



نشریه علمی پژوهشی

علوم و فناوری کامپوزیت

http://jstc.iut.ac.ir



مطالعه آزمایشگاهی خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های زیست تجزیه پذیر تقویت شده الیافی

کامران محفوظی^{1*}، آرش تحویلی²

1- مربی دانشور، مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان، رشت

2- مربی، مهندسی نساجی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران

* رشت، کد پستی 41996-13776، mahfoozi@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله:

چکیده

دریافت: 1400/05/18

پذیرش: 1400/10/08

کلیدواژگان

کامپوزیت، رزین زیست تجزیه پذیر، پلی‌وینیل الکل، کربوکسی متیل سلولز، پارچه پنبه‌ای

در این پژوهش خواص فیزیکی و زیست تجزیه پذیری کامپوزیت‌های سبز، حاصل از پارچه پنبه‌ای و رزین‌های زیست تجزیه پذیر (ترکیب نشاسته، پلی‌وینیل الکل (PVA) و کربوکسی متیل سلولز (CMC))، از روش ریخته‌گری محلول مطالعه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بهترین استحکام کششی (معادل $27.8 \text{ MPa} \pm 2.1 \text{ MPa}$) و همچنین بیشترین مقدار مدول یانگ ($8.3 \text{ GPa} \pm 0.8 \text{ GPa}$)، در کامپوزیت ساخته شده از نسبت 60% حجمی پارچه پنبه‌ای و رزین نشاسته (5% وزنی)، پلی‌وینیل الکل (7% وزنی) و کربوکسی متیل سلولز (1.5% وزنی) مشاهده می‌شود، که با کامپوزیت‌های متداول قابل مقایسه است. این خاصیت به‌تنهایی از پارچه پنبه‌ای و فیلم تهیه شده از رزین زیست تجزیه پذیر بیشتر است. بررسی مورفولوژیکی توسط عکس‌های میکروسکوپ الکترونی، بیانگر تقویت کامپوزیت توسط الیاف پنبه هستند. این امر به فعل‌وانفعال قوی میان پارچه پنبه‌ای و رزین قابل تجزیه بیولوژیکی مرتبط می‌شود. با افزایش درصد کربوکسی متیل سلولز، مقاومت کامپوزیت‌ها در برابر نفوذ رطوبت بهبود می‌یابد. آزمون زیست تجزیه پذیری نشان می‌دهد که افزودن کربوکسی متیل سلولز، سبب کاهش زیست تجزیه پذیری کامپوزیت‌ها و افزودن نشاسته و پلی‌وینیل الکل، باعث افزایش آن می‌شود. این کامپوزیت‌ها می‌توانند کاندید مناسبی برای کامپوزیت‌های زیست تجزیه پذیر پلیمری با کارایی بالا باشند.

Experimental study on mechanical and physical properties of biodegradable fiber reinforced composites

Kamran Mahfouzi^{1*}, Arash Tahvili²

1- Engineering department, University of Guilan, Rasht, Iran.

2- Department of textile engineering, Technical and Vocational university, Tehran, Iran

* P.O.B. 41996-13776, Rasht, Iran, mahfoozi@guilan.ac.ir

Keywords

Composite, biodegradable resin, poly vinyl alcohol, carboxymethyl cellulose (CMC), cotton fabric

Abstract

In this paper physical and biodegradable properties of green composite made of cotton fabric and biodegradable resins (starch, poly vinyl alcohol (PVA) & carboxy methyl cellulose (CMC)) prepared by a solution casting method have been studied. The obtained results show that the best tensile strength (equivalent to $27.8 \text{ MPa} \pm 2.1 \text{ MPa}$) as well as the highest amount of Young's modulus ($8.3 \text{ GPa} \pm 0.8 \text{ GPa}$), is observed in the composites made of cotton fabric content (60 vol.%), 5 wt% starch, 7 wt% PVA & 1.5 wt% CMC by weight), which is comparable to conventional composites. This property is more than just cotton fabric and the film made from biodegradable resin. Morphological examination by scanning electron microscopy shows that the composite is reinforced by cotton fibers. This is due to the strong interaction between the cotton fabric and biodegradable resin. By increasing the percentage of CMC, the resistance of composites to moisture penetration is improved. The biodegradability test shows that the addition of CMC reduces the biodegradability of the composites and the addition of starch and polyvinyl alcohol increases it. These composites can be a good candidate for high performance biodegradable polymer composites.

1-مقدمه

تجزیه پذیر، نشاسته بیشترین پتانسیل ذاتی را به‌عنوان ماده مورد استفاده در پلاستیک‌های زیست تجزیه پذیر، به سبب فراوانی طبیعی و هزینه پایین دارد. نشاسته یکی از ارزان‌ترین مواد زیست تجزیه پذیر است که در صنایع مختلف غیرغذایی، مانند ساخت کاغذ، آهار نساجی، چسب‌ها و مقوا به کار برده می‌شود

در سال‌های اخیر افزایش قیمت انرژی‌های فسیلی و نگرانی‌های زیست محیطی، فرصت تازه‌ای را برای تولیدات صنعتی تهیه شده از مواد زیست تجزیه پذیر، بر پایه منابع تجدیدپذیر طبیعی به وجود آورده‌اند. در میان پلیمرهای زیست

Please cite this article using:

برای ارجاع به مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Mahfouzi, K., Tahvili, A., "Experimental study on mechanical and physical properties of biodegradable fiber reinforced composites", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 8, No. 2, pp. 1563-1572, 2021. <https://doi.org/10.22068/JSTC.2021.534454.1739>

