ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

10.22034/IJME.2023.412380.1820

بررسی تجربی خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت گرمانرم نیمه زیست تخریب‌پذیر کنف بافته شده/پلی‌پروپیلن

رضا سرخوش[۱]، حمید عرب قمی[۲]، امین فرخ آبادی[۳*]

۱- فارغ‌التحصیل دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: amin-farrokh@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

دریافت: ۳۰ مرداد ۱۴۰۲

پذیرش: ۲۷ آبان ۱۴۰۲

کلیدواژگان:

کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر

پارچه الیاف کنف

پلی‌پروپیلن

خواص مکانیکی

ثابت دی‌الکتریک

چکیده

در این مقاله به فرآیند اصلاح سطح، ساخت و بررسی خواص مکانیکی و الکتریکی یک کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر تهیه شده از پلیمر پلی‌پروپیلن و پارچه الیاف کنف پرداخته شده است. تولید نمونه‌های کامپوزیتی با استفاده انحلال پلیمر پلی‌پروپیلن در محلول زایلن و سپس ترکیب با پارچه الیاف تحت فشار و دمای پخت پرس گرم انجام شد. به منظور بهبود فصل مشترک الیاف و ماده زمینه و بهبود خواص مکانیکی نمونه‌های تولید شده، سطح پارچه الیاف کنف با استفاده از محلول ۶ درصد سدیم هیدرواکسید به مدت ۱۲ ساعت اصلاح سطح انجام شد. جهت تعیین خواص مکانیکی نمونه‌های تولید شده دو آزمون کشش و خمش سه نقطه انجام گرفت مدول الاستیک، تنش تسلیم، تنش نهایی، میزان حداکثر تغییر طول، و میزان چقرمگی از آزمون کشش اندازه‌گیری شدند و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند استحکام خمشی و مدول الاستیک خمشی کامپوزیت از آزمون خمش به دست آمد. جهت تعیین و بررسی خواص الکتریکی کامپوزیت، آزمون ثابت دی‌الکتریک با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه در باند x انجام شد بیشینه استحکام کششی و مدول یانگ کششی که در این پژوهش به دست آمد به ترتیب برابر با ۸ مگاپاسکال و ۱/۶ گیگاپاسکال است. بیشینه ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات نمونه‌های تولیدی در باند x به ترتیب برابر با ۳/۴۸ و ۰/۲۴ است. درنهایت به منظور اعتبار سنجی نتایج به دست آمده در این تحقیق، نتایج آزمون‌های انجام شده با نتایج سایر مراجع در این زمینه مقایسه شده است.

Experimental investigation of mechanical and electrical properties of semi-biodegradable polypropylene/hemp woven thermoplastic composite

Reza Sarkhosh [1], Hamid Arabqomi [2], Amin Farrokhabadi [3*]

1- PhD Graduate, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- MSc Graduate, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

* Corresponding Author's Email: amin-farrokh@modares.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 21 August 2023

Accepted: 18 November 2023

Keywords:

Semi-biodegradable Composite

Hemp Fiber Fabric

Polypropylene

Mechanical Properties

Dielectric Constant

Abstract

In this research, the process of surface modification, fabrication, and examination of the mechanical and electrical properties of a semi-biodegradable composite prepared from polypropylene and hemp fiber fabric has been discussed. Production of composite samples was done by dissolving polypropylene polymer in a xylene solution and then combining it with fiber fabric under pressure and temperature curing of a hot press. To improve the interface between the fibers and the matrix and to improve the mechanical properties of the produced samples, the surface of the hemp fiber fabric was modified using a 6% sodium hydroxide solution for 12 hours. To determine the mechanical properties of the produced samples, two tensile and three-point bending tests were performed. The elastic modulus, yield stress, ultimate stress, elongation, and toughness were measured from the tensile test and were analyzed and investigated. The bending of the composite was obtained from the bending test. To determine the electrical properties of the composite, the dielectric constant test was performed using a network analyzer in the x band. The maximum tensile strength and Young's modulus obtained in this research are 8 MPa and 1.6 GPa respectively. The maximum dielectric constant and loss tangent of the produced samples in the x-band is equal to 3.48 and 0.24, respectively. Finally, to validate the results obtained in this research, the results of the tests have been compared with the results of other authorities in this field.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Sarkhosh R, Arabqomi H, Farrokhabadi A. Experimental investigation of mechanical and electrical properties of semi-biodegradable polypropylene/hemp woven thermoplastic composite. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 June 22;10(4):62-77. doi: 10.22034/IJME.2023.412380.1820 [In Persian]

۱- مقدمه

مواد پلیمری در مقایسه با مواد متداول مانند فلزات دارای برتری‌های بسیاری از جمله فرایند ساخت و تولید آسان، هزینه پایین مواد اولیه و فرایند تولید، سرعت بالای تولید و چند منظوره بودن، هستند [۱]. به دلیل وجود این برتری‌ها و مزایا در بسیاری از زمینه‌ها و صنایع، مواد پلیمری جایگزین مواد متداول و قدیمی شده‌اند. امروزه مواد کامپوزیتی با ماده زمینه پلیمری در بسیاری از صنایع و محصولات مانند صنایع خودروسازی، صنایع ساختمانی، صنایع فضایی و حتی محصولات ورزشی و تفریحی جایگزین مواد متداول صنعتی شده‌اند و نقش خود را به خوبی ایفا می‌کنند [۲]. مبدا تولید و ظهور کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف را می‌توان بعد از جنگ جهانی دوم دانست اما به دلیل هزینه بالای تولید این مواد نو ظهور کاربردهای محدود و بسیار حساسی داشتند [۳]. در سال ۱۹۹۰ هزینه‌های تولید کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف با شیب بسیار سریع شروع به کاهش کرد و بنابراین این مواد توانستند برای کاربردهای بیشتری مورد استفاده قرار بگیرند که در نتیجه منجر به افزایش نرخ تولید این مواد شد. به طور کل مواد کامپوزیتی با زمینه پلیمری به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی و استفاده از الیاف مصنوعی منجر به مصرف زیاد انرژی در فرایند تولید و بازیافت می‌شوند که این مصرف بالای انرژی نیز خود مشکلات متعدد زیست محیطی و آلودگی‌های صنعتی بسیاری را به وجود آورده است [۴،۳]. همچنین در صورت عدم بازیافت این مواد نیز پسماندهای باقیمانده خود اثرات مخربی دارند. استفاده از منابع طبیعی و زیستی در تولید کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف یکی از راه حل‌های موثر در کاهش آلودگی‌های ناشی از این نوع مواد سودمند است.

کامپوزیت‌های سبز یا زیست تخریب‌پذیر نوعی از مواد کامپوزیتی با ماده زمینه پلیمری هستند که از ترکیب پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر و الیاف تقویت‌کننده طبیعی به وجود می‌آیند. اگر در تولید کامپوزیت از مواد پلیمری سنتز شده از مشتقات نفتی مانند پلی وینیل کلراید و پلی‌پروپیلن استفاده شود اما الیاف تقویت‌کننده از نوع الیاف طبیعی باشند به محصول نهایی کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر گفته می‌شود. اما اگر هر دو ماده زمینه پلیمری و الیاف تقویت‌کننده دارای منشا طبیعی باشند منجر به تولید کامپوزیت زیست تخریب‌پذیر و یا سبز می‌شوند [۵]. پلیمرهای پلی لاکتیک اسید و پلی هدرواکسی بوتیرات از جمله پلیمرهای طبیعی هستند [۶]. الیاف تقویت‌کننده طبیعی الیافی هستند که توسط انسان تولید نشده‌اند و به طور مستقیم در طبیعت وجود دارند. الیاف طبیعی را می‌توان به سه دسته الیاف گیاهی یا سلولوزی، حیوانی یا پروتینی و معدنی تقسیم کرد. الیاف گیاهی نیز خود به دو دسته مهم الیاف چوبی و غیرچوبی تقسیم می‌شوند. الیاف گیاهی چوبی سابقه طولانی‌تری در تولید کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر دارند اما امروزه به دلیل کاهش منابع جنگلی و ارزش بالای محصولات چوبی استفاده از تقویت‌کننده‌های گیاهی غیرچوبی بسیار رو به افزایش است. الیاف تقویت‌کننده غیرچوبی از برگ، ساقه، دانه، میوه و سایر قسمت‌های گیاهان استخراج می‌شود [۷]. کنف، کتان، بامبو، الیاف نارگیل و نخل از جمله برخی از متداول‌ترین الیاف طبیعی در تقویت مواد کامپوزیتی هستند [۸-۱۰]. چگالی کم، هزینه‌های تولید و مواد اولیه پایین و سازگاری با محیط زیست از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر هستند اما با توجه به برخی محدودیت‌ها در خواص و تولید این نوع مواد نمی‌توان به طور کامل آن‌ها را جایگزین کامپوزیت‌های تهیه شده از مواد نفتی کرد. خواص مکانیکی و استحکامی پایین، عدم امکان استفاده از دماهای بالا در فرایند تولید و عدم سازگاری مواد پلیمری با الیاف طبیعی از جمله محدودیت‌ها و ضعف‌های موجود در این نوع کامپوزیت‌ها است [۱۱]. الیاف طبیعی به طور عمده ماهیتی آب-دوست دارند اما پلیمرها اغلب آب‌گریز هستند. این پدیده منجر به اتصال ضعیف میان الیاف تقویت‌کننده و ماده زمینه می‌شود و در نتیجه مکانیزم انتقال قدرت در میان اجزای کامپوزیت نمی‌تواند به طور کامل شکل گرفته و خواص استحکامی کامپوزیت را کاهش می‌دهد. بهبود خواص الیاف با استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف می‌تواند این عدم سازگاری میان الیاف طبیعی و ماده زمینه پلیمری را کاهش دهد. روش‌های امواج ماکرو، هیدروترمال، تابش الکترون و پلاسما از جمله برخی از روش‌های بهبود فیزیکی الیاف طبیعی هستند که فصل مشترک میان الیاف و ماده زمینه را تقویت می‌کنند. از روش‌های بهبود شیمیایی نیز می‌توان به برخی از روش‌های متداول مانند روش الکالین، روش سیلان و روش‌های اسیدی اشاره کرد [۱۲-۱۷]. روش‌های شیمیایی به دلیل سهولت و هزینه پایین و همچنین اثر بخشی مناسب بیشتر از روش‌های فیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مئون و همکارنش [۱۸] بهبود خواص کششی الیاف کنف را با استفاده از روش شیمیایی سدیم هیدرواکسید بررسی کردند. ماده زمینه در بررسی‌های آن‌ها پلیمر گرمانرم پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن بود که با الیاف کوتاه کنف ترکیب شده بود. الیاف کنف با استفاده از

