



بررسی فرایند پالتروژن کامپوزیت گرمانرم با الیاف طبیعی جوت پیوسته و مطالعه چگالی و خواص کششی مفتول تولید شده

حامد هدایتی ولیس¹، محمد گلزار^{2*}، هادی قربانی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

3- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* تهران، صندوق پستی 111-14115، m.golzar@modares.ac.ir

چکیده

کلیدواژگان

در این مقاله فرایند ساخت و برخی ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت تقویت شده با الیاف طبیعی پیوسته جوت و زمینه گرمانرم پلی‌اتیلن چگالی بالا و نشاسته بررسی شده است. برای تولید نمونه‌ها از فرایند پالتروژن استفاده شده است و الیاف جوت با عبور از قالب آغشته‌سازی روی دستگاه اکسترودر به پیش‌آغشته‌های کامپوزیتی به شکل مفتول تبدیل می‌شوند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پیش‌آغشته‌هایی که در حین آغشتگی از سه عدد بین عبور داده شده‌اند، نسبت به پیش‌آغشته‌هایی که بدون کمک بین و صرفاً با فشار اکسترودر آغشته شده‌اند، 19% کاهش استحکام داشته‌اند. همچنین استحکام پیش‌آغشته‌های با زمینه گرمانرم پلی‌اتیلن با چگالی بالا به مقدار 31% بیشتر از استحکام پیش‌آغشته‌های با زمینه گرمانرم نشاسته بوده است. استحکام کششی پیش‌آغشته‌های مفتولی با افزایش تعداد الیاف تقویت کننده از یک الیاف جوت به سه الیاف جوت، حدود 2/5 برابر افزایش یافته است. عکس میکروسکوپی آغشتگی بهتر پلی‌اتیلن با چگالی بالا را نسبت به گرمانرم نشاسته نشان می‌دهد. آغشتگی الیاف جوت با زمینه نشاسته نسبت به پلی‌اتیلن با چگالی بالا کمتر است به گونه‌ای که الیاف جوت در پیش‌آغشته با زمینه نشاسته در یک طرف و الیاف جوت در زمینه پلی‌اتیلن با چگالی بالا در طرف دیگر مفتول گرد قرار گرفته‌اند.

روژن الیاف طبیعی جوت
کامپوزیت با نشاسته
پیش‌آغشته‌های مفتولی

Pultrusion of thermoplastic composites by natural continuous jute -study of density and tensile properties round prepregs-

Hamed Hedayati Velis, Mohamad Golzar*, Hadi Ghorbani

Department of Mechanical Engineering, TarbiatModares University, Tehran, Iran

* P.O.B.14115-111, Tehran, Iran. M.Golzar@modares.ac.ir

Keywords

Pultruded natural jute fiber
Starch thermoplastic composite
Wire shape prepreg

Abstract

In this paper manufacturing process and mechanical properties has been investigated in Pultrusion process using natural jute fiber HDPE and starch. Pultrusion process has been used for manufacture of wire shape prepregs. Natural jute fiber has been impregnated in impregnation die using extruder. The results show tensile strength has been decreased up to 19% in wire shape prepregs that produced using three impregnated pin in comparison to no pin. Also tensile strength of wire shape prepregs that has been produced using HDPE are 31% higher than wire shape prepregs with starch matrix. By increasing number of jute up to 3 fibers, Tensile strength has been increased up to multiple 2.. Impregnation of wire shape prepreg with starch matrix shows less jute impregnation than HDPE matrix. So that Jute has been exposure on one side and starch has been exposure other side and jute has been exposure symmetric in the HDPE matrix.

1- مقدمه

فرایند پالتروژن با عبور الیاف از یک حمام رزین، آغشتگی الیاف به رزین رخ می‌دهد. با عبور الیاف آغشته شده از یک قالب گرم، حرارت و فشار مورد نیاز برای تولید پروفیل با مقطع ثابت تأمین

پالتروژن یک فرایند تولید با سرعت بالا برای تولید کامپوزیت-های با مقطع ثابت تقویت شده با الیاف پیوسته می‌باشد. در

Please cite this article using:

H. Hedayati Velis, M. Golzar, H. Ghorbani, Pultrusion of thermoplastic composites by natural continuous jute -study of density and tensile properties round prepregs-, *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 63-71, 2015 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

همکارانش با استفاده از الیاف کف به عنوان تقویت کننده و زمینه پلی استر به عنوان زمینه در فرایند پالترژن نمونه‌هایی تولید نمودند. سپس برای بررسی اثر محیط بر روی نمونه‌ها، این نمونه‌ها در آب مقطر، آب دریا و اسید، در زمان‌های مختلف قرار داده شد و میزان رطوبت جذب شده اندازه‌گیری شد. انجام آزمون کشش نشان داد که کمترین استحکام کششی، مربوط به قطعه‌ای است که در اسید قرار داده شده است و قطعه‌ای که در آب دریا قرار داده شده است کمترین جذب آب را داشته است [11]. آکیل و همکارانش با استفاده از زمینه گرما سخت پلی استر و الیاف طبیعی جوت و پارچه شیشه و الیاف طبیعی جوت و پارچه شیشه نمونه‌هایی طبق لایه چینی خاصی تولید نمودند که در همه‌ی نمونه‌ها کسر جرمی الیاف شیشه 25 درصد و کسر حجمی الیاف کف و جوت در دو نمونه، 45 درصد بوده است. با انجام تست خمش، بیشترین استحکام خمشی مربوط به نمونه‌های تولیدی با لایه چینی الیاف جوت و پارچه‌ی شیشه گزارش شده است [12].

با این پیشینه پژوهشی دیده شد که بررسی خواص فیزیکی و کششی محصولات پالترژن با مواد طبیعی به ندرت انجام شده است. بنابراین با توجه به اهمیت استفاده از مواد طبیعی در محصولات مهندسی در این مقاله تولید پیش‌آغشته مفتولی با الیاف پیوسته طبیعی جوت و نشاسته ذرت از روش پالترژن بررسی و علاوه بر آن تأثیر تعداد بین‌های آغشته کننده در قالب تولید پیش‌آغشته‌های مفتولی، بر روی استحکام کششی آن‌ها بررسی شده است.

