



Design, Manufacturing and Mechanical and Electrical Properties Evaluation of Glass Fiber Reinforced PTFE Polymer Matrix Composites

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Sarkhosh R.^{1*} MSc,
Zarei H.² PhD

How to cite this article

Sarkhosh R, Zarei H. Design, Manufacturing and Mechanical and Electrical Properties Evaluation of Glass Fiber Reinforced PTFE Polymer Matrix Composites. Modares Mechanical Engineering. 2021;21(2):117-127

¹ Faculty of Aerospace Engineering, Aeronautical University of Science and Technology, Tehran, Iran.

² Graduate Center, Aeronautical University of Science and Technology, Tehran, Iran.

*Correspondence

Address: Faculty of Aerospace Engineering, Aeronautical University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Phone: -

Fax: -

R.sarkhosh@ssau.ac.ir

Article History

Received: November 03, 2020

Accepted: December 28, 2020

ePublished: February 16, 2021

ABSTRACT

Composites that withstand high temperatures are one of the parameters that always is the focus of attention. Especially when this type of material is used in sensitive parts of flying craft. Generally, sensitive parts of flying craft should have good mechanical strength at high temperatures. PTFE matrix composite is one of the suitable options for this purpose. PTFE is one of the polymers that have high heat resistance and low dielectric constant. In this article, the preparation process of glass fiber reinforced PTFE polymer matrix composites with conventional sintering methods is studied. Then composite sheets made from E-glass woven fabric with PTFE have been produced with conventional sintering methods. To achieve optimal sintering processing of PTFE matrix composite, various cycles of time and temperature were selected and the optimal sintering cycle for the composite material is obtained by the design of the experimental method. Then the mechanical properties of composites with different sintering processes were measured. To determine the mechanical properties, a tensile test was performed, and to determine the electrical and electromagnetic properties, a dielectric constant test in X-band was performed. Also, the loss tangent of composite products was obtained. The maximum tensile strength and tensile modulus were achieved in this research respectively equal to 130 Mpa and 3.65 GPa. Constant dielectric and Loss tangent of the samples produced in the x-band are 2.37 and 0.096, respectively. Finally, to validate the results in this research, the results of the performed tests were compared with the results of other references in this context.

Keywords Polytetrafluoroethylene Resin, PTFE-Based Composites, Mechanical and Electromagnetic Properties, Dielectric Constan, Loss Tangent

CITATION LINKS

[1] Fluoropolymers and Their Applications. [2] Evaluation of the fatigue fracture resistance of unfilled and filled polytetrafluoroethylene materials. [3] High Frequency Laminates ... [4] Method of manufacture of improved radome structure. [5] Materials selection in mechanical design. [6] Non-Melt Processible Fluoroplastics ... [7] Tribological behavior of hybrid PTFE/Kevlar fabric composites with nano-Si₃N₄ and submicron size WS₂ fillers. [8] Preparation and mechanical properties of PTFE/nano-EG composites reinforced with nanoparticles. [9] Microwave dielectric properties of PTFE/rutile nanocomposites. [10] Mechanical, thermal and microwave dielectric properties of Mg₂SiO₄ filled Polytetrafluoroethylene composites. [11] Facile fabrication of poly (tetrafluoroethylene)/graphene nanocomposite ... [12] Wear and friction performance of PTFE filled epoxy composites with a high concentration of SiO₂ particles. [13] New approach to fabricate densificated continuous fiber reinforced polytetrafluoroethylene composites ... [14] Novel preparation of glass fiber reinforced polytetrafluoroethylene composites ... [15] Process parameters investigation on the fibre-matrix ... [16] Processing and mechanical properties evaluation ... [17] Solid state processing of polymers: A review. [18] The tribological behaviour of glass filled ... [19] Simulation of PTFE sintering: Thermal stresses and deformation behavior. [20] ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties ... [21] ASTM-D5568 Standard Test Method for Measuring Relative Complex ... [22] Le PTFE (polytétrafluoréthylène): présentation et applications... [23] Mechanical integrity of compression-moulded ultra-high molecular weight polyethylene ... [24] Wear of polymer composites. [25] Fabrication of polytetrafluoroethylene/carbon fiber composites using radiation crosslinking ...

طراحی، ساخت و بررسی خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت پلیمری تفلون تقویت شده با الیاف شیشه

رضا سرخوش* MSc

مری، دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه علوم وفنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران

حمیدرضا زارعی PhD

دانشیار، مرکز تحصیلات تکمیلی، دانشگاه علوم وفنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران

چکیده

تحمل دماهای بالا در مواد مرکب یکی از پارامترهایی است که همواره مورد توجه می‌باشد. به ویژه زمانی که این نوع مواد در بخش‌های حساس وسایل پرنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً بخش‌های حساس وسایل پرنده می‌بایست علاوه بر شفافیت راداری، مقاومت مکانیکی خوبی نیز در دماهای بالا دارا باشند. به این منظور کامپوزیت با زمینه تفلون یکی از گزینه‌های مناسب می‌باشد. تفلون از جمله پلیمرهایی است که دارای مقاومت در برابر حرارت بالا و ثابت دی‌الکتریک پایین است. در این مقاله فرآیند آماده‌سازی کامپوزیت پلیمری تفلون تقویت شده با الیاف شیشه به روش پخت معمولی صورت گرفته است. به منظور دستیابی به فرآیند بهینه پخت کامپوزیت زمینه تفلون، سیکل‌های مختلف دما و زمان انتخاب و بررسی شده و سیکل بهینه پخت این‌گونه مواد مرکب با روش طراحی آزمایش بدست آمده است. در ادامه خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تولید شده با فرآیند پخت متفاوت، اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین خواص مکانیکی آزمون کشش و جهت تعیین خواص الکتریکی و اکترومغناطیسی آزمون ثابت دی-الکتریک در باند X انجام گرفت. هم چنین تانژانت تلفات کامپوزیت تولید شده نیز به دست آمد. پیشینه استحکام کششی و مدول یانگ کششی که در این پژوهش به دست آمد به ترتیب برابر با ۱۳۰ مگاپاسکال و ۳/۶۵ گیگاپاسکال است. پیشینه ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات نمونه‌های تولیدی در باند X به ترتیب برابر با ۲/۳۷ و ۰/۰۹۶ است. در نهایت به منظور اعتبار سنجی نتایج بدست آمده در این تحقیق، نتایج آزمون‌های انجام شده با نتایج سایر مراجع در این زمینه مقایسه شده است.

کلیدواژه‌ها: رزین تفلون، کامپوزیت پایه تفلون، خواص مکانیکی و اکترومغناطیسی، ثابت دی‌الکتریک، تانژانت تلفات

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

*نویسنده مسئول: R.sarkhosh@ssau.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از کامپوزیت‌های زمینه پلیمری، کامپوزیت تفلون تقویت شده با الیاف شیشه است که جزو کلاس ویژه و بسیار مهم از مواد با کارایی بالا با خواص دی‌الکتریک عالی در بین تمام پلیمرهای طبیعی است. دمای کاری وسیع از ۲۶۰- تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد، مقاومت سایشی برجسته، خاصیت اکترومغناطیسی مطلوب و مقاومت شیمیایی بسیار بالایی دارد. این مواد با وجود چنین خواصی می‌توانند در تولید مواد با کارایی بالا از قبیل

بردهای مدار چاپی با فرکانس بالا، مواد دی‌الکتریک میکرو موج^[1,2]، در تهیه بردهای ۵۸۸۰ و ۵۸۷۰ ساخت شرکت راجرز، سیستم رادارهای نظامی، سیستم‌های هدایت موشک، آنتن‌های رادیویی دیجیتال نقطه به نقطه، مدارهای استریپ لاین (Strip line) و میکرو استریپ (Micro strip)، تلفن‌های خطوط هوایی تجاری^[3]، در دماغه هواپیما^[4] و در محیط‌هایی که در معرض ناملایمات‌های محیطی هستند کاربرد داشته باشند^[1,2].

