Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Science Research
Vol. 39, No. 2, Page 146-162 (2024) DOI: 10.22092/IJWPR.2024.365069.1770

Utilization of Corncob and Poplar (*Populus deltoides*) wood in wood plastics nano composites

Amir Nourbakhsh[1*], Abolfazl Kargarfard[2], Ali Nourbakhsh[3], Fardad Golbabaei[4], Reza Hajihassani[5] and Kamyar Salehi[5]

1*-Corresponding author, Associate Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran, Email: nourbakhsh_amir@yahoo.com
2-Associate Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran
3-Civil Engineering Student, Iran University of Science and Technology, Tehran, (IUST), P.O. Box 16846-13114
4- Assistant Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran
5-Assistant Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran

Received: Fabruary 2024 Revised: April 2024 Accepted: May 2024

Abstract

Background and objectives: The possibility of using agricultural lignocellulosic residues as a complementary raw material for the production of wood composite products can have a good economic justification. This will be possible if the manufactured product exhibit the desired and standard quality. However, woody material can impose a detrimental effect on the physical and mechanical properties of the final product. Therefore, conducting laboratory and research studies in order to recommend a raw material is essential for consumption in industry. The utilization of agricultural lignocellulosic residues in wood composite products industries has been the subject of various research activities in different parts of the world. In this research, in order to improve the mechanical and physical properties of wood-plastic, nanoclay particles have been used as reinforcements and corncob residues have been used with poplar wood.

Methodology: The amount of polypropylene and lignocellulosic material were 60 wt% and 40 wt% respectively. The Nano-clay was added in three levels 0, 2 and 4 wt% and the amount of coupling agent was fixed and set to 2 wt% for all treatments. The control samples were made using polypropylene material.

Results: The results showed that the tensile and flexural strengths were increased at the mixture of 25 corncob residues and 75 poplar wt% particles. For tensile and flexural modulus, adding 2 wt% nano-clay led to an increase in strength and modulus but there was a decrease when 4 wt% nano-clay was used. The impact strength increased by adding nano-clay

Conclusion: According to the mechanical and physical properties of all the treatments, the samples which were made of 25 corncob and 75 poplar wt% particle with 2 wt% of Nano-clay had better results compared to other samples.

Keywords: Corncob, composites, polypropylene, wood plastics, nanoclay.

استفاده از کوب ذرت (Corncob) و چوب صنوبردلتوئیدس (*Populus deltoides*) در تولید نانو چندسازه‌های چوب پلاستیک

امیر نوربخش [۱*]، ابوالفضل کارگرفرد[۲]، علی نوربخش[۳]، فرداد گلبابائی[۴]،
رضا حاجی‌حسنی[۵] و کامیار صالحی[۵]

۱* – نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک nourbakhsh_amir@yahoo.com

۲ – دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳– دانشجوی کارشناسی عمران، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۴– بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۵– استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: فروردین ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزیک کشاورزی به‌عنوان مواد خام تکمیلی برای تولید محصولات کمپوزیت چوب می‌تواند توجیه اقتصادی مناسبی داشته باشد. این موضوع امکان‌پذیر خواهد بود اگر محصول تولیدی دارای کیفیت مطلوب و استاندارد باشد. بااین‌حال، با توجه به اینکه نوع مواد چوبی می‌تواند تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر خواص فیزیکی و مکانیکی محصول نهایی داشته باشد، بنابراین انجام مطالعات آزمایشگاهی و تحقیقات به‌منظور توصیه مواد خام برای مصرف در صنعت ضروری است. استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزیک کشاورزی در صنایع محصولات کمپوزیت چوبی موضوع فعالیت‌های تحقیقی مختلف در مناطق مختلف جهان در سال‌های اخیر بوده است. در این تحقیق، به‌منظور بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی چوب–پلاستیک، ذرات نانوکلی به‌عنوان تقویت‌کننده و پسماندهای کلونی ذرت با چوب صنوبر استفاده شده‌اند.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از ماده لیگنوسلولزی کوب ذرت به همراه چوب صنوبر به‌عنوان تقویت‌کننده و اثر نانو رس در چندسازه پلی‌پروپیلن / چوب پلاستیک بررسی شده است. مقدار مواد سلولزی و کوب ذرت در ۴ سطح ترکیب مواد (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کوب ذرت/ و ترکیب ذرات چوب صنوبر) به نسبت ۴۰ مواد لیگنوسلولزی به ۶۰ مواد پلیمری و سه سطح نانو رس (صفر، ۲ و ۴ درصد) در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های مقاومت کششی، خمشی و ضربه مطابق با آیین‌نامه استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. با استفاده از آزمون فاکتوریل دو عامله در قالب بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه‌وتحلیل آماری انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) بررسی شد. مقدار پلی‌پروپیلن و ترکیب مواد به ترتیب ۶۰ درصد و ۴۰ درصد بود. نانوکلی در سه سطح ۰، ۲ و ۴ درصد اضافه شد و مقدار عامل جفت‌کننده برای همه تیتراسیون‌ها ثابت و تنظیم شده به ۲ درصد بود. نمونه‌های کنترل با استفاده از مواد پلی‌پروپیلن تهیه شدند.

نتایج: نتایج خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی، مدول کششی و مقاومت خمشی نشان داده است که استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) سبب افزایش مقاومت‌های چندسازه نسبت به سایر تیمارها شده است. مقاومت به ضربه فاقدار در ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) خواص چندسازه نسبت به سایر تیمارها افزایش داشته است. همچنین استفاده از ۲ درصد ذرات نانو رس نسبت به ۴ درصد و تیمار شاهد سبب افزایش مقاومت‌ها شده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به خواص مکانیکی و فیزیکی تمامی تیمارها، نمونه‌هایی که از ۲۵ درصد ضایعات ذرت و ۷۵ درصد چوب صنوبر با ۲ درصد نانوکلی تهیه شده بودند، نتایج بهتری نسبت به سایر تیمارها داشتند.

واژه‌های کلیدی: کوب ذرت، چندسازه، پلی‌پروپیلن، چوب پلاستیک، نانو رس.

مقدمه

امروزه چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌عنوان مواد مهندسی در صنایع مختلفی ازجمله خودروسازی، هوافضا و ساختمان‌سازی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. اعتقاد بر این است که این مواد دارای دوام بالا بدون استفاده از مواد شیمیایی و غیر سمی هستند. در سال‌های اخیر کاربرد این چندسازه‌ها به‌سرعت در اروپا، آمریکای شمالی و آسیا توسعه پیدا کرده است (Yang *et al.*, 2007).

این در حالی است که امکان کاربرد آنها به‌عنوان ماده اولیه مکمل برای تولید فراورده‌های مرکب چوبی از توجیه اقتصادی مناسبی می‌تواند برخوردار باشد. البته این در صورتی امکان‌پذیر خواهد بود که محصول تولیدی از کیفیت مطلوب و استاندارد برخوردار باشد، بااین‌حال با توجه به اینکه نوع ماده چوبی می‌تواند اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص فیزیکی و مکانیکی محصول نهایی داشته باشد، ازاین‌رو انجام بررسی های آزمایشگاهی و تحقیقاتی به‌منظور توصیه یک ماده اولیه برای مصرف در صنعت ضروری است. استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی در صنایع فراورده‌های مرکب چوبی در سال‌های اخیر، زمینه فعالیت‌های تحقیقاتی متنوعی در نقاط مختلف جهان بوده است.

ترکیب‌های اولیه چندسازه‌های چوب پلاستیک شامل رزین‌های گرمانرم و معمولاً ۴۰ تا ۷۰٪ الیاف چوب (در روش اکستروژن) است. افزودن مواد چوبی مزایای بسیار زیادی ازجمله زیست‌سازگاری و بهبود خواص مکانیکی به محصول نهایی می‌دهد.

