



Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Polyethylene/Corn Stalk Fiber Composites Used in the Packaging Industry

Sara Pourabbasi *, Ahmad Samariha

*Assistant Professor, Department of Wood Industry, Malayer Branch, Islamic Azad University, Malayer, Iran

(Received: 11/02/2024, Revised: 04/03/2024, Accepted: 25/04/2024, Published: 09/06/2024)

DOR:20.1001.1.22286675.1403.15.57.2.1

ABSTRACT

Across the world, in an effort to reduce the use of plastic in packaging and its detrimental environmental impacts, innovative actions such as the production of composites are being undertaken. In this research, polyethylene was used as the polymer matrix, corn stalk fibers were used as the reinforcing agent, and maleic anhydride was used as a compatibilizer. The main objective of this study was to investigate the mechanical and physical properties of the produced composite material by varying the percentage and length of the corn stalk fibers. In this research, 20%, 30%, and 40% contents of corn stalk fibers were used in the composite product. Additionally, two different fiber length levels were tested, using mesh sizes of 40 and 80. Additionally, 5% of the compatibilizer maleic anhydride was also added to the product. The results have shown that the composite material with longer fiber lengths and higher fiber content (percentage) exhibited the highest moisture absorption. As the length of the fibers increased, the elongation or tensile strain of the samples decreased in the tensile strength tests. The findings show that longer fibers in the product increase the resistance to elongation or tensile deformation. In the flexural strength testing, increasing both the length and the percentage of the fibers led to an increase in the flexural modulus of the composite. The use of longer fibers and higher fiber content in the product leads to an increase in the flexural modulus of the composite. The results of this research show that varying the percentage and length of the corn stalk fibers in the polyethylene composite has a significant impact on the mechanical and physical properties of the material. Increasing the fiber length and percentage can improve moisture absorption and enhance resistance to dimensional and flexural changes in the composite.

Keywords: Wood Plastic Composite, Internal Mixer, Modulus of Elasticity, Polyethylene, Maleic Anhydride, Packaging

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

Authors



* Corresponding Author Email: sara.pourabbasi@gmail.com

علمی - پژوهشی

بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های حاصل از پلی اتیلن / الیاف ساقه ذرت مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی

سارا پورعباسی^{۱*}، احمد ثمریها^۲

۱- استادیار، گروه صنایع چوب، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران، ۲- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.57.2.1

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

چکیده

در سراسر جهان، در راستای کاهش استفاده از پلاستیک در بسته‌بندی‌ها و تأثیرات مخرب آن بر محیط زیست، اقدامات نوآورانه مانند تولید کامپوزیت در حال انجام است. در این تحقیق، از پلی اتیلن به عنوان ماتریس پلیمری، الیاف ساقه ذرت به عنوان تقویت‌کننده و ماده سازگارکننده مالئیک انیدرید استفاده شده است. هدف اصلی این تحقیق بررسی خصوصیات مکانیکی و فیزیکی کامپوزیت تولید شده با تغییر درصد و طول الیاف ساقه ذرت بوده است. در این تحقیق، درصد‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ از الیاف ساقه ذرت در محصول و همچنین دو سطح طولی مش‌های ۴۰ و ۸۰ از آنها استفاده شده است. همچنین ۵ درصد ماده سازگارکننده مالئیک انیدرید نیز به محصول اضافه شده است. نتایج آزمایشات نشان داده است که با افزایش طول الیاف و درصد آنها در محصول، جذب رطوبت افزایش می‌یابد. این بدان معناست که کامپوزیت با الیاف بلندتر و درصد بیشتر الیاف، بیشترین مقدار رطوبت را جذب می‌کند. همچنین، با افزایش طول الیاف، تغییرات طولی نمونه‌ها در آزمایشات مقاومت به کشش کاهش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که الیاف بلندتر در محصول، مدول خمشی کامپوزیت را افزایش می‌دهد. به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر درصد و طول الیاف ساقه ذرت در کامپوزیت پلی اتیلن، تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی آن دارد. افزایش طول و درصد الیاف می‌تواند بهبودی در جذب رطوبت و مقاومت به تغییرات طولی و خمشی کامپوزیت ایجاد کند.

کلیدواژه‌ها: کامپوزیت چوب پلاستیک، مخلوط کن داخلی، مدول الاستیسیته، پلی اتیلن، مالئیک انیدرید، بسته‌بندی

۱- مقدمه

مکانیکی، مقاومت در برابر حرارت، یا ظاهر زیبا را با حفظ ارزش زیست‌محیطی به بسته‌بندی‌ها اضافه کنند. به عنوان مثال، الیاف سلولزی مانند الیاف چوب، بامبو و یا ساقه گندم به عنوان تقویت‌کننده‌ها در کامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند. این الیاف علاوه بر ویژگی‌های مکانیکی قوی، تخلخل و جذب رطوبت کمتری نسبت به پلاستیک دارند و می‌توانند در کاهش وزن و حجم بسته‌بندی‌ها مؤثر باشند. علاوه بر این، استفاده از مواد زیست تخریب‌پذیر و قابل بازیافت نیز در تولید کامپوزیت‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. این مواد می‌توانند در صورت دور انداخته شدن، به‌طور طبیعی تجزیه شده و به محیط زیست صدمه کمتری وارد کنند.

این روزها، محققان و کارشناسان در حوزه مواد و بسته‌بندی، به دنبال راهکارهای جایگزین پلاستیک در بسته‌بندی محصولات هستند. یکی از این راهکارها تولید کامپوزیت‌ها است که ترکیبی از مواد مختلف با ویژگی‌های منحصر به فرد است. کامپوزیت‌ها معمولاً شامل ماتریس پایه و تقویت‌کننده‌هایی مانند الیاف طبیعی یا مصنوعی هستند. این ترکیبات می‌توانند خواص

* رایانامه نویسنده مسئول: sara.pourabbasi@gmail.com

فراوانی در طبیعت وجود دارند، همچنین یک محصول نهایی مقرون به صرفه را تشکیل می‌دهند [۵].

