



خواص مکانیکی کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف طبیعی پنبه، پشم و کنف تحت بارگذاری‌های کششی، خمشی و برشی

الهام مرادی¹، افشین زین‌الدینی^{2*}، احسان حیدری شاهملکی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
2- مربی، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
3- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
* کرمانشاه، صندوق پستی 67189-97551، zeinedini@iauksh.ac.ir، zeinedini@gmail.com

اطلاعات مقاله

دریافت: 97/4/16

پذیرش: 97/6/7

کلیدواژگان:

الیاف طبیعی
اپوکسی
خواص مکانیکی
کامپوزیت‌های لایه‌ای

چکیده

نیاز روز افزون به تولید محصولات سازگار با محیط زیست، محققان را بر آن داشته تا امکان استفاده از الیاف طبیعی در ساخت کامپوزیت‌ها را مورد بررسی قرار دهند. در پژوهش حاضر، از الیاف گیاهی پنبه و کنف، و الیاف حیوانی پشم بافته شده ساده به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌های لایه‌ای پایه اپوکسی، استفاده شد. بعلاوه، بمنظور ارزیابی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی، نمونه‌های کامپوزیتی شیشه بافته شده ساده/اپوکسی نیز ساخته شدند. خواص مکانیکی نمونه‌ها تحت بارگذاری‌های کششی، برشی و خمشی تعیین شد. نتایج نشان دادند که نسبت استحکام ویژه تحت بار کششی چندلایه‌های پنبه/اپوکسی به چندلایه‌ای تقویت شده با الیاف کنف یا پشم بترتیب برابر 1.71 و 4.47 است. تحت بار برشی، استحکام ویژه نمونه‌ها بترتیب با تغییر الیاف کنف و پشم به پنبه نیز 1.24 و 2.45 برابر بزرگتر گردید. بعلاوه، استحکام خمشی ویژه کامپوزیت‌های پنبه/اپوکسی بترتیب 1.42 و 2.34 برابر بزرگتر از کامپوزیت‌های کنف/اپوکسی و پشم/اپوکسی بدست آمد. همچنین، انرژی جذب شده ویژه مربوط به کامپوزیت‌های لایه‌ای پنبه/اپوکسی تحت بار کششی 2.7 برابر بزرگتر از مقدار مربوط به کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف شیشه است. در انتها نیز به منظور بررسی میزان آب جذب شده توسط نمونه‌های مختلف، آزمون جذب رطوبت در فواصل زمانی 3 و 10 روز صورت گرفت. آشکار گردید که بیشترین درصد جذب آب (7.47%) مربوط به نمونه تقویت شده با پنبه در بازه زمانی 10 روز بوده است.

Mechanical properties of laminated composites reinforced by natural fibers of cotton, wool and kenaf under tensile, flexural and shear loadings

Elham Moradi, Afshin Zeinedini*, Ehsan Heidari-shahmaleki

Department of Mechanical Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

* P.O.B. 67189-97551, Kermanshah, Iran, zeinedini@iauksh.ac.ir, zeinedini@gmail.com

Keywords

Natural fibers
Epoxy
Mechanical properties
Laminated composites

Abstract

The increasing need for manufacturing of eco-friendly products has led researchers to explore the possibility of using of natural fibers in the fabricating of composites. In the current study, plain-woven plant fibers of cotton and kenaf, and animal fiber of wool with were used as the reinforcement of epoxy-based laminated composites. Moreover, in order to evaluate the mechanical properties of the natural fibers reinforced laminated composites, plain-woven E-glass/epoxy composites were also manufactured. The mechanical properties of the samples subjected to tensile, shear and flexural loadings were determined. The results showed that the fraction of the specific tensile strength of the cotton/epoxy laminates to laminates reinforced by kenaf or wool fiber is equal to 1.71 and 4.47, respectively. Under shear loading, the specific strength of the samples was also 1.24 and 2.45 times greater by changing the kenaf and wool fibers to cotton fiber, respectively. In addition, the specific flexural strength of the cotton/epoxy composites was respectively obtained 1.42 and 2.34 times greater than that of the kenaf/epoxy and wool/epoxy composites. Moreover, the specific energy absorption related to the cotton/epoxy laminated composites under tensile loading is 2.7 times greater than that of the glass fiber reinforced laminated composites. At the end, in order to measure the amount of water absorbed by different samples, moisture absorption test was also carried out at intervals of 3 and 10 days. It was revealed that the greatest percent of the water absorption (7.47%) is related to the cotton reinforced specimen at interval of 10 days.

1- مقدمه

چوبی واداشته است. یک جایگزین مناسب برای چوب‌ها، استفاده از کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی است. کامپوزیت‌های تقویت شده با

در سال‌های اخیر، با توجه به نیاز روز افزون بشر برای استفاده از چوب و افزایش آگاهی‌ها در رابطه با محیط زیست، صنایع را به یافتن جایگزینی برای مصنوعات

Please cite this article using:

Moradi, E. Zeinedini, A. and Heidari-Shahmaleki, E., "Mechanical properties of laminated composites reinforced by natural fibers of cotton, wool and kenaf under tensile, flexural and shear loadings", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 6, No. 1, pp. 99-108, 2019.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

الیاف طبیعی که به کامپوزیت‌های سبز¹ نیز معروف هستند که با محیط زیست سازگاری مناسبی دارند [1]. از این روی استفاده از کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی به طور گسترده‌ای در بخش‌های مختلف مانند خودروسازی، صنایع دریایی، بسته بندی مواد و موارد دیگر گسترش یافته است. این موضوع عمدتاً به دلیل مزایای الیاف طبیعی در مقایسه با الیاف مصنوعی از جمله هزینه کم، چگالی پایین، آسیب رسانی کمتر به تجهیزات پردازش، خواص مکانیکی نسبی خوب، تجدیدپذیری منابع و تجزیه پذیری، بوده است. از شایع‌ترین گیاهان طبیعی مورد استفاده به عنوان فاز تقویت کننده در کامپوزیت‌ها، می‌توان الیافی مانند جوت، کنف و سیسال² نام برد [2]. محققان مطالعاتی را بر روی کامپوزیت‌های سبز بمنظور تعیین خواص مکانیکی آن‌ها انجام داده‌اند [3-11]. تعدادی از این منابع در ادامه ارائه شده است.

رامش³ و همکاران [3] خواص مکانیکی کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با الیاف ترکیبی شیشه-سیسال و شیشه-جوت را بررسی کردند. این محققان از رزین اپوکسی به منظور ساخت نمونه‌ها استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که نمونه‌های حاوی الیاف شیشه-سیسال دارای مقاومت کششی برتر و نمونه‌های حاوی الیاف شیشه-جوت بیشترین بار خمشی را تحمل می‌کنند. ردی⁴ و همکاران [4] خواص مکانیکی نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده از الیاف طبیعی جوت، برگ آناناس⁵ و الیاف شیشه را با نسبت 1:1:1 و رزین‌های پلی استر و اپوکسی بررسی کردند. کسر حجمی الیاف در کامپوزیت از 0.18 تا 0.42 متغیر بوده و تغییر خواص مکانیکی مانند کشش، خمش، ضربه در هر مورد، مطالعه شده است. نتایج نشان داده است که نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده از الیاف طبیعی و رزین اپوکسی نسبت به رزین پلی استر خواص بهتری را از خود بروز می‌دهند. پریت سینگ⁶ و همکاران [5] مطالعاتی در زمینه تعیین خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پایه پلیمری تقویت شده با الیاف طبیعی مختلف از جمله جوت، موز و سیسال انجام دادند. الیاف طبیعی به کاربرده شده به صورت تک‌جهته و ساخت نمونه‌ها به روش لایه گذاری دستی انجام شده است. در این پژوهش خواص مکانیکی مانند استحکام کششی، مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه را برای کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی عمل‌آوری شده و غیر عمل‌آوری شده بررسی و مقایسه شده است. دریافتند که استحکام کششی کامپوزیت‌ها با به کارگیری الیاف طبیعی بهبود یافته است. علاوه بر این، افزایش قابل توجهی در مقاومت کششی و خمشی با استفاده از اصلاح سطحی الیاف مشاهده شده است. همچنین کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف جوت بالاترین استحکام کششی را داشته‌اند.

