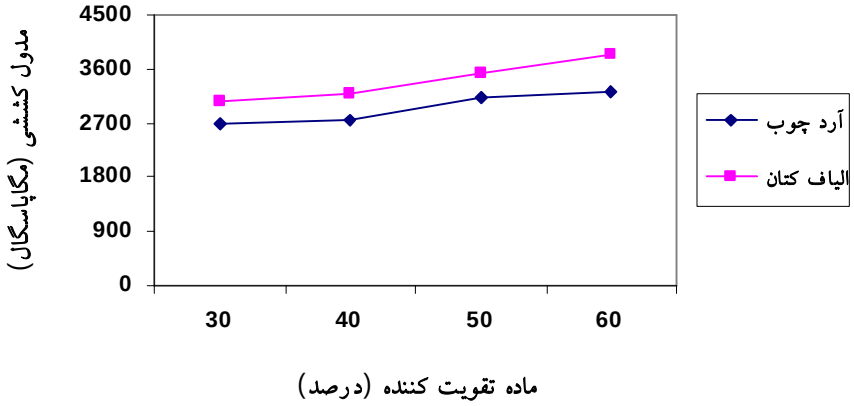
شکل 4- تأثیر نوع ماده تقویت‌کننده بر مدول خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک



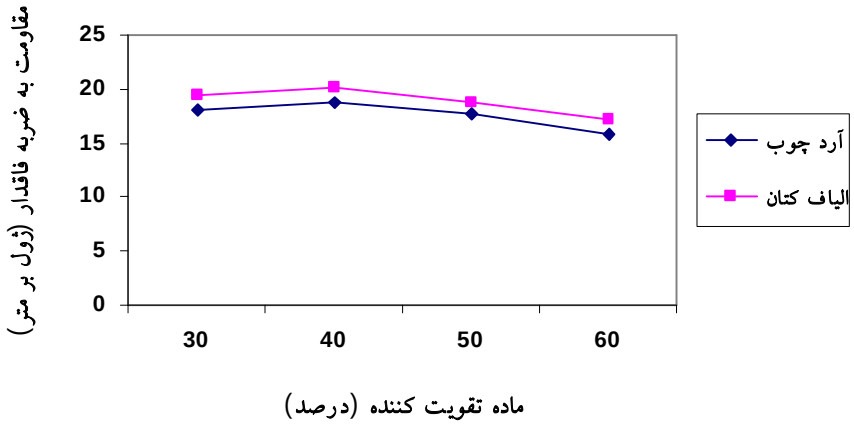
شکل 5- تأثیر نوع ماده تقویت‌کننده بر مقاومت کششی کامپوزیت چوب پلاستیک

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 6- تأثیر نوع ماده تقویت‌کننده بر مدول کشسی کامپوزیت چوب پلاستیک



شکل 7- تأثیر نوع ماده تقویت‌کننده بر مقاومت به ضربه فاقدار کامپوزیت چوب پلاستیک

بحث و نتیجه‌گیری

در این بررسی تأثیر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده (آرد چوب و الیاف کتان) بر ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی کامپوزیت پلیمری مورد توجه قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان داد:

1- با افزایش مقدار ماده تقویت‌کننده، مقاومت کششی و خمشی کامپوزیت افزایش می‌یابد. مقاومت-های مکانیکی کامپوزیت‌ها به شدت به کیفیت سطح مشترک بین دو فاز کامپوزیت وابسته است، لذا انتقال تنش از ماده زمینه پلیمری به فاز تقویت‌کننده به‌وسیله این ناحیه صورت می‌گیرد. با توجه به این‌که نقش فاز ماتریس نگهداری از ماده پرکننده و انتقال نیرو به فاز ثانویه و نقش فاز ثانویه تقویت ماتریس می‌باشد، از این‌رو با افزایش مقدار درصد ماده تقویت‌کننده میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب براثر وجود فاز تقویت کننده افزایش می‌یابد [9 و14].

www.SID.ir

Archive of SID

2- با افزایش مقدار ماده تقویت‌کننده، مدول‌کششی و خمشی کامپوزیت افزایش می‌یابد. از آنجائی‌که بین مدول‌الاستیسیته کامپوزیت‌ها و مدول اجزای تشکیل دهنده آنها رابطه مستقیمی وجود دارد، از طرفی با درنظر گرفتن مدول‌الاستیسیته بالاتر مواد لیگنوسلولزی، شاهد افزایش مدول الاستیسیته در کامپوزیت می-باشیم [11،14 و17].

3- با افزایش مقدار ماده تقویت‌کننده، مقاومت به ضربه فاقدار کامپوزیت کاهش می‌یابد. حضور مواد لیگنوسلولزی انرژی جذب شده توسط کامپوزیت را افزایش می دهد، از این‌رو افزودن تقویت‌کننده مناطقی را در ماتریس پلیمری به‌وجود می‌آورد که موجب تمرکز بیشتر تنش در ماتریس پلیمری شده و نقاط شروع شکست را ایجاد می کند و رشد ترک را از آن ناحیه آغاز می‌کند. این بدان مفهوم است که در کامپوزیت-های چوب پلاستیک، شکست راحت تر توسعه می‌یابد، یعنی این کامپوزیت‌های شکننده‌تر هستند [15 و16].