کامپوزیت چوب-پلاستیک توسط تجهیزات فرآوری چوب، قابل برش، سوراخ کاری، سنباده زنی و غیره هستند؛ اگر مقدار مواد لیگنوسلولزی [۶] کمتر از ۵۰ درصد باشد، خواص محصول بیشتر به پلاستیک نزدیک است؛ اما اگر درصد مواد لیگنوسلولزی بیش تر از ۵۰ درصد شود خواص آن به چوب نزدیک تر است؛ در ساخت این مواد چند سازه ای از گستره وسیعی از پلیمرها؛ همراه پرکننده های سلولزی نظیر آرد، الیاف چوب، الیاف کتان الیاف، کف بامبو و کاه استفاده می شود. چوب پلاستیکها محصولی حاصل از چوب و پلاستیک است این مواد مرکب که به اختصار WPC نامیده می شوند مخلوطی از مواد لیگنوسلولزی و پلاستیک هستند که ظاهری اغلب شبیه چوب دارند؛ اما توسط فرایندهای تولید پلاستیک شکل می‌گیرند [۷].

کامپوزیتهای چوب-پلاستیک (WPC) بهترین همگنی را که در کنار مقاومت بالاتر در برابر عوامل مخرب زیستی، آب و رطوبت ارائه می‌دهند، و به همین دلیل، در صورتی که محدودیت‌های ساختاری خاصی را رعایت کنند. می‌توانند در ساختارهای ساختمانی و کاربردهای صنعتی و بسته بندی امروزی به جای چوب ماسیو استفاده شوند [۸].

امروزه به دلیل گستردگی کامپوزیتهای پلیمری در صنایع مختلف و با توجه به مسائل زیست محیطی و اقتصادی بازیافت این مواد و همچنین استفاده از مواد تجزیه پذیر، قابل بازیافت و تجدید شدنی در طراحی این محصولات از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۹].

این مواد به دلیل تنوع و همچنین دوام طبیعی بهتر نسبت به چوب ماسیو، مزایای اقتصادی زیادی دارند [۱۰]. همچنین، به دلیل عدم استفاده از فرمالدهید در ترکیبات آنها، از لحاظ محیط زیستی ارجح است. استفاده از الیاف طبیعی در ترکیبات می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی را بهبود داده و همزمان هزینه و وزن را کاهش دهد [۱۱].

در سال‌های اخیر، استفاده از پرکننده‌های حاصل از بازیافت چوب در ترکیبات چوب-پلاستیک (WPC) به طور متناوب در حال افزایش است [۱۲].

این پرکننده‌ها نسبت به همتایان غیر آلی خود، مزایای متعددی دارند از جمله چگالی کمتر و هزینه حجمی کمتر. همچنین، در فرآیند تولید کمتر سایشی به تجهیزات پردازشی وارد می‌کنند و از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آیند. اما شکل، اندازه و گونه آنها بسیار متغیر است و بنابراین ویژگی‌های مختلفی را ارائه می‌دهند. آنها می‌توانند به صورت ذرات، تارهای الیافی یا حتی الیاف تکی باشند. یکی از پرکننده‌های حاصل از چوب که بیشترین استفاده را می‌کند، فلر چوب است. فلر چوب به صورت تجاری از منابع پسابانی صنعتی مانند پوسته و

با استفاده از اقدامات نوآورانه مانند تولید کامپوزیت‌ها در بسته‌بندی، می‌توان از مصرف پلاستیک و تأثیرات منفی آن بر محیط زیست کاست و به حفظ منابع طبیعی و حفظ تعادل زیستی کمک کرد. این اقدامات نشان می‌دهند که فناوری و نوآوری می‌توانند در ایجاد راهکارهای پایدار برای مشکلات محیط زیستی موثر باشند.

استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک در بسته‌بندی، به عنوان جایگزینی پایدار و مناسب برای مواد بسته‌بندی سنتی، اهمیت بسیاری دارد. کامپوزیت چوب-پلاستیک با ترکیبی از چوب و پلاستیک تولید می‌شود و ویژگی‌های منحصر به فردی از هر دو جنس را در خود دارا می‌باشد. این کامپوزیت عمدتاً از چوب بازیافتی و پلیمرهای مانند پلی اتیلن یا پلی پروپیلن تشکیل شده است. استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک در بسته‌بندی دارای مزایای فراوان است. این کامپوزیت دارای مقاومت بالا در برابر ضربه، استحکام بیشتر نسبت به چوب و پلاستیک معمولی، مقاومت به رطوبت، ضدپوسیدگی، و مقاومت در برابر تغییرات دمایی است. همچنین، کامپوزیت چوب-پلاستیک قابلیت بازیافت و دوباره استفاده را داراست که منجر به کاهش مصرف منابع طبیعی و ایجاد یک روش بسته بندی پایدارتر می‌شود. با توجه به این ویژگی‌ها، استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک در بسته‌بندی می‌تواند بهبودی در عملکرد، ماندگاری و ایمنی محصولات فراهم کند و در عین حال به حفظ محیط زیست و کاهش پسماندها کمک کند [۱].