در سال‌های اخیر توسعه و استفاده از مواد چوبی که دارای ویژگی‌های مناسب‌تری هستند گسترش یافته است. در تحقیقاتی که در کشورهای مختلف انجام شده است استفاده از عناصر مختلف چوبی در ابعاد کمتر مانند سلولز و میکروسلولز و نانو مورد توجه زیادی قرار گرفته است. دستیابی به علم و فناوری نانوچندسازه‌ها امکان طراحی و بهینه‌سازی را در ابعاد مولکولی فراهم می‌کند. نانو چندسازه‌ها به موادی متشکل از بیش از دو جزء گفته می‌شود که یکی از اجزای آن در ابعاد نانومتر باشد و در جزء دیگر پراکنده شده باشد. البته یک چندسازه باید دارای خواص بهتری از هر دو جزء تشکیل دهنده آن (حداقل در یکی از خواص) باشد.

Ashori وNourbakhsh (۲۰۱۰) با استفاده از الیاف ساقه پسماندهای کشاورزی مانند ذرت، نی و گیاه دانه روغنی به‌عنوان تقویت‌کننده و پلی‌پروپیلن، چندسازه چوب-پلاستیک تولید کردند. آنان نتیجه گرفتند که با اضافه کردن الیاف پسماندهای کشاورزی، ویژگی‌های خمشی و کششی چندسازه افزایش می‌یابد. الیاف دانه روغنی به دلیل ضریب لاغری بالا و ساختار شیمیایی، باعث بهبود بیشتر در مقاومت‌های مکانیکی شدند.

Yeh و Gupta (۲۰۱۰) به بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب پلاستیک‌های ساخته شده از پلی‌پروپیلن، آرد چوب و نانورس پرداختند. آنان نتیجه گرفتند که با اضافه کردن نانورس در مرحله دوم (در برخی از تیمارها ترکیب مواد در دو مرحله انجام شد، مرحله اول ترکیب آرد چوب، پلاستیک و جفت کننده، در مرحله دوم اضافه کردن نانورس) سفتی و جذب آب محصول نهایی بهبود می‌یابد. همچنین دلیل کاهش مقاومت کششی با افزایش میزان نانو را جذب ماده جفت کننده توسط ذرات نانو دانستند.

Nourbakhsh و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از کلش برنج، پوست راش، نانوسیلیس و پلی‌پروپیلن چوب پلاستیک تولید کردند و خواص فیزیکی و مکانیکی را گزارش نمودند. آنان نتیجه گرفتند که با افزایش پرکننده مقاومت خمشی و تغییر طول شکست بهبود یافته، درحالی‌که مقاومت کششی و ضربه کاهش میابد. همچنین گزارش کردند که ویژگی‌های مکانیکی نانو چندسازه تولید شده از کلش برنج نسبت به پوست راش بهتر است. همچنین با افزایش پرکننده جذب آب و واکشیدگی ضخامت افزایش داشت.

Yin و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعات خود تحت عنوان مواد مرکب حاصل از پلی‌پروپیلن با الیاف چوب و جفت کننده انیدرید مالئیک اصلاح شده را بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که مدول‌الاستیسیته خمشی در طول زمان بر اثر بلوری شدن افزایش می‌یابد و با حضور MAPP بلوری شدن قابل‌ملاحظه‌ای اتفاق می‌افتد.

Zhao و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه بررسی مونتموریلونیت اصلاح شده بر روی خواص چندسازه حاصل از آرد چوب و پلی وینیل کلراید دریافتند که با افزایش مقدار ذرات نانو رس در حضور عامل سازگار کننده سیلان خواص مکانیکی شامل مقاومت به ضربه و مدول کششی به ترتیب ۱۴/۸٪ و ۱۸/۵٪ افزایش یافت. همچنین آنان دریافتند که وجود لایه‌های سیلیکاتی موجب بهبود خواص آتش‌گیری چندسازه حاصل گردید.

Chowdhury و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که بالاترین مقدار مقاومت خمشی چندسازه‌های پلیمری تقویت‌شده با ذرات نانو رس به هنگام استفاده ۲٪ از پرکننده‌ها حاصل شد و نتایج تحلیل دینامیکی مکانیکی نشان‌دهنده بهبود خواص مکانیکی گرمایی چندسازه‌ها تحت تأثیر پرکننده نانو رس است، همچنین بیان کردند که به هنگام اضافه نمودن ذرات نانو رس به مقدار ۲٪، دمای انتقال شیشه‌ای چندسازه به میزان ۹ درجه سانتی‌گراد افزایش مییابد

طبق آمارهای منتشر شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی (۲۰۱۵)، بیش از ۲۳۴۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی کشور زیر کشت ذرت دانه‌ای قرار داشته است و سالانه مقادیرمتنابهی پسماندهای لیگنوسلولزی ازجمله گرز حاوی دانه‌های ذرت پس از برداشت محصول بر جای مانده و با خاک مخلوط و شخم زده می‌شود. میزان ضایعات بجا مانده که به‌صورت گرز بلال ذرت در حدود ۳۰ درصد است. ازاین رو می‌توان از این نوع ضایعات به‌طور مطلوب در برخی از صنایع چوب و کاغذ کشور که دارای پتانسیل می‌باشند استفاده نمود.

همچنین طبق بررسی‌های انجام شده توسط Sandeep و همکاران (۲۰۲۲) استفاده از ضایعات کشاورزی می‌تواند در توسعه بیوکامپوزیت‌ها بسیار مهم باشد. کوب ذرت نیز دارای خواصی همچون فراوانی، تخریب پذیری، مقاومت بالا، سفتی، وزن کم می‌باشند. علاوه بر آن این مواد غیرسمی، ارزان و دارای روانی فرآیند پذیری هستند. طبق بررسی Sandeep تولید جهانی ضایعات گرز بلال به مقدار ۱۱۱۴ میلیون تن رسیده که به‌طور مشخص می‌تواند در صنایع مورد استفاده قرار گیرد. تقویت‌کننده کوب ذرت در ماتریکس چیتوسان‌ها در تولید فیلم‌های بیوکامپوزیتی نیز بسیار موفق بوده است. بررسی‌های وی نشان داده است که با افزایش مقدار درصد کوب ذرت به همراه پلی‌پروپیلن در تولید کامپوزیت باعث کاهش مقاومت کششی گردیده است. مقاومت خمشی کامپوزیت ساخته شده در مقادیر ۱۵ درصد کوب ذرت افرایشی از خود نشان داده است. وی بیان کرد که اثر کاهش پیوستگی در جریان تولید کامپوزیت‌های مواد طبیعی اغلب در پرکننده‌های بیومس طبیعی مشاهده می‌گردد که سبب کاهش خواص مکانیکی می‌گردد.

Onuohal (۲۰۱۷) استفاده از کوب ذرت را در تولید چندسازه پلی‌پروپیلنی مورد بررسی قرار داده است. وی عنوان می‌کند که خواص مکانیکی چندسازه تولید شده خواص کششی تا حد مشخص سبب بهبودی این ویژگی شده است ولی برای مقاومت خمشی و مدول خمشی اثرات مشخصی دیده نشده است.

در این تحقیق جهت بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی چوب – پلاستیک، از ذرات نانو رس به‌عنوان تقویت‌کننده و از ضایعات بجا مانده کوب ذرت به همراه چوب صنوبر استفاده شده است. بعد از ساخت نمونه‌های آزمایشی، آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی بر روی نمونه‌ها صورت گرفته و نتایج حاصل بیان شده است.