وامبوآ⁷ و همکاران [6] خواص مکانیکی الیاف طبیعی مختلف (سیسال، کنف، جوت، شاه‌دانه و پوست نارگیل⁸) را در کامپوزیت‌های پلی پروپیلن بررسی کردند. نتایج مطالعات تجربی آن‌ها نشان داده است که مدول کششی، مقاومت به ضربه و تنش کششی نهایی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کنف با افزایش نسبت حجمی الیاف افزایش می‌یابد. همچنین، کامپوزیت‌های لایه‌ای پلی پروپیلن/نارگیل دارای کمترین خواص مکانیکی هستند. بعلاوه، مشاهده شد که کامپوزیت‌های حاوی الیاف شاه‌دانه دارای بیشترین مقاوم کششی

⁹ Khoathane

¹⁰ Mohan and Kumar

¹¹ Eze

¹² Senthil and Sirshti

¹³ grass

¹ Green composites

² Jute, flax, kenaf and sisal

³ Ramesh

⁴ Reddy

⁵ Pineapple leaf

⁶ Preet Singh

⁷ Wambua

⁸ Hemp and coir

جدول 2 مشخصات الیاف استفاده شده در این تحقیق

Table 2 The properties fibers used in this study

نوع الیاف	نام محلی	نوع بافت	چگالی سطحی (g/m ²)
پنبه	متقال	بافته شده ساده	171
کنف	گونی	بافته شده ساده	359
پشم	موج	بافته شده ساده	837
شیشه سری "ای"	شیشه	بافته شده ساده	226

4-2- فرآیند ساخت کامپوزیت‌ها

روش‌های مختلفی برای ساخت کامپوزیت‌های لایه‌ای وجود دارد که روش چیدمان دستی یکی از روش‌های پرکاربرد و بدون نیاز به تجهیزات خاص می‌باشد. در این پژوهش نمونه‌ها به روش لایه‌گذاری دستی ساخته شده‌اند.

به منظور ساخت نمونه‌ها، رزین اپوکسی و سخت کننده با نسبت 100 به 38 مخلوط شدند. نمونه‌های کامپوزیتی مختلف، از شش لایه الیاف پنبه، سه لایه الیاف کنف، یک لایه الیاف پشم و چهار لایه الیاف شیشه ساخته شدند. پس از ساخت نمونه‌ها، پخت اولیه آن‌ها به مدت 7 روز در دمای محیط به انجام رسید.

سپس نمونه‌های اولیه ساخته شده را جهت انجام آزمون‌های کشش و برش با ابعاد 250×20 میلی‌متر مربع و جهت انجام آزمون خمش با ابعاد 125×20 میلی‌متر مربع برش داده شد. ابعاد نمونه‌های کشش، برش و خمش بترتیب طبق استاندارد ASTM D3039 [13]، استاندارد ASTM D3518 [14] و ASTM D790 [15] در نظر گرفته شدند. به طور نمونه تصویری از نمونه‌های برش یافته حاوی الیاف پشم در شکل (2) مشاهده می‌شود.

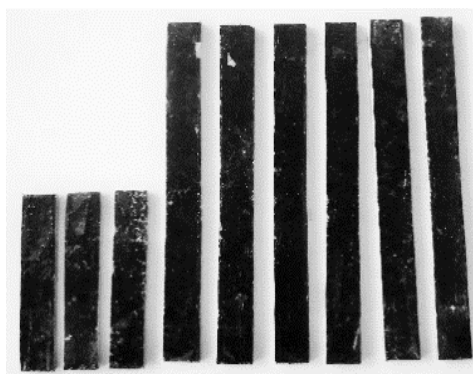


Fig. 2 The wool fiber reinforced laminated composites

شکل 2 کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف پشم

نسبت حجمی الیاف برای کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی با استفاده از آزمایش سوزاندن¹ برابر 31 درصد محاسبه شد. اما برای تعیین نسبت حجمی الیاف طبیعی از روشی که در ادامه ذکر شده استفاده گردید. طی فرآیند ساخت در ابتدا ماتریس و الیاف با نسبت وزنی مشخص در نظر گرفته شدند. پس از پخت اولیه، قبل از برش و حذف نامنظمی‌ها، وزن کل چندلایه‌ای اندازه‌گیری شد. از

مورد آزمایش قرار گرفتند. بعلاوه، کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف مصنوعی (شیشه) نیز بمنظور مقایسه خواص کامپوزیت‌های الیاف طبیعی ساخته و آزمایش شدند.

2- مواد و روش‌ها

1-1- مواد

در این پژوهش از رزین اپوکسی LY5052 و سخت کننده HY5052 ساخت شرکت هانستمن به عنوان فاز زمینه در نمونه‌های کامپوزیتی استفاده شد. مشخصات رزین و سخت کننده در جدول (1) ارائه شده است.

جدول 1 مشخصات رزین و سخت کننده

Table 1 Resin and hardener properties

ماده	نوع	حالت ظاهری	چگالی (g/cm ³)	ویسکوزیته (MPa.s)
رزین	LY5052	400	1.17	1000-1500
سخت کننده	HY5052	4570	0.94	40-60

2-2- الیاف

در این پژوهش از چهار نوع الیاف پنبه، کنف، پشم و شیشه استفاده شد. الیاف بافته شده پنبه از شرکت نساجی نگین بروجن خریداری گردید. الیاف بافته شده کنف تهیه شده از کیسه‌های حاوی برنج انتخاب شدند. این کیسه‌ها پس از یکبار استفاده جز مواد دور ریختنی محسوب می‌شود.

در این کار از این کیسه‌های کنفی دوباره استفاده گردید و این امر سبب کاهش هزینه و کاهش در مصرف منابع می‌گردد. الیاف بافته شده پشم نیز بطور سنتی بافته و در بازار عرضه می‌شوند. پشم استفاده شده در این تحقیق توسط عشایر منطقه کرمانشاه بافته شده است. الیاف بافته شده شیشه سری E خریداری شده از شرکت AMP Composites، به عنوان فاز تقویت کننده استفاده شد. الیاف پنبه، کنف، پشم و شیشه استفاده شده در این تحقیق در شکل (1) نشان داده شده‌اند. برخی از مشخصات الیاف بکار برده شده در جدول (2) آورده شده است.

3-2- آماده سازی الیاف

در ابتدا الیاف را به ابعاد 300×300 میلی‌متر مربع جهت ساخت نمونه‌های اولیه برش داده شدند. سپس به منظور ایجاد سطح صاف و خیس خوردگی بهتر، الیاف طبیعی اتو شدند.