حسین خانی و همکاران بر روی خاصیت ویسکوالاستیک چندلایه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف بلند و وابستگی آن به زاویه الیاف، مطالعه‌ای انجام داده و خاصیت ویسکوالاستیک را با آزمون رهایی تنش، در سه زاویه الیاف صفر، 45 و 90 درجه بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که میزان کاهش مدول رهایی تنش در زوایای الیاف صفر، 45 و 90 درجه در مدت زمان 150 دقیقه، به ترتیب 5، 16 و 18 درصد مقدار اولیه هستند [8]. صالح احمدی و همکاران نیز در تحقیقی الیاف تنه درخت خرما را به عنوان تقویت کننده، در کامپوزیت با زمینه اپوکسی به کار گرفته، نمونه‌های کامپوزیتی را با استفاده از الیاف برش داده شده، به طول 1، 2 و 3 سانتی متر و با سه سطح از درصد حجمی الیاف، با استفاده از روش قالب گیری دستی تولید نموده و تحت آزمون‌های کشش و خمش سه نقطه‌ای قرار داده‌اند. با افزودن الیاف خرما به اپوکسی، مدول خمشی کامپوزیت افزایش یافته است. این افزایش در نمونه‌های حاوی 7.5 و 10.7 درصد حجمی الیاف مشاهده شده که بیشترین مقدار آن به میزان 3.7 GPa در نمونه 7.5 درصد حجمی 105% (افزایش) به دست آمده است [9]. مرادی و همکاران از الیاف گیاهی پنبه و کنف و الیاف حیوانی پشم بافته شده ساده، به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌های لایه‌ای پایه اپوکسی استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که نسبت استحکام ویژه تحت بار کششی چندلایه‌های پنبه/اپوکسی، به چندلایه‌ای تقویت شده با الیاف کنف یا پشم، به ترتیب برابر 1.71 و 4.47 هستند. تحت بار برشی، استحکام ویژه نمونه‌ها به ترتیب با تغییر الیاف کنف و پشم به پنبه، 1.24 و 2.45 برابر بزرگ تر شده است. علاوه، استحکام خمشی ویژه کامپوزیت‌های پنبه/اپوکسی، به ترتیب 1.42 و 2.34 برابر بزرگ تر از کامپوزیت‌های کنف/اپوکسی و پشم/اپوکسی به دست آمده‌اند. همچنین، انرژی جذب شده ویژه مربوط به کامپوزیت‌های لایه‌ای پنبه/اپوکسی، تحت بار کششی 2.7 برابر بزرگ تر 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 سه و ده روز صورت گرفته و آشکار شد که بیشترین درصد جذب آب (7.47%) مربوط به نمونه تقویت شده با پنبه، در بازه زمانی ده روز بوده است [10]. در تحقیق پیش رو از پارچه پنبه‌ای به عنوان تقویت کننده الیافی کامپوزیت‌های زیست تجزیه پذیر استفاده شده و نشاسته و PVA جهت زمینه کامپوزیت و کربوکسی متیل سلولز، برای افزایش تقویت کنندگی آن به کار گرفته می‌شود.

2- روش تحقیق

2-1- مواد

نشاسته گندم از شرکت نشاسته ایران تهیه شده و کربوکسی متیل سلولز گرید A، از نماینده شرکت سانروز (sunroze) ژاپن، PVA از نماینده شرکت گزینول ژاپن (GH17) و گلیسرول و دترجنت از شرکت شیمیایی پاسارگاد نوبین خریداری شده‌اند. همچنین پارچه پنبه‌ای از شرکت بافت ایران تهیه شده است.

2-2- روش ساخت

2-2-1- ساخت کامپوزیت

محلول پلیمری نشاسته، پلی وینیل الکل و کربوکسی متیل سلولز با نسبت‌های مطابق جدول 1 تهیه شده‌اند. سپس محلول پلیمری بر روی پارچه ریخته شده و آغشته سازی انجام گرفته است. نمونه‌ها داخل آون با دمای 70°C به مدت 23h جهت خشک شدن قرار گرفته‌اند. ضخامت کامپوزیت‌ها پس از خشک شدن حدود 0.86 mm به دست آمد و نمونه‌ها پس از خشک شدن به داخل دسیکاتور انتقال داده شدند.

[1]. فیلم‌های تهیه شده از نشاسته، ترد و شکننده بوده و از استحکام کافی برخوردار نیستند و برای افزایش انعطاف پذیری آن‌ها از پلاستی‌سایزرها استفاده می‌شود. پلاستی‌سایزهای مورد استفاده برای این منظور، آب، گلیسرین، الکل و... هستند، البته افزودن پلاستی‌سایزرها، استحکام فیلم نهایی را، به خصوص در رطوبت‌های بالا، کاهش می‌دهد. برای بهبود خواص مکانیکی این فیلم‌ها از مخلوط نشاسته با مواد پلی ساکاریدی دیگر، مانند کربوکسی متیل سلولز استفاده می‌شود. کربوکسی متیل سلولز، پلی ساکارید نامشابه با وزن مولکولی بالا و محلول در آب است، که اغلب به همراه نشاسته برای بهبود کیفیت نهایی منسوجات، کنترل رطوبت و آب و یا پایداری به کار می‌رود. از دیگر پلیمرهای زیست تجزیه پذیر، پلی وینیل الکل، یک ماده مصنوعی زیست تجزیه پذیر است، که مزایای زیادی از جمله، شکل پذیری فیلمی خوب، چسبندگی قوی و ثبات حرارتی بالا دارد [2]. هر چند حجم زیادی از کامپوزیت‌ها بر پایه الیاف مصنوعی هستند، اما بالا بودن هزینه آن‌ها منجر به کاهش دسترسی به آن‌ها شده است. در طی سال‌های اخیر از الیاف طبیعی برای تقویت مواد ترموپلاستیکی، به سبب دانسیته پایین و مزایای زیستی استفاده می‌شود. این الیاف به دلیل زیست تجزیه پذیری، می‌توانند باعث بهبود مدیریت پسماندها شده و بنابراین در ترکیب با پلیمرهای ترموپلاستیک زیست تجزیه پذیر، مواد کامپوزیتی با کاربردهای مختلفی ایجاد کنند [3]. ویلاسکا و همکاران کامپوزیت‌های مبتنی بر نشاسته تقویت شده با رشته‌های جوت با روش قالب گیری تزریقی را بررسی کرده و تأثیر میزان چسبندگی سطح الیاف و زمینه بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش درصد الیاف جوت از 0 تا 30% استحکام تا حد پارگی از 13.2 MPa به 22.2 MPa و مدول یانگ از 600 MPa به 2470 MPa افزایش و درصد ازدیاد طول از 22.6% به 1.8% کاهش می‌یابد [4]. لو و همکاران با تحقیق بر روی کامپوزیت نشاسته و الیاف رامی مشاهده نموده با افزوده شدن الیاف به زمینه از 0 تا 40% خواص مکانیکی کامپوزیت از جمله مدول یانگ از 56 MPa تا 480 MPa و استحکام تا حد پارگی از 2.8 MPa تا 9.6 MPa افزایش یافته و باعث کاهش ازدیاد طول تا حد پارگی از 94.2% به 13.65% می‌شود. همچنین مشکل آبدوستی زیاد پلیمر نشاسته از طریق ترکیب کردن با پرکننده‌های مناسب حل می‌شود. افزوده شدن نانوکریستال‌های رامی به زمینه پلاستی‌سایز شده نشاسته، مقاومت در برابر آب را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد که دلیل آن ایجاد شبکه‌های سه بعدی از پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی که بین پرکننده با خودش و پرکننده با زمینه است که باعث مقاومت بیشتر در برابر جذب آب می‌شود [5]. خان و همکاران خواص کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده الیاف طبیعی را بررسی کردند. خواص پلیمرهای تقویت شده با الیاف طبیعی به عواملی مانند خواص الیاف و زمینه، درصد بارگذاری الیاف، طول و جهت قرارگیری الیاف، مقدار پیوند سطحی و ترکیب مواد افزودنی بستگی دارد. نتایج نشان می‌دهد که بهترین حالت برای استحکام و مدول کامپوزیت در ترکیب 30% الی 40% وزنی الیاف حاصل می‌شود. همچنین الیاف با طول بین 20 mm تا 50 mm و مخلوط الیاف کوتاه و بلند به دلیل کاهش فضای خالی، حالت بهینه در استحکام و مدول دارد [6]. تاکاشی و همکاران خواص مکانیکی کامپوزیت پلی‌ال لاکتیک اسید و الیاف کنف را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که با ترکیب الیاف کنف به میزان 70% حجمی در کامپوزیت، مدول یانگ 6.3 GPa و استحکام 62 MPa به دست می‌آید که قابل مقایسه با کامپوزیت‌های متداول است. این نتایج از خواص دسته الیاف کنف و نیز لایه پلیمر به تنهایی بیشتر است [7].