پلی‌تترافلورئورواتیلن (تفلون) یک ترموپلاستیک با ویژگی‌های چشمگیری از قبیل ضریب اصطکاک خیلی پایین، محدوده وسیع دمای کاری، ثابت دی‌الکتریک پایین، مقاومت شیمیایی بالا، مقاومت بالا در برابر شعله‌ور شدن^[5,6]، جذب رطوبت پایین، خواص الکتریکی یکنواخت در فرکانس‌های بالا است^[3].

بیشتر مقالاتی که در زمینه با پلیمر تفلون انجام شده در رابطه با آب‌بندی و بررسی خواص سایشی، رفتار بیولوژیکی و یا به عنوان پرکننده جهت بهبود خواص میکروویو و در زمینه کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی بوده است. لی و همکاران^[7] روی خواص تریبولوژیکی کامپوزیت ترکیبی PTFE/Kevlar با نانو مواد Si₃N₄ بررسی انجام دادند نتایج آنها نشان داد که پرکننده نانو مواد Si₃N₄ می‌تواند به طور موثری میزان سایش کامپوزیت‌ها را کاهش دهد، اما باعث کاهش کیفیت اصطکاک نمی‌شوند. و در تحقیقی دیگر یان و همکاران^[8] به مطالعه‌ای تحت عنوان آماده‌سازی و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های PTFE/nano-EG تقویت شده با نانوذرات پرداختند. راجش و همکاران^[9] به بررسی خواص دی‌الکتریک ماکروویو نانو کامپوزیت PTFE/rutile پرداختند آنها اثرات نانو ذرات rutile بر خصوصیات دی‌الکتریک ماکروویو کامپوزیت‌های PTFE مورد بررسی قرار دادند. ساسیکالا و همکاران^[10] به مطالعه خواص دی‌الکتریک مکانیکی، حرارتی و ماکروویو کامپوزیت PTFE/Mg₂SiO₄ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که کامپوزیت با ۵ درصد حجمی پرکننده، به ترتیب ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفاتی برابر با ۳/۲ و ۰/۰۰۹ در فرکانس ۵ گیگاهرتز دارد. جیانگ و همکاران^[11] به بررسی ساخت آسان نانو کامپوزیت پلی تترا فلورئورو اتیلن/گرافن با استفاده از روش مونتاژ الکترواستاتیکی (electrostatic self-assembly approach) پرداختند. شن و همکاران^[12] به بررسی عملکرد سایشی و اصطکاک کامپوزیت اپوکسی/تفلون پر شده با ذرات SiO₂ پرداختند.

اما پژوهش‌های بسیار محدودی از پلیمر تفلون به عنوان رزین پلیمری استفاده کردند. جو و لیانگ^[13] در مرحله اول کامپوزیت تفلون تقویت شده با الیاف شیشه E-glass آماده‌سازی و به روش پخت معمولی ساخته و سپس در مرحله دوم برای بهبود استحکام کامپوزیت تولید شده، کامپوزیت تولید شده را به عنوان پیش‌ساخته استفاده کرده و فیلم رزین BDP را با روش تزریق فیلم رزین به آن اضافه کرده و کامپوزیت جدیدی را ساختند پس

صوت که علاوه بر شفافیت راداری، مقاومت مکانیکی خوبی نیز در دماهای بالا دارا باشند و نیز استفاده از این نوع کامپوزیت‌ها در تولید بردهای الکترومغناطیسی فرکانس بالا استفاده شده است. با توجه به میزان اطلاعات بسیار محدود در رابطه با پخت این نوع کامپوزیت و نیز پیچیدگی‌های فراوان فرآیند پخت این کامپوزیت سعی بر آن شد که با امکانات داخل کشور فرآیند پخت این کامپوزیت به روش پخت معمولی به دست آید. به دلیل دما و فشار پخت بالای این نوع کامپوزیت از یک پرس گرم با واحد کنترل اتوماتیک که بدین منظور طراحی و ساخته شده است، استفاده شد. علاوه بر این برای تعیین خواص الکتریکی و مغناطیسی کامپوزیت آزمون ثابت دی‌الکتریک گرفته شد. در این پژوهش ابتدا ویژگی‌ها و خواص مواد و دستگاه‌های مورد استفاده تشریح شده است و سپس نحوه آماده‌سازی و فرآیند ساخت کامپوزیت‌های تفلون تقویت‌شده با پارچه الیاف شیشه آورده شده است و کامپوزیت‌هایی را با فرآیند پخت متفاوت ساخته شد و جهت مشخص کردن خواص مکانیکی آن‌ها آزمون کشش و جهت تعیین خواص الکتریکی و الکترومغناطیسی، آزمون ثابت دی‌الکتریک روی آن‌ها صورت گرفته است.

۲- مواد و دستگاه‌های استفاده شده

پودر تفلون تهیه شده از شرکت دوپونت، با دمای ذوب ۳۲۷ درجه سانتی‌گراد، چگالی ۲/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، مدول یانگ ۰/۵ گیگاپاسکال، مقاومت تسلیم ۲۳ مگاپاسکال، ضریب اصطکاک ۰/۰۵-۰/۱، ثابت دی‌الکتریک برابر ۲/۱، مقاومت دی‌الکتریک در ۱ مگاهرتز برابر ۶۰ مگاوات بر متر و رسانندگی گرمایی برابر ۰/۲۵ وات بر متر کلوین است. محلول تفلون با درصد وزنی ۶۰، از شرکت دوپونت تهیه شده است. پارچه الیاف شیشه، با میانگین ضخامت ۰/۱۵ میلی‌متر، در این پژوهش استفاده شده است. رزین و پارچه الیاف شیشه در شکل ۱ نشان داده شده است. برای خشک کردن و حرارت دادن به پارچه الیاف شیشه آغشته شده به محلول تفلون برای مدت یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد از کوره عملیات حرارتی آتیین استفاده شده است. کوره عملیات حرارتی آتیین در شکل ۲ مشاهده می‌کنید.



شکل ۱) پارچه از جنس شیشه E-Glass و محلول تفلون با درصد وزنی ۶۰ درصد.

از ساخت کامپوزیت‌ها برای بدست آوردن و مقایسه خواص مکانیکی، دو آزمون خمش و تنش برشی بین لایه‌ای را روی کامپوزیت‌ها انجام دادند نتایج حاکی از آن است که خواص مکانیکی کامپوزیت جدید بهبود پیدا کرده است.

لیانگ و همکاران^[14] همانند مقاله قبلی‌شان، کامپوزیت تفلون تقویت شده با الیاف شیشه E-glass آماده‌سازی و به روش پخت معمولی ساختند و سپس در مرحله دوم جهت بهبود استحکام، کامپوزیت تولید شده را به عنوان پیش‌ساخته استفاده کرده و سیستم رزین M4506-1 را با روش قالبگیری تزریق رزین به کمک خلاء به آن تزریق کردند و کامپوزیت جدیدی را ساختند پس از ساخت کامپوزیت‌ها برای بدست آوردن و مقایسه خواص مکانیکی، دو آزمون خمش و تنش برشی بین لایه‌ای را روی کامپوزیت‌ها انجام دادند نتایج حاکی از آن است که خواص مکانیکی کامپوزیت جدید بهبود پیدا کرده است.