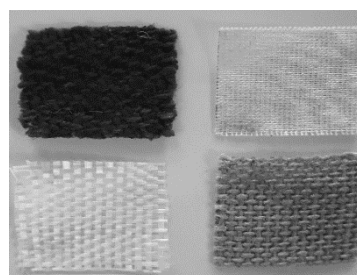


Fig. 1 The fibers used to manufacture the laminated composites in the current investigation

شکل 1 الیاف استفاده شده در تحقیق حاضر برای ساخت کامپوزیت‌های لایه‌ای

¹ Burn-out test

3- آزمون‌های مکانیکی

3-1- آزمون کشش

خواص کششی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آزمون کشش ساخت شرکت سنتم STM-150 دارای بار سنج با ظرفیت 2 تن و با نرخ بارگذاری 2 میلی‌متر بر دقیقه مطابق شکل (4) بدست آمد. نمونه‌هایی با ابعاد 250×20 میلی‌متر مربع براساس استاندارد ASTM D3039 [13] تهیه شد. به منظور بالا بردن دقت نتایج از اکستنسومتر با طول اولیه 50 میلی‌متر استفاده شد. با توجه به اینکه الیاف مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها به صورت بافته شده با مشخصات کاملا یکسان در دو راستای عرضی و طولی بودند، لذا آزمون کشش فقط در یکی از راستاها انجام گردید. با توجه به ایجاد تمرکز تنش در محل‌های قرارگیری نمونه در داخل فک‌های دستگاه، از تب‌هایی به ابعاد 50×20 میلی‌متر مربع، بمنظور جلوگیری از تمرکز تنش و جلوگیری از شکست نمونه در نواحی تماس نمونه با فک‌های دستگاه استفاده شد، شکل (5). تنش، کرنش و سفتی کششی نمونه-ها به ترتیب با استفاده از روابط (1)، (2) و (3) با توجه به داده‌های آزمون کشش و طبق استاندارد ASTM D3039 [13] قابل محاسبه هستند:

$$\sigma_i = P_i / A \quad (1)$$

$$\varepsilon_i = \delta_i / L \quad (2)$$

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \quad (3)$$

در این روابط P_i (بر حسب نیوتن)، A (بر حسب میلی‌متر مربع)، L (بر حسب میلی‌متر)، δ_i (بر حسب میلی‌متر)، ε ، σ (بر حسب مگاپاسکال) و E (بر حسب گیگاپاسکال) بترتیب عبارتند از بار اعمالی، سطح مقطع نمونه، طول اولیه مربوط به دهانه اکستنسومتر، جابجایی تحت بار، کرنش، تنش و سفتی کششی.

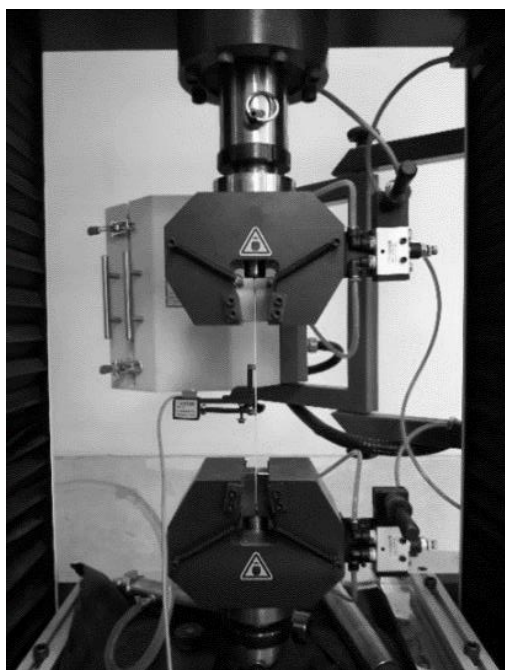


Fig. 4 The sample in universal test machine for determining the tensile properties of the laminated composites

شکل 4 نمونه قرار گرفته در داخل دستگاه آزمون کشش جهت تعیین خواص کششی کامپوزیت‌های لایه‌ای

آنجاییکه وزن الیاف ثابت است، از این طریق وزن دقیق ماتریس استفاده شده را می‌توان محاسبه نمود. با توجه به چگالی رزین و هاردنر حجم ماتریس استفاده شده قابل تخمین است. حجم دقیق نمونه نیز با استفاده از غوطه‌وری چند ثانیه‌ای در آب تعیین گردید. بنابراین حجم الیاف نیز می‌توان محاسبه شود. درصد حجمی الیاف از طریق نسبت حجم الیاف به حجم کل نمونه بدست آمد. نسبت حجمی الیاف برای کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف پنبه، کنف و پشم بترتیب برابر 23، 15 و 14 درصد تعیین شدند. نمونه‌های برش داده شده جهت انجام فرایند فرایخت نهایی به مدت 4 ساعت در دمای 100 درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرار گرفتند، شکل (3). جهت دستیابی به دقت بالا در نتایج تجربی، نمونه‌ها با 3 بار تکرار مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. لازم بذکر است بطور کلی 48 نمونه برای محاسبه خواص مکانیکی آماده‌سازی شدند. مشخصات نمونه‌ها در جدول (3) آورده شده است.



Fig. 3 Post-cure process of the specimens

شکل 3 فرایند فرایخت نمونه‌ها

جدول 3 مشخصات نمونه‌های کامپوزیتی

Table 3 Specification of the laminated composites specimens

کد نمونه*	جنس الیاف	نوع آزمون	ابعاد (mm ³)	چیدمان	چگالی (kg/m ³)
CT	پنبه	کشش	250×20×2.8	[0] ₆	1126
CS		برش	250×20×2.8	[45] ₆	
CB		خمش	125×20×2.8	[0] ₆	
KT	کنف	کشش	250×20×4	[0] ₃	1094
KS		برش	250×20×4	[45] ₃	
KB		خمش	125×20×4	[0] ₃	
GT	شیشه	کشش	250×20×1.2	[0] ₄	1598
GS		برش	250×20×1.2	[45] ₄	
GB		خمش	125×20×1.2	[0] ₄	
WT	پشم	کشش	250×20×3	[0] ₁	1056
WS		برش	250×20×3	[45] ₁	
WB		خمش	125×20×3	[0] ₁	

* حرف اول انگلیسی در هر کد به معنای نوع الیاف بکار رفته در ساخت کامپوزیت و حرف دوم به معنای نوع آزمونی است که بر آن نمونه انجام می‌گردد.

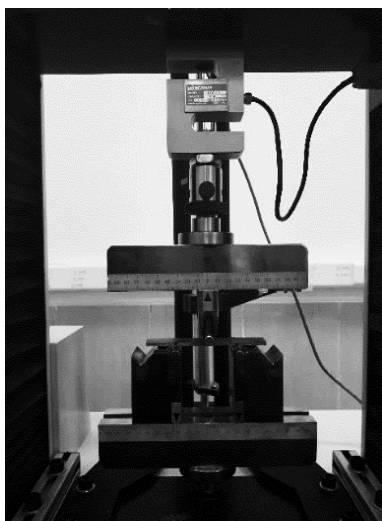


Fig. 6 The universal test machine with three-point bending fixture

شکل 6 دستگاه تست کشش با فیکسچر خمش سه نقطه

4- تست جذب آب

برای ارزیابی میزان جذب آب، نمونه‌هایی حاوی الیاف تقویت کننده پنبه، کنف، پشم، شیشه انتخاب شد. با قرار دادن نمونه‌های پخت شده در دستگاه آون در دمای 100 درجه سانتی گراد به مدت 4 ساعت، تحت فراپخت قرار گرفتند و به طور کامل خشک شدند. جرم هر یک از نمونه‌های خشک شده به وسیله ترازو دیجیتالی بدست آمد. سپس، درون دو ظرف حاوی آب مقطر قرار داده شدند. یکی از ظرف‌ها به مدت سه روز و دیگری به مدت 10 روز در دمای محیط (23 ± 2 درجه سانتی گراد) نگه داشته شدند. پس از طی زمان مذکور، نمونه‌ها از آب خارج شده و سطح خارجی آن‌ها به وسیله پارچه نرم به طور کامل خشک شد. مجدداً مقدار جرم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مطابق استاندارد ASTM D5229 [16] مقدار جذب آب طبق معادله (8) قابل محاسبه است:

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (8)$$

که در این رابطه W_1 جرم نمونه خشک (بر حسب گرم) و W_2 جرم نمونه (بر حسب گرم) پس از غوطه‌وری است.