جدول 1 نحوه شماره‌گذاری نمونه‌های کامپوزیت

Table 1 Numbering of composite samples

9%			7%			5%			درصد وزنی پلی‌وینیل الکل gr
9%	7%	5%	9%	7%	5%	9%	7%	5%	درصد وزنی نشاسته gr
33	29	25	21	17	13	9	5	1	0%
34	30	26	22	18	14	10	6	2	0.5%
35	31	27	23	19	15	11	7	3	1%
36	32	27	24	20	16	12	8	4	1.5%

هلند) استفاده شد و قبل از مشاهده، سطح نمونه با لایه نازکی از طلا به ضخامت حدود 100\AA پوشانده شد.

3- نتایج و بحث

3-1- استحکام کششی کامپوزیت‌ها

خواص مکانیکی حاصل از آزمون کشش در شکل 1 نشان داده شده است. ویژگی‌های مکانیکی یک پلیمر یا بیوپلیمر، هم توسط اتصال‌دهنده‌های عرضی و هم توسط پلاستی‌سایزرها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. معمولاً اتصال‌دهنده‌های عرضی و پلاستی‌سایزرها، اثر متضادی بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها دارند. به‌طور کلی با افزایش میزان اتصال‌دهنده‌های عرضی، استحکام کششی افزایش و کرنش تا نقطه شکست کاهش پیدا می‌کند، درحالی‌که پلاستی‌سایزرها اثری کاملاً عکس دارند [13].

کربوکسی متیل سلولز در کامپوزیت، نقش اتصال‌دهنده عرضی را داشته و اثر بخشی آن به میزان مصرف آن ارتباط دارد. همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود، در تمام نمونه‌ها با افزودن کربوکسی متیل سلولز تا 1.5 درصد وزنی، استحکام کششی کامپوزیت‌ها افزایش پیدا می‌کند. بیشترین مقدار استحکام کششی، $(27.8 \text{ MPa} \pm 2.1 \text{ MPa})$ در نمونه تهیه‌شده با 5 درصد وزنی نشاسته، 7 درصد وزنی PVA و 1.5 درصد وزنی کربوکسی متیل سلولز مشاهده می‌شود. دلیل این پدیده ایجاد برهم‌کنش‌های بین مولکولی قوی، در بین ماکرومولکول‌های نشاسته و کربوکسی متیل سلولز، به دلیل شباهت ساختاری این دو ماده (پلی‌ساکارید بودن هر دو) است، که با تقویت شبکه بیوپلیمر، می‌توانند به بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت کمک کنند.

در غلظت کم نشاسته (5%)، این تأثیر بیشتر از دو غلظت دیگر است. دلیل این امر را شاید بتوان به کاهش مقدار پلاستی‌سایز در مقادیر بالاتر نشاسته نسبت داد. با افزایش مقادیر نشاسته و کاهش تأثیر پلاستی‌سایزرها (آب و گلیسرین)، ساختار نشاسته به‌طور مناسب تخریب نشده و در نتیجه پیوندهای مستحکمی بین گروه‌های هیدروکسیل نشاسته، گروه‌های کربوکسیلی در کربوکسی متیل سلولز و گروه‌های هیدروکسیلی در پلی‌وینیل الکل تشکیل نمی‌شوند. در حالت کلی در غلظت‌های بالاتر نشاسته، 7% و 9% نمونه‌ها حالت ترد و شکننده‌تری به خود گرفته و خواص مکانیکی پایین‌تری را نسبت به غلظت 5% نشاسته از خود نشان می‌دهند. با افزایش مقدار کربوکسی متیل سلولز، میزان کرنش کامپوزیت‌ها برخلاف استحکام کششی کاهش می‌یابند. دلیل این کاهش کرنش را می‌توان برقراری پیوندهای مناسب بین اجزای کامپوزیت‌ها دانست. نمونه‌های کامپوزیتی که در آن‌ها از کربوکسی متیل سلولز استفاده نشده، دارای کرنش بیشتری در مقایسه با کامپوزیت‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز هستند. در کامپوزیت‌های پایه پلیمری، ایاف در تغییر شکل الاستیکی تا نقطه شکست نقش بسزایی دارند، درحالی‌که بخش پلیمری متحمل تغییر شکل پلاستیکی بعد از کرنش است. به‌طور کلی تغییر شکل