سه درصد وزنی مختلف شامل ۳، ۶ و ۹ درصد بهبود یافتند. نتایج آن‌ها نشان داد که بهبود شیمیایی الیاف کوتاه کنف با استفاده از سدیم هیدرواکسید خواص کششی کامپوزیت تولید شده را افزایش داد. آسومانی و پاسکارامورسی [۱۹] تاثیر دو روش شیمیایی الکالین و ترکیب الکالین-سیلان الیاف کنف را بر روی رفتار خستگی و ضربه در کامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف کنف بررسی کردند. در پژوهش آن‌ها الیاف کنف کوتاه با ابعادی در حدود ۱۴ میلی‌متر استفاده شد. برای بهبود خواص الیاف از دو ماده شیمیایی سدیم هیدرواکسید و تری اتوکسی سیلان استفاده شده بود. نتایج آن‌ها نشان داد که فرایند انجام شده بر روی الیاف منجر به بهبود نتایج در آزمون خستگی و ضربه می‌شود. نعمت اللهی و همکارانش [۲۰] طول بحرانی الیاف کنف کوتاه را به عنوان تقویت‌کننده در ماده زمینه پلی‌پروپیلن به صورت تجربی و عددی مطالعه کردند. آن‌ها با استفاده از نتایج آزمایشات تجربی اقدام به ساخت یک سلول واحد (RVE) از نمونه کردند و سپس با استفاده از روش اجزای محدود تغییرات انرژی کرنشی را برای طول الیاف مختلف اندازه‌گیری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای بهبود انتقال نیرو میان الیاف کنف و ماده زمینه نیاز به الیافی با طول بیشتر از ۲/۵ میلی‌متر است. همچنین آن‌ها بیان کردند که الیاف با طول بالا می‌تواند منجر به ایجاد محدودیت‌های ساخت و تولید کامپوزیت شود. سوسیاتی و همکارانش [۲۱] خواص کششی کامپوزیت هیبریدی پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف کنف و شیشه را در میزان درصد حجمی مختلف الیاف کنف بررسی کردند. آن‌ها از الیاف کوتاه کنف و شیشه برای تولید کامپوزیت استفاده کردند. نسبت الیاف کنف به شیشه دو به یک بود و نمونه‌ها با استفاده از روش پرس گرم تولید شدند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش درصد حجمی الیاف کنف، استحکام کششی و میزان کرنش در کامپوزیت کاهش و مدول الاستیک افزایش می‌یابد. آن‌ها وجود تخلخل و ناهمگنی در نمونه‌ها را از جمله چالش‌های مهم در انجام این پژوهش دانستند. جوداویساسترا و رفیادی [۲۲] خواص کششی و جذب رطوبت کامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف کنف و بهبود یافته با پرمنگنات را بررسی کردند. آن‌ها از الیاف کنف تک جهته در این پژوهش استفاده کردند و با استفاده روش پرس گرم نمونه‌های مورد نیاز را تولید کردند. آن‌ها ابتدا خواص الیاف را با استفاده از محلول ۵ درصد وزنی سدیم کلرید بهبود دادند و سپس فرایند دیگری با استفاده از ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ درصد وزنی پتاسیم پرمنگنات بر روی الیاف انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که استحکام کششی با افزایش درصد حجمی پتاسیم پرمنگنات بهبود می‌یابد و در حالت بهینه برابر با ۲۰۳ مگاپاسکال است. همچنین آن‌ها نشان دادند که با افزایش پتاسیم پرمنگنات میزان جذب رطوبت در کامپوزیت کاهش می‌یابد. میرباقری و همکارانش [۲۳] خواص کششی کامپویت هیبریدی پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف کنف و الیاف چوب را مطالعه کردند. نسبت پلیمر به الیاف در نمونه‌های مورد مطالعه ۴۰ درصد به ۶۰ درصد بود که مطالعه بر روی درصدهای وزنی مختلف ترکیب الیاف تقویت‌کننده انجام شد. درصدهای وزنی در ترکیب الیاف تقویت‌کننده شامل ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد از۴۰ درصد وزنی کل تقویت‌کننده‌ها برای هر کدام از الیاف بود. ایسلام و همکارانش [۲۴] استحکام کششی، ضربه و خمشی کامپوزیت پلی‌پروپیلن بازیافتی که با الیاف کنف بهبود یافته با سدیم هیدرو اکسید را بررسی کردند. آن‌ها برای تولید نمونه‌ها از الیاف کوتاه کنف و از روش قالب‌گیری تزریقی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود ۴۰ درصد وزنی الیاف کنف در پلیمر پلی‌پروپیلن می‌تواند منجر به بهترین استحکام کششی در ماده شود . بهبود الیاف با سدیم هیدرو اکسید استحکام کششی را ۵۷ درصد بهبود بخشید. مانرال و باچپایی [۲۵] تحقیقاتی بر روی خواص شیمیایی و حرارتی الیاف کنف در اثر فرایندهای بهبود شیمیایی انجام دادند. آن‌ها با استفاده از سدیوم اسیتیت با در صدهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ بررسی‌های خود را انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که برای بهبود خواص الیاف کنف با استفاده از سدیم اسیتیت محلول ۲۰ درصد وزنی حجمی سدیم اسیتیت و مدت زمان ۴۸ ساعت منجربه به رسیدن به بهترین نتیجه در بهبود الیاف می‌شود. این پارامترهای پیشنهاد شده در بهبود خواص الیاف بیشترین مقدار مواد غیرسلولزی الیاف را حذف می‌کند. کوهستانی و همکارانش [۱۲] پژوهشی را در مورد انواع روش‌های بهینه‌سازی الیاف طبیعی منتشر کردند. آن‌ها در این مقاله انواع روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی را برای بهینه‌سازی الیاف طبیعی معرفی کرده و اطلاعاتی در مورد میزان تاثیرگزاری این روش‌ها بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت تولید شده ارائه داده‌اند. حمیدن و همکارانش [۲۶] پژوهشی را درباره روش‌های بهبود خواص انجام گرفته بر روی الیاف کنف منتشر کردند. آن‌ها در این مقاله ابتدا دو روش شیمیایی الکلین و سیلین را برای الیاف کنف مورد مطالعه قرار داده‌اند و سپس به بررسی ترکیب این دو روش با یکدیگر و دیگر روش‌های فیزیکی پرداخته‌اند.