2- روابط نظری

ماده‌ی مرکب شامل ماتریس و الیاف تقویت کننده است. برای محاسبه کسر جرمی الیاف و زمینه از روابط (1) و (2) استفاده شده است.

$$W_f = \frac{m_f}{m_c} \quad (1)$$

$$W_m = \frac{m_m}{m_c} \quad (2)$$

که W_f ، W_m ، m_c ، m_m و m_f به ترتیب برابر کسر جرمی الیاف تقویت کننده، کسر جرمی ماتریس، جرم کامپوزیت، جرم زمینه و جرم الیاف تقویت کننده می‌باشد. با توجه به اینکه مجموع کسر جرمی الیاف و زمینه برابر جرم کامپوزیت است، رابطه (3) نیز برقرار است.

$$W_f + W_m = 1 \quad (3)$$

چگالی یک ماده مرکب بر اساس کسرهای جرمی الیاف و

می‌شود. این الیاف با سرعت مشخصی از درون قالب کشیده می‌شود و در انتها یک اره برش، محصول تولید شده را در اندازه‌های مشخصی برش می‌دهد [1]. توسعه عمده فرایند پالترژن در اوایل دهه 50 انجام شد و در سال 1951 توسط باراند گلد به ثبت رسید. پالترژن یک فرایند ساده، کم هزینه، پیوسته و تمام اتوماتیک است که در آن الیاف آغشته شده به رزین با سرعت ثابت در یک قالب گرم کشیده می‌شود. معمولاً قطعات بدست آمده از پالترژن دارای صافی سطح تمام شده‌ی خوبی هستند و نیازی به عملیات پرداخت کاری مجدد ندارند. سرعت رشد سالانه تولید به روش پالترژن هرساله بین 17 تا 20% بیشتر از سال قبل است [2-5]. موارد استفاده از الیاف طبیعی جوت با استفاده از فرایند پالترژن در صنایع خوردوسازی و ساختمان‌سازی می‌باشد [6،7]. در این مقاله خواص مکانیکی قطعات پیش‌آغشته مفتولی که از الیاف پیوسته جوت با گرمانرم نشاسته و گرمانرم پلی‌اتیلن با چگالی بالا پالترژد شده است، بررسی شده و نتایج آزمون کشش این پیش‌آغشته‌ها با یکدیگر مقایسه شده است.

از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، می‌توان به کار وگان و همکارانش اشاره کرد. او با استفاده از الیاف گرافیت و زمینه گرمانرم پلی اتر کتون، قطعات پالترژنی تولید کرد که در آن از پیش‌آغشته‌هایی که به روش تزریقی تولید شده، استفاده شده است. آنها دریافتند که سرعت کششی، دمای پیش گرم و نرخ خنک‌کاری مهمترین پارامترهای تأثیرگذار فرایند در تمام مراحل تولید محصولات پالترژنی است. در این تحقیق مشخص شد دمای پیش گرم تأثیرزبادی بر روی آغشتگی محصول نهایی دارد و با افزایش دمای پیش گرم، خواص محصول نهایی بهبود می‌یابد [8]. کارلسونو آستریم به بررسی محصولات پالترژنی تولید شده با الیاف شیشه و زمینه پلی پروپیلن پرداختند و تأثیر پارامترهای سرعت کششی، دمای قالب، دمای خنک‌کاری و دمای پیش گرم بر روی کیفیت سطح، استحکام خمشی و مدول خمشی را بررسی کردند. آنها دریافتند که با افزایش دمای پیش گرم کیفیت سطح کاهش می‌یابد و با افزایش سرعت کششی کیفیت سطح بالا می‌رود [9].

احمد و همکارانش به بررسی فرایند پالترژن با استفاده از الیاف کوتاه کف و نشاسته درخت خرما پرداختند سپس با انجام آزمون جذب آب و اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها در روزهای مختلف به این نتیجه رسیدند که با گذشت زمان میزان جذب رطوبت بیشتر می‌شود و همچنین میزان جذب رطوبت با درصد الیاف کف رابطه‌ی مستقیم دارد؛ بطوری که با افزایش درصد الیاف کف، میزان جذب رطوبت بیشتر می‌شود [10]. نورلین و

جدول 1 داده‌هایی مدول الاستیسیته [15]

Table 1. Natural fiber Modulus of elasticity [15]				
$\frac{m}{E_{f0}} (\frac{\%}{\mu m})$	$E_{f0}(\text{GPa})$	$m(\frac{\text{GPa}}{\mu m})$	تعداد الیاف	الیاف
2/2	150/56	3/2991	90	ننل
1/6	86/028	1/3781	77	فلکس
0/61	45/276	0/2781	78/5	جوت

او از چندین الیاف جوت با قطرهای متفاوت تست کشش گرفت و رابطه‌ای با توجه به قطر رشته‌های الیاف پیشنهاد کرد [15].

$$E_{f0} = 98.88 - 17.28 \ln(d_m) \quad (14)$$

3- مواد و تجهیزات آزمایش

برای تولید پیش‌آغشته‌ها از قالبی که توسط ذوالفقاری [16]، در دانشگاه تربیت مدرس ساخته شده است استفاده گردید. ابتدا الیاف تقویت کننده در محفظه‌ی آغشته‌سازی و به کمک دستگاه اکسترودر به پلاستیک آغشته شد. در شکل 1 شماتیکی از فرایند آغشته سازی نشان داده شده است. در این مرحله پلاستیک مذاب به وسیله‌ی فشار اکسترودر از چهار شیار به ضخامت 0/4 میلی‌متر و طول 25 میلی‌متر با شدت خارج شده و بین سه الیاف طبیعی جوت نفوذ کرده است. بعد از عبور از روی شیارها الیاف طبیعی جوت از روی پین عبور داده شده‌اند تا اثر آغشته‌سازی توسط پین بررسی شود. پیش‌آغشته‌ها در سه حالت تولید شده‌اند، یک بار الیاف طبیعی جوت از روی یک پین، باردیگر سه پین و نهایتاً الیاف بدون استفاده از پین از حمام گرمانرم عبور داده شده است.