ریول و همکارانش^[15] تحقیقاتی را در ارتباط با فرآیند ساخت و خواص مکانیکی صفحات چند لایه کامپوزیتی ساخته شده از رزین تفلون تجاری با پارچه الیاف شیشه انجام دادند. آنها اثرات پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر فرآیند پخت صفحات کامپوزیتی را بررسی نمودند. آنها اثرات پارامترهایی نظیر فشار، دما و زمان را بر پخت کامپوزیت ذکر شده و استحکام نهایی بین الیاف و رزین را بررسی و پارامترهای بهینه را تعیین نمودند. در نهایت خواص مکانیکی کامپوزیت پخت شده با شرایط بهینه را تعیین کردند.

ریول و همکاران^[16] با استفاده از روش پخت قبلی و پارامترهای بهینه بدست آمده از تحقیقات قبل‌شان، کامپوزیت تفلون تقویت‌شده با پارچه الیاف شیشه با ضخامت‌های متفاوت تولید کردند و به بررسی تأثیر زمان پخت بر عملکرد ساختار دو ورقه کامپوزیتی با پارچه‌هایی با ضخامت متفاوت پرداختند نتایج آنها نشان داد که خواص کامپوزیت تولید شده با پارچه با ضخامت بیشتر، با افزایش زمان پخت، کاهش می‌یابد و خواص کامپوزیت تولید شده با پارچه با ضخامت کمتر با افزایش زمان پخت، تغییرات کمتری دارد و همچنین خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تولید شده با پارچه‌های با ضخامت متفاوت با زمان پخت ۵ دقیقه را به دست آوردند.

اگر چه فرآیند تولید کامپوزیت‌های زمینه پلیمری، دشوار و محدود است اما کاربردشان بسیار است. تفلون حتی در دماهای بالا ویسکوزیته ذوب بسیار بالا و نیز خاصیت شناوری ضعیفی دارد، بنابراین ساخت کامپوزیت‌های تفلون تقویت شده با الیاف پیوسته به روش معمول بسیار سخت است. در حقیقت تقریباً همه کامپوزیت‌های پایه تفلونی باید در فرآیند پخت دمای بالای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد ساخته شوند^[17-19] و فرآیند پخت برای تضمین کیفیت محصولات باید به شدت رعایت شود.

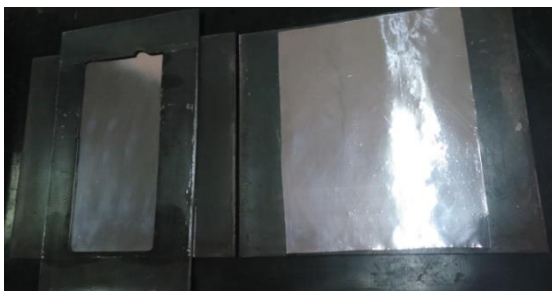
در این مقاله از ایده نو امکان ساخت این‌گونه کامپوزیت‌ها جهت ساخت بخش‌های حساس وسایل پرنده نظیر دماغه‌های مافوق

دارای یک مخزن هیدرولیکی که این مخزن حاوی روغن هیدرولیکی برای بالا بردن فک پایین است. دستگاه پرس گرم برای عملیات پرس و تحت فشار قرار دادن قالب دارای دو فک بالا و پایین است. فک بالا ثابت و فک پایین متحرک است. دستگاه پرس گرم برای گرم کردن و حرارت دادن به قطعه از اتوی گرم کننده استفاده می‌کند. یک اتوی گرم‌کننده در فک بالا و یک اتوی گرم‌کننده در فک پایین قرار دارد. داخل هر یک از این اتوها ۳ المنت جاسازی شده است و این امر موجب می‌شود که هر دو فک دمای یکسانی را اعمال کنند و در نتیجه سطح بالا و پایین قطعه به طور یکسان دما دهی شود. برای بالا بردن فک پایین توسط روغن هیدرولیکی، دو اهرم در دستگاه تعبیه شده است. تفاوت این دو اهرم در سرعت عملکرد آن‌ها است. در واقع یکی از دو اهرم فک را با سرعت بیشتری بالا می‌برد و دیگری با سرعت کمتر و دقت بیشتری همان عمل را انجام می‌دهد. دو حسگر در دستگاه تعبیه شده است و در هر یک از فک‌ها یک حسگر قرار دارد. کار این حسگرها، حس کردن دمای المنت‌ها است. به این صورت که دما را اندازه‌گیری کرده و مقدار آن را به واحد کنترل اتوماتیک گزارش می‌کنند.

واحد کنترل‌کننده اتوماتیک وظیفه کنترل دما و زمان دستگاه را بر عهده دارد و شامل پنج قطعه است: رله، گیرنده حرارت، فن، فیوز سه فاز، صفحه نمایشگر. برای بستن مسیر روغن هیدرولیک پشت فک پایین به سمت مخزن در دستگاه از شیر اطمینان استفاده شده است و این شیر هنگامی که دستگاه عملیات پرس را اجرا می‌کند، در حالت بسته قرار می‌گیرد. برای قالب‌گیری صفحات پلیمری تفلون تقویت شده با الیاف شیشه از یک قالب فولادی با ابعاد $27/3 \times 11/4 \times 2$ که در شکل ۴ نشان داده شده است، استفاده شده است. برای برش ابعاد قالب فولادی از دستگاه فرز (CNC) استفاده شده است.

۳- آماده سازی تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه

پارچه الیاف شیشه به اندازه قالب فولادی $27/3 \times 11/4 \times 2$ برش داده شد. سپس به منظور آغشته‌سازی پارچه‌ها با محلول تفلون، پارچه الیاف شیشه در ظرفی محتوی محلول تفلون، به نحوی که پارچه در محلول غوطه‌ور شود، قرار گرفت. برای جلوگیری از تبخیر



شکل ۴) قالب فولادی مورد استفاد در ساخت کامپوزیت تفلون تقویت‌شده با پارچه الیاف شیشه.



شکل ۲) کوره عملیات حرارتی آتبین.

برای فرآیند پخت صفحات پلیمری تفلون تقویت شده با الیاف شیشه از دستگاه پرس گرم با واحد کنترل اتوماتیک استفاده شده است. دستگاه پرس گرم با واحد کنترل اتوماتیک، که به منظور ساخت کامپوزیت تفلون، طراحی و ساخته شد در شکل ۳ نشان داده شده است که شامل قسمت‌های زیر است.



شکل ۳) دستگاه پرس گرم با واحد کنترل کنترل PLC و تشریح قسمت‌های آن.