همچنین در سال‌های اخیر پژوهش‌های بر روی خواص الکتریکی کامپوزیت‌های زمینه پلیمری مورد استفاده در کاربردهای اکتریکی و الکترونیکی انجام شده است. بوانساری و ردی [۲۷] مروری بر خواص دی‌الکتریک کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با

الیاف کنف را در پژوهش‌های انجام شده داشتند. آن‌ها رشد روز افزون استفاده از تجهیزات الکترونیکی و اثرات منفی زیست محیطی ناشی از آن را یک موضوع مهم دانستند و به همین دلیل به بررسی کاربرد کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر به عنوان یک جایگزین در لوازم الکترونیکی پرداختند. اطلاعات گردآوری شده توسط آن‌ها دامنه وسیعی از اطلاعات الکتریکی مربوط به کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر و الیاف طبیعی به منظور استفاده در تجهیزات و لوازم الکترونیکی بود. سرخوش و همکاران [۲۸] به بررسی خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت زمینه پلیمری تفلون تقویت شده با الیاف پرداختند آن‌ها به این نتیجه رسیدن که این کامپوزیت قابلیت ویژه‌ای در خواص دی‌الکتریک از جمله ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات دارند. در تحقیقی دیگر سرخوش همکاران [۲۹] به طراحی و ساخت و بررسی خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت اپوکسی/ کنف پرداختند طالعی فرد و همکاران [۳۰] به بررسی استحکام کششی و ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت پایه پلیمری تقویت شده با الیاف شیشه پرداختند. رحیمی و همکاران [۳۱] به طراحی و ساخت پوشش کامپوزیتی پایه پلیمری با هدف کاربردهای الکترونیکی پرداختند.

با توجه به مرور مقالات و به دانش نویسندگان تاکنون تحقیقی در ارتباط تاثیر فرآیند اصلاح سطح الیاف کنف بر خواص الکتریکی کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر پلی‌پروپیلن/ کنف انجام نشده است. در این پژوهش با استفاده از پارچه الیاف کنف و ماده پلیمری گرمانرم پلی‌پروپیلن نمونه‌ای کامپوزیت نیمه‌زیست تخریب‌پذیر ساخته شده است. به منظور بهبود فصل مشترک الیاف و ماده زمینه و بهبود خواص مکانیکی نمونه‌های تولید شده، سطح الیاف کنف با استفاده از محلول ۶ درصد سدیم هیدرواکسید به مدت ۱۲ ساعت اصلاح سطح انجام شد. جهت تعیین خواص مکانیکی نمونه‌های تولید شده دو آزمون کشش و خمش سه نقطه انجام گرفت مدول الاستیک، تنش تسلیم، تنش نهایی، میزان حداکثر تغییر طول، و میزان چقرمگی از آزمون کشش اندازه‌گیری شدند و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند استحکام خمشی و مدول الاستیک خمشی کامپوزیت از آزمون خمش به دست آمد. به منظور جهت تعیین و بررسی خواص الکتریکی کامپوزیت، آزمون ثابت دی‌الکتریک با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه در باند x انجام شد.

۲- مطالعه تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

در کامپوزیت گرمانرم از کوپلیمر پلی‌پروپیلن ۵۴۸ آر[1] تولید پتروشیمی جم به صورت گرانول به عنوان ماده زمینه استفاده شده است که با نام جمپیلن ایی پی ۵۴۸ آر[2] نیز شناخته می‌شود. این گرید از پلیمر پلی‌پروپیلن به دلیل لزجت پایین برای تولید قطعات جداره نازک و استفاده به عنوان ماده زمینه برای تولید صفحات کامپوزیتی تقویت شده با الیاف طبیعی و مصنوعی مناسب است. از ویژگی‌های آن می‌توان به سختی، مقاومت در برابر ضربه، قابلیت آنتی استاتیک، خواص مکانیکی خوب و قابلیت تماس با مواد خوراکی و بهداشتی را اشاره نمود. در جدول ۱ برخی خواص فیزیکی و مکانیکی این گرید از پلی‌پروپیلن آورده شده است. پارچه الیاف تقویت‌کننده از جنس کنف می‌باشند که به صورت بافته شده بوده و زاویه میان الیاف ۹۰ درجه است. ضخامت الیاف ۱ میلی‌متر می‌باشد و درصد وزنی الیاف به کار رفته در کامپوزیت ۳۰ درصد و چگالی سطحی الیاف ۰/۳ گرم بر سانتی‌متر مربع است.

در این پژوهش به منظور حل کردن گرانول پلی‌پروپیلن از زایلن ۹۹/۵ درصد پارس شیمی با چگالی ۰/۸۶۵ کیلوگرم بر لیتر استفاده شده است. زایلن یا زایلین که با نام‌های دیگر xylol و dimethylbenzene نیز شناخته می‌شود یکی از سه ایزومر دی‌متیل‌بنزن یا ترکیبی از آن‌ها است. این ماده دارای سه ایزومر اورتو-زایلن(*ortho*-)، متا-زایلن (*meta*-) و پارا-زایلن (*para*-) است. هرکدام از این سه ترکیب دارای یک حلقه بنزن مرکزی با دو گروه متیل متصل است. این ماده به صورت مایعی بی‌رنگ و قابل اشتعال است و دارای ارزش صنعتی بسیار بالایی است. زایلن یکی از مهمترین محصولات پتروشیمی است که از به‌سازی کاتالیزوری و همچنین کربنیزه کردن زغال‌سنگ در تولید سوخت کک به دست می‌آید. به صورت صنعتی این ماده از متیلاسیون تولوئن و بنزن به دست می‌آید.

[1] Copolymer Polypropylene Grade 548R
[2] Jampilen EP548R

جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی پلی‌پروپیلن گرید ۵۴۸ آر

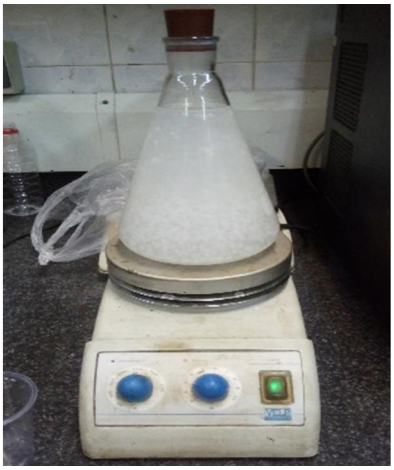
خاصیت	مقدار	واحد	استاندارد ASTM
فیزیکی			
نرخ جریان مذاب	۲۱	g/10min	D1238
چگالی	۰/۹	g/cm^3	D1505
دمای شیشه‌ای شدن	۱۴۵	℃	
دمای ذوب	۱۷۰	℃	
مکانیکی			
مدول خمشی	۱۵۰۰	MPa	D790
استحکام کششی تسلیم	۲۶	MPa	D638
ازدیاد طول در تسلیم	۶	%	D368
استحکام ضربه در ۲۳ ℃	۹۰	J/m	D256

۲-۲- فرآیند آماده‌سازی و تولید کامپوزیت

با توجه به تغییر سایز پارچه الیاف کنف در آب، به منظور جلوگیری از تغییر سایز پارچه کنف در طی فرآیند بهبود خواص و اصلاح سطح الیاف، پارچه بافته شده کنف به مدت ۲۴ ساعت درون آب قرار داده شد و سپس به مدت ۲ روز در دمای اتاق خشک شد. سپس پارچه با ابعاد مورد نیاز با توجه به ابعاد قالب فولادی تهیه شده (۲۷ × ۱۵ سانتی‌متر) برش خورده و سپس داخل محلول سدیم هیدرواکسید که از یک لیتر آب مقطر دیونیزه و ۶۰ گرم سدیم هیدرواکسید تشکیل شده بود قرار داده شدند. فرایند اصلاح سطح الیاف در دمای اتاق انجام شد. پس از گذشت ۱۲ ساعت الیاف از داخل محلول خارج شد و با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و مجددا به مدت یک ساعت داخل محلول یک درصد وزنی استیک اسید که از ۱ لیتر آب مقطر و ۱۰ گرم استیک اسید تشکیل شده بود قرار داده شدند. پس از گذشت یک ساعت الیاف در داخل محلول استیک اسید شست‌وشو داده شدند و مجددا به طور کامل با آب مقطر الیاف شسته شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند تا به طور کامل خشک شوند. در پی این فرآیند علاوه بر افزایش خاصیت آب دوستی الیاف تقویت‌کننده، مواد روغنی بر روی آن‌ها نیز حذف می‌شود که منجر به اتصال بهتر میان ماده زمینه و الیاف تقویت‌کننده می‌شود.