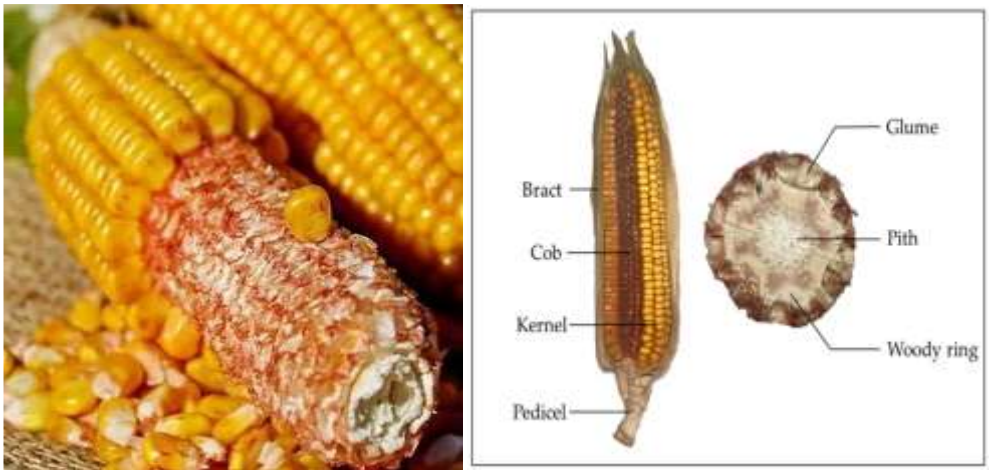
مواد و روش‌ها

در این تحقیق ماده لیگنوسلولزی کوب ذرت و صنوبر به‌صورت ثابت و برابر با ۴۰ درصد وزنی کل ترکیب ساخت مورد استفاده قرار گرفت. عوامل متغیر شامل: ۴ سطح ترکیب مواد (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کوب ذرت / و ترکیب ذرات چوب صنوبر) و سه سطح نانورس (صفر، ۲ و ۴ درصد) بوده است . سطوح و تعداد تیمارها در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱- طرح آزمایش

Table 1- The code of different treatments

NO	Combinations (٪)	Nanoclay (٪)	Code	repetition
1	100 poplar	0	A1	4
2	100 poplar	2	A2	4
3	100 poplar	4	A3	4
4	25 Corncob/75 poplar	0	B1	4
5	25 Corncob/75 poplar	2	B2	4
6	25 Corncob/75 poplar	4	B3	4
7	50 Corncob/50 polar	0	C1	4
8	50 Corncob/50 polar	2	C2	4
9	50 Corncob/50 polar	4	C3	4
10	75 Corncob/25 poplar	0	D1	4
11	75 Corncob/25 poplar	2	D2	4
12	75 Corncob/25 poplar	4	D3	4



شکل شماره ۱ – کوب ذرت **(Corncob)**

Figure 1. Corncob

مواد: آرد چوب مورد استفاده از گونه صنوبر *Populus deltoides* و کوب ذرت (بلال ذرت یا ذرت روی بلال نیز می‌گویند، هسته مرکزی خوشه ذرت است)(Corncob) تهیه گردید که پس از درجه‌بندی در ابعاد ۶۰/۴۰ الک گردیدند. سپس در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تا رطوبت ۳٪ خشک شدند.

پلی‌پروپیلن مورد بررسی با نام تجاری Moplen V30S از پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۸ گرم بر ۱۰ دقیقه در دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و دانسیته ۹۲/ . گرم بر سانتیمتر مکعب تهیه گردید. انیدرید مالییک پلی‌پروپیلنی پیوند خورده (MAPP) از شرکت آلدریچ (Alderich) با دانسیته ۹۱/ . گرم بر سانتیمتر مکعب و با وزن مولکولی ۹۱۰۰ و گرانروی بروکفیلد ۴۰۰۰۰ سانتی‌پواز در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۲ درصد تهیه و استفاده گردید.

نانو رس مورد استفاده در این تحقیق یکی از انواع مونت موریلونیت اصلاح شده، با نام تجاری *Cloisite 10A* می‌باشد که توسط شرکت *Southern-Clay* تولید می‌شود.

جدول ۲- مشخصات نانورس

Table 2- Characteristics of nanoclay

Polypropylene	Melt Flow Index Rate	flexural Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	longitudinal increase (%)	melting point C°	Rockwell R.scale
Moplen V30S	18 g/10min	1550	33	12	154	102

آماده‌سازی و ساخت چندسازه

نسبت وزنی ترکیب مواد مختلف و تیمارهای ساخت در جدول شماره ۲ ارائه شده است. مواد مورد استفاده توسط دستگاه اکسترودر (کولین) از نوع دو مارپیچه همسوگرد مخلوط گردیدند. مناطق حرارتی اکسترودر به ترتیب ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۰و ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد برای نواحی ۱ تا ۵ به ترتیب اختصاص یافت. سرعت دورانی مارپیچه در حد ۶۰ دور در دقیقه تنظیم گردید. مواد مخلوط شده مذاب از حمام آب سرد عبور داده شده و به‌صورت پلت (Pellets) تهیه گردید. ذرات پلت تهیه شده توسط دستگاه گرانول‌ساز به گرانول تبدیل شدند. به‌منظور جلوگیری از هر گونه اثر منفی رطوبت، ذرات گرانول توسط دستگاه خشک‌کن در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تا ۳٪ خشک گردیدند. ذرات گرانول به‌دست‌آمده توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی در دمای ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و با فشار ۳ مگاپاسکال مطابق با استاندارد ASTM D 618 جهت تهیه نمونه‌های آزمونی ضربه، خمش و کشش تهیه گردید.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

تمام نمونه‌های آزمونی مطابق با آیین‌نامه‌های استاندارد ASTM-D 638 برای خواص کششی، ASTM-D 790 برای خواص خمشی و ASTM-D 256 برای مقاومت به ضربه فاقدار آیزود آزمایش گردیدند. نمونه‌های کششی و خمشی با استفاده از دستگاه Instron (1186) در سرعت ۱/۵ و ۲ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب آزمایش شدند. برای آزمون استحکام کششی نمونه‌های دمبلی شکل از نوع III با ضخامت ۱۲ میلی‌متر تهیه گردید. دستگاه آزمایشگر مقاومت به ضربه از نوع Zwick 1446 انتخاب گردید. نتایج ارائه شده، میانگین حداقل ۶ نمونه برای هر تیمار می‌باشد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

جهت تجزیه و تحلیل آماری از آزمون فاکتوریل دو عامله و در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) مورد بررسی قرار گرفت

نتایج

جدول ۳ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و اثرات مستقل و متقابل درصد جفت‌کننده و درصد نانو رس را در سطح آماری ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

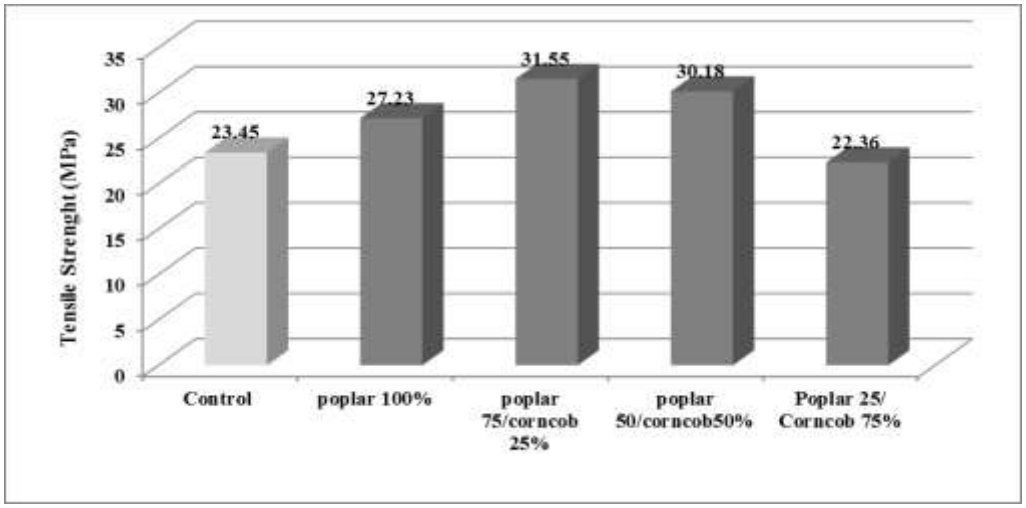
جدول ۳ – خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی
Table 3. Statistical analysis of physical and mechanical properties

Sources	Tensile strength	Flexural strength	Tensile modulus	Flexural modulus	Impact strenght
Combination of Materials	0.000*	0.012*	0.039*	0.228 n.s	0.031*
Nanoclay (%)	0.025*	0.001**	0.121 n.s	0.322 n.s	0.005**
Combination of Materials and Nanoclay	0.012*	0.045*	0.041*	0.385 n.s	0.212 n.s

**Significant difference at the 1% level (p_0.01%), *Significant difference at the 5% level (p_0.05%).
n.s,Not significant.