2-2-2- اندازه‌گیری خواص مکانیکی

استحکام کششی، کرنش تا شکست و مدول یانگ کامپوزیت‌ها با استفاده از دستگاه استحکام‌سنج شرلی، ساخت کشور انگلستان و بر طبق استاندارد ASTM D882 اندازه‌گیری شد

ابتدا نمونه‌ها به مدت 24h در (رطوبت نسبی 55% و دمای 25°C) شرایطی شدند. سپس ده نمونه از هر یک از کامپوزیت‌های ساخته‌شده، به شکل چهارگوش و با ابعاد $10 \times 1.5 \text{ cm}$ بریده شد و بین دو فک دستگاه قرار گرفت. فاصله اولیه دو فک و سرعت حرکت فک بالایی به ترتیب، 8 cm، 5 mm/min بوده و داده‌ها پس از تعیین، ثبت شدند.

2-2-3- اندازه‌گیری جذب رطوبت

برای اندازه‌گیری جذب رطوبت، از روش Rui-Hua Hu و همکارانش، البته با کمی تغییر استفاده شد [11]. دلیل انتخاب این روش بررسی جذب رطوبت کامپوزیت در شرایط محیطی مرطوب و گرم است و این روش به جهت شبیه‌سازی مناسب شرایط ذکر شده، استفاده می‌شود.

ابتدا نمونه‌ها در دمای 50°C به مدت 7h خشک شدند. از نمونه‌های کامپوزیتی خشک‌شده، نمونه‌های $2 \times 2 \text{ cm}$ تهیه شده و در داخل دسیکاتور حاوی سولفات کلسیم ($RH = 0\%$) به مدت 24h قرار گرفتند. پس از توزین اولیه، نمونه‌ها داخل جعبه پوشیده‌شده قرار گرفتند که جعبه حاوی مقداری آب در کف آن بود. سپس جعبه حاوی نمونه‌ها داخل آن با دمای 70°C به مدت 24h قرار گرفت. رطوبت سطحی نمونه‌ها با دستمال کاغذی پاک شده و وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که جذب رطوبت نمونه‌ها W_m ، از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$W_m = (W_e - W_0) / W_0 \quad (1)$$

W_e وزن نمونه‌ها در حالت تعادل رطوبتی و W_0 وزن خشک اولیه نمونه‌ها است.

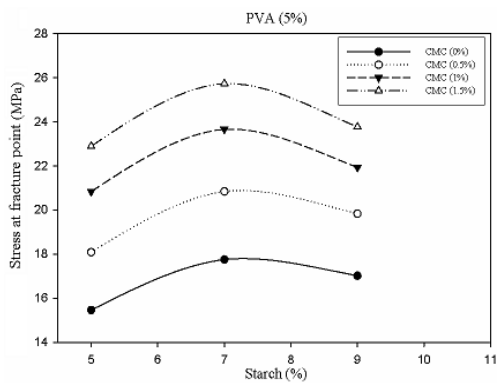
2-2-4- آزمون زیست تجزیه‌پذیری

برای اندازه‌گیری میزان تجزیه‌پذیری نمونه‌ها از روش Thakore IM و همکارانش، البته با کمی تغییر استفاده شد [12]. ابتدا نمونه‌هایی با ابعاد $3 \times 3 \text{ cm}$ تهیه شده و سپس در داخل جعبه‌ای حاوی خاک، با 20-30% رطوبت در عمق 5 cm دفن شدند. بعد از آن نمونه‌ها در داخل دسیکاتور با رطوبت نسبی 75% و دمای 25°C قرار گرفتند. نمونه‌ها بعد از 25 روز از داخل خاک بیرون آورده شده، با آب شستشو داده شده و در آن با دمای 60°C خشک شدند تا به یک وزن ثابت رسیدند. سپس وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و درصد کاهش وزن، مبنای آزمایش زیست تجزیه‌پذیری قرار گرفت.

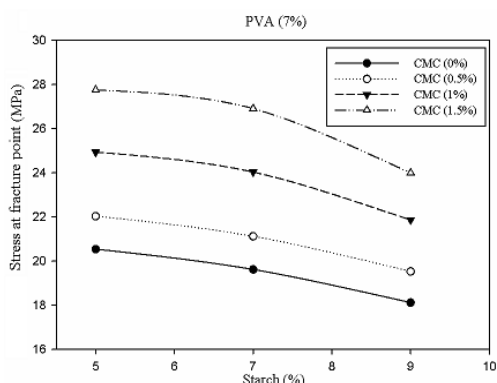
2-2-5- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی‌های سطحی و همچنین سطح شکست کامپوزیت‌ها، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل XL30، ساخت شرکت Philips از کشور

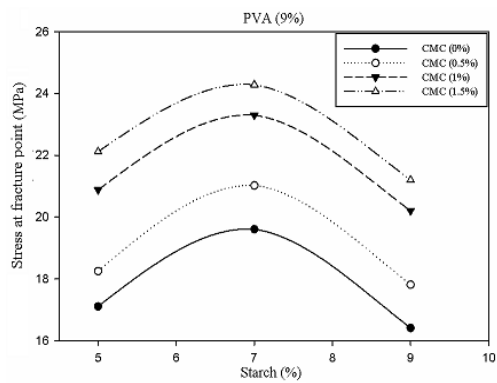
شکل 2 (الف، ب و پ)، تأثیر مقدار نشاسته را بر روی استحکام کامپوزیت‌ها نشان می‌دهد. در شکل 2 (الف و پ) با افزایش مقدار نشاسته، استحکام کامپوزیت‌ها افزایش می‌یابد، اما از یک حد بهینه برخوردار هستند. در شکل 2 (ب) با افزایش غلظت نشاسته، کاهش استحکام مشاهده می‌شود. به‌طور کلی از آنجایی‌که پیوند بین نشاسته و پلی‌وینیل الکل از استحکام بالایی برخوردار نیست، از کربوکسی متیل سلولز به‌عنوان اتصال دهنده عرضی استفاده می‌شود، که این امر در شکل قابل مشاهده است. با افزایش نشاسته، در غلظت 5% پلی‌وینیل الکل، روند افزایش استحکام از غلظت 9% پلی‌وینیل الکل منظم‌تر است.