در ساخت کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی نیاز است که ساخت کامپوزیت در پایین‌ترین دمای ممکن به منظور جلوگیری از آسیب‌های احتمالی به الیاف صورت بگیرد. همچنین برای اتصال بیشتر میان الیاف و ماده زمینه بایستی فشار مذاب افزایش و لزجت آن کاهش یابد. به همین دلیل در تولید کامپوزیت‌های گرمانرم از روش‌هایی مانند اکستروژن و تزریق به قالب استفاده می‌شود. استفاده از محلول پلیمر نیز یکی دیگر از روش‌های تولید کامپوزیت گرمانرم است که هر دو شرط کاهش دمای فرآیند تولید و هم کاهش لزجت مذاب را تامین می‌کند. پلیمر پلی‌پروپیلن یک پلیمر نیمه کریستالی و غیر قطبی است و به آسانی در دمای محیط در محلولی حل نمی‌شود. اما در دمای بالا می‌توان آن را در حلال‌هایی مانند زایلن حل کرد و برای استفاده در فرآیند تولید کامپوزیت استفاده نمود. حلال زایلن به عنوان یک حلال مناسب برای تولید کامپوزیت در نظر گرفته شد. دلیل این انتخاب حل شوندگی بالای پلی‌پروپیلن در این حلال بود که در نهایت منجر به ایجاد یک محلول رقیق در دمای بسیار پایین تر از نقطه ذوب پلی‌پروپیلن می‌شود. برای تولید یک صفحه کامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با پارچه الیاف کنف به روش حلال و پرس گرم در ابتدا مقدار ۴۰۰ میلی لیتر حلال زایلن با ۱۰۰ گرم گرانول پلی‌پروپیلن به مدت سه ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد بر روی یک همزن مغناطیسی ترکیب شده‌اند (شکل ۱ الف). محلول به دست آمده کاملا یکنواخت بوده و گرانول‌های پلی‌پروپیلن در این فرایند به طور کامل در حلال حل

شده‌اند. پس از حل شدن کامل پلی‌پروپیلن، پارچه‌های کنف اصلاح سطح شده به طور کامل به محلول آغشته شده در قالب آلومینیومی درون محلول کاملا غوطه‌ور شدند. پارچه‌های کنف به مدت سه روز در دمای محیط قرار داده شدند تا مقداری از حلال زایلن از آن خارج شود. سپس این نمونه به مدت ۲۴ ساعت در خلا کامل در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل کوره خلا قرار گرفت تا کاملا خشک شده و حلال زایلن از آن جدا شود. نمونه تولید شده در این مرحله در شکل ۱ ب نشان داده شده است. مشاهدات تجربی نشان داد که وجود مقادیر زیاد حلال در نمونه منجر به وجود حباب‌های گاز و تخلخل در فرایند پرس گرم در نمونه می‌شود و خواص مکانیکی را کاهش می‌دهد بنابراین اطمینان از خشک بودن پارچه الیاف کنف آغشته به پلی‌پروپیلن، جهت بهبود خواص مکانیکی نمونه، کاملاً ضروری است. پس از پایان عملیات خشک شدن، سه لایه پارچه الیاف کنف به صورت صفر درجه و آغشته به رزین پلی‌پروپیلن در قالب فلزی قرار داده شد. به منظور سهولت در جداسازی قطعه از قالب، سطح قالب تمیز و واکس وپولیش شد. سپس قالب حاوی کامپوزیت پلی‌پروپیلن/ پارچه کنف به منظور عملیات پخت تحت دما و فشار بالا در پرس گرم قرار گرفت. دمای پخت پرس گرم برابر ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد بود و زمان پخت به مدت یک ساعت بر روی نمونه اعمال شد. همانطور که درشکل ۱ ج نشان داده شده است هنگامی دمای قالب به دمای محیط رسید نمونه از قالب خارج شد در شکل ۱ ج نمونه نهایی نشان داده شده است.



(الف)

(ب)

(ج)

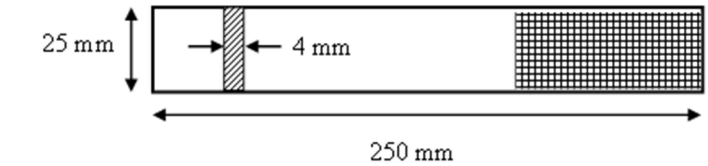
(د)

شکل ۱ مراحل تولید کامپوزیت پلی‌پروپیلن/کنف به روش انحلال و پرس گرم الف) انحلال پلی‌پروپیلن در حلال زایلن ب) نمونه پس از خروج از آون خلاء ج) نمونه نهایی تحت پرس گرم د) نمونه نهایی پس از پخت

۲-۳- فرآیند آماده‌سازی و تولید کامپوزیت

بعد از آماده‌سازی و پخت صفحه کامپوزیتی پلی‌پروپیلن/ کنف، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM-D3039 [۳۲] از صفحه کامپوزیتی برش داده شده است. در شکل ۲ الف ابعاد نمونه‌های بریده شده از صفحه اولیه نشان داده شده است.

آزمون کشش یک روش استاندارد برای تعیین خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها است. جهت به دست آوردن خواص مکانیکی نمونه‌های‌کامپوزیت گرمانرم پلی‌پروپیلن/ کنف از دستگاه آزمون کشش اینسترون (INSTRON R5500) استفاده شده است. این آزمون در دمای محیطی ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۵۵ درصد و سرعت ۲ میلی‌متر بر دقیقه انجام شده است که بر اساس استاندارد این سرعت برای بارگذاری شبه استاتیکی مطلوب است. میزان طول نمونه میان فک‌های دستگاه آزمون کشش ۱۵۰ میلی‌متر بود بنابراین ۵۰ میلی‌متر از بخش بالای نمونه در داخل فک بالا و ۵۰ میلی‌متر از بخش پایین نمونه در داخل فک پایین قرار گرفت.



(الف)

(ب)

شکل ۲ الف) ابعاد نمونه کشش ب) نمونه تست کشش

۲-۴- آزمون خمش

آزمون خمش جهت تعیین مقاومت خمشی ماده و مدول خمشی آن به کار می‌رود. جهت انجام آزمون خمش سه نقطه، پنج نمونه مطابق با استاندارد ASTM D7264M-03 [۳۳] آماده شده است. بر اساس این استاندارد ضخامت قطعات بایستی ۴ میلی‌متر باشد و فاصله دو تکیه‌گاه دستگاه آزمون خمش سه نقطه ۳۲ برابر این ضخامت است که برابر می‌شود با ۱۲۸ میلی‌متر و طول نمونه باید ۲۰ درصد بیشتر از فاصله میان دو تکیه گاه باشد و بنابراین طول نمونه‌ها در حالت استاندارد برابر است با ۱۵۳/۶ میلی‌متر و عرض نمونه نیز ثابت بوده و برابر با ۱۳ میلی‌متر است. سرعت انجام آزمون با توجه به استاندارد مورد نظر ۱ میلی‌متر بر دقیقه بود و برای انجام آزمون از دستگاه اینسترون (INSTRON R5500) استفاده شد.

هنگامی که یک تیر با مواد همگن که دارای تکیه‌گاه‌های لولایی است و بارگذاری به صورت متمرکز در مرکز آن وارد می‌شود را در نظر بگیریم، بیشینه تنش در پوسته بیرونی تیر و در وسط تیر به وجود می‌آید. در آزمون خمش سه نقطه تنش در هر نقطه از نمودار نیرو-جابجایی می‌تواند با استفاده از رابطه (۱) بیان شود.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (۱)$$

در رابطه فوق σ میزان تنش در پوسته خارجی تیر و در میانه تیر است. به ترتیب P مقدار نیرو در هر نقطه از نمودار نیرو-جابجایی، L فاصله میان دو تکیه گاه، b عرض تیر و h ضخامت تیر است. همچنین بیشینه کرنش نیز در پوسته خارجی تیر و در وسط تیر که محل اعمال نیرو است به وجود می‌آید که مقدار آن با رابطه (۲) بیان می‌شود.

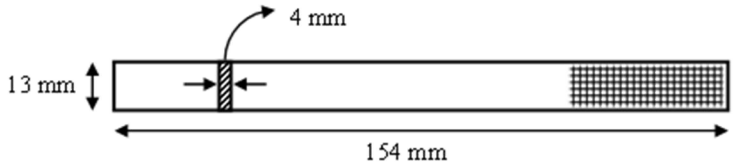
$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، ϵ بیشینه کرنش در پوسته خارجی تیر و در وسط تیر و δ میزان خیز نقطه وسط تیر است. همچنین h و L نیز به ترتیب فاصله میان دو تکیه گاه و ضخامت تیر هستند. با توجه به مطالب فوق می‌توان با استفاده از نمودار نیرو- جابجایی که از آزمون خمش سه نقطه به دست می‌آید، نمودار تنش-کرنش بیشینه را در پوسته بیرونی و در وسط تیر به دست آورد.