در طی چند سال اخیر، تلاش‌ها و تحقیقات زیادی برای جایگزین کردن پسماندهای کشاورزی با منابع جنگلی انجام شده است [۲] و سعی شده تا منابع غیر چوبی که قابلیت استفاده از آنها در صنعت چوب و کاغذ وجود دارد، مورد بررسی قرار گیرد. استفاده از الیاف طبیعی به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌ها به دلیل نگرانی‌های زیست محیطی توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. الیاف طبیعی به دلیل منابع تجدیدپذیر و بسیار در دسترس، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. به دلیل مسائل جدی زیست محیطی آنها به عنوان ماده جایگزینی برای پرکننده ها و الیاف غیر آلی در نظر گرفته شده‌اند [۳]. استفاده صنعتی آنها در واقع یک عمل دوستدار محیط زیست می‌باشد. اما برخلاف بقایای چوبی که در طول سال در دسترس هستند، این ترکیبات فصلی بوده و یک یا دو بار در سال قابل برداشت می‌باشند. از این رو، این مشکل منجر به افزایش هزینه انبارداری، خطر آتش سوزی و تخمیر در طول فرایند انبارداری می‌گردد [۴]. بیشتر تحقیقات توجه به جایگزینی برای پلاستیک‌های مشتقات نفتی را به روش مقرون به صرفه بوسیله مواد زیست تخریب پذیر با خواص مکانیکی رقابتی دارد. پلیمرهای زیستی به عنوان امیدوارکننده‌ترین مواد در نظر گرفته شده‌اند زیرا به

اما چوب-پلاستیک تراکم‌دهی شده صاف دارای مزیتی است که شامل دسترسی به ماشین‌های نشانه‌گذاری گرم در امکانات ساختمانی معمول تولید کامپوزیت چوبی و قابلیت کنترل آسان چگالی پنبل است.

تقریباً تحقیقات بسیار کمی در مورد ترکیبی از الیاف ساقه ذرت به عنوان منبع مهم پرکننده با نسبت‌های مختلف در کامپوزیت‌های تولیدی انجام نشده است.

الیاف طبیعی به طور گسترده‌ای قابل دسترس بوده و نسبت به الیاف مصنوعی ارزان ترند و می‌توانند در بسیاری از کاربردهایی که در آن‌ها صرفه جویی در هزینه بر خواص مقاومتی محصول ارجح است جایگزین الیاف مصنوعی گردند [۱۹].

افزایش کاربرد انواع پلیمرها به طور مستمر به تولید پسماندهای پلاستیکی در سطح جهانی افزوده است. عدم زیست تخریب پذیری و تاثیر منفی پسماندهای پلاستیکی بر محیط زیست و منابع طبیعی واز سوی دیگر مسائل اقتصادی نظیر افزایش قیمت مواد خام هیدرو کربنی، افزایش هزینه راه اندازی و نگهداری کوره‌های زیاله سوزی، افزایش خطرهای زیست محیطی سوزاندن و دفن پلاستیک‌ها، سبب شده که جوامع علمی، بهداشتی و صنعتی به دنبال راه حل‌های مناسبی برای کاهش اثرگذاری‌های منفی پسماندهای پلاستیکی به وسیله بازیافت آن‌ها باشند [۲۰]. استفاده از مواد پلیمری بازیافتی در تولید کامپوزیت‌های پلیمری، به یکی از راهکارهای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تبدیل شده است [۲۱].

با توجه به این مساله که خواص و عملکرد کامپوزیت‌ها به ماتریس پلیمری، الیاف و اتصال سطحی بین الیاف تقویت کننده و ماتریس پلیمری بستگی دارد [۱۸]. جهت بهبود اثر متقابل بین الیاف طبیعی و ماده پلیمری، می‌توان از روش‌هایی از جمله: استفاده از عوامل جفت کننده یا سازگار کننده، اصلاح فیزیکی و شیمیایی سطح الیاف (تخلیه کربن، پلاسما، قلیایی، استیل، عامل جفت سیلان) و... استفاده کرد [۲۲].

خواص ماده مرکب به شدت تحت تاثیر خواص اجزا، توزیع آنها و اثر متقابل بین آنها می‌باشد. بنابراین در توصیف مواد مرکب به عنوان یک سامانه، شکل هندسی فاز تقویت کننده باید مشخص گردد. در این تحقیق به منظور دستیابی به این امر از مش‌های ۴۰ و ۸۰ برای تفکیک الیاف ساقه ذرت به اندازه‌های مختلف و تعیین اثر اندازه طول الیاف مذکور بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی استفاده می‌شود.

از سوی دیگر در ساخت کامپوزیت‌ها از مواد افزودنی به دلیل ایجاد تغییراتی در ساختار ماده استفاده می‌شود. بطور کلی مواد افزودنی در خاصیت کلی کامپوزیت دو نوع تغییر ایجاد می‌کنند: با توجه به کمبود چوب ماسیو در ایران و نداشتن صرفه اقتصادی در استفاده از آن الیاف در ساخت کامپوزیت‌ها امروزه

چوب‌چرخه‌های برشی تولید می‌شود. عموماً پودر چوب به عنوان فلر چوب در WPCها استفاده می‌شود که سختی آن را افزایش می‌دهد، اما به طور قابل توجهی بر قدرت آن تأثیر نمی‌گذارد؛ در حالی که ذرات دیگری با نسبت ارتفاع به قطر (l/d) بالاتر به عنوان عناصر تقویت کننده استفاده می‌شوند که تقریباً تمام ویژگی‌های مکانیکی را افزایش می‌دهند.