a - الف



b - ب



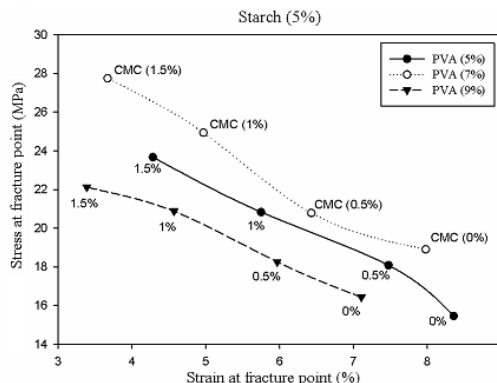
c - پ

Fig. 2 Effect of starch content on the stress fracture point of composite (a) contains 5% polyvinyl alcohol, (b) contains 7% polyvinyl alcohol, (c) contains 9% polyvinyl alcohol

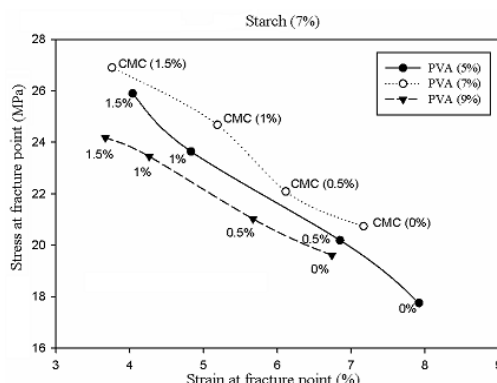
شکل 2 تأثیر میزان نشاسته، بر روی تنش کرنش در نقطه پارگی کامپوزیت، (الف) دارای 5% پلی‌وینیل الکل، (ب) دارای 7% پلی‌وینیل الکل، (پ) دارای 9% پلی‌وینیل الکل)

نهایی الیاف (ϵ_f)، در نقطه شکست کامپوزیت اندازه‌گیری می‌شود، از این رو تغییر شکل بخش پلیمری (ϵ_m) بزرگ‌تر از الیاف است [14].

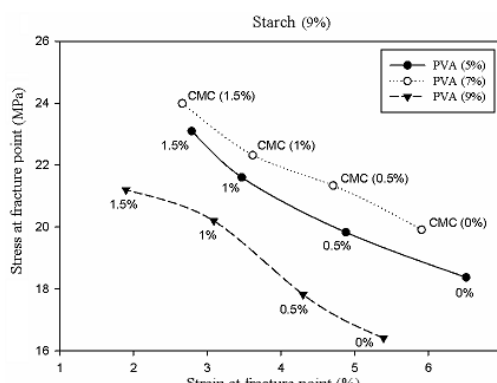
علت این امر می‌تواند اول به دلیل خواص ذاتی پلی‌وینیل الکل و دوم به دلیل استفاده از مقدار مناسب نشاسته تخریب‌شده در ترکیب با پلی‌وینیل الکل باشد، که خواص پلاستیکی خوبی ایجاد می‌کنند. بیشترین میزان کرنش ($8.46\% \pm 1.1\%$) در شکل 1 (الف)، در نمونه‌ای حاوی 5% نشاسته و 5% پلی‌وینیل الکل مشاهده می‌شود. کمترین میزان کرنش 3.4% در نمونه تهیه‌شده با 7% نشاسته، 7% پلی‌وینیل الکل و 1.5% کربوکسی متیل سلولز است.



a - الف



b - ب



c - پ

Fig. 1 Effect of carboxymethylcellulose on the stress-strain at fracture point of composites (a) containing 5% starch, (b) containing 7% starch, (c) containing 9% starch

شکل 1 تأثیر میزان کربوکسی متیل سلولز، بر روی تنش-کرنش در نقطه پارگی کامپوزیت‌ها، (الف) دارای 5% نشاسته، (ب) دارای 7% نشاسته، (پ) دارای 9% نشاسته

2-3-مدول یانگ کامپوزیت‌ها

مدول یانگ میزان افزایش استحکام کامپوزیت در کرنش کم را نشان می‌دهد. به منظور محاسبه مدول یانگ از فرمول (2) استفاده شد.

$$E = \sigma / \epsilon \quad (2)$$

که در فرمول، E نشان دهنده مدول یانگ، σ تنش در محور آزمایش و ϵ کرنش است. همان‌گونه که شکل 3 (الف، ب و پ) نشان می‌دهد، با افزایش مقدار کربوکسی متیل سلولوز از 0% به 1.5%، مقدار مدول یانگ افزایش پیدا می‌کند. این افزایش مدول در غلظت 7% پلی‌وینیل الکل برای هر سه منحنی شکل 3 بیشتر است.