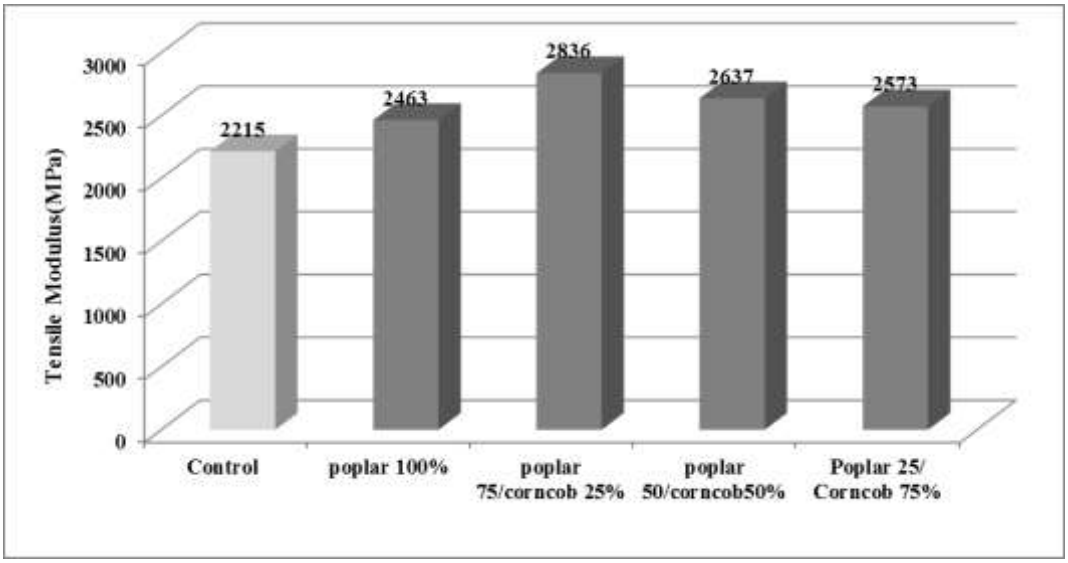
خواص کششی

با توجه به جدول تجزیه واریانس مشخص‌شده است که اثرات مستقل درصد ترکیب مواد و نانو رس بر مقاومت و مدول کششی در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. همان‌گونه که از شکل ۴ و ۵ مشخص‌شده است اثرات مستقل درصد ترکیب مواد در سطح ۱ و ۵ درصد بر خواص کششی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است . نتایج مقاومت کششی نشان داده است که استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) سبب افزایش مقاومت کششی چندسازه نسبت به سایر تیمارها شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) به ترتیب در گروه بعدی (b) قرار داشته‌اند. استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) نسبت به تیمار شاهد (پلی‌پروپیلن خالص) و صنوبر (۱۰۰ درصدی) سبب افزایش مقاومت کششی چندسازه به ترتیب به میزان ۳۴/۵۴ و ۱۵/۸۶ درصدی به ترتیب برای مقاومت کششی چندسازه گردیده است. نتایج مدول کششی چندسازه نشان داده است که استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) سبب افزایش مدول کششی چندسازه نسبت به سایر تیمارها شده است (شکل ۵). با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) به ترتیب در گروه بعدی b) (قرار داشته‌اند. استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) نسبت به تیمار شاهد (پلی‌پروپیلن خالص) و صنوبر (۱۰۰ درصدی) سبب افزایش مدول کششی چندسازه به ترتیب به میزان ۲۸/۰۳ و ۱۵/۱۴ درصدی به ترتیب برای مدول کششی چندسازه گردیده است



شکل ۴ – اثر مستقل درصد ترکیب مواد بر مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک

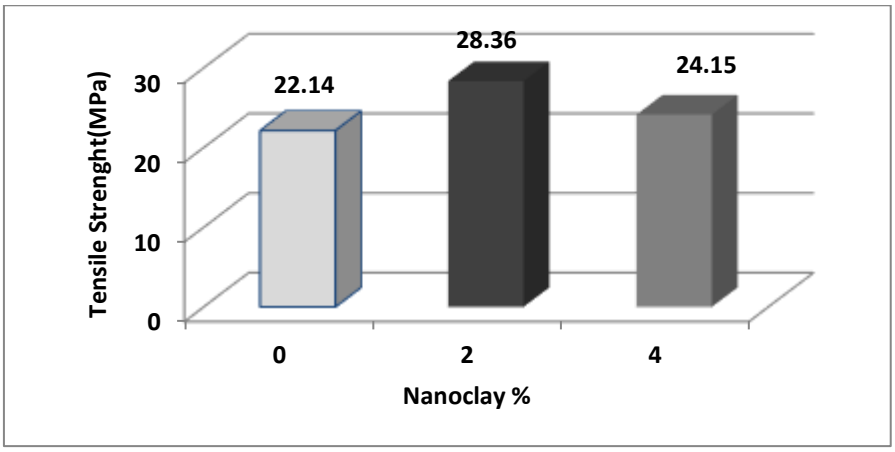
Figure 4. The Effect of Combination Ratio on Tensile Strength of WPC



شکل – ۵ اثر مستقل درصد ترکیب مواد بر مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک

Figure 5. The Effect of Combination Ratio on Tensile Modulus of WPC

همان‌گونه که از جدول ۴ مشخص می‌باشد اثر مستقل درصد نانو رس در سطح ۵ درصد بر مقاومت کششی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است . نتایج مقاومت کششی چندسازه نیز نشان داده است که استفاده از ۲ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت کششی نسبت به تیمار شاهد شده است (شکل ۶) . با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۲ درصد نانو رس مقاومت کششی افزایش و در گروه برتر (a) قرار داشته، تیمار ۴ درصد نانو رس در گروه بعدی(b) (قرار گرفته است. تیمار برتر ۲ درصد نانو رس نسبت به تیمار شاهد (صفر درصد نانو رس) و ۴ درصد نانو رس به ترتیب دارای افزایش ۲۸/۰۹ و ۱۷/۴۳ درصدی بوده‌اند. Wang و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که تأثیر ذرات نانو رس بر خصوصیات چندسازه‌ها به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار و کیفیت پراکنده شدن ذرات و چسبندگی آنها در سطح اتصال بستگی دارد. همچنین بیان کردند که افزودن مقادیر اندک ذرات نانو رس موجبات بهبود خواص مکانیکی، حرارتی و ثبات ابعاد در چندسازه‌ها را فراهم می‌سازند.