5- نتایج و بحث‌ها

نمونه‌های کامپوزیتی پایه اپوکسی تقویت شده با الیاف (کنف، پنبه، پشم و شیشه)، جهت یافتن خواص مکانیکی تحت آزمون‌های کشش، برش و خمش قرار گرفته شدند. خواص مکانیکی آن‌ها بدست آمد که در ادامه با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

5-1- خواص کششی

در نمودارهای شکل (7) نتایج حاصل از آزمون کششی برای نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با الیاف پنبه، کنف، پشم و شیشه مشاهده می‌شود. طبق نتایج بدست آمده، نمونه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه دارای بالاترین مقدار استحکام کششی بوده است و در بین نمونه‌های تقویت شده با الیاف طبیعی، نمونه حاوی الیاف پنبه دارای خواص کششی برتری می‌باشد.

از این نمودارها می‌توان به این نتیجه دست یافت که تحت بار کششی کامپوزیت‌های لایه‌ای شیشه/اپوکسی بشدت ترد هستند. این موضوع یکی از بزرگترین معایب این نوع کامپوزیت‌هاست. کرنش شکست کامپوزیت‌های حاوی

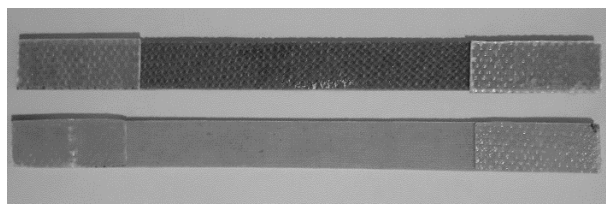


Fig. 5 The specimens contain tabs to perform the tensile and shear tests

شکل 5 نمونه‌های دارای تب جهت انجام آزمون‌های کشش و برش

3-2- آزمون برش

آزمایش مربوط به تعیین خواص برش داخل صفحه کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف مختلف با استفاده از دستگاه آزمون کشش ساخت شرکت سنتام مدل STM-150 انجام شدند. نمونه‌هایی با ابعاد 250×20 میلی‌متر مربع براساس استاندارد ASTM D3518 [14] جهت انجام آزمون برش آماده شدند. همانطور که در جدول (3) مشاهده گردید در آزمون برش از نمونه‌ها با زاویه 45° به منظور تعیین مدول و مقاومت برشی داخل صفحه استفاده شد. طبق استاندارد ASTM D3518 [14]، تنش و سفتی برشی داخل صفحه نمونه‌ها به ترتیب با استفاده از روابط (4) و (5) بدست می‌آیند:

$$\tau_i = P_i / 2A \quad (4)$$

$$G = \Delta\tau / \Delta\gamma \quad (5)$$

در این روابط P_i (بر حسب نیوتن)، A (بر حسب میلی‌متر مربع)، G (بر حسب گیگاپاسکال)، τ (بر حسب مگاپاسکال) و γ (بترتیب بار اعمالی، سطح مقطع نمونه، سفتی، تنش و کرنش برشی داخل صفحه هستند).

3-3- آزمون خمش سه نقطه

خواص نمونه‌ها تحت خمش با استفاده از آزمون خمش سه نقطه تعیین شد. از نمونه‌ها با ابعاد 125×20 میلی‌متر مربع جهت انجام آزمون خمش استفاده شد. با توجه به تفاوت اندازه ضخامت نمونه‌ها برای محاسبه طول فاصله تکیه‌گاه‌ها طبق استاندارد ASTM D790 [15] از نسبت 16:1 (فاصله تکیه‌گاه به ضخامت نمونه) استفاده شد. بعبارت دیگر، نمونه‌های کامپوزیتی پنبه/اپوکسی با طول فاصله دو تکیه‌گاه 45 میلی‌متر، نمونه‌های تقویت شده با الیاف کنف با طول فاصله 64 میلی‌متر، کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف پشم 50 میلی‌متر و نمونه‌های حاوی الیاف شیشه با طول فاصله 38.4 میلی‌متر، تحت آزمون خمش قرار گرفته‌اند. آزمون به وسیله دستگاه تست کشش با فیکسچر خمش سه نقطه ساخت شرکت سنتام، طبق استاندارد ASTM D790 [15] به منظور تعیین مدول و استحکام خمشی با نرخ بارگذاری 2 میلی‌متر بر دقیقه انجام گردید، شکل (6). لازم بذکر است که بارسنج استفاده شده در این دستگاه دارای ظرفیت 2 تن و دقت 0.001 نیوتن است. مطابق با استاندارد ASTM D790 [15]، استحکام و مدول خمشی به ترتیب به وسیله روابط (6) و (7) محاسبه شدند:

$$\sigma_f = 3PL / 2bd^2 \quad (6)$$

$$E_B = L^3m / 4bd^3 \quad (7)$$

که در روابط فوق σ_f تنش (بر حسب مگاپاسکال)، P باراعمالی (بر حسب نیوتن)، L طول فاصله بین دو تکیه‌گاه (بر حسب میلی‌متر)، b عرض نمونه (بر حسب میلی‌متر)، d ضخامت نمونه (بر حسب میلی‌متر)، m شیب نمودار نیرو-جابجایی در بخش ابتدایی نمودار بار-جابجایی (بر حسب نیوتن بر میلی‌متر) و E_B سفتی خمشی (بر حسب گیگاپاسکال) است.

مقایسه شدند. همانطور که مشاهده می‌شود سفتی ویژه نمونه‌های تقویت شده با الیاف پنبه بیشتر از دیگر نمونه‌های دارای الیاف طبیعی و کمتر از نمونه‌های شیشه/پوکسی است. پرتلا¹ و همکاران [17] نیز برای کامپوزیت‌های پلی‌استر/شیشه و پلی‌استر/پنبه مقادیر سفتی کششی مقادیر 3.90 و 8.50 گیگاپاسکال را بدست آوردند. علت پایین بودن مقدار سفتی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف‌های طبیعی نسبت به الیاف شیشه را می‌توان کمتر بودن مقدار سفتی خود الیاف دانست.

مقادیر استحکام کششی ویژه مربوط به نمونه‌های مختلف نیز براساس شکل (7) و چگالی متوسط هر نمونه محاسبه شدند. نتایج بدست آمده با استفاده از نمودارهای میله‌ای در شکل (9) نمایش داده شدند. همانطور که مشاهده می‌گردد استحکام کششی ویژه نمونه تقویت شده با الیاف شیشه بالاتر از سایر نمونه‌ها بوده است. و در بین نمونه‌های حاوی الیاف طبیعی، نمونه تقویت شده با الیاف پنبه دارای مقدار استحکام کششی ویژه برتری می‌باشد. استحکام کششی هر نوع کامپوزیت کاملاً به استحکام کششی الیاف تقویت کننده آن بستگی دارد [18]. بعنوان مثال استحکام کششی الیاف شیشه بین 2000 تا 3000 مگاپاسکال و استحکام کششی الیاف پنبه حدود 400 مگاپاسکال است [19]. این موضوع اختلاف بین استحکام کششی ویژه نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه و الیاف پنبه را توضیح می‌دهد.

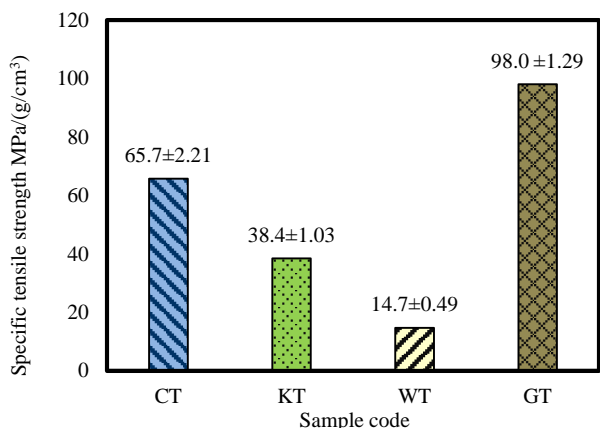


Fig. 9 Comparison of specific tensile strength of laminated composites reinforced by cotton, kenaf, wool or glass fiber
 شکل 9 مقایسه استحکام کششی ویژه برای کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف پنبه، کنف، پشم یا شیشه

2-5- خواص برشی

نمونه‌های تقویت شده با الیاف بافته شده با جهت‌گیری الیاف 45 درجه به وسیله دستگاه آزمون کشش آزمایش شدند. نتایج این آزمایش‌ها به صورت نمودارهای تنش-کرنش در شکل (10) مشاهده می‌شود.