مدول الاستیک عبارت است از نسبت یک بازه از تنش به بازه کرنش منتاظر آن. برای محاسبه مدول الاستیک وتری خمشی، بازه پیشنهاد شده در استاندارد ۰/۰۰۲ می‌باشد که از کرنش ۰/۰۰۱ بر روی نمودار شروع شده و تا کرنش ۰/۰۰۳ ادامه می‌یابد. بنابراین مدول الاستیک وتری خمشی در این بازه با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (۳)$$

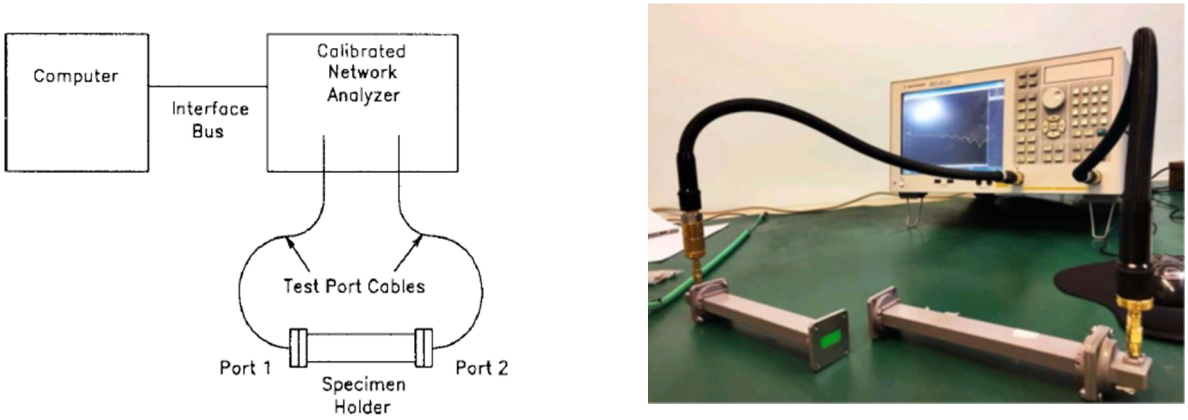
در رابطه فوق E_f^{chord} مدول الاستیک وتری خمشی می‌باشد و $\Delta\sigma$ و $\Delta\epsilon$ نیز به ترتیب تفاضل تنش و کرنش در دو نقطه انتخابی می‌باشند که به طور معمول $\Delta\epsilon = 0.002$ است.



شکل ۳ ابعاد نمونه آزمون خمش سه نقطه

۲-۵- آزمون ثابت دی‌الکتریک

توجه بسیار به کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر در سال‌های اخیر تنها به تاثیرات مثبت زیست محیطی و خواص مکانیکی این مواد محدود نمی‌شود بلکه کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر دارای کاربردهای الکتریکی بسیاری نیز هستند. آزمون ثابت دی‌الکتریک برای تعیین خواص الکتریکی و الکترومغناطیسی کامپوزیت تولید شده انجام شد. آزمون ثابت دی‌الکتریک با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه واقع در پژوهشگاه نصر همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است انجام شد.

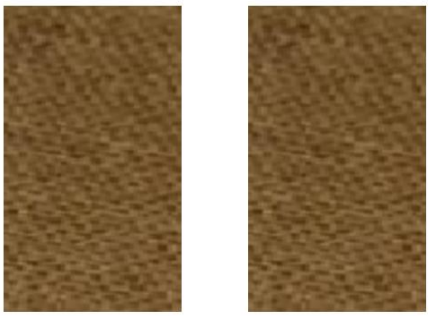


شکل ۴ دستگاه تحلیلگر شبکه

اندازه‌گیری مشخصه‌های دی‌الکتریک مواد بر اساس استاندارد ASTM D5568 روش اندازه‌گیری موجبری دو پورته است. تکنیک موجبری مستطیلی نمونه‌ای از دسته‌بندی تکنیک‌های اندازه‌گیری است که تکنیک خط انتقال جهت دستیابی به ضریب گذردهی و نفوذپذیری مختلط نمونه نامیده می‌شود. در این تکنیک نمونه با سطح مقطع موجبری تطبیق و به همان اندازه پر می‌شود و میزان بازگشتی در طول نمونه اندازه‌گیری می‌شود. تکنیک‌های اندازه‌گیری خط انتقال به طور معمول دقیق‌تر از تکنیک تک پورتی است. این تکنیک برای اندازه‌گیری گذردهی الکتریکی نسبی مختلط (ثابت دی‌الکتریک نسبی و تلفات) و نفوذ پذیری مغناطیسی نسبی مختلط یک ماده جامد، ایزوتروپیک، مناسب است. این اندازه‌گیری برای محدوه فرکانسی ۱۰۰ مگاهرتز تا ۲۰ گیگاهرتز معتبر است. این محدوده دقیق نیست و بستگی به اندازه نمونه و اندازه خط انتقال موجبر مستطیلی نگهدارنده نمونه دارد. محدوده عملیاتی فرکانسی بستگی به اندازه نمونه دارد (نمونه‌های بزرگ در فرکانس‌های پایین و نمونه‌های کوچک برای فرکانس‌های بزرگ). به عنوان یک روش

غیر رزونانسی انتخاب هر تعداد فرکانس اندازه‌گیری گسسته در محدوه فرکانسی مناسب خواهد بود. برای پوشش کل محدوه فرکانسی استفاده از چند موجبر با ابعاد مختلف مورد نیاز است. هم چنین به طور کلی این آزمایش را می‌توان برای موجبرهای دایروی نیز به کار برد. نمونه‌های مورد آزمایش بایستی به اندازه کافی بلند باشند.

برش نمونه‌ها بایستی دقیق و بدون بریدگی‌های نامرتب باشد. چرا که وجود هرگونه کوتاه و یا بلندی نامنظم در اندازه نمونه‌ها باعث ورود هوای اضافی (ماده‌ای با دی‌الکتریک متفاوت) در لبه‌های مشترک نمونه با موجبر شده و نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نمونه‌ها بایستی بسیار تمیز و بدون آلودگی باشند. برای انجام این آزمون از کامپوزیت تولید شده پلی‌پروپیلن تقویت شده با پارچه الیاف کنف دو نمونه با ابعاد ۱۰/۱۶ میلی‌متر عرض و ۲۲/۸۶ میلی‌متر طول و با ضخامت تقریبی ۴ میلی‌متر همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌کنید با اره مویی برش زده شد. این ابعاد برابر ابعاد تیغه دستگاه آزمون در نظر گرفته شدند. نمونه‌ها بایستی تا حد امکان صاف و بدون خمیدگی باشند.



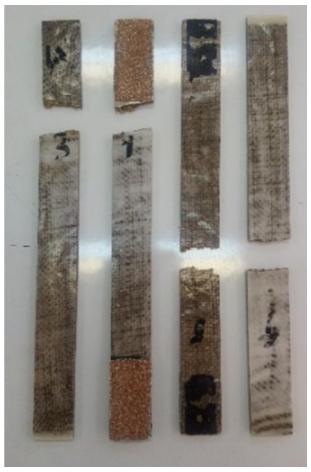
۱ ۲

شکل ۵ نمونه‌های آزمون ثابت دی‌الکتریک

۳- نتایج

برای انجام آزمون کشش کامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با پارچه الیاف کنف از دستگاه آزمون کشش اینسترون (INSTRON R5500) استفاده شد. برای انجام آزمون کشش چهار نمونه با ابعاد مشخص شده در استاندارد آماده شد. سرعت کشش نمونه‌ها ۲ میلی‌متر بر دقیقه بود که بر اساس استاندارد تعریف شده بود. آزمون در دمای اتاق انجام شد. نمونه‌های کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن دارای وزنی حدود ۲۳ گرم بودند که ۳۰ درصد وزنی آن را الیاف کنف تشکیل می‌داد. نمونه‌ها از سه لایه کنف بافته شده و با روش انحلال ماده زمینه در حلال و سپس خشک شدن نمونه و پرس گرم نمونه تهیه شدند. در شکل ۶ الف شکست نمونه‌ها پس از انجام آزمون را مشاهده می‌کنید همچنین در شکل ۶ ب می‌تواند دید که در کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن جدایش الیاف و ماتریس بسیار قابل توجه است و الیاف در مقطع شکست به طور کامل از ماتریس جدا شده‌اند.

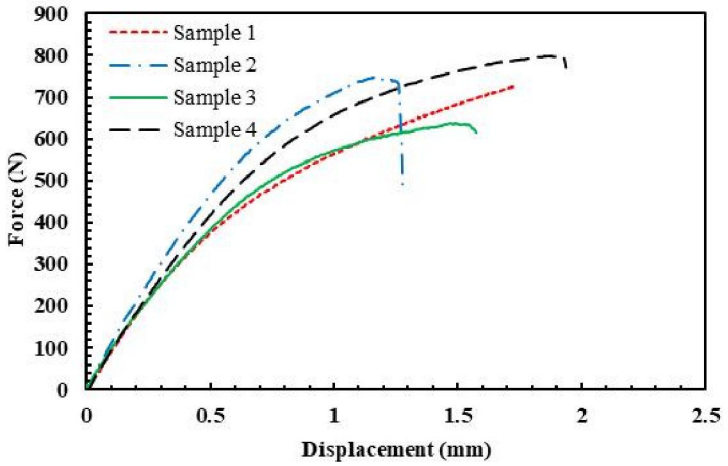
شکل ۷ نمودار نیرو-جابجایی حاصل از آزمون کشش برای کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن نشان داده شده است. نمودار تنش-کرنش کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن با توجه به هندسه نمونه‌های تحت آزمون کشش و نمودار نیرو-جابجایی، همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، به دست آمد. لازم به ذکر است که در آزمون کشش برای ثبت جابجایی از اکستنسومتر استفاده شد. با توجه به نمودار تنش کرنش کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن می‌توان دید که ماده دارای نقطه تسلیم مشخصی نبوده و به ناچار برای استخراج تنش تسلیم در این نمودار می‌بایست از روش ۰/۲ درصد آفست استفاده شود. برای انجام این روش، ابتدا باید مقدار ۰/۰۰۲ را بر روی محور کرنش مشخص نموده و سپس از روی آن، یک خط موازی با قسمت خطی منحنی رسم کرد. هر نقطه‌ای بر روی منحنی که با این خط تقاطع داشته باشد، به عنوان نقطه تسلیم در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به مساحت سطح زیر نمودار تنش-کرنش میزان چگالی انرژی کرنشی برای کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن استخراج شده و در شکل ۹ نشان داده شده است. خواص کششی کامپوزیت شامل مدول الاستیک، تنش تسلیم، تنش نهایی، بیشینه کرنش نمونه‌های کامپوزیت کنف/ پلی‌پروپیلن در جدول ۲ نشان داده شده است.