بیشترین مقدار مدول یانگ ($8.3 \text{ GPa} \pm 0.8 \text{ GPa}$)، در نمونه تهیه شده با 5% نشاسته، 7% پلی‌وینیل الکل و 1.5% کربوکسی متیل سلولوز مشاهده می‌شود. در شکل 3 (الف و ب)، مقدار مدول یانگ برای غلظت 9% پلی‌وینیل الکل، بیشتر از غلظت 5% آن بوده، درحالی‌که در شکل 3 (پ)، این قضیه معکوس است. در غلظت 9% و 5% پلی‌وینیل الکل، مقدار مدول کمتر نسبت به غلظت 7% پلی‌وینیل الکل ملاحظه می‌شود، که این مقدار کاهش در غلظت 5% نشاسته، محسوس‌تر از دیگر غلظت‌های نشاسته است. در شکل 3 (الف و ب) در غلظت‌های 7% و 5% نشاسته، با افزایش مقدار پلی‌وینیل الکل، افزایش مدول مشاهده می‌شود، اما حالت بهینه‌ای دارد. در غلظت 7% پلی‌وینیل الکل، بیشترین مقدار مدول یانگ دیده می‌شود. در این غلظت مقدار نشاسته پخش شده در آب، بهتر مورد تخریب ساختاری توسط آب و گلیسرین قرار گرفته و با افزایش پلی‌وینیل الکل و کربوکسی متیل سلولوز، احتمال ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسی در نشاسته و پلی‌وینیل الکل و همچنین گروه‌های کربوکسی متیل سلولوز افزایش می‌یابد. پیوندهای هیدروژنی، پیوندهای بسیار محکمی نیستند، اما به دلیل فراوانی می‌توانند ساختار محکمی را ایجاد کنند. این روند در غلظت 9% نشاسته نیز وجود دارد، اما مقدار مدول یانگ در غلظت 9% پلی‌وینیل الکل، کمتر از مقدار مدول یانگ در غلظت 5% آن است. در غلظت 9% نشاسته، به دلیل لاپا بودن میزان غلظت نشاسته و پلی‌وینیل الکل نسبت به حالت‌های دیگر، کاهش میزان پلاستی‌سایزر نسبت به مقدار نشاسته استفاده شده، موجب عدم شکسته شدن مناسب دانه‌های نشاسته می‌شود. به دنبال آن حالت ژله‌ای مناسب ایجاد نشده و در نتیجه ترکیب ناهماهنگی بین اجزای کامپوزیت برقرار شده و خواص مکانیکی کاهش پیدا می‌کنند.

3-3-تأثیر مقدار محتوی پارچه پنبه‌ای

شکل 4 (الف، ب) تأثیر مقدار محتوی پارچه پنبه‌ای را بر روی استحکام کششی و مدول یانگ کامپوزیت‌ها در حالت بهینه نشاسته 5%، پلی‌وینیل الکل 7% و کربوکسی متیل سلولوز 1.5% نشان می‌دهد.

تأثیر محتوی پنبه‌ای از 0 تا 100% بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها بررسی می‌شود. از نتایج آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار محتوی پنبه‌ای از 0 تا 60%، استحکام کششی و مدول یانگ افزایش می‌یابد. پس از آن نیز با افزایش بیشتر مقدار محتوی پنبه‌ای، استحکام کششی و مدول یانگ کامپوزیت‌ها کاهش پیدا می‌کند. بالاترین مقدار استحکام کششی (27.9 MPa) و مدول یانگ ($8.3 \text{ GPa} \pm 0.8 \text{ GPa}$)، در محتوی پنبه‌ای حدود 60% مشاهده شد که این مقادیر با کامپوزیت‌های متداول قابل مقایسه هستند. کاهش خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها در مقدار محتوی پنبه‌ای بیش از 60%، به سبب کاهش مقدار زمینه و ناکافی بودن مقدار آن برای نگهداری پارچه در داخل خود است. در این حالت با کاهش مقدار مناسب زمینه، فصل مشترک الیاف با زمینه ضعیف شده و انتقال نیرو به‌طور کامل از زمینه به الیاف صورت نمی‌گیرد. در این حالت نیرو بیشتر به الیاف وارد شده و در نتیجه خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها کاهش می‌یابد.

4-3-بررسی مورفولوژیکی

شکل 5 تصاویر میکروسکوپ الکترونی گرفته شده از نمونه‌های کامپوزیتی را در محتوی 60% وزنی الیافی نشان می‌دهد. شکل 5 (الف) تصویری از سطح نمونه کامپوزیتی است که در آن سطح صاف و یکنواخت کامپوزیت مشاهده می‌شود. با این وجود در برخی از نقاط، تجمع مواد پلیمری به چشم می‌خورد، اما در حالت کلی کامپوزیت از سطح صاف و یکنواختی برخوردار است. این یکنواختی سطح می‌تواند بیانگر ترکیب خوب مواد پلیمری با یکدیگر باشند.

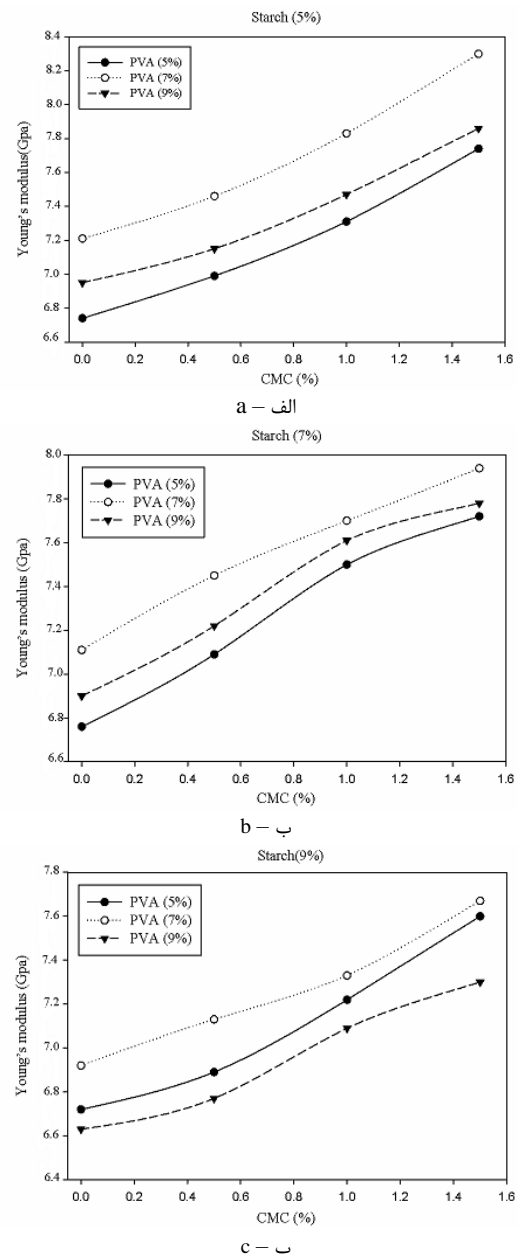


Fig. 3 The effect of carboxymethylcellulose on the Young's modulus of composites, (a) containing 5% starch, (b) containing 7% starch, (c) containing 9% of starch