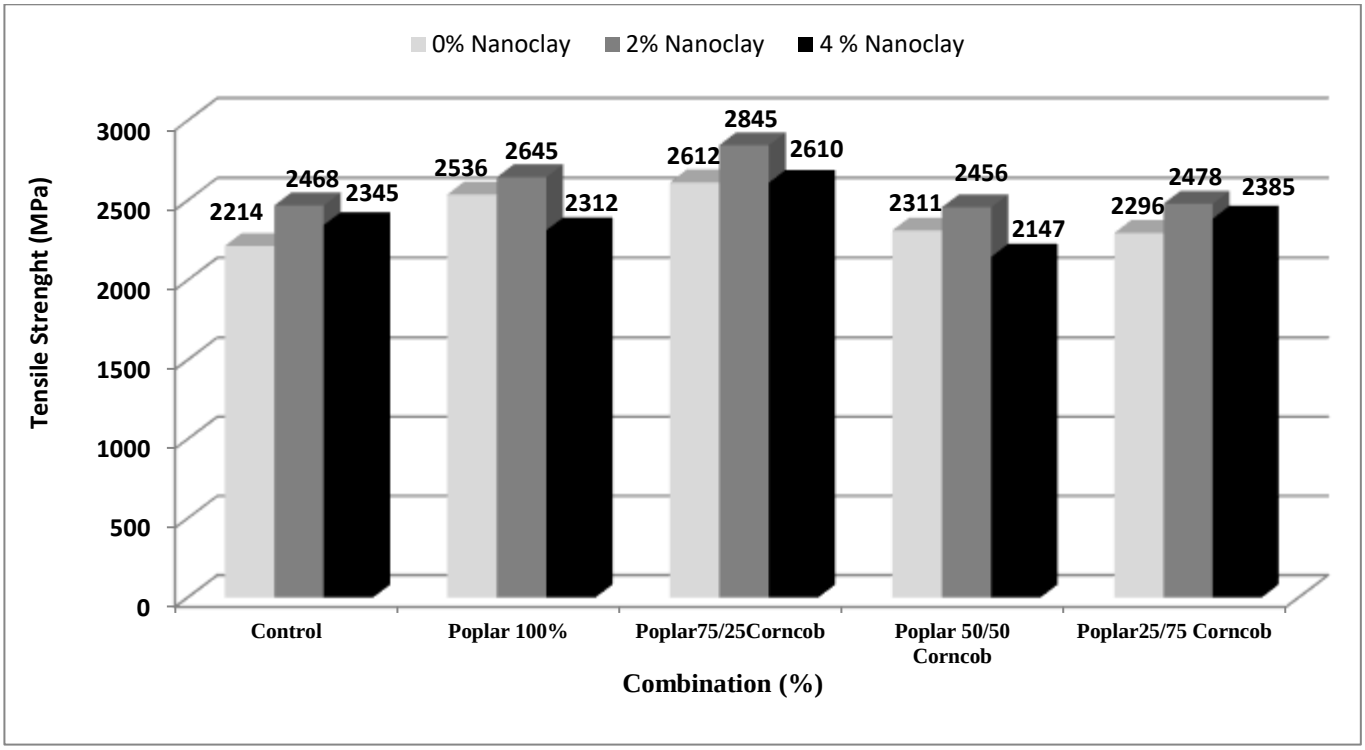
شکل ۶ – اثر مستقل درصد نانو رس بر مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک

Figure 6- The Effect of Nanoclay Percent on Tensile Strength of WPC

نتایج اثرات متقابل میان درصد ترکیب مواد و نانو رس بر خواص کششی در جدول ۴ نشان داده شده است . نتایج حاکی از آن است که اثر متقابل این دو فاکتور بر مقاومت و مدول کششی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است.

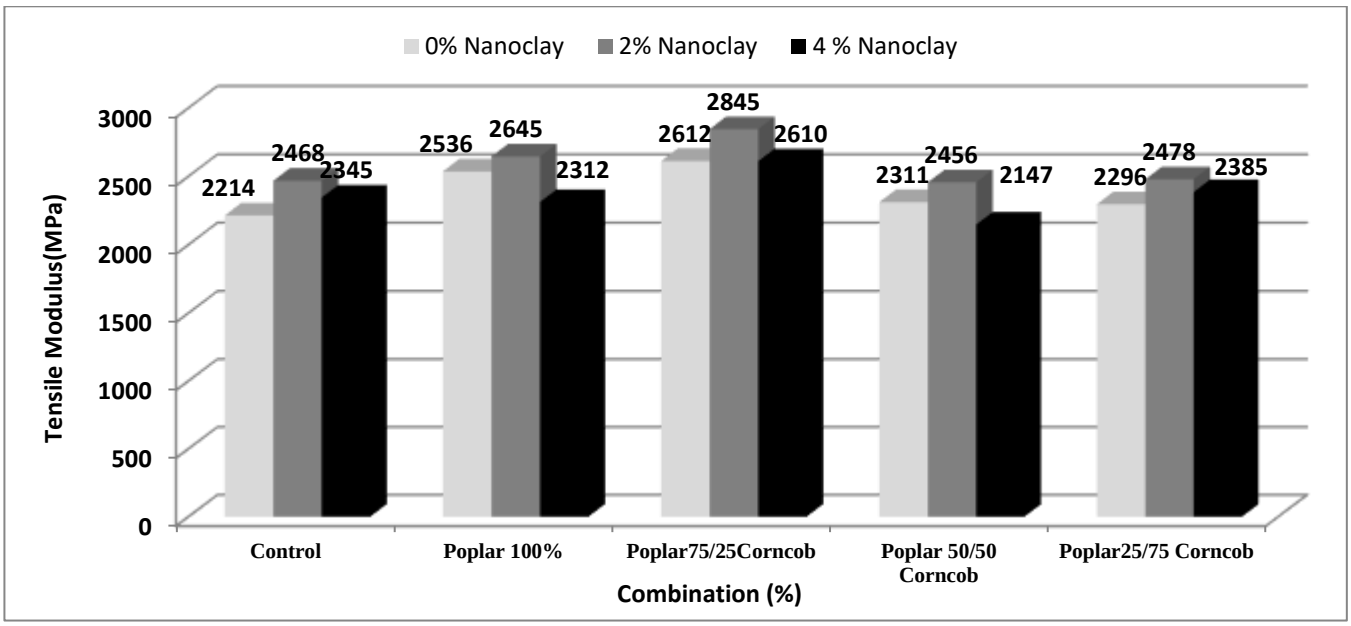
استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت و مدول کششی نسبت به سایر تیمارها و تیمار شاهد شده است (شکل ۷ و ۸) . با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس مقاومت و مدول کششی افزایش و در گروه برتر (a) قرار گرفته است. بررسی های Sandeep (۲۰۲۲) نیز نشان داده است که با افزایش مقدار درصد کوب ذرت به همراه پلی‌پروپیلن در تولید کامپوزیت باعث کاهش مقاومت کششی گردیده است.

همچنین تیمار ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۴ درصد نانو رس در گروه بعدی(b) (قرارگرفته‌اند. نتایج اثرات متقابل نشان داده است که اثر همزمان ترکیب مواد به همراه ذرات نانو رس می‌تواند باعث افزایش و بهبودی خواص کششی چندسازه ساخته شده گردد.



شکل ۷ – اثر متقابل درصد نانو رس و ترکیب مواد بر مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک

Figure 7. The Effect of Combination Ratio and Nanoclay on Tensile Strength of WPC

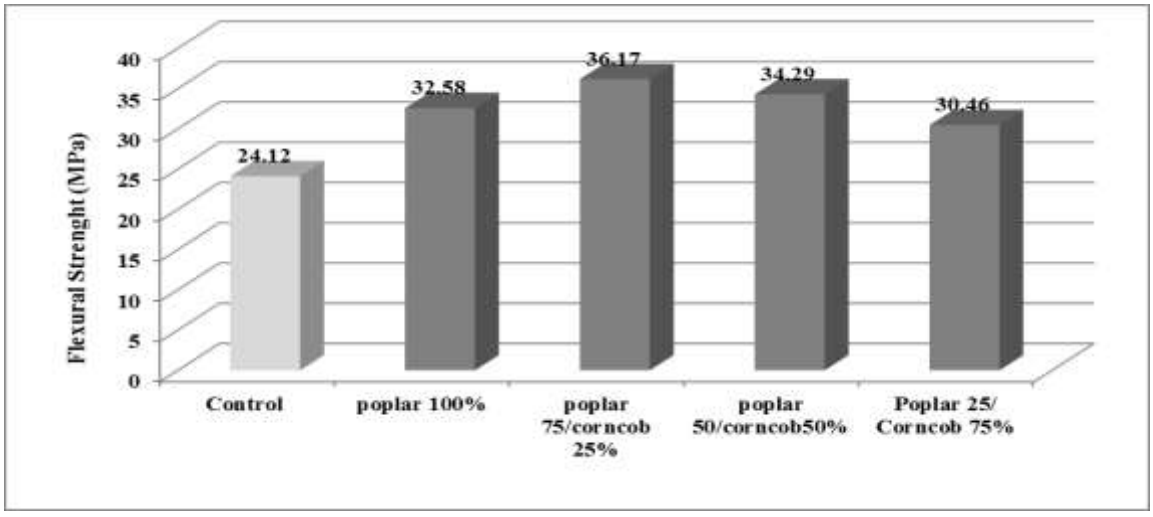


شکل ۸ – اثر متقابل درصد نانو رس و ترکیب مواد بر مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک

Figure 8. The Effect of Combination Ratio and Nanoclay on Tensile Modulus of WPC

خواص خمشی

با توجه به جدول تجزیه واریانس مشخص‌شده است که اثرات مستقل درصد ترکیب مواد و نانو رس بر مقاومت خمشی در سطوح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). همان‌گونه که از شکل ۹ مشخص‌شده است اثرات مستقل درصد ترکیب مواد در سطح ۱ درصد بر خواص مقاومت خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است . نتایج مقاومت خمشی نشان داده است که استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) سبب افزایش مقاومت خمشی چندسازه نسبت به سایر تیمارها شده است (شکل ۹). با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) به ترتیب در گروه بعدی (b) قرار داشته‌اند. استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) نسبت به تیمار شاهد (پلی‌پروپیلن خالص) و صنوبر (۱۰۰ درصدی) سبب افزایش مقاومت خمشی چندسازه به ترتیب به میزان ۴۹/۹۵ و ۱۱/۰۲ درصد گردیده است Sandeep ۲۰۲۲ نیز عنوان کرد مقاومت خمشی کامپوزیت ساخته شده در مقادیر ۱۵ درصد کوب ذرت افرایشی از خود نشان داده است. وی بیان کرد که اثر کاهش پیوستگی در جریان تولید کامپوزیت‌های مواد طبیعی اغلب در پرکننده‌های بیومس طبیعی زیاد مشاهده می‌گردد که سبب کاهش خواص مکانیکی می‌گردد.

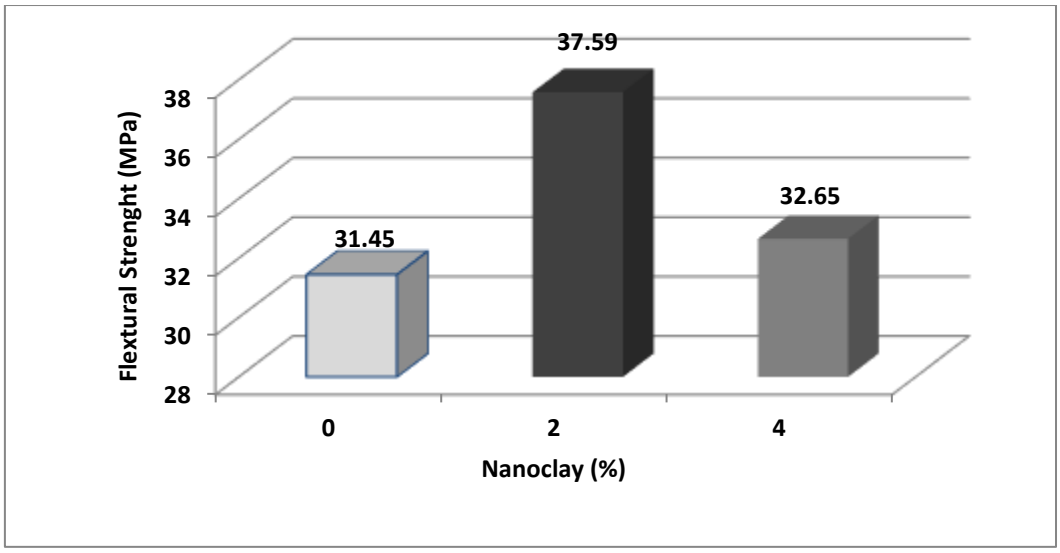


شکل ۹ – اثر مستقل درصد ترکیب مواد بر مقاومت خمشی چندسازه چوب پلاستیک

Figure 9. The Effect of Combination Ratio on Flextural Strength of WPC

Yin و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعات خود مواد مرکب حاصل از پلی‌پروپیلن با الیاف چوب و جفت کننده انیدرید مالئیک اصلاح شده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که مدول‌الاستیسیته خمشی در طول زمان بر اثر بلوری شدن افزایش می‌یابد و با حضور MAPP بلوری شدن قابل‌ملاحظه ای اتفاق می‌افتد. نتایج مقاومت خمشی چندسازه نیز نشان داده است که استفاده از ۲ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت خمشی نسبت به تیمار شاهد شده است (شکل۱۰). با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۲ درصد نانو رس مقاومت خمشی افزایش و در گروه برتر (a) قرار داشته، تیمار ۴ درصد نانو رس در گروه بعدی (b) قرار گرفته است. تیمار برتر ۲

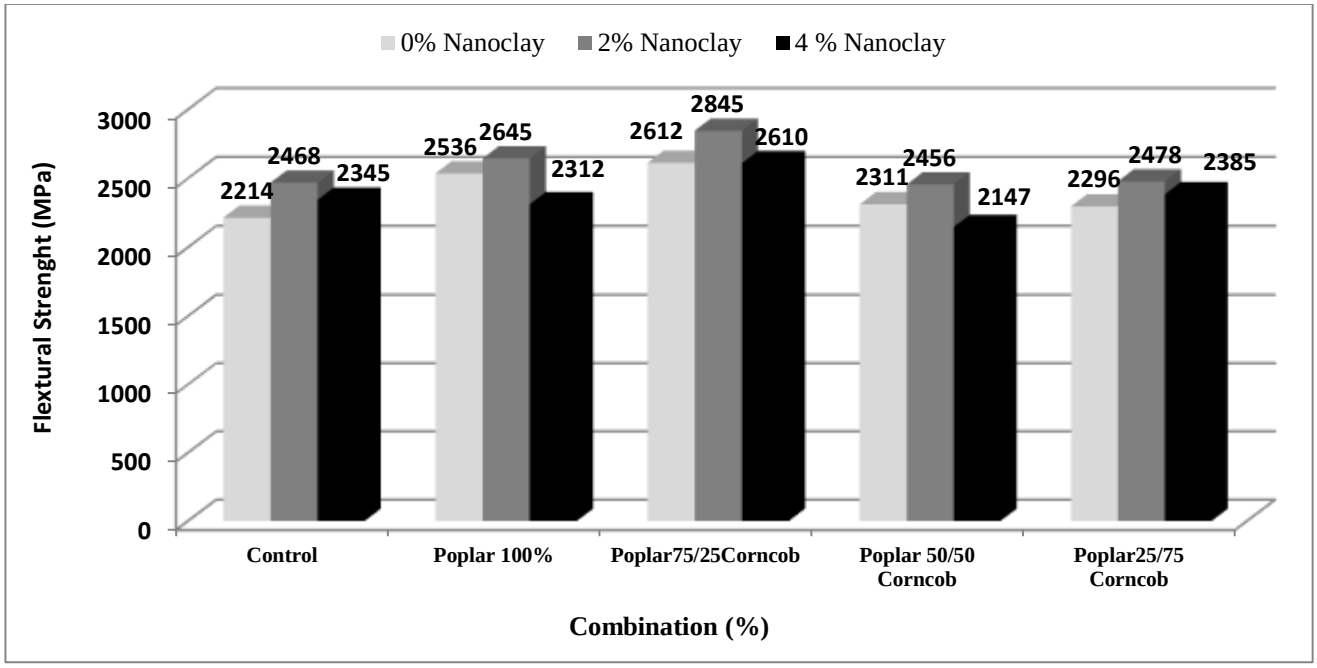
درصد نانو رس نسبت به تیمار شاهد (صفر درصد نانو رس) و ۴ درصد نانو رس مقاومت خمشی را به ترتیب به میزان ۱۹/۵۲ و ۱۲/۰۶ درصد افزایش داده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ – اثر مستقل درصد نانو رس بر مقاومت خمشی چندسازه چوب پلاستیک

Figure 10- The Effect of Nanoclay Percent on Tensile Strength of WPC

نتایج اثرات متقابل میان درصد ترکیب مواد و نانو رس بر خواص خمشی در جدول ۴ نشان داده شده است . نتایج حاکی از آن است که اثر متقابل این دو فاکتور بر مقاومت خمشی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. همان‌طور که شکل ۱۱ نشان می‌دهد، استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت خمشی نسبت به سایر تیمارها شده است . با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس مقاومت خمشی افزایش و در گروه برتر (a) قرار گرفته است. همچنین تیمار ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۴ درصد نانو رس در گروه بعدی(b) قرارگرفته‌اند. نتایج اثرات متقابل نشان داده است که اثر هم‌زمان ترکیب مواد به همراه ذرات نانو رس می‌تواند باعث افزایش مقاومت خمشی چندسازه ساخته شده گردد.