الیاف پنبه 5 برابر بزرگتر از نمونه‌های دارای الیاف شیشه است. این موضوع به ماهیت تردتر بودن الیاف شیشه نسبت به الیاف پنبه مرتبط است. از طرف دیگر، کرنش شکست کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف بافته شده کنف نیز حدود 70 درصد بیشتر از نوع تقویت شده با الیاف شیشه است. اما، نمونه‌های پشم/پوکسی بسیار تردتر از سایر نمونه‌ها هستند.

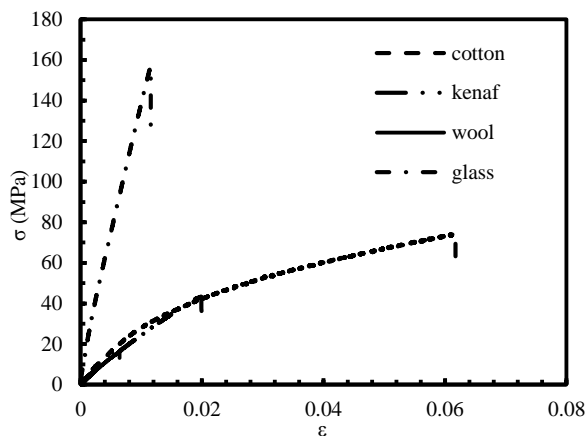


Fig. 7 Stress-strain curve of specimen with cotton, kenaf, wool and glass fibers under tensile loading

شکل 7 نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های تقویت شده با الیاف پنبه، کنف، پشم و شیشه تحت بارگذاری کششی

براساس نتایج بدست آمده و بکارگیری رابطه (3) برای ناحیه خطی نمودارهای تنش-کرنش، مقدار سفتی کششی برای هر کدام از نمونه‌ها قابل محاسبه است.

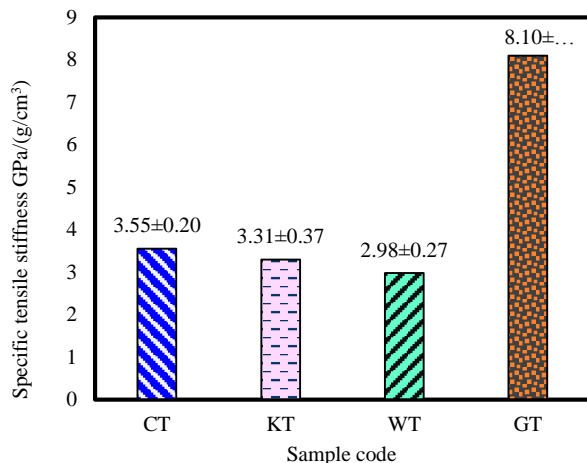


Fig. 8 Comparison of specific tensile stiffness of laminated composites reinforced by cotton, kenaf, wool or glass fiber

شکل 8 مقایسه سفتی کششی ویژه برای کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف پنبه، کنف، پشم یا شیشه

با تقسیم سفتی‌های بدست آمده بر مقدار چگالی هر یک از نمونه‌ها، مقادیر سفتی‌های ویژه تعیین شدند. نتایج این محاسبات در شکل (8) با یکدیگر

¹ Portella

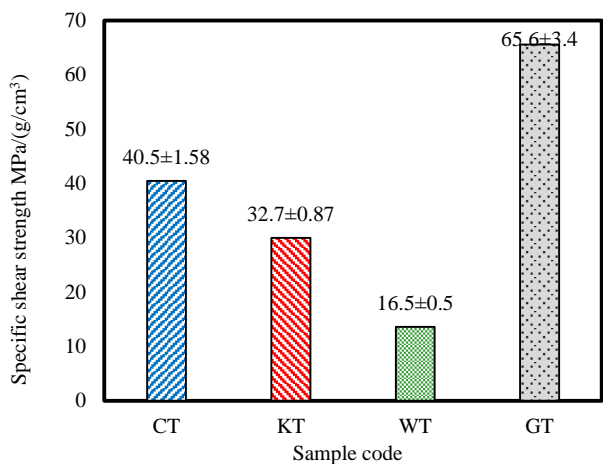


Fig. 12 Comparison of specific shear strength of various specimens
 شکل 12 مقایسه استحکام برشی ویژه برای نمونه‌های مختلف

بر خلاف خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی تحت بارگذاری‌های خمشی و کششی، اطلاعاتی در مورد خواص برشی این نوع کامپوزیت‌ها منتشر نشده است. لذا جهت ارزیابی نتایج بدست آمده می‌توان به مقایسه نتایج موجود برای نمونه‌های شیشه/پوکسی اکتفا نمود. منحنی نشان داده شده در شکل (10) برای نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه مشابه نتایج بدست آمده از مطالعات تجربی انجام شده توسط یلماز¹ و همکاران [20] است. می‌توان بیان داشت که کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف شیشه تحت بار برشی برخلاف بار کششی، رفتار کاملاً تدریجی را از خود نشان نمی‌دهند. در نمونه‌های تحت بار برشی سطح شکست در راستای عمود بر الیاف بوده است و با راستای اعمال بار تقریباً زاویه 45 درجه می‌سازد. همچنین سطح شکست در نمونه‌های آزمون برش گسترده‌تر از سطح شکست در نمونه‌های آزمون کشش می‌باشد، شکل (13). چنین رفتاری در مطالعات تجربی انجام شده توسط پژوهشگرانی همچون پل و همکاران [21]، و شکریه و همکاران [22] نیز مشاهده شده است.

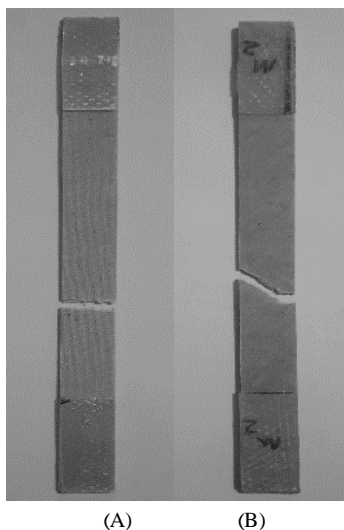


Fig. 13 The cotton/epoxy specimens after A) tensile and B) shear tests
 شکل 13 نمونه‌های پنبه/پوکسی پس از آزمون‌های الف) کشش و ب) برش

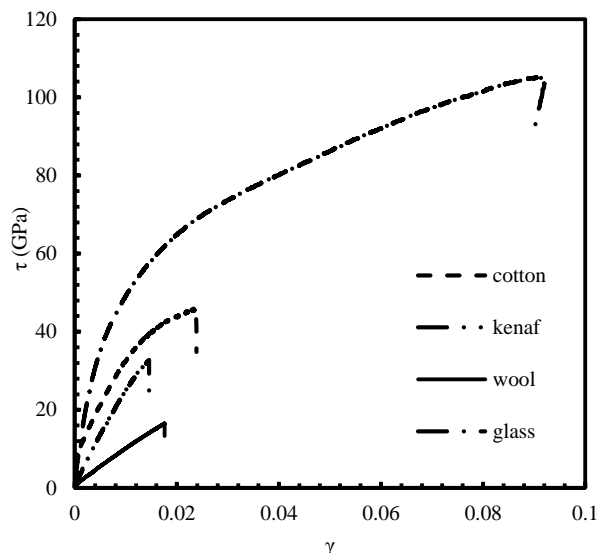


Fig. 10 Stress-strain curve of different under shear loading
 شکل 10 نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های مختلف تحت بارگذاری برشی