در این مقاله، از الیاف طبیعی جوت با چگالی خطی 432 گرم بر کیلومتر و استحکام کششی 260 مگاپاسکال استفاده شد. مدول الاستیسیته الیاف طبیعی جوت از رابطه (14) 34/5 گیگا پاسکال محاسبه گردید. همچنین از زمینه گرمانرم پلی‌اتیلن با چگالی بالا با استحکام کششی 22 مگاپاسکال و مدول الاستیسیته‌ی 1 گیگا پاسکال و از زمینه گرمانرم نشاسته با استحکام کششی 6/5 مگاپاسکال و مدول الاستیسیته 1/15 گیگاپاسکال استفاده شده است.

در شکل 2- الف قالب آغشته‌سازی نشان داده شده است که دارای چهار لقمه است که این لقمه‌ها در کنار هم چهار شیار جهت عبور گرمانرم ایجاد می‌نماید. برای تولید پیش‌آغشته مفتولی با زمینه گرمانرم پلی‌اتیلن با چگالی بالا از این روش آغشته‌سازی استفاده شده است. برای تولید پیش‌آغشته مفتولی با زمینه گرمانرم نشاسته، لقمه‌های قالب برداشته شد. شماتیک لقمه‌ها و قالب در

ماتریس بر اساس رابطه (4) بدست می‌آید.

$$\frac{1}{\rho_f} = \frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_m}{\rho_m} \quad (4)$$

که در اینجا ρ_c ، ρ_f و ρ_m به ترتیب برابر چگالی کامپوزیت، الیاف و زمینه می‌باشد.

روابط (5 و 6) برای کسر حجمی الیاف و زمینه استفاده می‌شود.

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} W_f \quad (5)$$

$$V_m = \frac{\rho_c}{\rho_m} W_m \quad (6)$$

که ρ_c ، ρ_f و ρ_m به ترتیب برابر چگالی الیاف، چگالی کامپوزیت و چگالی زمینه می‌باشد.

در جهت طولی الیاف، کرنش ماتریس، الیاف و کامپوزیت با هم برابر است ($\epsilon_{c1} = \epsilon_m = \epsilon_f$) در این جهت نیرویی که ماتریس تحمل می‌کند برابر است با مجموع نیروهایی که الیاف و ماتریس تحمل می‌کند ($F_{c1} = F_f = F_m$).

$$\sigma_{c1} = \sigma_f V_f = \sigma_m V_m \quad (7)$$

مدول الاستیسیته از رابطه تنش بدست می‌آید ($\sigma = E\epsilon$).

$$E_{c1} \epsilon_{c1} = E_f \epsilon_f V_f + E_m \epsilon_m V_m \quad (8)$$

چون کرنش‌ها برابر است کرنش‌ها در معادله حذف شده و رابطه‌ی قانون مخلوطها (9) حاصل می‌شود [13].

$$E_{c1} = E_f V_f + E_m V_m \quad (9)$$

در توسعه رابطه قانون مخلوطها برای الیاف طبیعی، ضرایب تصحیح η_1 ، η_0 و η_d به این رابطه اضافه می‌شود (10 و 11). ضریب η_1 شناسه طول الیاف است که عددی بین صفر و یک است. چنانچه الیاف پیوسته باشند، این ضریب برابر عدد 1 است. ضریب η_0 اثر جهت پیچش الیاف است که به زاویه‌ی پیچش رشته‌های الیاف نسبت به هم یعنی (q) بستگی دارد که مطابق رابطه (12) بدست می‌آید [14].

$$\sigma_{c1} = \eta_0 \eta_1 \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad (10)$$

$$E_{c1} = \eta_d \eta_0 \eta_1 E_f V_f + E_m V_m \quad (11)$$

$$\eta_0 = \cos^2 q \quad (12)$$

ضریب η_d که در رابطه‌ی (11) استفاده شده است، اثر قطر الیاف می‌باشد، زیرا الیاف طبیعی دارای سطح مقطع دایروی نیستند که از رابطه‌ی (13) بدست می‌آید.

$$\eta_d = 1 - m \frac{d_m}{E_{f0}} \quad (13)$$

ضریب d_m قطر رشته‌های الیاف می‌باشد و m و E_{f0} از جدول 1 بدست می‌آید.

سامرسکل برای تخمین مدول الاستیسیته الیاف رابطه‌ی (14) را پیشنهاد نمود.

برای آزمون کشش الیاف طبیعی جوت از دستگاه اینسترون¹ 5566 (در دانشکده نساجی دانشگاه امیرکبیر) و از استاندارد ASTM D2256 استفاده شد. آزمون کشش پیش‌آغشته‌های کامپوزیتی از دستگاه اینسترون 5500 استفاده گردید. قسمت‌های ابتدایی و انتهایی نمونه‌های پیش‌آغشته شده با رزین اپوکسی قالب‌گیری شد تا فشار فک به نمونه‌ها آسیبی وارد نکند. طول آزاد بین فک‌ها 14 سانتی‌متر بود و تست کشش با سرعت 2 میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. در شکل 3 ناحیه شکست یکی از نمونه‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در این تصویر مشخص است ناحیه شکست دور از قسمت اتصال فک‌ها می‌باشد. جدول 2 متغیرهای این تحقیق را معرفی می‌کند. متغیرها و تنظیمات مربوط به پالتروژن هر کدام از نمونه‌ها را نشان می‌دهد. این متغیرها عبارتند از: 1- تعداد الیاف جوت 2- تفاوت در زمینه‌ی کامپوزیت 3- عبور الیاف‌ها از روی پین.