در طول خاصی از ذرات، تنش از ماتریس به ذرات منتقل می‌شود. در واقع، تعامل مابین رابطه‌ای بین پلیمر و الیاف چوب با کاهش طول الیاف چوب بهبود یافته است که باعث افزایش مدول شکست و مقاومت در برابر ضربه می‌شود [۱۳]. اگر اتصال خوبی بین ذرات و ماتریس وجود داشته باشد فرایند انتقال تنش کامل می‌شود. در نتیجه، عوامل سازگار کننده برای اطمینان از ایجاد اتصال مناسب بین ذرات و ماتریس ضروری هستند. عوامل سازگار کننده ممکن است به صورت فیزیکی یا شیمیایی اتصالات را بهبود ببخشند [۱۴]. همچنین گزارش شده است که افزودن ماده MAPE (پلی اتیلن آنیدرید مالئیک) نیز باعث افزایش مقاومت در برابر ضربه می‌شود [۱۵].

Prachayawarakorn و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی خواص کامپوزیت‌ها بر پایه نشاسته برنج تقویت شده با الیاف کتان یا پلی اتیلن با دانسیته کم (LDPE) نشان دادند که افزودن الیاف کتان یا (LDPE)، مقاومت و مدول کششی کامپوزیت را به مقدار چشمگیری افزایش می‌دهد. علاوه بر این، جذب آب با افزودن الیاف کتان یا (LDPE) بطور آشکاری کاهش می‌یابد [۱۶]. با توجه به مطالعات Arbelaiz و همکاران (۲۰۰۵) پیرامون خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی پروپیلن تقویت شده با کاه گندم، افزایش میزان کاه گندم در کامپوزیت‌ها موجب افزایش مدول خمشی و جذب آب شده و زمان اشباع را کاهش می‌دهد. که می‌توان با افزایش میزان سازگار کننده جذب آب را تا حد زیادی کاهش داد [۱۷].

Sudhakar و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف لیگنوسولوزی میوه نخل پالمیرا و مقایسه آن با الیاف جوت، سیسال و الیاف زبر و سخت به این نتیجه رسیدند که خواص الیاف میوه نخل پالمیرا شبیه الیاف جوت و سیسال بوده و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی پروپیلن را افزایش می‌دهند. همچنین این الیاف نسبت به الیاف زبر و سخت از خواص مکانیکی بالاتری برخوردار بوده و به دلیل مقادیر بالای لیگنین مقدار جذب آب کامپوزیت‌های پلی پروپیلن را کاهش می‌دهند [۱۸].

ترکیبات چوب-پلاستیک اصولاً با استفاده از یک اکسترودر در یک فرآیند ترکیب‌سازی تک مرحله‌ای یا با استفاده از یک اکسترودر و یک قالب‌گیری تزریقی در خطی دو مرحله‌ای تولید می‌شوند.

دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و دانسیته ۰/۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب تهیه گردید. پلی‌پروپیلین گرافت شده با انیدرید مالئیک (MAPP)^۱ از شرکت دانش‌بنیان آریا پلیمر به‌عنوان اتصال‌دهنده برای ساخت کامپوزیت استفاده شده است. الیاف ساقه ذرت از مزرعه موسسه تحقیق و اصلاح بذر در کرج تهیه و خردشده و سپس آرد عبور کرده از الک مش ۲۰ و ۶۰ باقیمانده بر روی مش ۴۰ و ۸۰ جهت ساخت نمونه جمع‌آوری گردید. ذرات الیاف ساقه ذرت به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- فرآیند اختلاط

فرایند اختلاط مواد مطابق با جدول (۱) با دستگاه مخلوط کن داخلی^۲ ساخت شرکت برابندر^۳ با گنجایش مخزن ۵۰ گرم و با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۸ دقیقه و با سرعت گردش ۶۰ دور در دقیقه روتورهای^۴ دوقلوی داخلی دستگاه مخلوط شدند. پس از اختلاط مواد، چندانساز بی‌شکل تولیدشده، سرد و دوباره آسیاب شد، مواد مخلوط شده مذاب پس از خروج از دستگاه اکسترودر در دستگاه گرانول ساز مدل (Wieser) به گرانول تبدیل شدند. به‌منظور جلوگیری از هرگونه اثر منفی رطوبت، ذرات گرانول به کمک دستگاه خشک‌کن در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس خشک شدند. ذرات گرانول به‌دست‌آمده به کمک دستگاه پرس حرارتی با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲ دقیقه تحت فشار ۶ مگا پاسکال قرار گرفت و در ادامه توسط پرس دستی و قالب‌های مربوط به آزمون‌های کششی و خمشی قالب‌گیری صورت گرفت.

جدول (۱): درصد وزنی اجزای تشکیل‌دهنده ترکیب تیمارهای مختلف کامپوزیت چوب-پلاستیک

ردیف	کد تیمار	پلی‌اتیلن (درصد)	آرد ذرت (درصد)	مش‌بندی (درصد)	جفت‌کننده (درصد)
۱	A1	۸۰	۲۰	۴۰	۵
۲	A2	۸۰			
۳	B1	۷۰	۳۰	۴۰	۵
۴	B2			۸۰	
۵	C1	۶۰	۴۰	۴۰	۵
۶	C2			۸۰	
۷	D1	پلی‌اتیلن خالص			

جهت تحقیقات در این زمینه به سوی استفاده از ضایعات کشاورزی متمایل شده است اما باز هم کاربرد ضایعات کشاورزی نظیر ساقه گندم و برنج و ... در صنعت تغذیه دام براساس نیازهای کشور ارجحیت دارد. در این بین با توجه به گسترش روز افزون سطوح زیر کشت ذرت در ایران و مهمتر از همه بی استفاده بودن بازمانده‌های لیگنوسولوزی آن در صنعت دام امروزه با منبع عظیمی از ماده اولیه در صنعت کامپوزیت روبرو هستیم.

