

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

بهروز گرد¹، بهزاد گرد²، سارا پورعباسی³، آزاده کیانی فر⁴

چکیده

در این تحقیق تاثیر مقدار و نوع ماده تقویت کننده 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 کنان با نسبت‌های وزنی متفاوت 30، 40، 50 و 60 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 لیگنوسلولزی، مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کامپوزیت افزایش یافته، در حالیکه مقاومت به ضربه فاقدار کاهش می‌یابد. همچنین مقاومت‌های مکانیکی و قابلیت جذب آب کامپوزیت ساخته شده از الیاف کنان در مقایسه با آرد چوب بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت، تقویت کننده، آرد چوب، الیاف کنان، 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

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 تقویت‌کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های 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 [3.1 و 4]. 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 می‌کند و علاقه روز افزون مصرف‌کنندگان 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 به‌عنوان پرکننده و تقویت‌کننده در ساخت کامپوزیت‌های پلیمری مورد استفاده قرار گیرند که این مواد را می‌توان به آرد و ایساف 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 و 6].

باتایله¹ و همکاران (1989) در مطالعه‌ای که بر روی اثر الیاف سلولزی بر کامپوزیت‌های الیاف چوب و پلی پروپیلن انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مدول الاستیک به‌تدریج با افزایش درصد الیاف زیاد می‌شود، 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 قابل توجهی می‌یابند [7].

مارکوویچ و همکاران² (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

²Marcovich & et al

وانگ و همکاران¹ (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 به عنوان ماده زمینه و از الیاف کنف، آرد چوب، سبوس برنج و کاغذ روزنامه به عنوان تقویت کننده 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 تقویت کننده (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 $0/9 \text{ g/cm}^3$ با نام تجاری Moplen V30S به عنوان 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 تقویت کننده لیگنوسلولزی تهیه شده از شرکت سلولز آریا، مورد استفاده قرار گرفت، که آنالیز ابعاد این تقویت کننده‌ها در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- مقادیر میانگین ابعاد تقویت کننده‌های لیگنوسلولزی

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

روش‌ها

فرآیند اختلاط

فرآیند اختلاط مواد براساس جدول 2 توسط دستگاه مخلوط کن داخلی¹ در پژوهشگاه پلیمر 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 تزریقی² 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 واكشیدگی 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 اندازه‌گیری ضخامت نمونه‌ها از میکرومتر با دقت 0/001 میلی‌متر استفاده گردید. در نهایت مقدار جذب آب و واكشیدگی ضخامت با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

¹-Haake

²-Injection Molding

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

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 غوطه‌وری را نشان می‌دهد.

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

در این رابطه: $TS(t)$ = واکنشیدگی 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

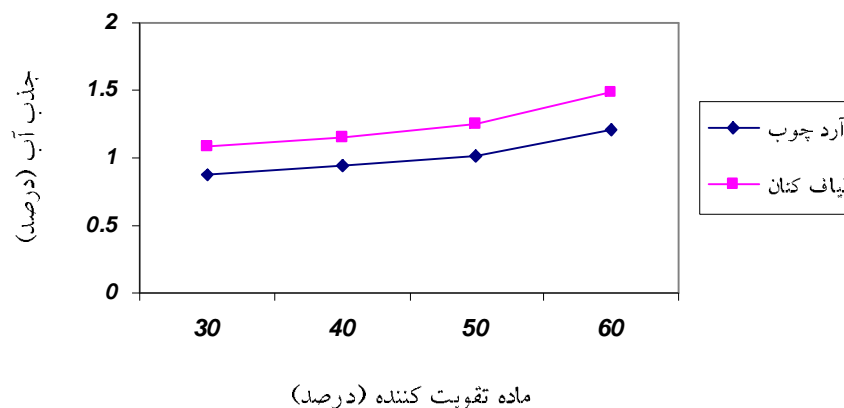
خواص فیزیکی

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 تقویت‌کننده (آرد چوب، الیاف کتان) از 30 به 60 درصد، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کامپوزیت چوب پلاستیک کاهش می‌یابد. همچنین کامپوزیت حاصل از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب از جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بالاتری برخوردار است.