مقادیر سفتی برشی با استفاده از نتایج آزمون برش و رابطه (5) بدست آمد. با در نظر گرفتن مقدار چگالی هر یک از نمونه‌ها مقدار سفتی برشی ویژه محاسبه شد و مقادیر بدست آمده در نمودار شکل (11) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

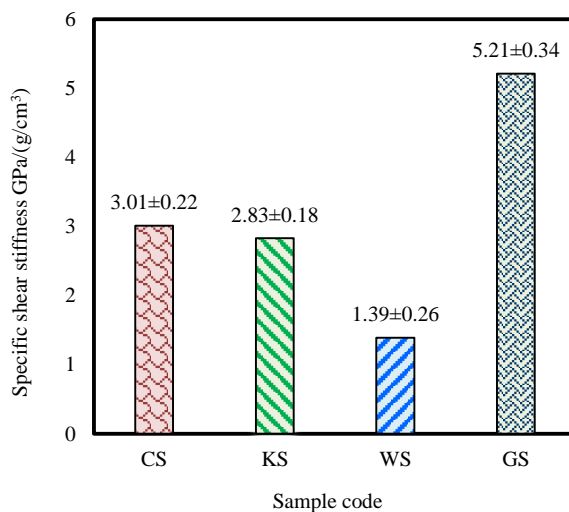


Fig. 11 Comparison of specific shear stiffness of various specimens
 شکل 11 مقایسه سفتی برشی ویژه برای نمونه‌های مختلف

پس از تقسیم مقادیر استحکام برشی بر مقدار چگالی هر نمونه، مقادیر استحکام برشی ویژه محاسبه شدند. نتایج بصورت نموداری در شکل (12) به نمایش درآمده‌اند. همانطور که مشاهده می‌گردد نمونه تقویت شده با الیاف پنبه دارای استحکام برشی ویژه‌ای بزرگتری نسبت به سایر الیاف طبیعی است.

¹ Yilmaz

3-5- خواص خمشی

با انجام آزمون خمش سه نقطه بر روی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با الیاف پنبه، کنف، پشم و شیشه، نتایج بدست آمده در نمودارهای شکل (15) ارائه شده است. با دقت در نمودارهای فوق می‌توان متوجه شد که تحت بار خمشی، کرنش شکست کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف پنبه، شیشه و پشم اختلاف قابل توجهی ندارند. اما نمونه‌های کنف/اپوکسی بشدت رفتار شکننده‌تری نسبت به سایر کامپوزیت‌ها تحت بار خمشی دارند.

نمودارهای میله‌ای در شکل (16) نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌گردد بیشترین مقدار استحکام خمشی ویژه مربوط به کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف شیشه است. طبق نمودار می‌توان بیان داشت که استحکام خمشی ویژه کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کنف حدوداً نصف مقدار مربوط به کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف شیشه است. مطالعات انجام شده توسط رامش¹ [24] نیز این موضوع را تایید می‌کند. استحکام خمشی ویژه نمونه‌های حاوی الیاف پنبه نسبت به سایر الیاف طبیعی قابل توجه است. نتایج گزارش شده توسط پرتلا و همکاران [17] برای کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف پنبه و شیشه نتایج مشابه با اعداد بدست آمده در این تحقیق است.

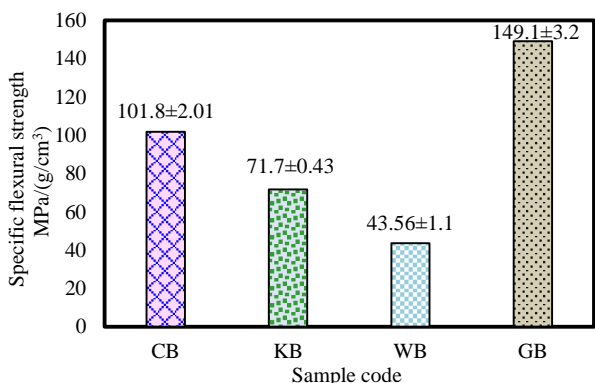


Fig. 16 Comparison of specific flexural strength of various specimens

شکل 16 مقایسه استحکام خمشی ویژه نمونه‌های مختلف

از مقایسه نتایج نشان داده شده در شکل‌های (9) و (16) می‌توان بیان داشت که مقدار استحکام خمشی الیاف گیاهی پنبه و کنف از مقادیر استحکام کششی آن‌ها بیشتر است. این نکته از نتایج موجود در مقالات پرتلا و همکاران [17]، رامش [24]، و سایی² و همکاران [25] نیز قابل استخراج است.

4-5- انرژی کرنشی جذب شده

انرژی کرنشی جذب شده یا مقدار انرژی مورد نیاز برای شکست نمونه می‌تواند معیار مناسبی برای مقایسه کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف‌های مختلف تحت بارهای کششی، برشی و خمشی باشد. این مقدار از محاسبه سطح زیر نمودار تنش-کرنش مربوط به هر نمونه بدست می‌آید. مقادیر چگالی انرژی کرنشی ویژه مربوط به کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف مختلف تحت بارگذاری‌های مذکور در جدول (4) خلاصه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار انرژی جذب شده ویژه مربوط به کامپوزیت‌های لایه‌ای پنبه/اپوکسی تحت بار کششی بسیار بزرگتر از سایر نمونه‌هاست. میزان افزایش طول نمونه‌های ساخته شده از پنبه/اپوکسی تحت بار کششی از سایر نمونه‌ها بیشتر است. این موضوع بخوبی در شکل (7) قابل مشاهده است. از طرف دیگر چگالی کمتر آن نسبت به کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی باعث اختلاف بیشتر مقدار انرژی جذب شده ویژه این دو نوع کامپوزیت می‌شود. همچنین، از شکل (7) می‌توان دریافت که تحت بارگذاری کششی مساحت سطح زیر نمودار تنش-کرنش مربوط به کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کنف بسیار کمتر از مقدار متناظر مربوط به

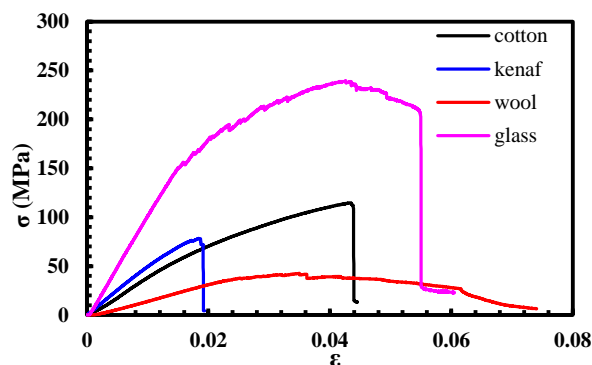


Fig. 14 Stress-strain curve of specimen with cotton, kenaf, wool and glass fibers under flexural loading

شکل 14 نمودار تنش-کرنش نمونه‌های تقویت شده با الیاف پنبه، کنف، پشم و شیشه تحت آزمون خمش

با استفاده از روابط (6) و (7)، و چگالی هر یک از نمونه‌ها مقادیر استحکام و سفتی خمشی آن‌ها محاسبه گردید. در نمودار (15) مقادیر سفتی خمشی ویژه نمونه‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به نمودارها، بیشینه سفتی خمشی ویژه مربوط به نمونه شیشه می‌باشد و در بین الیاف طبیعی نمونه‌ی حاوی الیاف کنف دارای مقدار سفتی خمشی بهتری می‌باشد. مطالعه انجام شده توسط جمال و همکاران [23] نشان داد که سفتی خمشی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کنف حدود 4.9 گیگاپاسکال است. با احتساب چگالی کامپوزیت‌های لایه‌ای مربوط به این مقاله، مقداری مشابه با نتایج این تحقیق بدست می‌آید.