فرآیند پخت متفاوت به منظور تاثیر مدت زمان پخت و دمای پخت بر استحکام قطعات و بهینه‌سازی فرآیند پخت صفحات پلیمری تفلون تقویت شده با الیاف شیشه در نظر گرفته شده است. بعد از اتمام فرآیند پخت، قالب‌ها از دستگاه پرس گرم خارج شدند و قطعات کامپوزیتی تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه از قالب بیرون آورده شدند. تصاویر قطعات ۳، ۲، ۱ در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱) برنامه فرآیند پخت قطعه کامپوزیتی شماره ۱

مرحله	دما (C)	زمان (دقیقه)
مرحله ۱	۱۰۰	۵
مرحله ۲	۲۰۰	۵
مرحله ۳	۲۵۰	۵
مرحله ۴	۳۰۰	۱۰
مرحله ۵	۳۶۰	۲۰
مرحله ۶	۳۷۰	۳۰
مرحله ۷	۳۷۵	۳۰
مرحله ۸	۳۶۰	۲۰
مرحله ۹	۳۰۰	۲۰
مرحله ۱۰	۲۰۰	۱۰
مرحله ۱۱	۱۰۰	۱۰
مرحله ۱۲	۵۰	۱۰

جدول ۲) برنامه فرآیند پخت قطعه کامپوزیتی شماره ۲

مرحله	دما (C)	زمان (دقیقه)
مرحله ۱	۱۰۰	۵
مرحله ۲	۲۰۰	۵
مرحله ۳	۲۵۰	۵
مرحله ۴	۳۰۰	۱۰
مرحله ۵	۳۶۰	۲۰
مرحله ۶	۳۷۰	۴۵
مرحله ۷	۳۷۵	۴۵
مرحله ۸	۳۶۰	۳۵
مرحله ۹	۳۰۰	۲۰
مرحله ۱۰	۲۰۰	۱۰
مرحله ۱۱	۱۰۰	۱۰
مرحله ۱۲	۵۰	۱۰

جدول ۳) برنامه فرآیند پخت قطعه کامپوزیتی شماره ۳

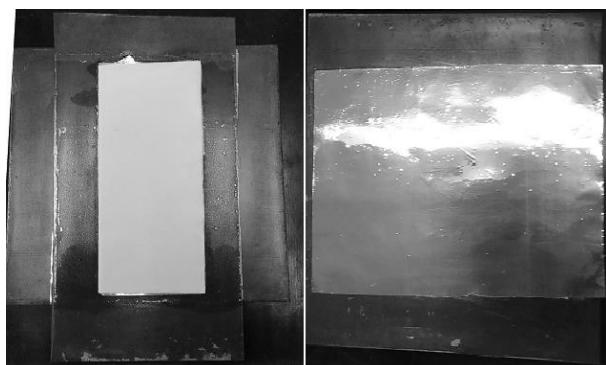
مرحله	دما (C)	زمان (دقیقه)
مرحله ۱	۱۰۰	۵
مرحله ۲	۱۸۵	۵
مرحله ۳	۲۳۵	۵
مرحله ۴	۳۰۰	۱۰
مرحله ۵	۳۵۰	۲۰
مرحله ۶	۳۵۵	۳۰
مرحله ۷	۳۶۰	۳۰
مرحله ۸	۳۴۰	۲۰
مرحله ۹	۳۰۰	۲۰
مرحله ۱۰	۲۰۰	۱۰
مرحله ۱۱	۱۰۰	۱۰
مرحله ۱۲	۵۰	۱۰

حلال تفلون و خشک شدن پودر تفلون موجود در آن و همچنین برای یکنواخت شدن آغشته‌گی پارچه الیاف شیشه به محلول تفلون، درپوشی روی ظرف قرار داده شد. سپس برای اینکه پارچه کاملاً به محلول تفلون آغشته شود و از مایع تفلون اشباع شود، به مدت ۲۴ ساعت در همان حالت قرار گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت، پارچه الیاف آغشته به محلول تفلون از ظرف خارج شد. در این مرحله برای یکنواخت شدن ذرات تفلون در سطح پارچه و سهولت قالب‌گیری، و به منظور خشک شدن پارچه، به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد، درون کوره قرار داده شد در شکل ۵ نشان داده شده است [13]. سطح قالب فولادی با تینر کاملاً تمیز و آماده شد. پس از خشک شدن کامل پارچه، آنها به تکه‌هایی با ابعاد ۱۱/۴*۲۷ سانتی‌متر، برش زده شد. به منظور رسیدن به ضخامت تقریباً ۲ میلی متری قالب فولادی، ۱۳ لایه از پارچه آغشته به تفلون برش زده شد و لایه‌های حاصل از برش، در قالب روی هم لایه‌گذاری شدند و سطح بالا و پایین قالب، مطابق شکل ۶، برای جلوگیری از چسبیدن ترکیب به قالب و راحت‌تر بیرون آوردن قطعه از قالب، زیر و روی قالب با فویل آلومینیومی پوشانده شد. قالب در دستگاه پرس گرم قرار گرفت. سه قطعه با روش شرح داده شده تهیه شدند اما در هر یک از قطعات، فرآیند پختی متفاوت و مطابق با جداول ۱ تا ۳ انجام شد.

تفاوت فرآیند پخت قطعه شماره ۳ با فرآیند پخت قطعه شماره ۱ به تفاوت در دمای پخت در زمان پخت ثابت، آنها برمی‌گردد. این



شکل ۵) پارچه الیاف E-glass آغشته به محلول تفلون پس از یک ساعت حرارت دادن در کوره.

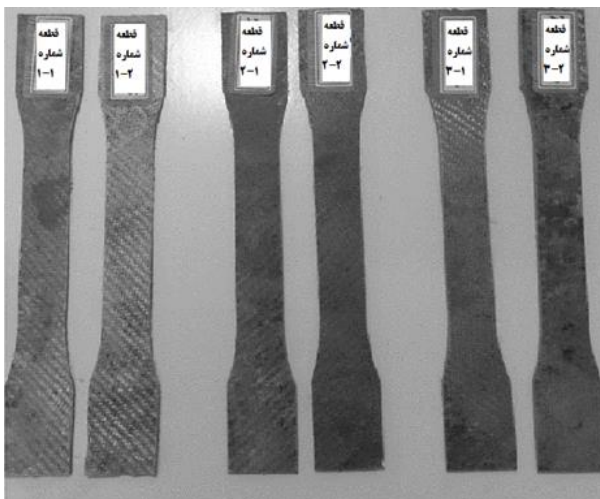


شکل ۶) نحوه قالب‌گیری کامپوزیت تفلون تقویت شده بالیاف شیشه.

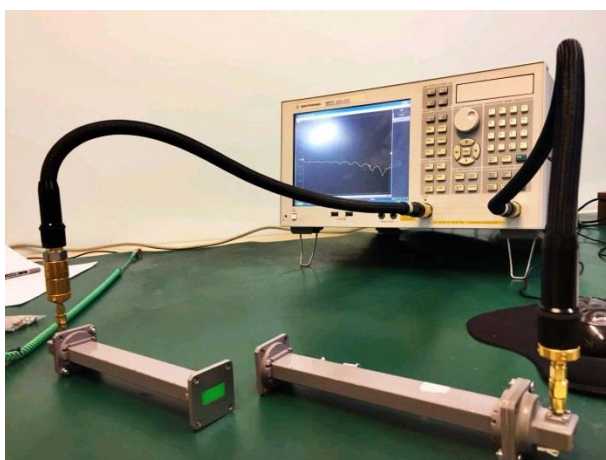
این آزمون در حوزه گواهینامه ISO/IEC 17025 مرکز پلیمر و پتروشیمی ایران و همچنین موسسه استاندارد ایران ISIRI تأیید صلاحیت شده است. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌کنید به منظور بررسی تکرارپذیری نتایج از هر قطعه کامپوزیتی دو نمونه تهیه و آزمون روی آنها انجام پذیرفت.