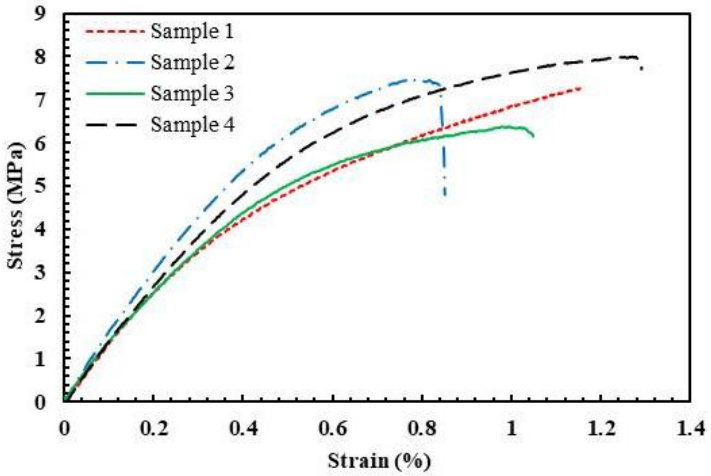
(الف)

(ب)

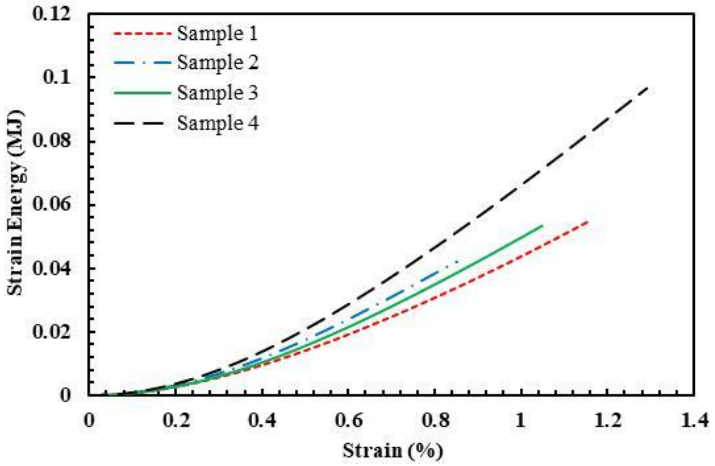
شکل ۶ الف) نمونه‌های شکسته شده تحت آزمون کشش ب) سطح مقطع شکست



شکل ۷ نمودار نیرو-جابجایی کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف



شکل ۸ نمودار تنش-کرنش کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف

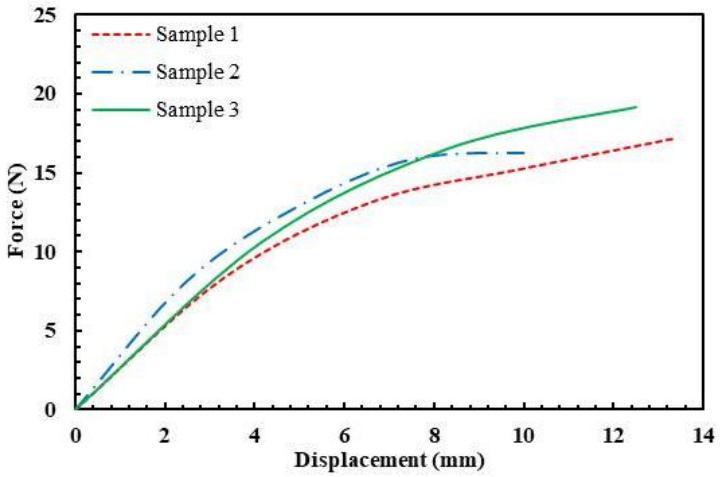


شکل ۹ نمودار انرژی کرنشی کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف

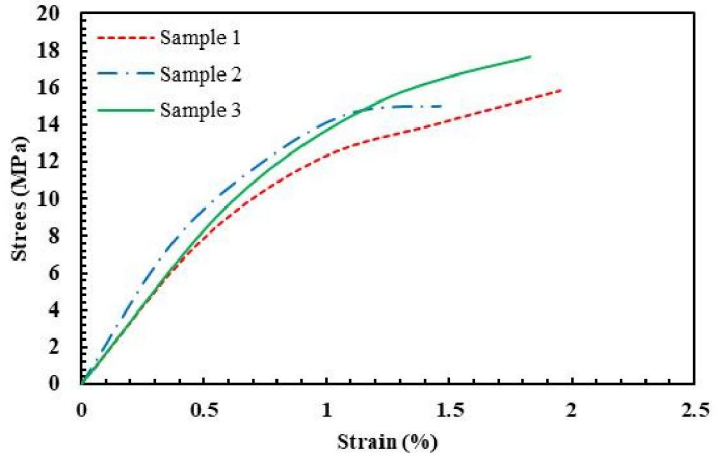
جدول ۲ خواص کششی کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف

شماره نمونه	مدول الاستیک (GPa)	تنش تسلیم (MPa)	تنش نهایی (MPa)	بیشینه کرنش (%)	بیشینه چگالی انرژی کرنشی (kJ)
۱	۱/۳	۵/۸	۷/۱	۱/۱۵	۵۴/۵
۲	۱/۶	۷/۲	۷/۸	۰/۸۵	۴۲
۳	۱/۴	۶	۶/۷	۱/۱	۴۶/۹
۴	۱/۴	۶/۶	۸	۱/۳	۷۲/۵

برای انجام آزمون خمش سه نقطه کامپوزیت گرمانرم کنف/پلی‌پروپیلن از دستگاه آزمون کشش اینسترون و استاندارد ASTM D7246-3 استفاده شده است. برای انجام آزمون خمش سه نمونه آماده شد که سرعت آزمون برای نمونه‌ها برابر با ۱ میلی‌متر بر دقیقه بود. در شکل ۱۰ نمودار نیرو-جابجایی حاصل از آزمون خمش برای کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن نشان داده شده است. نمودار تنش-کرنش کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن با توجه به هندسه نمونه‌های تحت آزمون خمش و نمودار نیرو-جابجایی، همان طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، به دست آمد. خواص خمشی کامپوزیت شامل مدول الاستیک خمشی، استحکام خمشی، بیشینه کرنش و بیشینه جابجایی نمونه‌های کامپوزیت کنف/ پلی‌پروپیلن در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود که خواص خمشی این کامپوزیت بر خلاف کامپوزیت‌هایی که از الیاف مصنوعی در زمینه خود استفاده می‌کنند از خواص کششی آن بیشتر است. با توجه به استفاده از الیاف کنف بافته شده در این پژوهش، توزیع یکنواخت الیاف در کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن تضمین می‌کند که نیروهای فشاری و توزیع تنش به طور یکنواخت بر روی همه الیاف توزیع شوند. این بدان معناست که وقتی نیروهای خمشی اعمال می‌شود، الیاف توزیع تنش یکنواخت را تجربه می‌کنند که مقاومت آن‌ها را در برابر جدا شدن از ماتریس افزایش می‌دهد و استحکام خمشی کلی ماده را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، جهت‌گیری الیاف در جهت خم شدن، مقاومت مواد را در برابر جدا شدن بیشتر می‌کند. هنگامی که الیاف در جهت خمش قرار می‌گیرند، بهتر می‌توانند در برابر نیروهای کششی که در حین خمش ایجاد می شود مقاومت کنند و در نتیجه استحکام خمشی افزایش می‌یابد. همچنین، مقاومت کششی محدود ماتریس در افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت نقش دارد. از آنجایی که ماده ماتریس تحت نیروهای خمشی دچار تغییر شکل قابل توجهی می شود، به توزیع یکنواخت تنش بر روی الیاف کمک می‌کند. این موضوع به الیاف اجازه می‌دهد تا بخش بیشتری از بار را تحمل کنند و استحکام خمشی کلی مواد را افزایش می‌دهد. به طور کلی، این عوامل به استحکام خمشی بالاتر کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن در مقایسه با استحکام کششی آن کمک می‌کنند. توزیع یکنواخت الیاف، جهت‌گیری الیاف در جهت خمش، و وجود یک ماتریس با استحکام کششی محدود، همگی با هم باعث می‌شوند تا توانایی مواد را برای مقاومت در برابر نیروهای خمشی افزایش دهند.