4- نتایج

در شکل 4 عکس‌های میکروسکوپی از مقاطع نمونه‌های تولید شده با پالتروژن در این پژوهش نشان داده شده است، که به شکل پیش‌آغشته مفتولی هستند. شکل 4-الف مقطع کامپوزیت سه عدد الیاف جوت با پلی‌اتیلن چگالی بالا و عکس 4-ب این الیاف را در زمینه‌ی نشاسته نشان می‌دهد.



Fig. 3 Tensile Failure of impregnated jute composite

شکل 3 ناحیه شکست پیش‌آغشته در تست کشش

شکل 2-ب آورده شده است. گرمانرم نشاسته با عبور از شیارهای با عرض 0/4 میلی‌متر به دلیل نرخ برشی بالا و بالا بودن لزجت، دچار سوختگی و تجزیه شدن می‌گردد. بنابراین لقمه‌ها از قالب برداشته شد تا فضای خروج مذاب بیشتر شود.

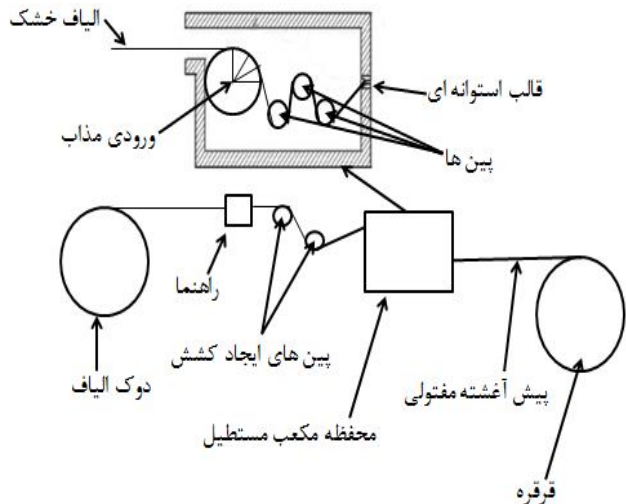


Fig. 1 Schematic of impregnation in plustrusion

شکل 1 شماتیکی از فرایند پالتروژن

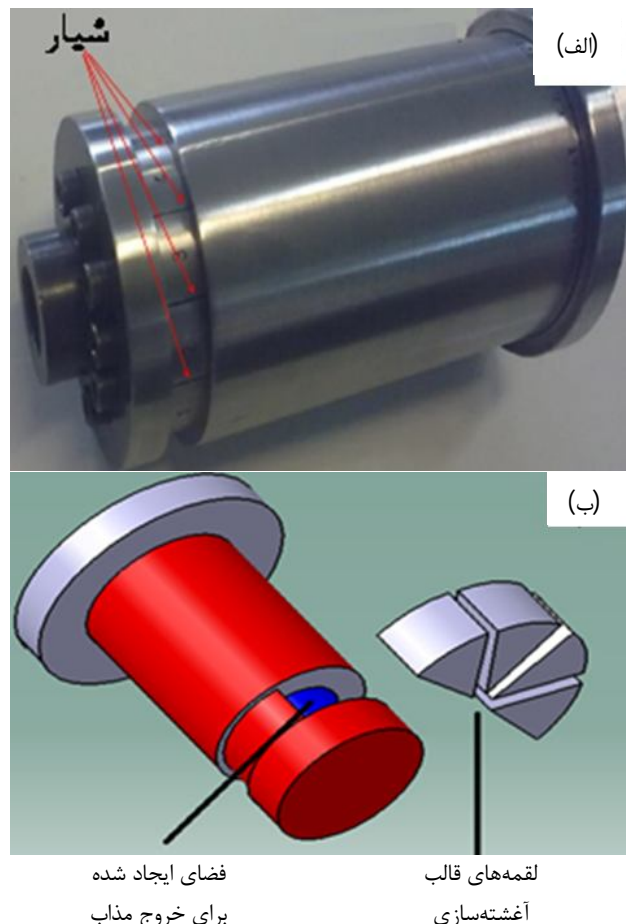


Fig. 2 a) Impregnation die b) schematic of die inserts

شکل 2 الف) قالب آغشته‌سازی [16] ب) شماتیکی از قالب آغشته‌سازی و لقمه‌های خروجی

¹ Instron

گرمانرم به خوبی درون هر کدام از رشته‌ها نفوذ نکرده است. الیاف جوت در زمینه پلی‌اتیلن با چگالی بالا نسبت به نشاسته توزیع یکنواخت تریدارند، الیاف جوت در نشاسته در یک سمت نمونه تجمع یافته‌اند. دلیل این موضوع لزجت بالای نشاسته می‌باشد که از حرکت کردن الیاف جوت برای قرار گیری در یک موقعیت مناسب جلوگیری کرده است. همان‌طور که در شکل (ب) مشخص است، حفره‌هایی در جوت و نشاسته وجود دارد. در هر دو محصول مقطع کاملاً گرد نیست که به دلیل نبود کالیبراتور بعد از خروجی قالب است و باعث می‌شود سطح مقطع بر اثر انقباض حالت دایروی خود را از دست دهد. در شکل 5 تصویر الیاف جوت خشک قبل از آغستگی با زمینه گرمانرم آورده شده است که با توجه به این تصویر قطر یک ریز رشته الیاف برابر 73 میکرومتر بدست آمده است. نمونه بالای شکل 5 با مقیاس 20 میکرون سطح یک رشته رابزرگ‌نمایی کرده است، در حالی که در پایین شکل 5 زاویه ریزرشته‌ها و قطر الیاف و تعداد ریزرشته‌ها بدست می‌آید. نمونه‌هایی از الیاف جوت پیوسته برای بررسی خواص کششی آزمایش شد. در شکل 6 نمودار تنش کششی-کرنش الیاف خشک جوت قبل از آغستگی آورده شده است.