با توجه به نگرانی‌های زیست‌محیطی و لزوم جایگزینی موادی که دارای تخریب بیولوژیکی در محیط زیست بوده و خواص ویژه و مقاومت‌های بهینه‌تری دارند به جای پلیمرها و پلاستیک‌ها از کامپوزیت‌ها می‌توان استفاده کرد. صنعت دنیا به دنبال استفاده و ایجاد فناوری تولید مواد و قطعات کامپوزیتی الیاف طبیعی + پلیمر هست و با توجه به قوانین زیست‌محیطی اتحادیه اروپا مبنی بر جایگزینی ۹۰ قطعات بدنه و تزئینات داخلی هواپیماها خودروها، میلان لوازم اداری و خانگی با این کامپوزیت‌ها رشد ۵۰ درصدی بازار جهانی محصولات و پروفیل‌های ساختمانی و لوازم اداری و خانگی و ۳۵ درصدی بقیه قطعات حاصل از این کامپوزیت‌ها سودآوری و آینده این صنعت را تضمین می‌نماید پشتوانه کاری برای تولیداتی با کیفیت بالا و قابل رقابت در عرصه داخلی و بین‌المللی تیم‌کاری مجرب و متخصص مرتبط با این صنعت و همچنین سرمایه‌گذاری اصولی همراه با تولید محصولات منحصر به فرد می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که چوب پلاستیک می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین مواد در بسته‌بندی به کار رود. به دلایل خصوصیات مقاومتی مقاومت در برابر عوامل مخرب زیستی، ضد آب مقاومت به ضربه و بسیاری از موارد دیگر می‌توان از حفاظت محصول در بسته‌بندی چوب پلاستیک اطمینان داشت و این در حالی است که قیمت این محصول نیز پایین می‌باشد. حمل و بسته‌بندی بسیاری از محصولات گران‌قیمت نظیر اتومبیل‌ها، لوازم خانگی، مواد شیمیایی و غیره می‌تواند توسط چوب پلاستیک صورت گیرد.

این تحقیق، با هدف بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت ساخته‌شده از پلی‌اتیلن و الیاف ساقه ذرت و بررسی اثر تغییر درصد الیاف ساقه ذرت و همچنین مش‌بندی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این نوع از کامپوزیت‌ها برای مصارف بسته‌بندی انجام شد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد

پلی‌اتیلن سنگین مورد استفاده در این تحقیق از مجتمع پتروشیمی ارواک با شاخص جریان مذاب ۱۸ گرم بر ۱۰ دقیقه در

^۱ Polypropylene-graft-maleic anhydride

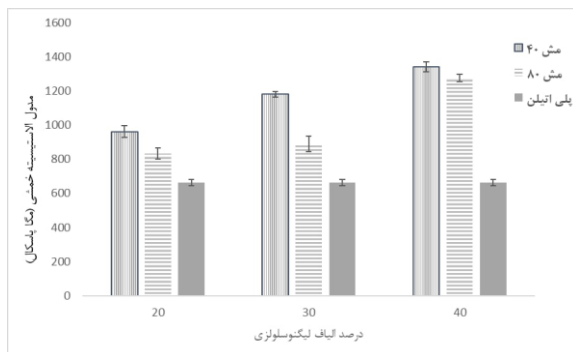
^۲ Internal mixer

^۳ Brabender

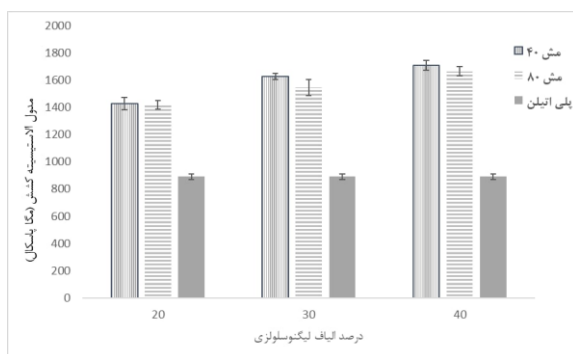
^۴ Rotors

جدول (۲): تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر متغیرهای ساخت بر خصوصیات مکانیکی

مدول کششی (Mpa)	مدول خمش (Mpa)	
۱۴۶/۰۵۶*	۲۳۲/۶۸۷*	الیاف ساقه ذرت
۵۰/۳۲۹ ^{ns}	۴۰۹/۴۴۲*	ابعاد مش
۶۲۱/۱۶۷ ^{ns}	۲۶۸/۸۲۹ ^{ns}	آرد* ابعاد مش
سطح معنی‌داری: *۹۵٪، ns: عدم معنی‌داری		



شکل (۱): اثر متقابل طول و درصد الیاف بر مدول الاستیسیته خمشی



شکل (۲): اثر متقابل طول و درصد الیاف بر مدول الاستیسیته کششی

۳-۱- آزمون جذب رطوبت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جذب رطوبت در دو ساعت غوطه‌وری نشان می‌دهد، که اثر درصد و طول الیاف بصورت مستقل اثری معنی‌دار ولی در حالت متقابل بی‌معنی می‌باشند. این درحالی است که اثر درصد و طول الیاف در جذب رطوبت در ۲۴ ساعت غوطه‌وری، در حالات مستقل و متقابل معنی‌دار است. پس از قرارگیری نمونه‌ها به مدت ۴۳۲ ساعت در شرایط تنظیم شده محفظه کلیماتیزاسیون با دمای ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد نیز مشاهده شد، از زمان قرارگیری نمونه‌ها در محفظه تا ۴۱۶ ساعت، رطوبت نمونه‌ها در حال افزایش می‌باشد، اما پس از آن جذب رطوبت از محیط متوقف شده و درصد رطوبت نمونه‌ها ثابت مانده است (شکل ۴).