شکل ۱۰ نمودار نیرو- جابجایی آزمون خمش سه نقطه کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف



شکل ۱۱ نمودار تنش-کرنش آزمون خمش سه نقطه کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف

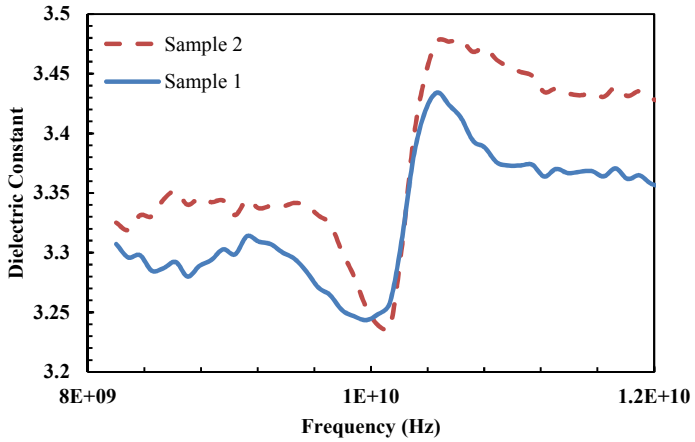
جدول ۳ خواص خمشی کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف

شماره نمونه	مدول الاستیک خمشی (GPa)	استحکام خمشی (MPa)	بیشینه کرنش (%)	بیشینه جابجایی (mm)
۱	۱۵/۸۶	۱۵/۸۳	۱/۹۵	۱۳/۳۳
۲	۲۰/۵۹	۱۵/۰۱	۱/۴۶	۹/۹۹
۳	۱۶/۰۸	۱۷/۶۸	۱/۸۳	۱۲/۴۹

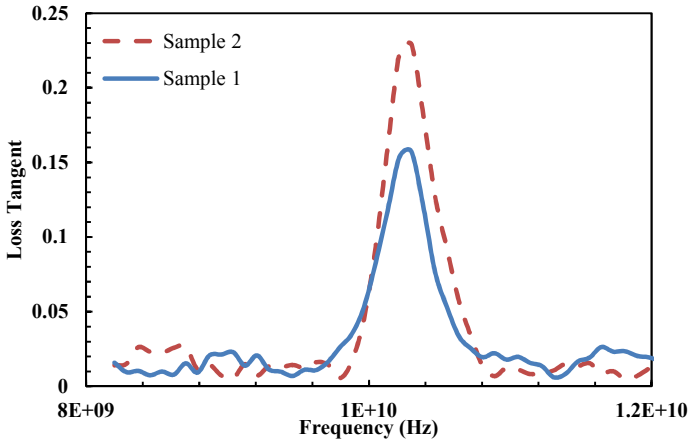
برای کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن نمودارهای ثابت دی‌الکتریک-فرکانس، تانژانت تلفات- فرکانس، ثابت مغناطیسی- فرکانس با توجه به نمونه‌های آماده شده برای آزمون دی‌الکتریک از کامپوزیت زیست تخریب‌پذیر کنف/ پلی‌پروپیلن، با استفاده از دستگاه تحلیلگر شبکه به دست آمد. بر اساس منحنی ثابت دی‌الکتریک-فرکانس برای هر دو نمونه کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن نشان داده شده در شکل ۱۲ می‌توان دید که بیشینه ثابت دی‌الکتریک در باند x برای نمونه اول برابر است با ۳/۴۸ و برای نمونه دوم برابر با ۳/۴۴ است. این نتایج نشان می‌دهد که مقدار ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت کنف/پلی‌پروپیلن نسبت به فلزات بسیار مطلوب است.

بر اساس منحنی تانژانت تلفات نشان داده شده در شکل ۱۳ بیشینه تانژانت تلفات برای نمونه‌های اول و دوم کامپوزیت کنف/ پلی‌پروپیلن به ترتیب برابر با ۰/۱۵ و ۰/۲۴ برابر است. نمودار ثابت مغناطیسی نیز در برای هر دو نوع نمونه کامپوزیت در شکل ۱۴ نشان داده شده است. بیشینه ثابت مغناطیسی برای نمونه‌های اول و دوم کامپوزیت کنف/ پلی‌پروپیلن به ترتیب برابر با ۱/۶ و ۱/۸

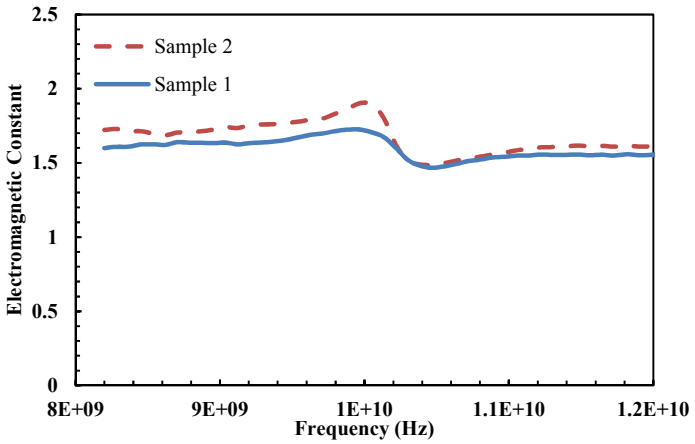
است. در ارتباط با اختلاف نتایج نمونه‌ها، بایستی خاطر نشان کرد که نتایج خواص الکتریکی بسیار تحت تاثیر عواملی چون دستگاه تحلیلگر شبکه، موجبر، کالیبره بودن دستگاه، دقت اندازه‌گیری، ضخامت و تمیزی لبه‌های نمونه‌ها می‌باشد. اختلاف نتایج خواص الکتریکی می‌تواند متأثر از هر یک از عوامل ذکر شده باشد. لازم به ذکر است که بیشینه ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات پلی‌پروپیلن خالص به ترتیب برابر با ۲/۵ و ۰/۰۰۳۲ است [۳۴]. نتایج حاصل از تست ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر کنف/پلی‌پروپیلن حاکی از پتانسیل بالای این کامپوزیت برای کاربرد در ساخت بردهای الکترونیکی است.



شکل ۱۲ نمودار ثابت دی‌الکتریک- فرکانس کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف



شکل ۱۳ نمودار تانژانت تلفات- فرکانس کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف



شکل ۱۴ نمودار ثابت مغناطیسی- فرکانس کامپوزیت پلی‌پروپیلن / کنف

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از الیاف کنف و پلیمر پلی‌پروپیلن نوعی کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر تولید شد که با استفاده از آزمون کشش و خمش سه نقطه خواص مکانیکی آن به دست آمد. همچنین از کامپوزیت تولید شده آزمون ثابت دی‌الکتریک نیز به عمل آمد و خواص الکتریکی آن بررسی گردید. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

- بیشینه استحکام کششی و مدول یانگ کششی که در این پژوهش به دست آمد به ترتیب برابر با ۸ مگاپاسکال و ۱/۶ گیگاپاسکال است.
- بیشینه استحکام خمشی و مدول یانگ خمشی که در این پژوهش برای کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر پلی‌پروپیلن/ کنف به ترتیب برابر با ۱۵/۸۳ مگاپاسگال و ۲۰/۵۹ گیگاپاسکال است. همان‌طور که مشاهده شد خواص خمشی کامپوزیت به مراتب بهتر از خواص کششی آن است.
- خواص مکانیکی کامپوزیت نیمه زیست تخریب‌پذیر تولید شده در مقابل با کامپوزیت‌هایی که از الیاف شیشه و کربن و سایر الیاف مصنوعی برخوردار هستند دارای استحکام کمتری می‌باشد که به دلیل استحکام پایین‌تر الیاف تقویت‌کننده و عدم برخورداری الیاف از کیفیت و تراکم لازم است.
- این کامپوزیت در مقایسه با سایر کامپوزیت‌ها به دلیل چگالی پایین الیاف کنف (۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) نسبت به الیاف شیشه (۲/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و کربن (۱/۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) دارای وزن پایین‌تری می‌باشد. همچنین هزینه تولید پایین نیز از مزایای اقتصادی در تولید و استفاده از این کامپوزیت است. به دلیل نیمه زیست تخریب‌پذیر بودن کامپوزیت و استفاده از منابع تجدیدپذیر به عنوان فاز تقویت‌کننده، در حین تولید و پس از اتمام دوره مصرف محصول اثرات نامطلوب زیست محیطی کمی تولید خواهد شد.
- کامپوزیت پلی‌پروپیلن/ کنف از نظر تغییرشکل‌های خمشی قابلیت تغییرشکل نسبتا زیادی دارد و از این رو می‌تواند در بارگذاری‌های مشابه مقدار انرژی قابل توجهی را جذب نماید.
- بیشینه ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات نمونه‌های تولیدی در باند x به ترتیب برابر با ۳/۴۸ و ۰/۲۴ است. نتایج آزمون ثابت دی‌الکتریک حاکی از پتانسیل بالای این کامپوزیت برای کاربردهای الکتریکی و الکترونیکی شامل ساخت شیت بردهای الکترونیکی است.