شکل 3 تأثیر میزان کربوکسی متیل سلولوز بر مدول یانگ کامپوزیت‌ها، (الف) دارای 5% نشاسته، (ب) دارای 7% نشاسته، (پ) دارای 9% نشاسته

شکل 5 (پ) تصویر ترکیب مناسب زمینه با پارچه پنبه‌ای را نشان می‌دهد که در آن فضاهای خالی بین نخ‌ها با زمینه پر شده‌اند و سطح صاف و یکنواختی را به وجود آورده‌اند. وجود فضاهای خالی و خلل و فرج‌ها در کامپوزیت، موجب تمرکز تنش در نقاط خالی و در نتیجه کاهش استحکام و در برخی مواقع، سبب شکست کامپوزیت می‌شود.

شکل 5 (ت) تصویری از سطح شکست کامپوزیت را، بعد از آزمون کشش نشان می‌دهد و بیرون کشیدگی نخ‌ها از درون زمینه کاملاً مشهود هستند. این تصویر در حقیقت بیانگر تقویت‌کنندگی کامپوزیت توسط الیاف است، زیرا نیروی وارده به کامپوزیت، ابتدا به زمینه وارد شده و سپس به الیاف وارد می‌شود. از آنجایی که سطح شکست کامپوزیت به صورت صاف نبوده و بیرون کشیدگی الیاف از درون زمینه مشهود است، در نتیجه می‌توان به اثر تقویت‌کنندگی الیاف پی برد.

5-3- مقایسه استحکام کششی (زمینه، الیاف و کامپوزیت)

شکل 6 منحنی‌های تنش-کرنش پارچه پنبه‌ای، فیلم تهیه شده از زمینه و کامپوزیت پنبه/زمینه را در محتوی الیاف 60% نشان می‌دهد. مقدار مدول یانگ و استحکام کششی کامپوزیت، از فیلم تهیه شده از زمینه بالاتر است. به طور کلی این مسئله نشان‌دهنده اثر تقویت‌کننده پارچه پنبه‌ای داخل زمینه بوده و خواص مکانیکی کامپوزیت، حتی در مقایسه با پارچه تنها نیز بالاتر است. در اینجا می‌توان به برهم‌کنش قوی بین زمینه و پارچه پنبه‌ای پی برد. همان‌گونه که در شکل 6 دیده می‌شود، مقدار استحکام کششی و مدول یانگ پارچه، بالاتر از فیلم تهیه شده از زمینه است، در نتیجه می‌توان به تأثیر تقویت‌کننده پارچه در کامپوزیت پی برد. کرنش فیلم تهیه شده از زمینه در مقایسه با پارچه و کامپوزیت، از مقدار بیشتری برخوردار است.

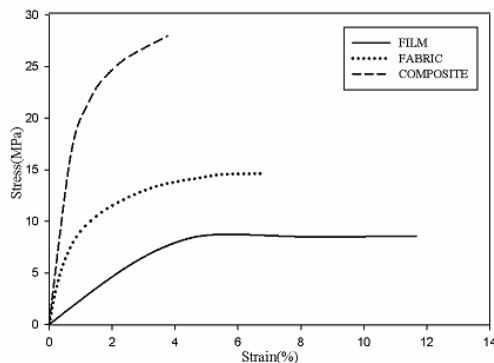


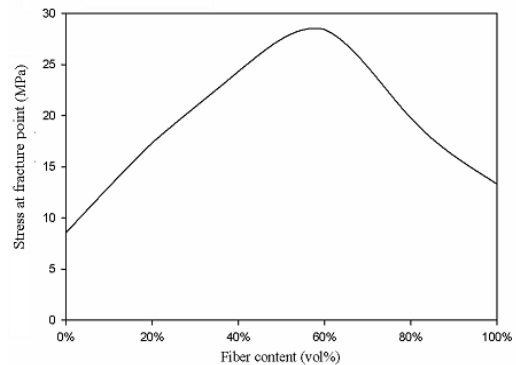
Fig. 6 Stress Strain curve (film, fabric, composite)

شکل 6 منحنی تنش کرنش (فیلم، پارچه، کامپوزیت)

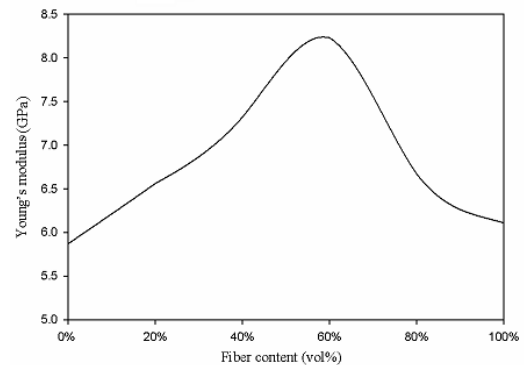
6-3- جذب رطوبت کامپوزیت‌ها

شکل 7 تأثیر میزان کربوکسی متیل سلولز بر روی میزان جذب رطوبت نمونه‌های کامپوزیتی را نشان می‌دهد. بیشترین جذب رطوبت (143.6%) در نمونه‌های حاوی 9% نشاسته و 9% پلی‌وینیل الکل، بدون حضور کربوکسی متیل سلولز مشاهده می‌شود. این در حالی است که با افزایش مقدار کربوکسی متیل سلولز، میزان جذب رطوبت به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. کمترین مقدار جذب رطوبت (81.6%) در نمونه‌های حاوی 5% نشاسته، 7% پلی‌وینیل الکل و 1.5% کربوکسی متیل سلولز دیده می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که کربوکسی متیل سلولز، قادر است مقاومت کامپوزیت‌ها را در برابر رطوبت افزایش دهد. به احتمال زیاد نشاسته قادر است با گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل کربوکسی متیل سلولز تشکیل پیوند داده و ایجاد این ساختار

شکل 5 (ب) تصویری از پارچه پنبه‌ای تار و پودی ساده را بدون زمینه نشان می‌دهد که در آن فضاهای خالی در بین نخ‌های پارچه قابل مشاهده هستند.