۲-۲- اندازه‌گیری خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی

آزمایش مقاومت به خمش مطابق روش سه‌نقطه‌ای مطابق استاندارد ASTM D ۷۴۷ توسط دستگاه اینسترون انجام شد. ابعاد اسمی نمونه‌ها ۱۰×۱۰×۱۰۵ میلی‌متر و طول دهانه ۸۰ میلی‌متر بوده است. آزمون مقاومت به کشش مطابق استاندارد ASTM D ۶۳۸ بر روی نمونه‌های دمبلی شکل با ابعاد ۱۴۵×۱۰×۴ میلی‌متر توسط دستگاه اینسترون انجام شد. آزمون‌های مکانیکی برای هر تیمار با ۵ تکرار انجام شد. آزمایشات مربوط به جذب رطوبت مطابق استاندارد ASTM D ۷۰۳۱-۰۴ نیز به سه صورت غوطه‌وری در آب به مدت‌های ۲ ساعت و ۲۴ ساعت و همچنین قرارگیری به مدت ۴۳۲ ساعت در محفظه کلیماتیزاسیون با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۶۰ درصد انجام گرفت. به منظور روشن شدن کیفیت الیاف و میزان مواد معدنی و خاکستر آن با استفاده از آزمون وزن سنج حرارتی^۱ مطابق با استاندارد ASTM E1131 به تحلیل نتایج پرداخته شد.

۲-۲-۳ تجزیه و تحلیل نتایج

این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل به‌صورت کاملاً تصادفی بررسی شده و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۲ برای مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها بهره‌گیری شده و تمامی مقایسه‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد (سطح معنی‌داری ۵ درصد) انجام شد.

۳- نتایج

جهت بررسی آماری بین میانگین خواص مورد بررسی، از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد. مقدار F به‌دست‌آمده حاکی از آن است که تأثیر مستقل الیاف ساقه ذرت بر مدول خمشی و مدول کششی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد معنی‌دار است. تأثیر مستقل ابعاد مش بر مدول خمشی، سطح معنی‌داری ۹۵ درصد معنی‌دار است. درحالی‌که تأثیر مستقل ابعاد مش بر مدول کششی و تأثیر متقابل آرد ذرت + ابعاد مش بر مدول خمشی و کششی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول ۲).

^۱TGA

^۲Duncan

۴- بحث و نتیجه گیری

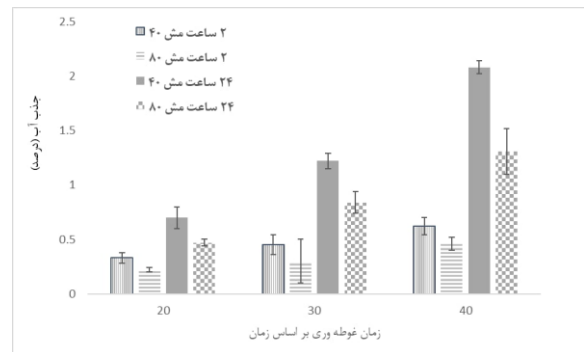
از بررسی نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت، همانگونه که در تحقیقات مشابه صورت گرفته بود، با افزایش درصد الیاف ساقه ذرت با افزایش مدول کششی روبرو هستیم که این مسئله در بالاترین سطح خود یعنی ۴۰ درصد به اوج می‌رسد. هرچند این امکان وجود دارد که اگر این سطح به ۵۰ یا ۶۰ درصد یا حتی بالاتر از آن برسد، میزان مدول کششی بیشتر شود اما بر اساس برخی تحقیقاتی که بر روی الیاف کنف صورت گرفته است، این میزان در ۸۵ درصد به نقطه اوج خود می‌رسد و پس از آن دوباره نزول می‌کند و این بالاترین میزان کاربرد الیاف لیگنوسولوزی در مواد مرکب چوب پلاستیک بوده است که تاکنون گزارش شده است [۲۳].

از سوی دیگر نتایج حاصل دو سطح مش‌های ۴۰ و ۸۰ تفاوت معنی‌داری نشان نداد که این مسئله عجیب به نظر می‌رسد؛ چرا که در بیشتر موارد و تحقیقات خلاف این موضوع گزارش شده است و شاید بتوان دلیل این مسئله را به خصوصیت الیاف ساقه ذرت و شکنندگی آنها در مراحل آسیاب، تفکیک توسط الک ارتعاشی و اختلاط در دستگاه مخلوط کن داخلی دانست اما با این حال به نظر می‌رسد بتوان با تحقیق در این مورد دلایل موجه‌تری برای آن یافت [۲۴].

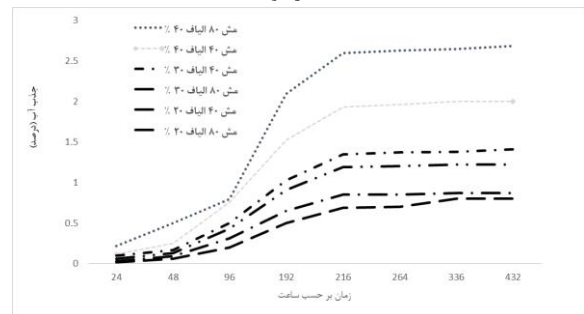
در ارتباط با آزمون مقاومت به خمش ۳ نقطه نیز با افزایش درصد و طول الیاف ساقه ذرت، مدول خمشی افزایش می‌یابد که دلیل این امر نیز درهم رفتن الیاف به میزان بیشتر و در نتیجه ایجاد پیوندهای مستحکم‌تر مانند یک شبکه در داخل زمینه‌ای از پلی‌اتیلن می‌باشد که این مسئله به درستی مشابه با سایر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌باشد.

نتایج حاصل از درصد جذب رطوبت نمونه‌های تولید شده نیز بصورت کاملاً طبیعی و مشابه سایر تحقیقات نشان داد که، با افزایش درصد و طول الیاف میزان جذب رطوبت و در نتیجه افزایش وزن و کاهش مقاومت‌های مکانیکی زیاد می‌شوند که این مسئله را می‌توان مرتبط به افزایش گروه‌های هیدروکسل و در نتیجه افزایش جایگاه‌های جاذب رطوبت دانست؛ هر چند نتایج حاصل در سطح مطلوب کمتری نسبت به کامپوزیت‌های پلی پروپیلنی قرار داشت که این مسئله نیز خود به تفاوت ساختاری این دو پلاستیک و شاخه‌های جانبی و زنجیره پلیمری مربوط است.

در جمع‌بندی کلی خواص مکانیکی کامپوزیت پلی اتیلن و الیاف ساقه ذرت، خواص نهائی در سطحی پایین‌تر از سایر الیاف مانند کنف یا پنبه یا همچنین الیاف چوبی قرار دارد بطوری که در سال ۲۰۲۲ تحقیقی بر روی کامپوزیت پلی پروپیلن و الیاف ساقه ذرت صورت گرفت و نتایج حاصل از آن نشانگر سطحی پایین‌تر از استانداردهای ملی امریکا بود و این در حالیست که



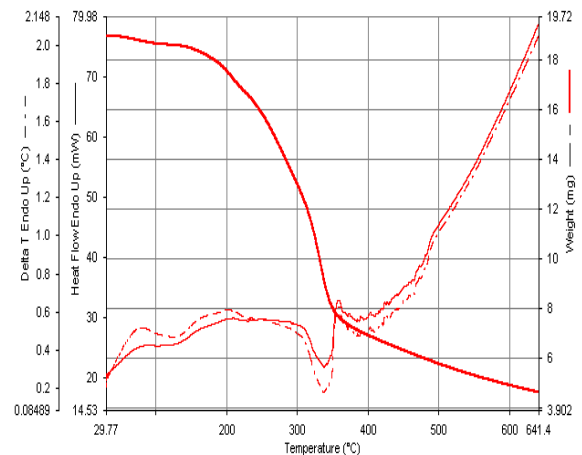
شکل (۳): اثر طول و درصد الیاف و زمان غوطه‌وری در آب بر درصد جذب رطوبت



شکل (۴): منحنی جذب رطوبت در ۴۳۲ ساعت قرارگیری در محفظه کلیماتیزاسیون

۲-۳- آزمون وزن سنج حرارتی

پس از قرارگیری آرد در محفظه دستگاه وزن سنج حرارتی و اعمال حرارت، مشاهده می‌شود تا دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد کاهش وزن ناچیز بوده و بیشتر مربوط به ترکیبات فعال موجود در الیاف می‌باشد؛ اما پس از آن با شیب نسبتاً تندی از وزن نمونه‌ها کاسته می‌شود تا آنکه زمانی که دما به مرز ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و پس از آن سیر کاهش وزن شیب ملایم‌تری می‌یابد (شکل ۵). در نهایت میزان باقیمانده خاکستر الیاف از نظر وزنی، ۲۵/۳۵ درصد از وزن اولیه الیاف را تشکیل می‌دهد.



شکل (۵): منحنی کاهش وزن الیاف لیگنوسولوزی توسط دستگاه وزن سنج حرارتی

[9] M. F. Ashby, and D. CEBON, "Materials selection in mechanical design," *Le Journal de Physique IV*, 3(C7), C7-1. 2011.

[10] M. Tajvidi, S. Haghdan, and S. K. Najafi, "Physical properties of novel layered composites of wood flour and PVC," *J. Reinf. Plast. Compos.* vol. 27, pp. 1759-1765, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1177/07316844080270160101>

[11] F. Tanasă, M. Zănoagă, C. A. Teacă, M. Nechifor, and A. Shahzad, "Modified hemp fibers intended for fiber reinforced polymer composites used in structural applications—A review. I. Methods of modification," *Polym. Compos.*, vol. 41, pp. 5-31, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.25354>

[12] H. Bouafif, A. Koubaa, P. Perre, and A. Cloutier, "Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites," *Composites: Part A*, vol. 40, pp. 1975-1981, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.06.003>

[13] Y. Zhou, M. Fan, and L. Chen, "Interface and bonding mechanisms of plant fibre composites: An overview," *Compos. B: Eng.*, vol. 101, pp. 31-45, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.06.055>

[14] S. Mallakpour and M. Madani, "A review of current coupling agents for modification of metal oxide nanoparticles," *Prog. Org. Coat.*, vol. 86, pp. 194-207, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.05.023>

[15] A. Graziano, O. A. Títton Dias, B. Sena Maia, and L. Li, "Enhancing the mechanical, morphological, and rheological behavior of polyethylene/polypropylene blends with maleic anhydride grafted polyethylene," *Polym Eng Sci*, vol. 61, pp. 2487-2495, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.25775>

[16] J. Prachayawarakorn, P. Sangnitdej, and P. Boonpasith, "Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene," *Carbohydr. Polym.*, vol. 81, pp. 425-433, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.041>

[17] A. Arbelaz, B. Fernandez, J. A. Ramos, A. Retegi, R. Llano-Ponte, and I. Mondragon, "Mechanical properties of short flax fibre bundle/polypropylene composites: Influence of matrix/fibre modification, fibre content, water uptake and recycling," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 65, pp. 1582-1592, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.01.008>