فهرست علائم

P	نیرو
h	ضخامت تیر
L	فاصله میان دو تکیه‌گاه
b	عرض تیر
E_f^{chord}	مدول الاستیک وتری خمشی

علائم یونانی

σ	تنش در پوسته خارجی تیر
ϵ	بیشینه کرنش در پوسته خارجی تیر
δ	میزان خیز نقطه وسط تیر
$\Delta\sigma$	تفاضل تنش
$\Delta\epsilon$	تفاضل کرنش

References

[1] Wirawan R, Zainudin ES, Sapuan SM. Mechanical properties of natural fibre reinforced PVC composites: A review. Sains Malaysiana. 2009 Aug 1;38(4):531-5.

[2] Saheb DN, Jog JP. Natural fiber polymer composites: a review. Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute. 1999 Dec;18(4):351-63. doi: 10.1002/(SICI)1098-2329(199924)18:4%3c351::AID-ADV6%3e3.0.CO;2-X

[3] Al-Oqla FM, Sapuan SM. Materials selection for natural fiber composites. Woodhead Publishing; 2017 Jun 9.

[4] Al-Oqla FM, Sapuan SM. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. Journal of Cleaner Production. 2014 Mar 1;66:347-54. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.050

[5] P.K. Bajpai, I. Singh, J.Madaan, Development and characterization of PLA-based green composites: A review, *Journal of Thermoplast Composite Material*, Vol. 27, No. 1, pp.52-81,2014. doi: 10.1177/0892705712439571

[6] Dicker MP, Duckworth PF, Baker AB, Francois G, Hazzard MK, Weaver PM. Green composites: A review of material attributes and complementary applications. Composites part A: applied science and manufacturing. 2014 Jan 1;56:280-9. doi: 10.1016/j.compositesa.2013.10.014

[7] Lyn N. *Effect of the chemical treatment on the inorganic content of Kenaf fibers and on the performance of Kenaf-polypropylene composites* (Master's thesis, University of Waterloo). doi: 10012/13979

[8] Mohammed L, Ansari MN, Pua G, Jawaid M, Islam MS. A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. International journal of polymer science. 2015 Oct 1;2015. doi: 10.1155/2015/243947

[9] Saba N, Md Tahir P, Jawaid M. A review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites. Polymers. 2014 Aug 22;6(8):2247-73. doi: 10.3390/polym6082247

[10] Siakeng R, Jawaid M, Ariffin H, Sapuan SM, Asim M, Saba N. Natural fiber reinforced polylactic acid composites: A review. Polymer Composites. 2019 Feb;40(2):446-63. doi: 10.1002/pc.24747

[11] AL-Oqla FM, Omari MA. Sustainable biocomposites: challenges, potential and barriers for development. Green biocomposites: manufacturing and properties. 2017:13-29.

[12] Koohestani BA, Darban AK, Mokhtari P, Yilmaz ER, Darezereshki ES. Comparison of different natural fiber treatments: a literature review. International Journal of Environmental Science and Technology. 2019 Jan 29;16:629-42. doi: 10.1007/s13762-018-1890-9

[13] da Luz J, Losekann MA, dos Santos A, Halison de Oliveira J, Girotto EM, Moises MP, Radovanovic E, Fávaro SL. Hydrothermal treatment of sisal fiber for composite preparation. Journal of Composite Materials. 2019 Jul;53(17):2337-47. doi: 10.1177/0021998319826384

[14] Darus SA, Ghazali MJ, Azhari CH, Zulkifli R, Shamsuri AA, Sarac H, Mustafa MT. Physicochemical and thermal properties of lignocellulosic fiber from Gigantochloa Scortechinii bamboo: Effect of steam explosion treatment. Fibers and Polymers. 2020 Oct;21:2186-94. doi: 10.1007/s12221-020-1022-2

[15] Ajouguim S, Abdelouahdi K, Waqif M, Stefanidou M, Saâdi L. Modifications of Alfa fibers by alkali and hydrothermal treatment. Cellulose. 2019 Feb 15;26:1503-16. doi: 10.1007/s10570-018-2181-9

[16] Romero-Zúñiga GY, González-Morones P, Sánchez-Valdés S, Yáñez-Macías R, Sifuentes-Nieves I, García-Hernández Z, Hernández-Hernández E. Microwave radiation as alternative to modify natural fibers: Recent trends and opportunities–A review. Journal of Natural Fibers. 2022 Oct 28;19(14):7594-610. doi: 10.1080/15440478.2021.1952140

[17] Wang L, Li A, Chang Y. Relationship between enhanced dewaterability and structural properties of hydrothermal sludge after hydrothermal treatment of excess sludge. Water research. 2017 Apr 1;112:72-82. doi: 10.1016/j.watres.2017.01.034

[18] Meon MS, Othman MF, Husain H, Remeli MF, Syawal MS. Improving tensile properties of kenaf fibers treated with sodium hydroxide. Procedia Engineering. 2012 Jan 1;41:1587-92. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.354

[19] Asumani O, Paskaramoorthy R. Fatigue and impact strengths of kenaf fibre reinforced polypropylene composites: Effects of fibre treatments. Advanced Composite Materials. 2021 Mar 4;30(2):103-15. doi: 10.1080/09243046.2020.1733308

[20] Nematollahi M, Karevan M, Fallah M, Farzin M. Experimental and numerical study of the critical length of short kenaf fiber reinforced polypropylene composites. Fibers and Polymers. 2020 Apr;21:821-8. doi: 10.1007/s12221-020-9600-x

[21] Sosiati H, Shofie YA, Nugroho AW. Tensile properties of Kenaf/E-glass reinforced hybrid polypropylene (PP) composites with different fiber loading. doi: 10.5109/1936210

[22] Judawisastra H, Refiadi G. Permanganate Treatment Optimization on Tensile Properties and Water Absorption of Kenaf Fiber-Polypropylene Biocomposites. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2022 May 10;19(1):9623-33. doi: 10.15282/ijame.19.1.2022.23.0742

[23] Mirbagheri J, Tajvidi M, Hermanson JC, Ghasemi I. Tensile properties of wood flour/kenaf fiber polypropylene hybrid composites. Journal of Applied Polymer Science. 2007 Sep 5;105(5):3054-9. doi: 10.1002/app.26363
[24] Islam MR, Beg MD, Gupta A. Characterization of alkali-treated kenaf fibre-reinforced recycled polypropylene composites. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2014 Jul;27(7):909-32. doi: 10.1177/0892705712461511
[25] Manral A, Bajpai PK. Analysis of properties on chemical treatment of kenaf fibers. Materials Today: Proceedings. 2021 Jan 1;40:S35-8. doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.266
[26] Hamidon MH, Sultan MT, Ariffin AH, Shah AU. Effects of fibre treatment on mechanical properties of kenaf fibre reinforced composites: a review. Journal of Materials Research and Technology. 2019 May 1;8(3):3327-37. doi: 10.1016/j.jmrt.2019.04.012
[27] Bhuvaneswari HB, Reddy N. A review on dielectric properties of biofiber-based composites. Advanced composites and hybrid materials. 2018 Dec;1:635-48. doi: 10.1007/s42114-018-0053-2
[28] Sarkhosh R, Zarei H. Design, Manufacturing and mechanical and electrical properties evaluation of glass fiber reinforced PTFE polymer matrix composites. Modares Mechanical Engineering. 2021 Jan 10;21(2):117-27. [In Persian]
[29] Sarkhosh, R., Arabqomi, H., Farrokhabadi, A. Design, manufacturing, and evaluation of mechanical and electrical properties of biodegradable epoxy/hemp composite produced by VARTM method. *Journal of Aeronautical Engineering*, 2022; 24(1): 70-82. doi: 10.22034/joae.2022.315690.1069 [In Persian]
[30] Talei-Fard, E., Parsa, H., Eskandari Jam, J. Investigation of tensile strength and dielectric constant of GFRP composite. *Journal of Science and Technology of Composites*, 2021; 8(3): 1714-1708. doi: 10.22068/jstc.2022.546100.1767 [In Persian]
[31] Rahimi Pishbijari, M., Eskandari Jam, J., Heydari Beni, M. Design and Develpoment of Polymer Based Composite in Order to Minimize the RCS. *Journal of Science and Technology of Composites*, 2020; 7(3): 1047-1056. doi: 10.22068/jstc.2020.120113.1628 [In Persian]
[32] ASTM D3039/D3039M. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix CompositeMaterials. Annu B ASTM Stand, 2014.
[33] ASTM D7264/D7264M-15. Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials. 2015.
[34] Lee CY, Chang CW. Dielectric constant enhancement with low dielectric loss growth in graphene oxide/mica/polypropylene composites. Journal of composites science. 2021 Feb 8;5(2):52. doi: 10.3390/jcs5020052