4- با افزایش مقدار ماده تقویت‌کننده، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کامپوزیت افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که مواد پلیمری و به‌خصوص پلیمرهای گرمانرم به‌علت غیرقطبی بودن، موادی آب‌گریز هستند و این موضوع برعکس طبیعت قطبی و آب دوست الیاف سلولزی می‌باشد، از این‌رو افزودن تقویت کننده-های لیگنوسلولزی به ماتریس پلیمری سبب افزایش جذب آب کامپوزیت‌ها می‌گردد[2 و10]. از طرفی وجود گروه‌های هیدروکسیل آب دوست قابل دسترس زنجیرهای سلولزی سبب تشکیل پیوندهای هیدروژنی جدیدی با مولکول‌های آب می‌گردد که این عمل جذب آب و واکشیدگی ضخامت (تورم ابعاد) کامپوزیت چوب پلاستیک را به‌همراه دارد[13 و19].

5- مقاومت‌های مکانیکی کامپوزیت ساخته‌شده از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب بیشتر است، زیرا الیاف کتان به‌دلیل داشتن ضریب ظاهری بیشتر و طول الیاف بلندتر در مقایسه با آرد چوب سبب افزایش انتقال تنش به ماتریس پلیمری گردیده و تمرکز تنش را کاهش می‌دهد[5 و6].

6- قابلیت جذب آب و واکشیدگی ضخامت در کامپوزیت ساخته‌شده از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب بیشتر است، زیرا الیاف به‌علت در دسترس بودن بیشتر گروه‌های هیدروکسیل زنجیره سلولزی، میزان جذب آب بیشتری را نسبت به ذرات آرد چوب ایجاد می‌کند[5 و6].

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1- تجویدی، م. 1382. بررسی خواص مهندسی و ویسکوالاستیک مواد مرکب حاصل از پلیمر های گرمانرم و الیاف طبیعی با استفاده از تحلیل دینامیکی- مکانیکی، رساله دکترا، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص 205.

2- رحیمی، ح. 1379. معرفی کامپوزیت ها، مجموعه مقالات، دومین دوره تخصصی، آموزشی کوتاه مدت، پلاستیک های تقویت شده، پژوهشکده پلیمر و پتروشیمی ایران، ص 134.

3- روحانی، م. 1382. بررسی امکان استفاده از الیاف لیگنوسلولزی (باگاس و کنف) در ساخت چندسازه‌های الیاف پلی پروپیلن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص 96.

4- صفارزاده، س. 1378. مطالعه اختلاط الیاف سلولزی و پلی اتیلن سنگین و بررسی خواص مکانیکی فرآورده های مرکب حاصل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد, ص 78.

5- نوربخش، امیر. 1383. بررسی اثر عوامل متغییر ساخت بر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های الیاف چوب- پلیمر و بررسی اتصالات ایجاد شده بوسیله طیف سنجی. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

6- نعیمیان، نوید. 1386. بررسی خواص چندسازه های هیبرید الیاف کنف- آرد چوب/ پلی‌پروپیلن. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

7-Bataille, P., Richard, L., and Sapieh., S. 1989. Effect of cellulosic fibers in polypropylene composites. Journal of Polymer Composites, Vol 10, No 2. 118-124pp.

8-ASTM. 2006. Evaluating Mechanical and Physical properties of wood-plastic composites products. American Society For Testing And Materials.

9-George, J., Sreekala, M.S., and Thomas, S., 2001. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites, Polymer engineering and Science, 41(9):1471-1485.

10-Karnani, R., Krishnan, m., Narayan, R., 1997. Biofiber Reinforced polypropylene composites. Journal of polymer Engineering science, 37(2):476-483.

11-Kokta, B.V., and Maladas, D., 1990. Composites of Polyvinyl Chloride wood fibers. Journal of Polymer Plastic Technology, 20 (1-2) 87-118.

12-Marcovich, N.E., Ostrovsky, A.N., Araguren, M. and Rebordedo, M. 2000. Wood flour/ sisal fibers and hybrid reinforcement of thermoset polymers. 14th Conference Proceeding of Natural Polymer and Composites, 419-421pp.

13-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, Vol 23, No 1, 46-50pp.

14-Oksman, K., and Clemon, C. 1998. Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene-wood flour composites, Journal of Applied Polymer Science, 67(9): 503-1513.

www.SID.ir

Archive of SID

15-Oksman, K., and Lindberg, H. 1998. Influence of thermoplastic elastomers on adhesion in polyethylene-wood flour composites, Journal of Applied Polymer Science, 68(11): 1845-1855.

16-Raj, R.G., Kokta, B., Gruleau, G., and Daneault, C., 1990. The influence of coupling agents on mechanical properties of composites containing cellulose fillers, Journal of Polymer Plastic Technology Engineering, 29(4): 339-353.

17-Stark, N.M., Rowlands, R.E., 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites, Wood and Fiber Science 35(2):167-174.

18-Wang, Z., Guo, W. and Xu, X. 2002. Effect of wood variables on the properties of wood fiber/ polypropylene composites. Chinese Forestry Science and Technology, Vol 1, No 4, 43-50pp.

19-Wu, J., D. Ju, C. Chan, J. Kim and Y. Mai. 2003. Effect of fiber pretreatment condition on the interfacial strength and mechanical properties of wood fiber-pp composites. Journal of Applied Polymer Science. Vol 76, 1000-1010.

www.SID.ir