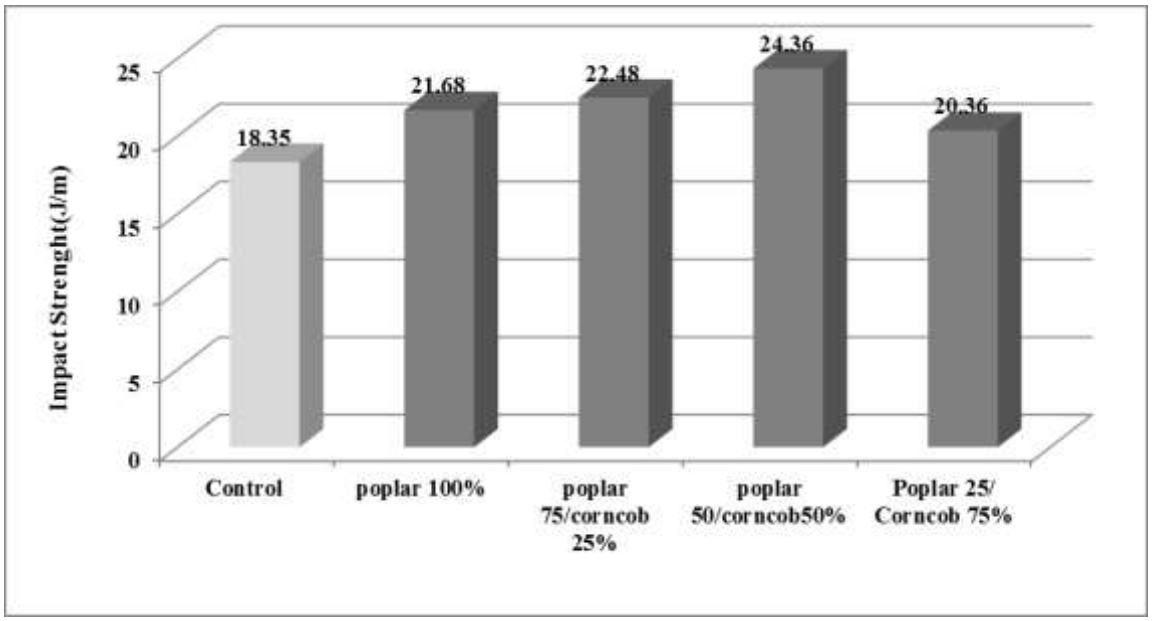
شکل ۱۱ – اثر متقابل درصد نانو رس و ترکیب مواد بر مقاومت خمشی چندسازه چوب پلاستیک

Figure 11. The Effect of Combination Ratio and Nanoclay on Flextural Strenght of WPC

Chowdhury و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که بالاترین مقدار مقاومت خمشی چندسازه‌های پلیمری تقویت شده با ۲ درصد نانو رس حاصل گردید و نتایج تحلیل دینامیکی مکانیکی نشان دهنده بهبود خواص مکانیکی گرمایی چندسازه‌ها تحت تأثیر پرکننده ذرات نانورس می‌باشد، همچنین بیان کردند که به هنگام اضافه نمودن ذرات نانو رس به مقدار ۲٪، دمای انتقال شیشه‌ای چندسازه به میزان ۹ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

مقاومت به ضربه

با توجه به جدول تجزیه واریانس مشخص‌شده است که اثرات مستقل درصد ترکیب مواد و نانو رس بر مقاومت خمشی در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. همان‌گونه که از شکل ۱۲ مشخص‌شده است اثرات مستقل درصد ترکیب مواد در سطح ۵ درصد بر خواص مقاومت به ضربه فاقدار نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است . نتایج مقاومت به ضربه فاقدار نشان داده است که استفاده از ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) سبب افزایش مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه نسبت به سایر تیمارها شده است (شکل ۱۲). با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) به ترتیب در گروه بعدی (b) قرار داشته‌اند. استفاده از ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) نسبت به تیمار شاهد (پلی‌پروپیلن خالص) و صنوبر (۱۰۰ درصدی) سبب افزایش مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه به ترتیب به میزان ۳۲/۷۵ و ۱۲/۳۶ درصد گردیده است.

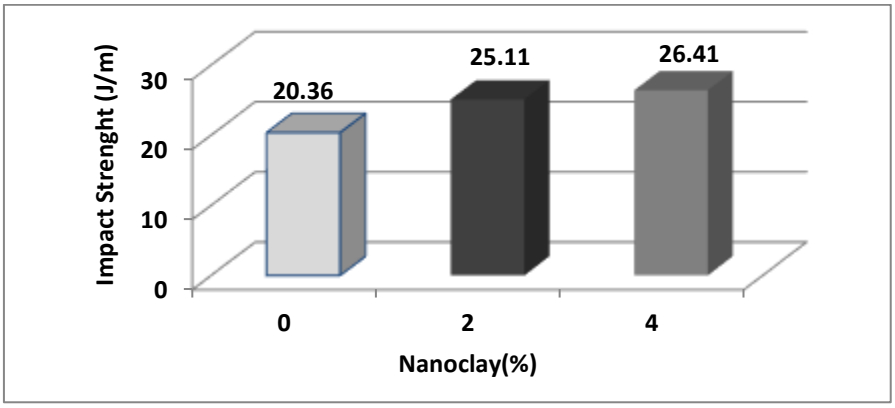


شکل ۱۲ – اثر مستقل درصد ترکیب مواد بر مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستیک

Figure 12. The Effect of Combination Ratio on Impact Strenght of WPC

نتایج مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه نیز نشان داده است که استفاده از ۴ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت به ضربه فاقدار نسبت به تیمار شاهد شده است (شکل۱۳) . با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۴ درصد نانو رس مقاومت به ضربه فاقدار افزایش و در گروه برتر (a) قرار داشته، تیمار ۲ درصد نانو رس در گروه بعدی (b) قرار گرفته است. تیمار برتر ۴ درصد نانو رس نسبت به تیمار شاهد (صفر درصد نانو رس) و ۲ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه به ترتیب به میزان ۲۹/۷۱ و ۵/۱۸ درصد شده است (شکل ۳).

Hristove (۲۰۰۴) اثر افزودن سازگار کننده‌ها را بر خواص مکانیکی چندسازه‌های پلی‌پروپیلن آرد چوب مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدول کششی، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه با افزودن MAPP بهبود می‌یابد. آنان گزارش کردند که ضعف خواص مکانیکی چندسازه‌های اصلاح نشده به علت اتصال ضعیف میان ماتریس پلیمری و الیاف چوبی است که می‌تواند با استفاده از مواد جفت کننده برطرف گردد.