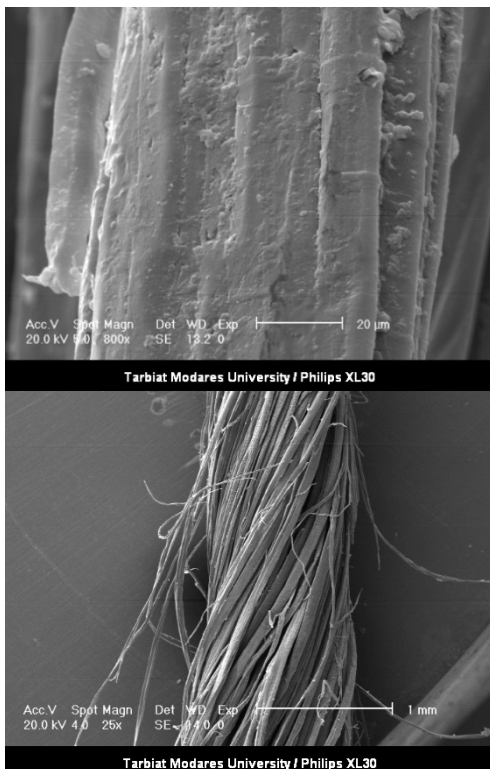


Fig.5 SEM from dry jute fibre

شکل 5 تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از الیاف جوت خشک

مدول الاستیسیته تقریباً برابر 10 گیگا پاسکال از روی شیب

جدول 2 متغیرهای تولید نمونه‌ها
Table 2 Samples process and materials properties

عنوان نمونه	تعداد الیاف جوت پیوسته	زمینه کامپوزیت	پین در قالب	کسر جرمی الیاف
3jp	3	پلی‌اتیلن با چگالی بالا	0	0/63
2jp	2	پلی‌اتیلن با چگالی بالا	0	0/46
1jp	1	پلی‌اتیلن با چگالی بالا	0	0/24
3js	3	نشاسته	0	0/51
3jp3	3	پلی‌اتیلن با چگالی بالا	3	0/62
3jp1	3	پلی‌اتیلن با چگالی بالا	1	0/63

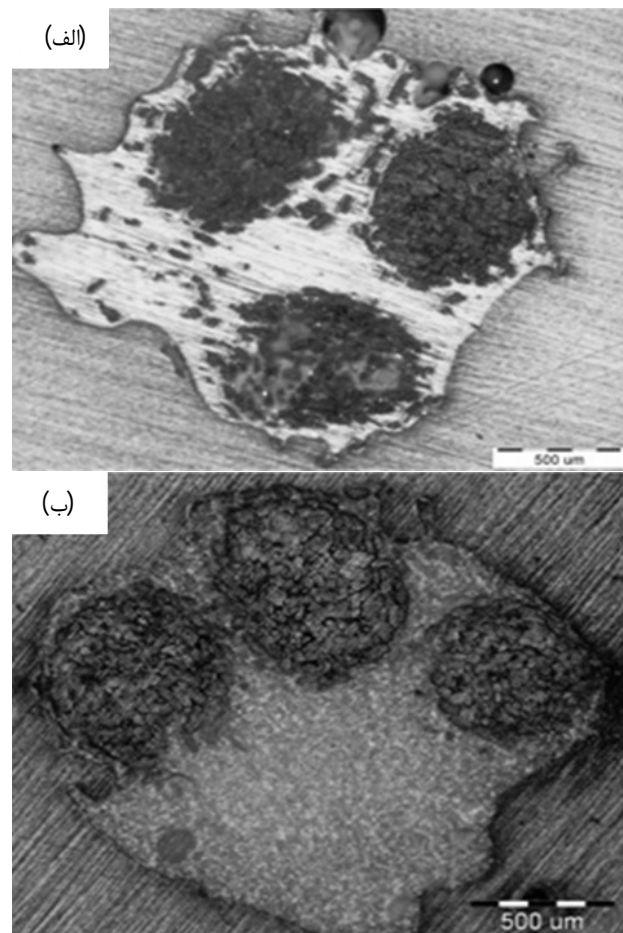


Fig. 4 Microscopic view of jut fiber composite cross section
a) Jute/HDPE b) Jute/starch

شکل 4 تصویر میکروسکوپی از کامپوزیت الیاف طبیعی جوت با زمینه (الف) پلی‌اتیلن با چگالی بالا (ب) نشاسته

همان‌طور که در شکل نمایان است گرمانرم بین سه الیاف نفوذ کرده است، ولی به خاطر بافت ریز رشته‌های الیاف جوت،

در شکل 8 نمودار تنش کششی- کرنش پیش‌آغشته‌های مفتولی آورده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است با عبور الیاف از روی پین، استحکام کششی نمونه کاهش یافته است زیرا با عبور الیاف از روی پین، نیروی زیادی به الیاف وارد می‌شود الیاف با عبور از روی پین، پین‌ها را به گردش در می‌آورد که این موضوع باعث افزایش نیروی وارده به الیاف می‌شود. که در این حالت ممکن است رشته‌های الیاف پاره شود و بنابراین، این نمونه‌ها در آزمایش کشش، نیروی کمتری تحمل می‌کند. اختلاف کاهش استحکام از الیاف جوت که از روی سه پین عبور داده شده است به الیاف جوتی که از روی پینی عبور داده نشده است تقریباً برابر 26 مگاپاسگال می‌باشد که برابر 19% است. در شکل 9 نمودار تنش کرنش الیاف جوت آغشته شده به پلی‌اتیلن و الیاف جوت آغشته شده به نشاسته که از روی هیچ پینی عبور داده نشده است، نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، استحکام الیاف آغشته شده به پلی‌اتیلن بیشتر از الیاف آغشته شده به نشاسته است.