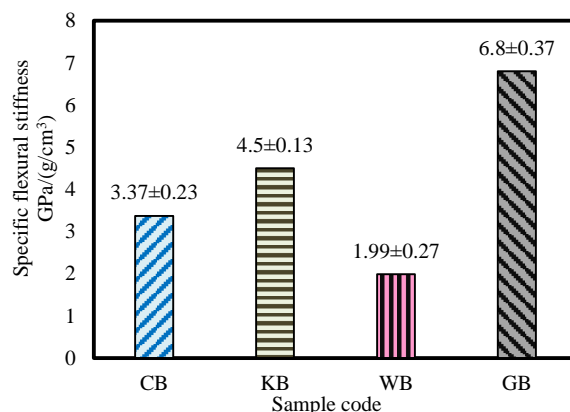


Fig.15 Comparison of specific flexural stiffness of various specimens

شکل 15 مقایسه سفتی خمشی ویژه برای نمونه‌های مختلف

بنظور مقایسه استحکام کامپوزیت‌های لایه‌ای مختلف تحت بار خمشی، مقدار استحکام هر نمونه بر چگالی آن تقسیم گردید. نتایج بدست آمده بصورت

² Sapii

¹ Ramesh

جدول 5 نتایج تست جذب آب برای نمونه‌های کامپوزیتی مختلف

نمونه	جرم قبل از تست (g)	جرم پس از 3 روز غوطه‌وری (g)	درصد جذب آب پس از 3 روز (%)	جرم پس از 10 روز غوطه‌وری (g)	درصد جذب آب پس از 10 روز (%)
پنبه	7.464	7.943	6.41	8.022	7.47
کنف	11.003	11.402	3.62	11.627	5.67
پشم	7.704	7.78	0.98	7.802	1.27
شیشه	4.385	4.410	0.57	4.44	1.25

6- نتیجه‌گیری

در این پژوهش همانگونه که در بخش‌های گذشته تشریح شد، نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با الیاف طبیعی پنبه، کنف، پشم و الیاف مصنوعی شیشه، از دیدگاه کششی، برشی و خمشی مورد بررسی قرار گرفتند. الیاف طبیعی ویژگی‌های منحصر به فردی همچون فراوانی، زیست تخریب پذیر بودن، وزن و قیمت کم، صرف انرژی کمتر برای تولید و بازیافت آسان در مقایسه با الیاف مصنوعی دارند. بدین ترتیب که در ساخت نمونه‌ها از الیاف بافته شده و رزین اپوکسی استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده از انجام آزمون‌ها و مقایسه آن‌ها، موارد زیر را می‌توان نتیجه گرفت:

- 1- به طور کلی نمونه تقویت شده با الیاف پنبه با استحکام کششی 74.14 مگاپاسکال، استحکام برشی 45.61 مگاپاسکال و استحکام خمشی 114.77 مگاپاسکال بهترین نتایج را در بین نمونه‌های تقویت شده با الیاف طبیعی را داشته و می‌تواند در موقعیت‌هایی که مسائل زیست محیطی حائز اهمیت است، جایگزینی برای الیاف شیشه باشد.
- 2- با توجه به چگالی پایین کامپوزیت‌های طبیعی تقویت شده با الیاف پنبه، با افزایش ضخامت، می‌توان الیاف طبیعی را به عنوان جایگزین الیاف مصنوعی بکار برد. در این حالت علیرغم رسیدن به تحمل نیروهای مورد نظر، می‌توان از مزایای الیاف طبیعی سازگار با محیط زیست نیز بهره‌مند شد.
- 3- نمونه تقویت شده با الیاف پشم دارای خواص مکانیکی ضعیفی نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد که می‌توان علت این استحکام پایین را ضعف در چسبندگی بین زمینه و الیاف بیان کرد.
- 4- انرژی جذب شده مربوط به کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف پنبه تحت بارهای مختلف بسیار چشمگیر است. بطوریکه تحت بار کششی انرژی جذب شده ویژه این نوع کامپوزیت سبز 2.7 برابر بزرگتر از کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی است.
- 5- به طور کلی مشاهده شد که کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی گیاهی خواص مکانیکی برتری نسبت به الیاف طبیعی حیوانی دارند.
- 6- پس از 10 روز، بیشترین درصد جذب آب در بین نمونه‌ها مربوط به نمونه با الیاف پنبه (7.47 درصد) محاسبه شد. کمترین درصد جذب آب نیز برای نمونه با الیاف شیشه (1.25 درصد) بدست آمد. در بین الیاف طبیعی، کمترین جذب آب در نمونه با الیاف پشم (1.27 درصد) رخ داده است.

کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف شیشه است. چنین رفتاری در مطالعات تجربی انجام شده توسط شاربا¹ و همکاران [26] نیز مشاهده گردید. هر چند تحت بار برشی انرژی جذب شده کامپوزیت‌های لایه‌ای شیشه/اپوکسی بزرگتر از سایر نمونه‌هاست. اما، مقدار مربوط به کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف پنبه نیز قابل توجه است. مقدار انرژی جذب شده توسط نمونه‌های حاوی الیاف پنبه از نمونه‌های دارای الیاف شیشه تحت بار خمشی بزرگتر است. جمال و همکاران [27] مشاهده کردند که در حضور الیاف شیشه ماکزیمم بار خمشی تحمل شده توسط کامپوزیت‌های لایه‌ای تقویت شده با الیاف بافته شده کنف افزایش می‌یابد. بنابراین بدیهی است که مساحت سطح زیر نمودار یا همان انرژی جذب شده نمونه‌های دارای الیاف شیشه از نمونه‌های دارای الیاف کنف بیشتر باشد. نتایج ارائه شده در جدول (4) نیز چنین رفتاری را نشان می‌دهد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند هنگامی که الیاف پشم بعنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌های پایه اپوکسی بکار می‌روند، انرژی شکست قابل توجهی را تحت بار خمشی جذب می‌کنند.

جدول 4 انرژی جذب شده ویژه (ژول بر گرم بر سانتی‌متر مکعب) توسط کامپوزیت‌های

لایه‌ای مختلف تحت بارهای کششی، برشی و خمشی

Table 4 Specific energy absorbed (J/(g·cm³)) by different laminated composites subjected to tensile, shear and flexural loadings

نوع الیاف نمونه	بار کششی	بار برشی	بار خمشی
پنبه	21.65	7.21	0.76
کنف	4.83	3.54	0.44
پشم	0.76	0.56	0.67
شیشه	7.79	28.37	0.74

5-5- جذب آب

با انجام تست جذب آب و از طریق رابطه (8)، مقادیر ارائه شده در جدول (5) بدست آمد. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با الیاف پنبه بیشترین درصد جذب آب را داشته‌اند. آلومایری² و همکاران [28] مشاهده کردند که مقدار جذب کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف پنبه در ابتدا بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد اما پس از مدت زمانی مشخص این تغییرات چشمگیر نخواهد بود. عبارت دیگر این کامپوزیت‌ها مقدار معینی جذب آب دارند و پس از آن درصد جذب تغییر نخواهد کرد. اعداد موجود در جدول (5) نیز همین مطلب را تایید می‌کند. این موضوع می‌تواند یکی از معایب این نوع کامپوزیت‌های لایه‌ای به شمار آید و تکیه‌سازه ساخته شده در معرض آب قرار گیرد. بدیهی است که با استفاده از پوشش‌های مناسب همچون ژلکوت‌ها و رنگ‌ها می‌توان این عیب را مرتفع نمود.

در پژوهش حاضر جذب آب 5.67 درصد برای چندلایه‌ای کنف/اپوکسی بدست آمد. براساس مشاهدات سانجای³ و همکاران [29] نیز درصد جذب آب توسط این نوع کامپوزیت پس از مدت زمان طولانی حدود 5 درصد است. بنابر گزارش محققان [29-30]، درصد جذب آب توسط کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی حتی پس از مدت زمان طولانی بندرت به 2 درصد می‌رسد. مشاهدات تجربی تحقیق حاضر نیز بیانگر همین مقدار است.