شکل ۱۳ – اثر مستقل درصد نانو رس بر مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستیک

Figure 13. The Effect of Nanoclay Percent on Tensile Strenght of WPC

همان‌طور که شکل ۱۳ نشان می‌دهد، استفاده از درصد کمتر ذرات نانو رس (۲ درصد) نتوانسته مقاومت به ضربه فاقدار را در مقایسه با تیمار ۴ درصد افزایش دهد. Zhao و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه بررسی مونتمورلونیت اصلاح شده بر روی خواص چندسازه حاصل از آرد چوب و پلی وینیل کلراید دریافتند که با افزایش مقدار ذرات نانو رس در حضور عامل سازگار کننده سیلان خواص مکانیکی شامل مقاومت به ضربه و مدول کششی به ترتیب ۱۴/۸٪ و ۱۸/۵٪ افزایش یافته است. همچنین آنها دریافتند که وجود لایه‌های سیلیکاتی موجب بهبود خواص آتش‌گیری چندسازه حاصله گردیده است. همچنین در بررسی دیگری که Hun و همکاران در سال ۲۰۰۸ انجام داده‌اند نتیجه‌گیری کردند که هنگام افزودن ۱٪ نانو رس، مدول‌الاستیسیته خمشی، مدول‌الاستیسیته دینامیک و درجه کریستالیته افزایش یافته، درحالی‌که مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش می‌یابد. داده‌های حاصل از تفرق اشعه ایکس نیز این مطلب را تائید نمود، زیرا ساختار Exfoliation در چندسازه ایجاد گردیده است. همچنین آنها عنوان داشتند که کلیه ویژگی‌های مکانیکی با افزودن ماده سازگار کننده به علت بهبود سطح مشترک ماتریس پلیمری و فاز پرکننده افزایش یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق کل ماده لیگنوسلولزی کوب ذرت به همراه چوب صنوبر برابر با ۴۰ درصد وزنی کل ترکیب ساخت مورد استفاده قرار گرفت. عوامل متغیر شامل: ۴ سطح ترکیب مواد (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کوب ذرت/ و ترکیب ذرات چوب صنوبر) و سه سطح نانورس (صفر، ۲ و ۴ درصد) بوده است. جدول ۴ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و اثرات مستقل و متقابل درصد ترکیب مواد و درصد نانو رس را در سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت و مدول کششی نسبت به سایر تیمارها و تیمار شاهد شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس مقاومت و مدول کششی افزایش و در گروه برتر قرار گرفته است. همچنین تیمار ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۴ درصد نانو رس در گروه بعدی (b) قرار گرفته‌اند. نتایج اثرات متقابل نشان داده است که اثر هم‌زمان ترکیب مواد به همراه ذرات نانورس می‌تواند

باعث افزایش و بهبودی خواص کششی چندسازه ساخته شده گردد. تأثیر ذرات نانو رس بر خصوصیات چندسازه‌ها به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار و کیفیت پراکنده شدن ذرات و چسبندگی آنها در سطح اتصال بستگی دارد. استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت و مقاومت خمشی نسبت به سایر تیمارها و تیمار شاهد شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۲ درصد نانو رس مقاومت خمشی افزایش و در گروه برتر قرار گرفته است. همچنین تیمار ترکیب (۷۵ درصد صنوبر و ۲۵ درصد کوب ذرت) و ۴ درصد نانو رس در گروه بعدی (b) قرار گرفته‌اند. نتایج اثرات متقابل نشان داده است که اثر هم‌زمان ترکیب مواد به همراه ذرات نانو رس می‌تواند باعث افزایش مقاومت خمشی چندسازه ساخته شده گردد. نتایج مقاومت به ضربه فاقدار نشان داده است که استفاده از ترکیب (۵۰ درصد صنوبر و ۵۰ درصد کوب ذرت) سبب افزایش مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه نسبت به سایر تیمارها شده است. همچنین نتایج مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه نیز نشان داده است که استفاده از ۴ درصد نانو رس سبب افزایش مقاومت به ضربه فاقدار نسبت به تیمار شاهد شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۴ درصد نانو رس مقاومت به ضربه فاقدار افزایش و در گروه برتر قرار داشته، ضعف خواص مکانیکی چندسازه‌های اصلاح نشده به علت اتصال ضعیف میان ماتریس پلیمری و الیاف چوبی است که می‌تواند با استفاده از مواد جفت کننده برطرف گردد. به‌طورکلی نتایج نشان داده است که استفاده از کوب ذرت می‌تواند به همراه مواد چوبی دیگر نظیر صنوبر در ترکیب ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق نتایج نشان داده است که ترکیب مواد سلولزی به همراه کوب ذرت می‌تواند اثر معنی‌داری بر خواص مکانیکی چندسازه داشته باشد. همچنین استفاده از ذرات نانو رس در سطوح ۲ و ۴ درصد نیز اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر خواص مکانیکی چندسازه داشته است.

منابع مورد استفاده

-Ashori A. and Nourbakhsh A., 2009. Characteristics of wood–fiber plastic composites made of recycled materials: *Waste Management*. 29. 1291–1295.

-ASTM. 1999. *Composite Materials Handbook: Volume 4*. Metal Matrix Composites, United State of America Department of Defense Handbook, Rev. 21.

-Chowdhury, Hosur F.H. and Hosur, M.V., 2006. Studies on the flexural and thermomechanical properties of woven carbon/nanoclay-epoxy laminateds. Material Science and Engineering A (421). 298-306.

-Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo–Fiber Filled High Density Polyethylene Composites: Effect of Coupling Treatment and Nanoclay. *J Polym Environ*. 16. 123–130.

-Hristove, V.N., Vasileva, S.T., Krumova, M. and Michler, R., 2004. Deformation mechanisms and mechanical properties of modified polypropylene/wood fiber composites. *Journal of Polymer Composites*. 25(5). 1015-1022.

-Nourbakhsh A. and Ashori A., 2008. Influence of Nanoclay and Coupling Agent on the Physical and Mechanical Properties of Polypropylene/Bagasse Nanocomposite. *Journal of Applied Polymer Science*. 112. 1386–1390.

-Nourbakhsh, A., Farhani Baghlani F., Ashori, A. 2011. Nano-Sio2 filled rice husk/polypropylene composites: Physico-mechanical properties. *Industrial crops and products*. 22. 183-187.

-Onuohal, C., Onyemaobi O., Anyakwo, C.N. and Onuegbu, G.C., 2017. Effect of Filler Content and Particle Size on the Mechanical Properties of Corn Cob Powder Filled Recycled Polypropylene Composites. International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS) – Volume-3, Issue-4, April 2017

-Sandeep, G., Tejas, P.N., Shishir, S. and Inderdeep, S., 2022. Corncob waste as a potential filler in biocomposites: A decision towards sustainability. Composites Part C. 2022 Available online 8 October 2022. ISSN: 2395-3470

-Yang, H., Kim, H., Son, J., Ark, H., Lee, B. and Hwang, T., 2007. Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. *Composite structures*. 45-55.

-Yeh Shu-Kai. and Gupta Rakesh K., 2010. Nanoclay-Reinforced, Polypropylene-Based Wood–Plastic Composites. *Polymer Engineering and Science*. DOI

10.1002/pen.21729.
-Yin, S., Rials, T.G. and Wolcott, M.P., 1999. Crystallization behavior of polypropylene and its effect on wood fiber plastic composites. Proceeding of 5th International conference on wood fiber plastic composites, Forest Product Society & Laboratory, Madison, 139-146.
-Wang S-Y., Yang T-H., Lin L-T., Lin C-J. and Tsai M-J., 2007. Properties of low formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. Build Environ Vol: 42:8 pp
-Zhao, Y., Wang, K., Zhu, F., Xue, P. and Jia, M., 2006. Properties of poly (vinylchloride) /woodflour/ montmorillonite composites: Effects of coupling agents and layered silicate. Journal of Polymer Degradation and Stability, 91, 2874-2883.
-Zhou,Y., Rangari, V., Mahfuz, H., Jeelani, Sh. and Mallick, P.K., 2005. Experimental study on thermal and mechanical behavior of polypropylene, talc/polypropylene and polypropylene/clay nanocomposites. Materials Science and Engineering A. 402. 109–117.