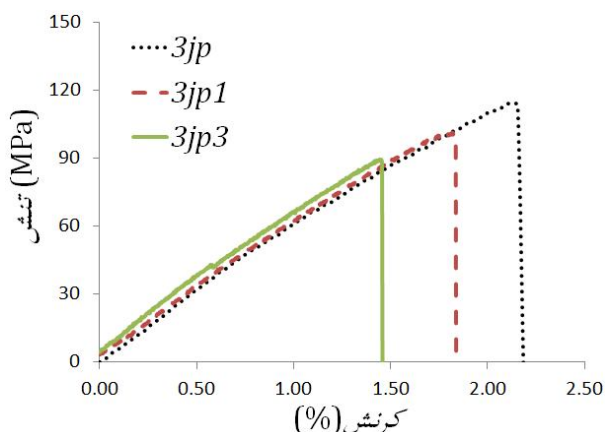


Fig. 8 Tensile stress strain of round prepregs passing over one three and no pin

شکل 8 نمودار تنش کرنش کششی از پیش‌آغشته‌های مفتولی بدون عبور از پین، عبور از روی یک پین و عبور از روی سه پین

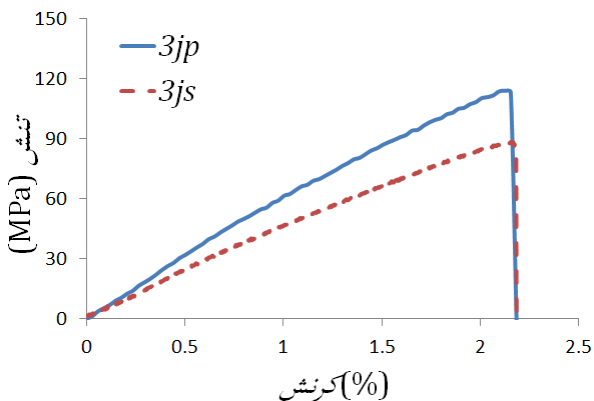


Fig. 9 Prepregs tensile stress strain with two matrices

شکل 9 نمودار تنش کرنش کششی از پیش‌آغشته مفتولی با زمینه‌های متفاوت

منحنی بدست آمده است، ولی با توجه به رابطه (14) مدول الاستیسیته برای قطر 73 میکرومتر برابر $24/3$ گیگا پاسکال شده است. ویرک ضریب $1/42$ را برای ضریب تصحیح سطح در مدول الاستیسیته پیشنهاد نموده است [17] که با توجه به این ضریب تصحیح، مدول الاستیسیته الیاف برابر $34/5$ گیگاپاسکال بدست می‌آید. استحکام کششی الیاف جوت خشک تقریباً برابر 183 مگاپاسکال بدست آمده که با در نظر گرفتن ضریب تصحیح، این استحکام برابر 260 بدست می‌آید. این نتیجه مطابق با نمودار پیشنهادی استحکام کششی الیاف جوت با قطرهای متفاوت می‌باشد که بویتوری پیشنهاد نموده است. در شکل 7 نمودار تنش کششی برای قطرهای متفاوت که بویتوری پیشنهاد نموده است آورده شده است [18]. با توجه به قطر $0/073$ میلی‌متر برای یک رشته الیاف جوت، این استحکام در محدوده‌ی مجاز قرار می‌گیرد. پس از تولید نمونه‌هایی با شکل ابعادی گرد و آغشتگی مناسب جهت بررسی استحکام و سفتی آزمایش کشش ساده برای نمونه‌ها مفتولی انجام شد.

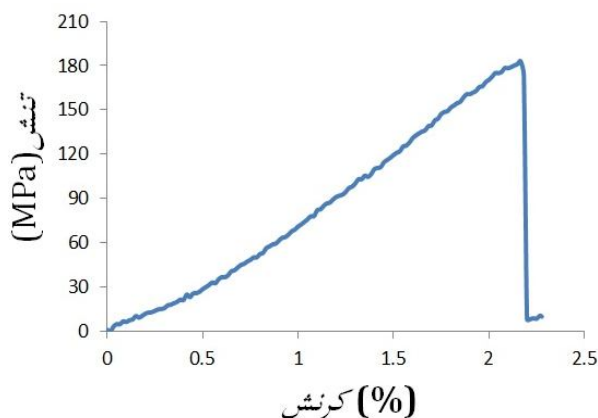


Fig. 6 Tensile stress strain of dry jute fibre

شکل 6 نمودار تنش کرنش کششی از الیاف جوت

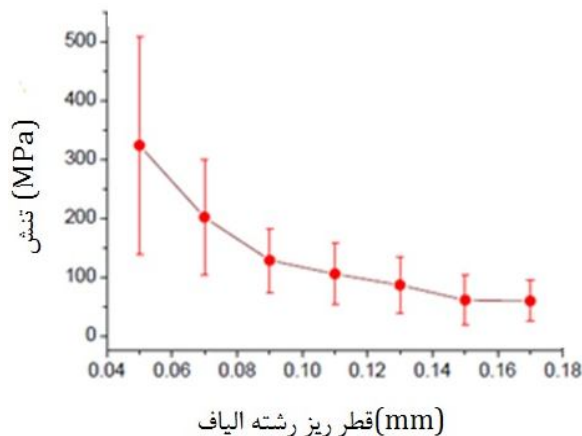


Fig. 7 Ultimate tensile stress vs. different jute fibre diameter [18]

شکل 7 نمودار تنش کششی برای قطرهای مختلف جوت [18]

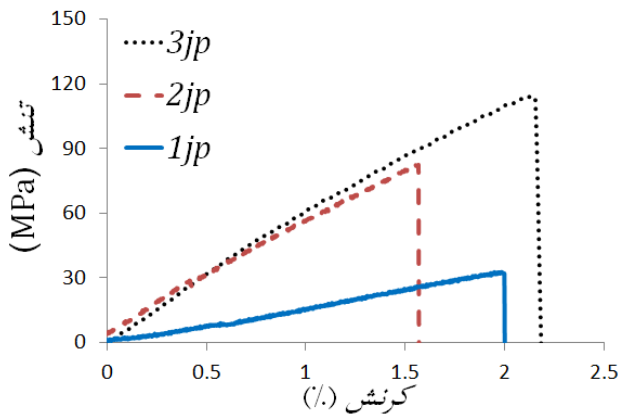


Fig. 10 Tensile stress strain impregnated one two and three jute fibres
 شکل 10 نمودار تنش کششی- کرنش از پیش‌آغشته‌های مفتولی با تعداد الیاف متفاوت