۵- آزمون ثابت دی الکتریک

آزمون ثابت دی الکتریک برای تعیین خواص الکتریکی و الکترومغناطیسی کامپوزیت تولید شده انجام شد. آزمون ثابت دی الکتریک با استفاده از دستگاه Network Analyzer واقع در پژوهشگاه نصر همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌کنید انجام شد. استاندارد اندازه‌گیری مشخصه‌های دی الکتریک مواد بر اساس استاندارد ASTM D5568^[21] روش اندازه‌گیری موجبری دو پورته است. تکنیک موجبری مستطیلی نمونه‌ای از دسته‌بندی تکنیک‌های اندازه‌گیری می‌باشد 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



شکل ۸) نمونه های تهیه شده برای آزمون کشش.



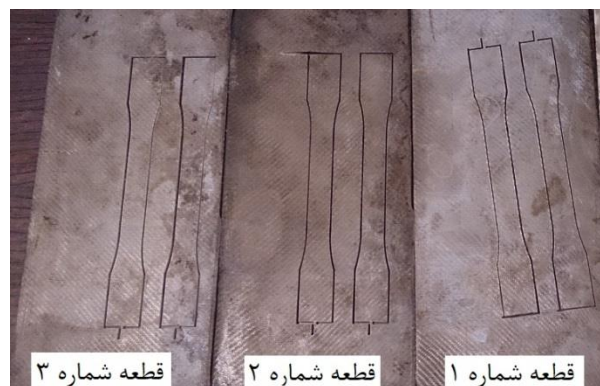
شکل ۹) دستگاه Network Analyzer ستاپ آزمون اندازه گیری جذب الکتریکی و الکترومغناطیسی

ذکر این نکته ضروری است که با توجه به مطالعات انجام شده و مروری بر کارهای گذشته و همچنین نتایج اولیه بررسی فرآیند پخت این کامپوزیت، به طراحی آزمایش برای بهینه سازی فرآیند پخت پرداخته شد. پارامترهای موثر بر فرآیند پخت این نوع کامپوزیت، دمای پخت، زمان پخت، نرخ خنک کاری و نرخ بالا بردن دما بود و پارامتر فشار پخت در فشار حدود ۱۵ مگاپاسگال ثابت در نظر گرفته شد. سیکل‌های متفاوت دما و زمان پخت متفاوت جهت پخت این گونه کامپوزیت در نظر گرفته شد که تنها نتایج سه قطعه که بهترین نتایج را داشتند در این مقاله بررسی شده است علاوه بر این سه قطعه، فرآیند پخت ۲۲ قطعه دیگر نیز با فرآیند پخت متفاوت با استفاده از روش بهینه سازی طراحی آزمایش صورت گرفت که به دلیل نتایج ضعیف و ناموفق بودن عملیات پخت در این پژوهش بررسی نشده است.

۴- آزمون کشش

آزمون کشش، به دلیل مشخص کردن خواص مکانیکی قطعات کامپوزیتی بسیار سودمند است. این آزمون، با استفاده از دستگاه سنتام موجود در آزمایشگاه خواص مکانیکی مرکز پلیمر و پتروشیمی ایران، انجام شد. سرعت آزمون دستگاه از ۵ تا ۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه متغیر است. بیشینه ازدیاد طول دستگاه طبق کاتالوگ مربوط به آن، ۹۰۰ میلی‌متر است. بیشینه نیروی اندازه‌گیری دستگاه ۱۰۰ و کمینه آن ۵ کیلو نیوتون است.

آزمون کشش روی قطعات ۱، ۲ و ۳ که فرآیند آماده‌سازی آنها مشابه و تنها فرآیند پختشان متفاوت است، انجام شد. ابعاد نمونه‌های تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، که آزمون کشش روی آنها صورت گرفت، بر اساس استاندارد ASTM-D638-10، آماده شده است^[20]. برش نمونه‌های آزمون با استفاده از دستگاه واترجت که در شکل ۷ نشان داده شده است انجام شد. آزمون کشش در شرایط محیطی ۲۵ درجه سانتی‌گراد دما و ۵۵٪ رطوبت و بر اساس استاندارد ASTM-D638-10، انجام شد. سرعت در این آزمون، ۵ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد زیرا هرچه آزمون در سرعت پایین‌تری انجام شود، دقت آزمون بالاتر می‌رود.



شکل ۷) تصاویر قطعات کامپوزیتی ۱، ۲ و ۳ و برش آنها با دستگاه واترجت.

۶- تحلیل نتایج و جمع‌بندی

در این بخش ابتدا نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمون کشش قطعات، نشان داده می‌شود و سپس مقادیر بیشینه استحکام کششی و مدول یانگ نمونه‌ها محاسبه و نتایج مربوط به آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه جهت بررسی خواص الکتریکی قطعات در باند x از آزمون ثابت دی الکتریک استفاده می‌شود، سپس نمودارهای ثابت دی الکتریک-فرکانس، تانژانت تلفات-فرکانس، ثابت مغناطیسی-فرکانس نمونه‌های آماده شده برای آزمون دی الکتریک از قطعه کامپوزیتی شماره ۱ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، با استفاده از دستگاه Network Analyzer بدست آورده می‌شود. در ادامه به بررسی نتایج و تحلیل آنها پرداخته می‌شود و نتیجه‌گیری نهایی در مورد این پژوهش صورت می‌گیرد.

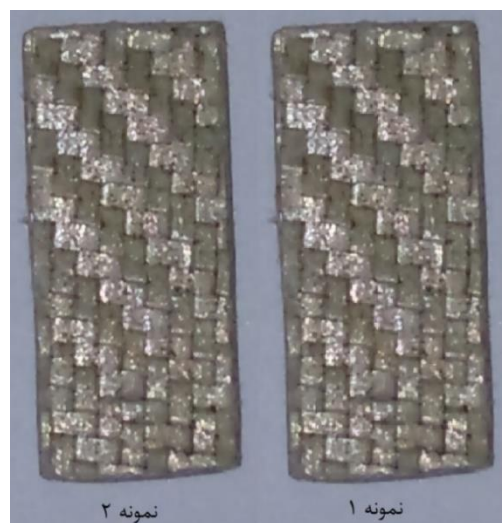
۶-۱- نتایج و بحث‌های آزمون کشش

نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های آماده شده برای آزمون کشش از قطعات کامپوزیتی شماره ۱، ۲ و ۳ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، با استفاده از دستگاه سنتام بدست آمد. بر اساس منحنی‌های تنش-کرنش نشان داده شده در شکل ۱۱، بیشینه استحکام کششی در نمونه اول و دوم قطعه شماره ۱، به ترتیب برابر با، ۱۱۲/۷۱ و ۱۳۰/۸ مگاپاسکال است. بنابراین بیشینه استحکام کششی قطعه کامپوزیتی شماره ۱ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، برابر با میانگین مقدار دو نمونه، یعنی ۱۲۱/۷۵ مگاپاسکال است. همچنین ماکزیمم استحکام کششی در نمونه اول و دوم قطعه کامپوزیتی شماره ۲ به ترتیب برابر با، ۱۱۷ و ۶۰/۳ مگاپاسکال است که نتیجه نمونه دوم قابل قبول نیست زیرا شکست آن در ناحیه طول محل اندازه‌گیری انجام نشده است. بنابراین بیشینه استحکام کششی قطعه کامپوزیتی شماره ۲ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، برابر با ۱۱۷ مگاپاسکال است. بیشینه استحکام کششی در نمونه اول و دوم قطعه شماره ۳ به ترتیب برابر با، ۱۱۴/۱۳ و ۱۳۶/۶۱ مگاپاسکال است. بنابراین بیشینه استحکام کششی قطعه کامپوزیتی شماره ۳ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، برابر با میانگین مقدار دو نمونه، یعنی ۱۲۰/۳۷ مگاپاسکال است.