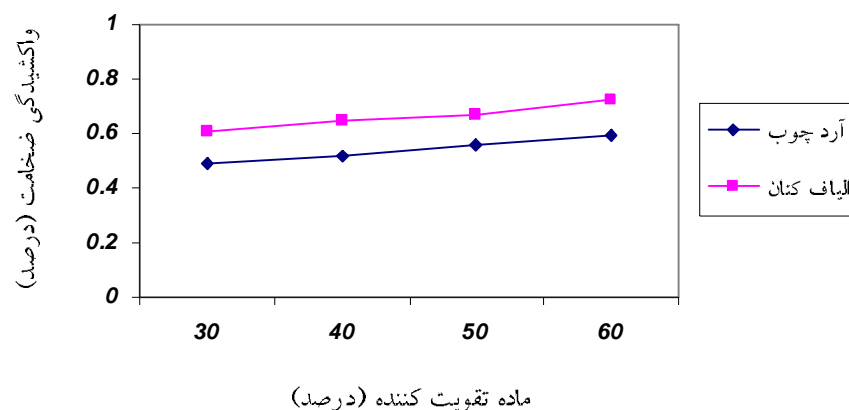
جدول 3- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر مقدار و نوع تقویت‌کننده بر خواص فیزیکی کامپوزیت چوب پلاستیک

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

* - معنی‌دار در سطح 1 درصد



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



شکل 2- تأثیر نوع ماده تقویت کننده بر واكشیدگی ضخامت کامپوزیت چوب پلاستیک

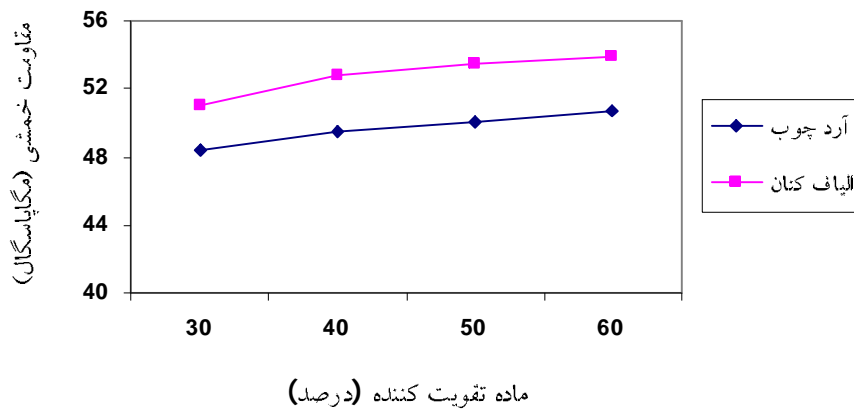
خواص مکانیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد که تأثیر مقدار و نوع ماده تقویت کننده بر خواص مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک در سطح اعتماد 99% معنی دار است (جدول 4). همان طوری که در شکل های 3 الی 7 مشاهده می شود 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 می یابد، در حالی که مقاومت به ضربه فاقدار کاهش می یابد. 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.

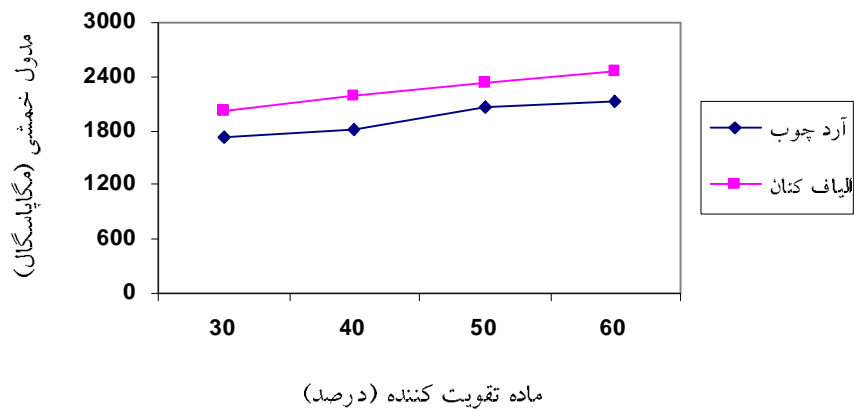
جدول 4- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر مقدار و نوع تقویت کننده بر خواص مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک

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

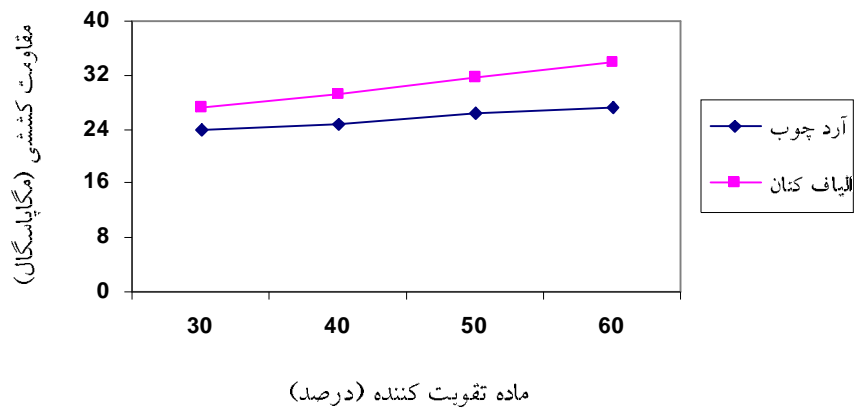
* - معنی دار در سطح 1 درصد



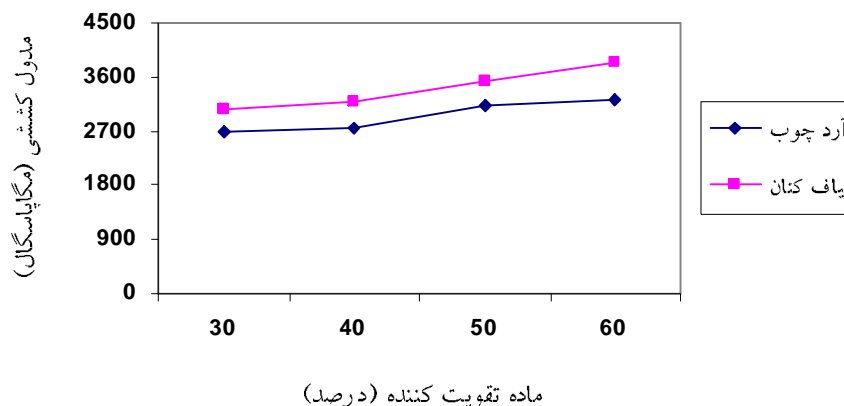
شکل 3- تأثیر نوع ماده تقویت کننده بر مقاومت خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک



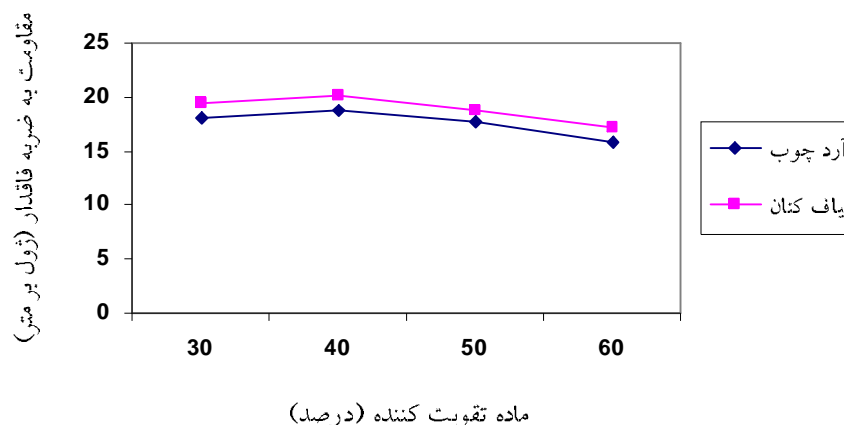
شکل 4- تأثیر نوع ماده تقویت کننده بر مدول خمشی کامپوزیت چوب پلاستیک