Table 3 Impregnated jute fibre fraction and density

جدول 3 خصوصیات فیزیکی پیش‌آغشته مفتولی

چگالی نمونه	کسر حجمی الیاف	کسر حجمی زمینه	عنوان
1/24	0/52	0/48	3jp
1/15	0/35	0/65	2jp
1/04	0/16	0/78	1jp
1/34	0/45	0/55	3js
1/24	0/52	0/48	3jp3
1/24	0/52	0/48	3jp1

Table 4. Impregnated jute tensile elastic and ultimate properties

جدول 4 خصوصیات مکانیکی پیش‌آغشته مفتولی

عنوان نمونه	تنش کششی تجربی	مدول الاستیسیته تجربی	تنش کششی تئوری	مدول الاستیسیته تئوری
3jp	116	6/3	119	11/93
2jp	82	5/2	87	8/47
1jp	33	1/65	51/76	4/41
3js	88	5/52	97	10/7
3jp3	89	7	119	11/93
3jp1	101	6	119	11/93

همان‌طور که از جدول 4 مشخص است مدول الاستیسیته تئوری و تنش کششی تئوری از حالت تجربی بیشتر است، زیرا در حالت تئوری از وجود حباب هوا صرف نظر شده است. اختلاف مقادیر مدول الاستیسیته در حالت تجربی و تئوری زیاد است؛ این اختلاف موید این است که این فرمول نتوانسته مدول الاستیسیته را پیش‌بینی کند. همان‌طور که پیش‌تر گفته شده است با افزایش الیاف، استحکام کششی افزایش یافته است که

این موضوع، به دلیل تفاوت خصوصیات مکانیکی دو زمینه و هم چنین آغشته‌سازی بهتر پلی‌اتیلن می‌باشد. آغشته‌سازی پلی‌اتیلن ممکن است به این دلیل بهتر از نشاسته باشد چون لزجت گرمانرم پلی‌اتیلن نسبت به نشاسته کمتر است و راحت‌تر بین سه الیاف نفوذ می‌کند. همچنین زمینه گرمانرم نشاسته، دارای مقدار کمی پلی‌پروپیلن می‌باشد که زمینه‌های گرمانرم پلی‌پروپیلن و نشاسته، فازاتصال خوبی با الیاف جوت برقرار نمی‌کنند و بنابراین در آزمون کشش از هم جدا شده و یکنواختی کمتری ایجاد می‌کنند. با توجه به تصویر میکروسکوپی پیش-آغشته در شکل 4، الیاف جوت در پلی‌اتیلن با چگالی بالا، در یک چیدمان مثلثی و تقریباً در حالت متساوی الاضلاع قرار دارند در حالی که در زمینه نشاسته، الیافها تقریباً به صورت مثلث متساوی الساقین قرار گرفته‌اند. این باعث توزیع بهتر تنش بین الیافها در حالت مثلث متساوی الاضلاع می‌شود و استحکام بهایی را افزایش می‌یابد.

می‌توان با افزودن تعداد الیاف جوت در تولید نمونه‌ها اثر نسبت جرمی یا حجم الیاف را در چگالی و خواص کششی مشاهده کرد. در شکل 10 تأثیر افزایش تعداد الیاف در پیش-آغشته مفتولی آورده شده است. همان‌طور که از قانون مخلوطها استفاده می‌شود، افزایش استحکام و سفتی با افزایش تعداد الیاف در این نمودار همخوانی دارد. با افزایش تعداد الیاف که معرف افزایش کسر حجمی الیاف می‌باشد استحکام نهایی پیش‌آغشته مفتولی افزایش می‌یابد. افزایش استحکام از یک الیاف آغشته شده به سه الیاف آغشته شده تقریباً برابر 84 مگاپاسگال می‌باشد؛ به عبارت دیگر، پیش‌آغشته‌هایی که با در آنها از سه الیاف استفاده شده است، نسبت به پیش‌آغشته‌هایی که با یک الیاف جوت تقویت شده اند، 262% رشد استحکام کششی داشته اند.

پس از اندازه‌گیری چگالی کامپوزیت در اینجا با روابط نظری مقایسه می‌شود. در جدول 3 برخی خصوصیات فیزیکی پیش‌آغشته‌های کامپوزیتی مورد نیاز آورده شده است. با افزایش تعداد الیاف، کسر حجمی الیاف افزایش یافته است که بیشترین کسر حجمی الیاف مربوط به سه الیاف جوت با زمینه گرمانرم پلی‌اتیلن با چگالی بالا می‌باشد.

در جدول 4 خصوصیات مکانیکی پیش‌آغشته‌های مفتولی آمده است. برای به کارگیری روابط نظری و قانون مخلوطها باید باتوجه به رابطه (13)، η_d برابر 0/81 و با توجه به رابطه (12)، η_0 برابر 0/8 بدست آمده است و با توجه به پیوسته بودن الیاف جوت η_1 برابر یک در نظر گرفته شده است.