بر اساس منحنی‌های تنش-کرنش نشان داده شده در شکل ۱۱، مدول یانگ کششی از نقطه صفر تا نقطه بیشینه استحکام، برای نمونه‌های اول و دوم قطعه شماره ۱ به ترتیب برابر با، ۳/۴۴۱ و ۳/۶۵۶ گیگاپاسکال است. بنابراین مدول یانگ کششی قطعه شماره ۱، برابر با میانگین مقدار دو نمونه، یعنی ۳/۵۴۸ است. مدول یانگ کششی از نقطه صفر تا نقطه بیشینه استحکام، برای نمونه‌های اول و دوم قطعه شماره ۲ به ترتیب برابر با، ۲/۳۹۶ و ۲/۶۹۱ گیگاپاسکال است که نتیجه نمونه دوم قابل قبول نیست؛ زیرا شکست آن در ناحیه طول محل اندازه‌گیری انجام نشده است. بنابراین مدول یانگ کششی قطعه کامپوزیتی شماره ۲،

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 دی الکتریک نسبی و تلف) و نفوذ پذیری مغناطیسی نسبی مختلط یک ماده جامد، ایزوتروپیک، مناسب است. این اندازه‌گیری برای محدوده فرکانسی ۱۰۰ مگاهرتز تا ۲۰ گیگاهرتز معتبر می‌باشد. 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 محدوده فرکانسی مناسب خواهد بود. برای پوشش کل محدوده 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 دی الکتریک 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 تفلون تقویت شده با الیاف دو نمونه با ابعاد ۱۰/۱۶ میلی‌متر عرض و ۲۲/۸۶ میلی‌متر طول و با ضخامت تقریبی ۲ میلی‌متر همانگونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌کنید به صورت دستی برش زده شد. این ابعاد برابر ابعاد تیغه دستگاه آزمون که در شکل ۹ نشان داده شده است، در نظر گرفته شدند. نمونه‌ها بایستی تا حد امکان صاف و بدون خمیدگی باشد.



شکل ۱۰) نمونه‌های آماده شده جهت آزمون ثابت دی الکتریک.

طول فرآیند ساخت نسبت داد[24]. فریدریچ و همکارانش[24] گزارش دادند که در طول فرآیند سوختن، امکان برداشت مواد افزودنی به الیاف وجود دارد. هنگامی که مواد در مدت زمان طولانی در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند، تغییر در رنگ سفید الیاف مشاهده می‌شود که ممکن است نشان از سوختن این مواد افزودنی باشد. نتایج نشان می‌دهد که چسبندگی بین لایه‌ها تأثیر شدیدی بر خواص مکانیکی ورقه‌ها دارد. این نتایج فرضیه اخیر را که زمان اقامت در دمای بالا عاملی است که به تخریب سطح مشترک بین الیاف-زمینه کمک می‌کند، را تأیید می‌کند. با توجه به اوشیما و همکاران[25] ممکن است مواد افزودنی الیاف حذف شده باشند زیرا هنگامی که مواد مدت زمان طولانی در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند باعث عیب‌های کوچک و یا حفره‌هایی بین الیاف و زمینه می‌شوند.

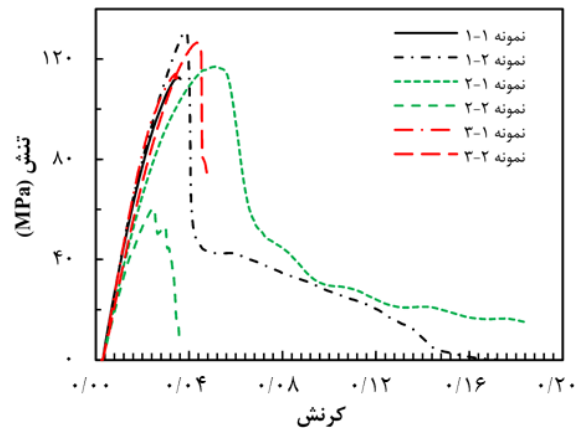
بیشینه استحکام کششی که با این روش پخت برای قطعات تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، بدست آمد برابر با ۱۳۰ مگاپاسکال است که در مقایسه با نتایج ریول و همکاران[16] که بیشینه استحکام کششی برابر با ۱۶۵ مگاپاسکال بدست آوردند، نتیجه قابل قبول و خوبی است. زیرا که اولاً روش و تجهیزات پخت‌ها با هم متفاوت بوده و ثانیاً استحکامی که ریول و همکاران[16] بدست آوردند مربوط به کامپوزیت تولید شده با پارچه با ضخامت کمتر و استحکام بالاتر می‌باشد. آنها در مقاله خود نشان دادند که پارچه با ضخامت کمتر استحکام بالاتری دارند.

بیشینه استحکام کششی و مدول یانگ کششی که با این روش پخت برای قطعات تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، بدست آمد به ترتیب برابر با ۱۳۰ مگاپاسکال و ۳/۶۵ گیگاپاسکال است که بیشتر از مقادیر تفلون خالص است که به ترتیب مقادیری برابر با ۲۸ مگاپاسکال و ۰/۶ گیگاپاسکال دارد.

با توجه به نتایج خواص مکانیکی به دست آمده بدترین نتیجه برای قطعه شماره ۲ حاصل شده چرا که زمان بیشتری در معرض دمای پخت ۳۷۵ درجه که نزدیک به دمای شروع تخریب ماده است[16]، قرار گرفته بود که ممکن است تأثیر منفی بر روی چسبندگی بین تفلون با تفلون و الیاف با تفلون بگذارد. و همچنین خواص مکانیکی به دست آمده برای قطعه شماره ۳ از خواص مکانیکی به دست آمده برای قطعه شماره ۱ کمتر است چرا که دمای پخت پایین‌تری دارد و دمای پخت پایین منجر به کاهش خواص مکانیکی می‌شود؛ زیرا این دماها، به اندازه کافی اجازه نمی‌دهد که بین لایه‌های تفلون پیوند کاملی ایجاد شود. بهترین نتیجه در ۳۷۵ درجه بدست آمد.

۲-۶- نتایج و بحث‌های آزمون ثابت دی الکتریک

نمودارهای ثابت دی الکتریک-فرکانس، تانژانت تلفات-فرکانس، ثابت مغناطیسی-فرکانس نمونه‌های آماده شده برای آزمون دی الکتریک از قطعه کامپوزیتی شماره ۱ تفلون تقویت شده با پارچه

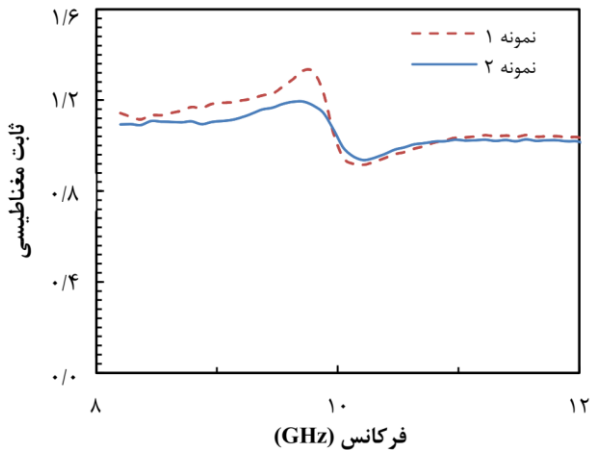


شکل ۱۱) نمودارهای تنش-کرنش آزمون کشش قطعات ۱، ۲ و ۳.