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



شکل 6- تأثیر نوع ماده تقویت کننده بر مدول کششی کامپوزیت چوب پلاستیک



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

بحث و نتیجه گیری

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

1- با افزایش مقدار ماده تقویت کننده، مقاومت کششی و خمشی کامپوزیت افزایش می یابد. مقاومت های مکانیکی کامپوزیت ها به شدت به کیفیت سطح مشترک بین دو فاز کامپوزیت وابسته است، لذا انتقال تنش از ماده زمینه پلیمری به فاز تقویت کننده به وسیله این ناحیه صورت می گیرد. با توجه به این که نقش فاز ماتریس نگهداری از ماده پرکننده و انتقال نیرو به فاز ثانویه و نقش فاز ثانویه تقویت ماتریس می باشد، از این رو با افزایش مقدار درصد ماده تقویت کننده میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب بر اثر وجود فاز تقویت کننده افزایش می یابد [9 و 14].

2- با افزایش مقدار ماده تقویت کننده، مدول کششی و خمشی کامپوزیت افزایش می یابد. از آنجائی که بین مدول الاستیسیته کامپوزیت ها و مدول اجزای تشکیل دهنده آنها رابطه مستقیمی وجود دارد، از طرفی با در نظر گرفتن مدول الاستیسیته بالاتر مواد لیگنوسلولزی، شاهد افزایش مدول الاستیسیته در کامپوزیت می-باشیم [11، 14 و 17].

3- با افزایش مقدار ماده تقویت کننده، مقاومت به ضربه فاقدار کامپوزیت کاهش می یابد. حضور مواد لیگنوسلولزی انرژی جذب شده توسط کامپوزیت را افزایش می دهد، از این رو افزودن تقویت کننده مناطقی را در ماتریس پلیمری به وجود می آورد 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 می کند. این بدان مفهوم است که در کامپوزیت-های چوب پلاستیک، شکست راحت تر توسعه می یابد، یعنی این کامپوزیت های شکننده تر هستند [15 و 16].

4- با افزایش مقدار ماده تقویت کننده، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کامپوزیت افزایش می یابد. با توجه به این که مواد پلیمری و به خصوص پلیمرهای گرمانرم به علت غیرقطبی بودن، موادی آب گریز هستند و این موضوع برعکس طبیعت قطبی و آب دوست الیاف سلولزی می باشد، از این رو افزودن تقویت کننده-های لیگنوسلولزی به ماتریس پلیمری سبب افزایش جذب آب کامپوزیت ها می گردد [2 و 10]. از طرفی وجود گروه های هیدروکسیل آب دوست قابل دسترس زنجیرهای سلولزی سبب تشکیل پیوندهای هیدروژنی جدیدی با مولکول های آب می گردد که این عمل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت (تورم ابعاد) کامپوزیت چوب پلاستیک را به همراه دارد [13 و 19].

5- مقاومت های مکانیکی کامپوزیت ساخته شده از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب بیشتر است، زیرا الیاف کتان به دلیل 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 می دهد [5 و 6].

6- قابلیت جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در کامپوزیت ساخته شده از الیاف کتان در مقایسه با آرد چوب بیشتر است، زیرا الیاف به علت در دسترس بودن بیشتر گروه های هیدروکسیل زنجیره سلولزی، میزان جذب آب بیشتری را نسبت به ذرات آرد چوب ایجاد می کند [5 و 6].

منابع

- 1- تجویدی، م. 1382. بررسی خواص مهندسی و ویسکوالاستیک مواد مرکب حاصل از پلیمرهای گرمانرم و الیاف طبیعی با استفاده از تحلیل دینامیکی - مکانیکی، رساله دکتر، 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 چندسازه های 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- نوریخس، امیر. 1383. بررسی اثر عوامل متغییر ساخت بر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت های الیاف چوب- پلیمر و بررسی اتصالات ایجاد شده بوسیله طیف سنتزی. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- 6- نعیمیان، نوید. 1386. بررسی خواص چندسازه های هیبرید الیاف کنف- آرد چوب/ پلی پروپیلن. 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 Reborderdo, 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.

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.