[18] P. Sudhakara, D. Jagadeesh, Y. Wang, C. V. Prasad, A. K. Devi, G., Balakrishnan, ... and J. I. Song, "Fabrication of Borassus fruit lignocellulose fiber/PP composites and comparison with jute, sisal and coir fibers," *Carbohydr. Polym.*, vol. 98, pp. 1002-1010, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.06.080>

[19] Z. N. Azwa, B. F. Yousif, A. C. Manalo, and W. Karunasena, "A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres," *Materials and Design*, vol. 47, pp. 424-442, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.11.025>

[20] S. Kazemi Najafi, E. Hamidinia, and M. Tajvidi, "Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 100, pp. 3641-3645, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.23159>

[21] S. Kazemi Najafi, M. Mostafazadeh, M. Chaharmahali, and M. Tajvidi, "The effects of filler content and water absorption on creep behavior of HDPE waste/MDF flour composites," *Iran. J. Polym. Sci. Technol.*, vol. 21, pp. 53-59, 2008.

[22] S. Migneault, A. Koubaa, F. Erchiqui, A. Chaala, K. Englund, and M. P. Wolcott, "Effects of processing method and fiber size on the structure and properties of wood-plastic composites," *Compos Part A*, vol. 40, pp. 80-85, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.10.004>

[23] A. R. Sanadi, J. F. Hunt, D. F. Caulfield, G. Kovacsvolgyi, and B. Destree, "High fiber-low matrix composites: kenaf fiber/polypropylene," In *Proceedings of 6th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*, pp. 15-16, May 2001.

[24] X. Yu, J. Ren, J. He, L. Su, and F. Liu, "Effect of compatibilizer on the structure and property of polycarbonate/polypropylene alloys," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 139, e52957, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.52957>

[25] I. Antypas, and A. Dyachenko, "Physical and mechanical properties analysis of wood-waste composite panels," *Mater. Plast*, vol. 59, pp. 61-72, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37358/MP.22.2.5585>

کیفیت کامپوزیت‌های پلی اتیلن و الیاف ساقه ذرت از نظر کیفی نتایج ضعیف‌تر را کسب نمود [۲۵].

در کل به نظر می‌رسد با توجه به اقلیم مناطقی مانند ایران و سایر کشورهایی که از نظر منابع جنگلی فقیر می‌باشند، استفاده از الیاف گیاهان غیر چوبی به خصوص الیاف ساقه ذرت با توجه به سطح زیر کشت آن در کشور می‌تواند به‌عنوان راه حلی مناسب در نظر گرفته شود.

در صنایع بسته‌بندی، استفاده از الیاف طبیعی و پلاستیک‌ها هرکدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. استفاده از الیاف طبیعی ممکن است با مشکلاتی مانند تغییرات کیفی در فصول مختلف، محدودیت منابع جنگلی، دوام کمتر، ضعف محل‌های اتصال و ضعف مقاومت در ابعاد همراه باشد. همچنین، الیاف طبیعی با مشکلاتی نظیر پایداری حرارتی پایین، محدودیت کاربرد، اشتعال‌پذیری و مشکلات خشک‌کردن و حفاظت در برابر باران و رطوبت نیز مواجه می‌شوند. به علاوه، پلاستیک‌ها همراه با ارزبری بالا، نیاز به فناوری جدید، قابلیت سوراخ شدن و نشست، عدم مقاومت در برابر اسیدها، تخریب در برابر نور و آلاینده‌گی محیط زیست همراه هستند. برای حل این مشکلات، می‌توان با استفاده از فرآیندهای تکمیلی و اصلاح با حداقل هزینه و فناوری‌های بومی، اصلاح شیمیایی و ایجاد پوشش‌های آبریز بر روی سطوح الیاف، برخی از خصوصیات نامطلوب را در الیاف طبیعی حذف کرد.

۵- مراجع

[1] D. Friedrich, "Success factors of Wood-Plastic Composites (WPC) as sustainable packaging material: A cross-sector expert study," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 30 pp. 506-517. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.030>

[2] M. H. Duku, S. Gu, and E. B. Hagan, "A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana," *Renew. Sustain. Energy Rev* vol. 15, pp. 404-415, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.033>

[3] T. G. Chuah, A. G. K. Wan Azlina, Y. Robiah, and R. Omar, "Biomass as the renewable energy sources in Malaysia: an overview," *Int. J. Green Energy*, vol. 3, pp. 323-346, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/01971520600704779>

[4] M. Akgül, C. Güler, and Y. Çöpür, "Certain physical and mechanical properties of medium density fiberboards manufactured from blends of corn (Zea mays indurata Sturt.) stalks and pine (Pinus nigra) wood," *TURK J AGRIC FOR*, vol 34 pp. 197-206. 2010. DOI: 10.3906/tar-0902-26

[5] Y. C. Ching, A. Rahman, K. Y. Ching, N. L. Sukiman, and H. C. Cheng, "Preparation and characterization of polyvinyl alcohol-based composite reinforced with nanocellulose and nanosilica," *BioRes*, vol 10, pp. 3364-3377, 2015. DOI: 10.15376/biores.10.2.3364-3377

[6] H. Awais, Y. Nawab, A. Amjad, A. Anjang, H. M. Akil, and M. S. Z. Abidin, "Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review," *Compos. C: Open Access*, vol. 4, pp. 100082, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100082>

[7] M. J. SepidehDam, "Investigating the characteristics of wood-plastic composite products in packaging," *J. Packag. Sci. Tech.*, vol. 2, pp. 1-12, 1390, (In Persian).

[8] A. Khonsari, H. R. Taghiyari, A. Karimi, and M. Tajvidi, "Study on the effects of wood flour geometry on physical and mechanical properties of wood-plastic composites," *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 17, pp. 545-558, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000049>