- polymerization in the manufacturing of polymeric composite materials, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, Vol. 40, pp. 549-553, 2011.
- [4] M. Sarrionandia, I. Mondragón, S. M. Moschiar, M. M. Reboredo, and A. Vázquez, Heat transfer for pultrusion of a modified acrylic/glass reinforced composite, *Polymer composites*, Vol. 23, pp. 21-27, 2002.
- [5] C.-C. M. Ma, M.-S. Yn, C.-H. Chen, and C.-L. Chiang, Processing and properties of pultruded thermoplastic composites (I), *Composites Manufacturing*, Vol. 1, pp. 191-196, 1990.
- [6] M. Zaki Abdullah, Y. Dan-mallam, and P. S. M. Megat Yusoff, Effect of Environmental Degradation on Mechanical Properties of Kenaf/Polyethylene Terephthalate Fiber Reinforced Polyoxymethylene Hybrid Composite, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2013, 2013.
- [7] B.-H. Lee, H.-S. Kim, S. Lee, H.-J. Kim, and J. R. Dorgan, Bio-composites of kenaf fibers in polylactide: Role of improved interfacial adhesion in the carding process, *Composites Science and Technology*, Vol. 69, pp. 2573-2579, 2009.
- [8] J. G. Vaughan, T. W. Dillard, and E. Seal, A characterization of the important parameters for graphite/PEEK pultrusion, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 3, pp. 131-149, 1990.
- [9] A. Carlsson and B. T. Åström, Experimental investigation of pultrusion of glass fibre reinforced polypropylenecomposites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 29, pp. 585-593, 1998.
- [10] Z. Ahmad, N. H. A. Razak, N. S. M. Roslan, and N. Mosman, Evaluation of Kenaf Fibres Reinforced Starch Based Biocomposite Film through Water Absorption and Biodegradation Properties, *Journal of Engineering Science*, Vol. 10, pp. 31-39, 2014.
- [11] N. Nosbi, H. M. Akil, Z. M. Ishak, and A. A. Bakar, Degradation of compressive properties of pultruded kenaf fiber reinforced composites after immersion in various solutions, *Materials & Design*, Vol. 31, pp. 4960-4964, 2010.
- [12] H. M. Akil, I. M. De Rosa, C. Santulli, and F. Sarasini, Flexural behaviour of pultruded jute/glass and kenaf/glass hybrid composites monitored using acoustic emission, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 527, pp. 2942-2950, 2010.
- [13] A. K. Kaw, *Mechanics of composite materials*: CRC press, 2010.
- [14] J. Summerscales, A. Virk, and W. Hall, A review of bast fibres and their composites: Part 3—Modelling, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 44, pp. 132-139, 2013.
- [15] J. Summerscales, W. Hall, and A. S. Virk, A fibre diameter distribution factor (FDDF) for natural fibre composites, *Journal of materials science*, Vol. 46, pp. 5876-5880, 2011.
- [16] A. Zolfaghari, *Manufacturing hybrid wood plastic composites with continuous fiber and evaluation of their mechanical properties*, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, phd thesis, 2013 (In Persian).
- [17] A. S. Virk, W. Hall, and J. Summerscales, Modulus and strength prediction for natural fibre composites, *Materials Science and Technology*, Vol. 28, pp. 864-871, 2012.
- [18] A. Bevitori, I. Da Silva, F. Lopes, and S. Monteiro, Diameter dependence of tensile strength by Weibull analysis: Part II jute fiber, *Matéria (Rio de Janeiro)*, Vol. 15, pp. 117-123, 2010.

مطابق با قانون مخلوطها می باشد. بیشترین استحکام کششی مربوط به سه الیاف جوت که از روی هیچ پینی عبور داده نشده است، می باشد و بیشترین مدول الاستیسیته مربوط به 3 الیاف جوت که از روی سه پین عبور داده شده است، می باشد. البته همان طور که در مقدمه در باره الیاف طبیعی و پیوسته جوت توضیح داده شد خواص کششی این الیاف در حالت خشک و در حالت آغشته با کامپوزیت در قانون مخلوطها نیاز به تصحیح دارد.

5- نتیجه گیری

این مقاله به تولید و بررسی روش ساخت کامپوزیت گرمانرم با الیاف طبیعی پیوسته جوت پرداخته است. پس از گزارش روش پالترژن و شرایط تولید، نمونه هایی تولید و بررسی شد. با توجه به نتایجی که بدست آمد استحکام محصولات پیش آغشته با افزایش تعداد الیاف، افزایش یافته است این افزایش استحکام از 24% کسر جرمی الیاف تا 63% کسر جرمی الیاف به مقدار 262% افزایش یافته است. این نتیجه با قانون مخلوطها همخوانی خوبی دارد. پیش آغشته هایی که در حین آغشتگی از سه عدد پین عبور داده شده اند، نسبت به پیش آغشته هایی که بدون کمک پین و صرفاً با فشار اکسترودر آغشته شده اند، 19% کاهش استحکام داشته اند، زیرا با عبور الیاف از روی پین، نیروی زیادی به الیاف وارد می شود که احتمال پاره شدن رشته های آن را بالا برده و در نتیجه باعث کاهش استحکام نمونه ها می شود. استحکام پیش-آغشته مفتولی با زمینه پلی اتیلن با چگالی بالا به مقدار 28 مگاپاسکال بیشتر از پیش آغشته با زمینه نشاسته می باشد که این اختلاف تنش گواه بر این است که استحکام پیش آغشته مفتولی با زمینه پلی اتیلن با چگالی بالا به میزان 31% بیشتر از پیش آغشته مفتولی با زمینه نشاسته می باشد. با توجه به عکس میکروسکوپی مقاطع پیش آغشته ها، الیاف جوت در حالت متقارن در زمینه پلی اتیلن با چگالی بالا پخش شده است ولی الیاف جوت در زمینه نشاسته به صورت نامتقارن قرار گرفته است به نوعی که الیافها در یک سمت و زمینه گرمانرم نشاسته در سمت دیگر قرار گرفته اند.

6- مراجع

- [1] m. tutunchi, *Design and manufactured of circular pultrusion section HDPE/GF(Roving)*, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Master Thesis, 2013(In Persian).
- [2] P. Novo, J. Silva, J. Nunes, F. van Hattum, and A. Marques, Development of a new pultrusion equipment to manufacture thermoplastic matrix composite profiles, *ECCM15-15th European Conference on Composite Materials* 2012.
- [3] A. Safonov and B. Shcheglov, Mathematical modeling of