برابر با ۲/۳۹۶ گیگاپاسکال است و همچنین مدول یانگ کششی از نقطه صفر تا نقطه بیشینه استحکام، برای نمونه‌های اول و دوم قطعه کامپوزیتی شماره ۳ به ترتیب برابر با، ۳/۵۹۸ و ۳/۰۹ گیگاپاسکال است. بنابراین مدول یانگ کششی قطعه کامپوزیتی شماره ۳، برابر با میانگین مقدار دو نمونه، یعنی ۳/۳۴۴ گیگاپاسکال است.

می‌توان دید بیشینه استحکام کششی و مدول یانگ کششی قطعه کامپوزیتی شماره ۱ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه در بین قطعات ۲ و ۳ بالاترین مقدار را دارد بنابراین برنامه پخت این قطعه یعنی جدول ۱، برنامه پخت بهینه برای فرآیند پخت قطعات کامپوزیتی مذکور برای این پژوهش است.

نتایج خواص مکانیکی قطعات کامپوزیت شماره ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهد که زمان طولانی پخت در دماهای بالا، باعث تخریب مواد افزودنی به الیاف و کاهش کیفیت واکنش بین الیاف-زمینه و ایجاد حفره می‌شود و استحکام کامپوزیت را کاهش می‌دهد که با نتایج تحقیقات ریول و همکاران[15,16] تطابق دارد. با توجه به جاهیر[22] اگر قطعات تنها با تفلون ترکیب شده باشند، زمان ایده‌آل برای پخت آنها- با ضخامت کمتر از ۳ میلی‌متر- در حدود ۶۰ دقیقه خواهد بود. بنابراین، زمان ۶۰ به اندازه کافی برای پخت مقدار قابل توجهی از الیاف شیشه (با درصد وزنی ۴۰٪) که هدایت حرارتی بالاتر از تفلون دارد، کفایت می‌کند. اگر زمان پخت از زمان پخت فعلی بیشتر شود، نتایج عملکرد پایین‌تری را نشان می‌دهند همچنان که نتایج خواص مکانیکی قطعه شماره ۲ این موضوع را تأیید می‌کند. هرچند که انتشار پیوند زنجیره پلیمری تفلون با تفلون متناسب زمان پخت است[23]؛ اما زمان کوتاه پخت باعث بوجود آمدن مکانیزمی می‌شود که منجر به از دست دادن استحکام چسبندگی بین الیاف-زمینه می‌شود. در نتیجه زمان پخت نیز نباید خیلی کوتاه در نظر گرفته شود. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید که قطعه شماره ۲ رنگ تیره‌تری دارد که علت این موضوع را می‌توان به تخریب مواد افزودنی الیاف در



شکل ۱۴ نمودار ثابت مغناطیسی کامپوزیت تولید شده در فرکانس باند x.

پارچه الیاف شیشه، بدست آمد برابر با ۲/۳۷ است که مطابق با مقدار ثابت دی الکتریک برد فرکانس بالای ۵۸۷۰ شرکت راجرز^[۳] و مقدار بسیار کمی بیشتر از ثابت دی الکتریک برد فرکانس بالای ۵۸۸۰ شرکت راجرز^[۳] که برابر با ۲/۲ می باشد، است.

۷- نتیجه گیری

در این پژوهش طراحی و فرآیند تولید کامپوزیت تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه به روش پخت معمولی صورت گرفت. همچنین فرآیند بهینه پخت کامپوزیت های تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه به روش پخت معمولی با روش طراحی آزمایش بدست آمد. علاوه بر این برای تعیین خواص مکانیکی و آزمون کشش، و برای تعیین خواص الکتریکی و الکترومغناطیسی آزمون دی الکتریک انجام شد. مهم ترین نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است.

سه قطعه کامپوزیتی ۱، ۲ و ۳ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه با فرآیند دمایی-زمانی متفاوت ساخته شد. بیشینه استحکام کششی و مدول یانگ کششی قطعه کامپوزیتی شماره ۱ تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه در بین قطعات ۲ و ۳ بالاترین مقدار را دارد؛ بنابراین برنامه پخت این قطعه یعنی جدول ۱، برنامه پخت بهینه برای فرآیند پخت قطعات مذکور است.

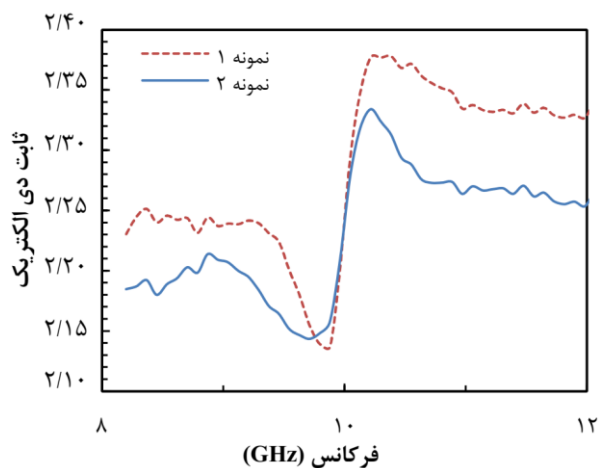
نتایج خواص مکانیکی قطعات کامپوزیت شماره ۱، ۲ و ۳ نشان می دهد که زمان طولانی پخت در دماهای بالا، باعث تخریب مواد افزودنی به الیاف و کاهش کیفیت واکنش بین الیاف-زمینه و ایجاد حفره می شود و استحکام کامپوزیت را کاهش می دهد.

بیشینه استحکام کششی و مدول یانگ کششی که با این روش پخت برای قطعات تفلون تقویت شده با پارچه الیاف شیشه، بدست آمد به ترتیب برابر با ۱۳۰ مگاپاسکال و ۳/۶۵ گیگاپاسکال است که بیشتر از مقادیر تفلون خالص است که به ترتیب مقادیری برابر با ۲۸ مگاپاسکال و ۰/۶ گیگاپاسکال دارد.

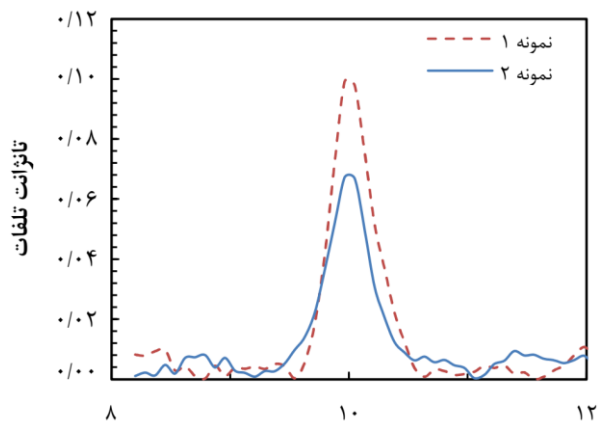
الیاف شیشه، با استفاده از دستگاه Network Analyzer بدست آمد. بر اساس منحنی های ثابت دی الکتریک-فرکانس نشان داده شده در شکل ۱۲، بیشینه ثابت دی الکتریک در باند x برای نمونه اول و دوم قطعه شماره ۱، به ترتیب برابر با، ۲/۳۳ و ۲/۳۷ است، که این مقدار ثابت دی الکتریک یک مقدار بسیار مطلوب محسوب می شود.