¹ Sharba

² Alomayri

³ Sanjay

- Reinforced Laminated Composite Structures under in-Plane Shear Loading”, *Composite Structures*, Vol. 186, pp. 347-354, 2018.
- [21] Pol, M. H., Liaghat, Gh. H., Mehrabani Yeganeh, E. and Afrouzian, A., “Experimental Investigation of Nanoclay and Nanosilica Particles Effects on Mechanical Properties of Glass Epoxy Composites,” In Persian, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 16, pp. 76-82, 2015.
- [22] Shokrieh, M. M., Zeinedini, A. and Ghoreishi, S. M., “Effects of Adding Multiwall Carbon Nanotubes on Mechanical Properties of Epoxy Resin and Glass/Epoxy Laminated Composites,” In Persian, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 9, pp. 125-133, 2015.
- [23] Jamal, S. K., Hassan, S. A., Wong, K. J., Hanan, U. A., “Mechanical Properties of Hybrid Woven Kenaf/Recycled Glass Fibre Reinforced Polyester Composites,” *Journal of Built Environment, Technology and Engineering*, Vol. 1, pp. 335-344, 2016.
- [24] Ramesh, M., “Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Fibre Based Bio-materials: A Review on Processing and Properties,” *Progress in Materials Science*, Vol. 78-79, pp. 1-92, 2016.
- [25] Sapiai, N., Jumahat, A., Mahmud, J., “Flexural and Tensile Properties of Kenaf/Glass Fibres Hybrid Composites Filled with Carbon Nanotubes,” *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* Vol. 76, No. 3, pp. 115-120, 2015.
- [26] Sharba, M. J., Leman, Z., Sultan, M. T. H., Ishak, M. R., Azmah Hanim, M. A., “Partial Replacement of Glass Fiber by Woven Kenaf in Hybrid Composites and its Effect on Monotonic and Fatigue Properties,” *BioResources*, Vol. 11, No. 1, pp. 2665-2683, 2016.
- [27] Jamal, S. K., Hassan, S. A., Wong, K. J., Yahya, M. Y., “Flexural and Interlaminar Shear Study Hybrid Woven Kenaf/Recycled GFRP (rGFRP) of Composites Subjected to Bending Load,” *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, Vol. 4, No. 3, pp. 45-50, 2017.
- [28] Alomayri, T., Assaedi, H., Shaikh, F. U. A., Low, I.M., “Effect of Water Absorption on the Mechanical Properties of Cottonfabric-Reinforced Geopolymer Composites,” *Journal of Asian Ceramic Societies*, Vol. 2, pp. 223-230, 2014.
- [29] Sanjay, M. R., Yogesha, B., “Study on Water Absorption Behaviour of Jute and Kenaf Fabric Reinforced Epoxy Composites: Hybridization Effect of E-Glass Fabric,” *International Journal of Composite Materials*, Vol. 6, No. 2, pp. 55-62, 2016.
- [30] Kasturiarachchi, K. A., Pritchard, G., “Water Absorption of Glass/Epoxy Laminates under Bending Stresses,” *Composites*, Vol. 14, No. 3, pp. 244-260, 1983.
- [1] Fiore, V., Di Bella, G. and Valenza, A., “The Effect of Alkaline Treatment on Mechanical Properties of Kenaf Fibers and their Epoxy Composites,” *Composites Part B: Engineering*, Vol. 68, pp. 14-21, 2015.
- [2] Hojo, T., Xu, Z., Yang, Y. and Hamada H., “Tensile Properties of Bamboo, Jute and Kenaf Mat-Reinforced Composite,” *Energy Procedia*, Vol. 56, pp. 2-79, 2014.
- [3] Ramesh, M., Palanikumar, K. and Reddy, K. H., “Comparative Evaluation on Properties of Hybrid Glass Fiber-Sisal/Jute Reinforced Epoxy Composites,” *Procedia Engineering*, Vol. 51, pp. 745-750, 2013.
- [4] Reddy, M. I., Varma, U. P., Kumar, I. A., Manikanth, V. and Raju, P. K., “Comparative Evaluation on Mechanical Properties of Jute, Pineapple leaf fiber and Glass fiber Reinforced Composites with Polyester and Epoxy Resin Matrices,” *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 2, pp. 5649-5654, 2018.
- [5] Singh, J. I. P., Dhawan, V., Singh, S. and Kapil Jangid., “Study of Effect of Surface Treatment on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Composites,” *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, No. 2, pp. 2793-2799, 2018.
- [6] Wambua, P., Ivens, J. and Verpoest, I., “Natural Fibres: can they Replace Glass in Fibre Reinforced Plastics,” *composites science and technology*, Vol. 63, No. 9, pp. 1259-1264, 2003.
- [7] Khoathane, M. C., Vorster, O. C. and Sadiku, E. R., “Hemp Fiber-Reinforced 1-Pentene/Polypropylene Copolymer: The Effect of Fiber Loading on the Mechanical and Thermal Characteristics of the Composites,” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 27, No. 14, pp. 1533-1544, 2008.
- [8] Chandramohan, D. and Kumar, A. J. P., “Experimental Data on the Properties of Natural Fiber Particle Reinforced Polymer Composite Material,” *Data in brief*, Vol. 13, pp. 460-468, 2017.
- [9] Eze, I.O., Igwe, I.O., Ogbobe, O., Anyanwu, E.E. and Nwachukwu, I., “Mechanical Properties of Pineapple Leaf Powder Filled High Density Polyethylene,” *International Journal of Engineering and Technologies*, Vol. 9, pp. 13-19, 2016.
- [10] Senthil, P. V. and Aakash Sirshti., “Studies on Material and Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Composites,” *International Journal of Engineering and Science*, Vol. 3, No. 11, pp. 18-27, 2014.
- [11] Ahmadi, M. S., Gholami, M., Tavanaie, M. A. and Khajeh Mehrizi, M., “Tensile and Flexural Properties of Epoxy-Date Palm Fiber Composites,” In Persian, *Journal of Science and Technology of Composites*, Vol. 5, No. 1, pp. 69-78, 2018.
- [12] Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakooop, N. and Trada, N., “A Review on the Tensile Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites,” *Composites Part B: Engineering*, Vol. 42, No. 4, pp. 856-873, 2011.
- [13] Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM, D3039/D M 3039, 2008.
- [14] Standard Test Method for In-Plane Shear Response of Polymer Matrix Composite Materials by Tensile Test of a ± 45 Laminate, ASTM, D 3518/D 3518 94, 2001.
- [15] Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, Annual book of ASTM Standards, ASTM, D790, 1997.
- [16] Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM, D 5229/D 5229M-92, Technical report, ASTM, 2014.
- [17] Portella, E. H., Romanzini, D., Angrizani C. C., Amico S. C., Zattera A. J., “Influence of Stacking Sequence on the Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Cotton/Glass Fiber Reinforced Polyester Composites,” *Materials Research*, Vol. 19, No. 3, pp. 542-547, 2016.
- [18] Tomczak, F., Satyanarayana, K. G., Sydenstricker, T. H., “Studies on Lignocellulosic Fibers of Brazil: Part III – Morphology and Properties of Brazilian curauá fibers”. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 38, No. 10, pp. 2227-2236, 2007.
- [19] Jawaid, M., Abdul-Khalil H. P., Bakar, A. A., Hassan, A., Dungani, R., “Effect of Jute Fibre Loading on the Mechanical and Thermal Properties of Oil Palm Epoxy Composites,” *Journal of Composite Materials*, Vol. 47, No. 13, pp. 1633-1641, 2012.
- [20] Yilmaz, C., Akalin, C., Gunal, I., Celik, H., Buyuk, M., Suleman, A., Yildiz, M., “A Hybrid Damage Assessment for E-and S-Glass