بر اساس منحنی های تانژانت تلفات- فرکانس نشان داده شده در شکل ۱۳، ماکزیمم تانژانت تلفات، برای نمونه های اول و دوم قطعه شماره ۱ به ترتیب برابر با، ۰/۰۹۷ و ۰/۰۶۶ است. همچنین نمودار ثابت مغناطیسی نمونه اول و دوم قطعه شماره ۱، در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

نتایج خواص الکتریکی و الکترومغناطیسی نمونه های کامپوزیت تفلون تقویت شده با الیاف شیشه نشان می دهد که این کامپوزیت از پتانسیل بالقوه ای در طراحی بردهای الکترومغناطیسی و طراحی بخش های حساس وسایل پرنده نظیر دماغه های مافوق صوت برخوردار است. ماکزیمم ثابت دی الکتریک که با این روش پخت برای قطعات تفلون تقویت شده با



شکل ۱۲ نمودار ثابت دی الکتریک کامپوزیت تولید شده در فرکانس باند x.



شکل ۱۳ نمودار تانژانت تلفات کامپوزیت تولید شده در فرکانس باند x.

- 8- Yan Y, Jia Z, Yang Y. Preparation and mechanical properties of PTFE/nano-EG composites reinforced with nanoparticles. *Procedia Environmental Sciences*. 2011 ;10:929-35.
- 9- Rajesh S, Nisa VS, Murali KP, Ratheesh R. Microwave dielectric properties of PTFE/rutile nanocomposites. *Journal of alloys and compounds*. 2009;477(1-2):677-82.
- 10- Sasikala TS, Sebastian MT. Mechanical, thermal and microwave dielectric properties of Mg₂SiO₄ filled Polytetrafluoroethylene composites. *Ceramics International*. 2016 ;42(6):7551-63.
- 11- Jiang H, Chen L, Chai S, Yao X, Chen F, Fu Q. Facile fabrication of poly (tetrafluoroethylene)/graphene nanocomposite via electrostatic self-assembly approach. *Composites science and technology*. 2014 ;103:28-35.
- 12- Shen JT, Top M, Pei YT, De Hosson JT. Wear and friction performance of PTFE filled epoxy composites with a high concentration of SiO₂ particles. *Wear*. 2015 ;322:171-80.
- 13- Gu A, Liang G. New approach to fabricate densified continuous fiber reinforced polytetrafluoroethylene composites with significantly improved interfacial bonding and mechanical properties. *Journal of applied polymer science*. 2007 ;104(6):3588-91.
- 14- Gu A, Liang G, Yuan L. Novel preparation of glass fiber reinforced polytetrafluoroethylene composites for application as structural materials. *Polymers for Advanced Technologies*. 2009;20(1):39-42.
- 15- Riul C, Canto RB, Tita V, Carvalho J. Process parameters investigation on the fibre-matrix adhesion of continuous fibres reinforced polytetrafluoroethylene (PTFE). In *Anais do 17th International Conference on Composite Materials, Edinburgh-UK 2009*.
- 16- Riul C, Tita V, De Carvalho J, Canto RB. Processing and mechanical properties evaluation of glass fiber-reinforced PTFE laminates. *Composites science and technology*. 2012 ;72(12):1451-8.
- 17- Jog JP. Solid state processing of polymers: A review. *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*. 1993;12(3):281-9.
- 18- Klaas NV, Marcus K, Kellock C. The tribological behaviour of glass filled polytetrafluoroethylene. *Tribology International*. 2005 ;38(9):824-33.
- 19- Andena L, Rink M, Polastri F. Simulation of PTFE sintering: Thermal stresses and deformation behavior. *Polymer Engineering & Science*. 2004;44(7):1368-78.
- 20- ASTM International. ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International; 2015.
- 21- ASTM-D5568 Standard Test Method for Measuring Relative Complex Permittivity and Relative Magnetic Permeability of Solid Materials at Microwave Frequencies using waveguide.
- 22- Jahier D. Le PTFE (polytétrafluoréthylène): présentation et applications. *Centre technique des industries mécaniques*; 1992.
- 23- Wu JJ, Buckley CP, O'Connor JJ. Mechanical integrity of compression-moulded ultra-high

بهترین نتیجه در فرآیند بهینه پخت، استحکام کششی برابر ۱۳۰ مگاپاسکال و مدول یانگ کششی ۳/۶۵ گیگاپاسکال است. بیشینه ثابت دی الکتریک و تانژانت تلفات که برای قطعه کامپوزیتی تفلون تقویت شده با الیاف شیشه بدست آمد به ترتیب برابر با ۲/۳۷ و ۰/۰۹۷ است.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این مورد را بیان نکردند.

تاییدیه اخلاقی: ما نویسندگان مقاله «طراحی، ساخت و بررسی خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت پلیمری تفلون تقویت شده با الیاف شیشه» با اعلام موافقت خود مبنی بر ارسال این مقاله به «نشریه مهندسی مکانیک مدرس» تعهد مینماییم که این مقاله در زمان ارسال برای این نشریه در هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی در حال بررسی نبوده و تا تعیین تکلیف قطعی در این نشریه برای هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی دیگری ارسال نخواهد شد.

تعارض منافع: مقاله حاضر تعارضی با سازمان یا اشخاص حقیقی و حقوقی ندارد.

سهم نویسندگان: ما نویسندگان این مقاله با آگاهی از غیرقابل تغییر بودن اسامی، اطلاعات و ترتیب درج نویسندگان (به هیچ عنوان نویسنده‌ای به این اسامی افزوده یا از آنها کاسته نمی‌شود) اعلام می‌کنیم که همگی در انجام کار پژوهشی منجر به تولید این مقاله یا نگارش این مقاله همکاری داشته‌ایم و نام هیچ نویسنده‌ای بدون همکاری موثر در تولید این مقاله قید نشده است. رضا سرخوش، پژوهشگر اصلی، تحلیلگر داده‌ها، نگارنده مقدمه، نگارنده بحث ۷۰ درصد و حمیدرضا زارعی، پژوهشگر اصلی، نگارنده بحث ۳۰ درصد

منابع مالی: هزینه‌های پژوهش از منابع مالی نویسندگان تأمین شده است.

منابع

- Guang, CS, Wang, WS, *Fluoropolymers and Their Applications*, Chemical Engineering Press. Beijing, China, 2004; Chapter 2.
- Aglan H, Gan Y, El-Hadik M, Faughnan P, Bryan C. Evaluation of the fatigue fracture resistance of unfilled and filled polytetrafluoroethylene materials. *Journal of materials science*. 1999;34(1):83-97.
- RT/duroid 5870/5880 High Frequency Laminates; Advanced Circuit Material; Rogers Corporation.
- Traut GR, inventor; Rogers Corp, assignee. Method of manufacture of improved radome structure. United States patent US 4,615,859. 1986.
- Ashby MF, Cebon D. Materials selection in mechanical design. *Le Journal de Physique IV*. 1993;3(C7):C7-1.
- Ebnesajjad S. non-Melt Processible Fluoroplastics. In *Fluoroplastics 2002* (Vol. 2, pp. 9-12). William Andrew Publishing NY.
- Li H, Yin Z, Jiang D, Huo Y, Cui Y. Tribological behavior of hybrid PTFE/Kevlar fabric composites with nano-Si₃N₄ and submicron size WS₂ fillers. *Tribology International*. 2014;80:172-8.

molecular weight polyethylene: effects of varying process conditions. *Biomaterials*. 2002 ;23(17):3773-83.

24- Friedrich K, Reinicke R, Zhang Z. Wear of polymer composites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2002 ;216(6):415-26.

25- Oshima A, Udagawa A, Tanaka S. Fabrication of polytetrafluoroethylene/carbon fiber composites using radiation crosslinking. *Radiation physics and chemistry*. 2001 ;62(1):77-81.