الف -



ب -

Fig. 4 Effect of Cotton Fabric Content on (a) Stress, (b) Young's Modulus of Composites

شکل 4 تأثیر مقدار محتوی پارچه پنبه‌ای بر روی الف- استحکام کششی، ب) مدول یانگ کامپوزیت‌ها

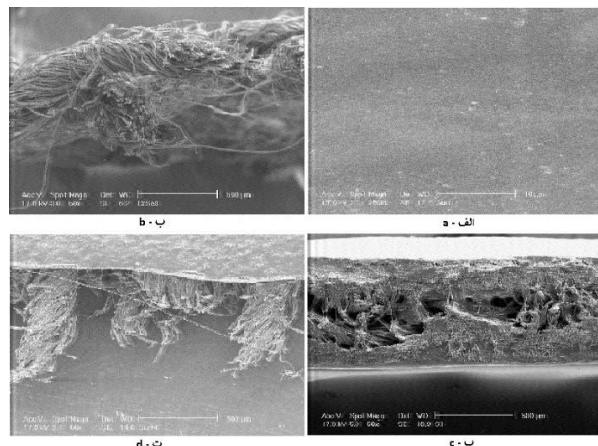


Fig. 5 Electron microscope images of composite samples containing 60% of fibers, (a) Composite sample surface, (b) Cotton fabric without matrix, (c) Appropriate combination of matrix and cotton fabric, (d) Composite failure after tensile test

شکل 5 تصاویر میکروسکوپ الکترونی گرفته شده از نمونه‌های کامپوزیتی، در محتوی 60% الیاف، الف) سطح نمونه کامپوزیتی، ب) پارچه پنبه‌ای بدون زمینه، پ) ترکیب مناسب زمینه و پارچه پنبه‌ای، ت) شکست کامپوزیت بعد از آزمون کشش

تأثیر مقدار نشاسته بر روی میزان جذب رطوبت کامپوزیت‌ها، در شکل 8 (الف، ب و پ) نشان داده شده است. با افزایش مقدار پلی‌وینیل الکل، میزان جذب رطوبت کامپوزیت‌ها افزایش می‌یابد. نشاسته ماده‌ای کاملاً آب‌دوست است و ترکیب پلی‌وینیل الکل یا نشاسته، مقدار کمی از میزان جذب رطوبت کامپوزیت‌های حاصل از آن‌ها را کاهش می‌دهد. این مسئله می‌تواند به دلیل آب‌دوستی پایین‌تر پلی‌وینیل الکل نسبت به نشاسته باشد، اما در حالت کلی میزان جذب رطوبت کامپوزیت‌ها بالا است.

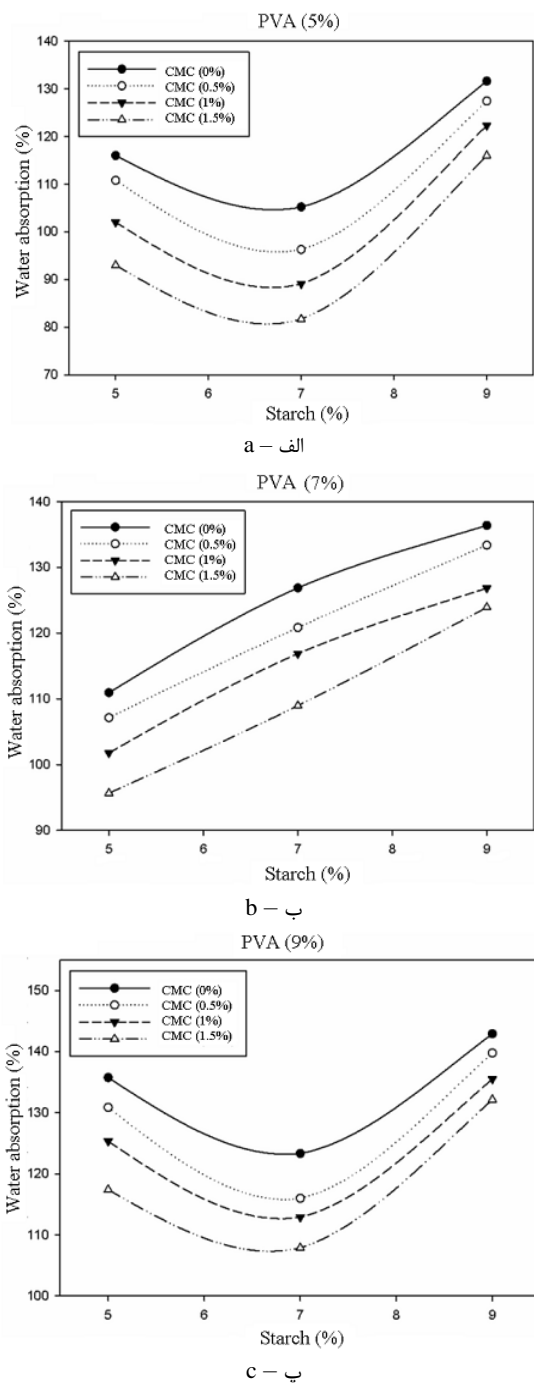


Fig. 8 Effect of starch content on the moisture absorption of composites (a) containing 5% polyvinyl alcohol, (b) containing 7% polyvinyl alcohol, (c) containing 9% polyvinyl alcohol

شکل 8 تأثیر میزان نشاسته بر روی جذب رطوبت کامپوزیت‌ها، دارای 5% پلی‌وینیل الکل، (ب) دارای 7% پلی‌وینیل الکل، (پ) دارای 9% پلی‌وینیل الکل

محکم، می‌تواند سرعت نفوذ مولکول‌های آب را به درون کامپوزیت‌ها کاهش دهد. اما همان‌طور که در شکل 7 دیده می‌شود، با وجود کاهش میزان جذب رطوبت، بر اثر افزایش مقدار کربوکسی متیل سلولز، همچنان میزان جذب رطوبت کامپوزیت‌ها بالا است. مقاومت کربوکسی متیل سلولز در برابر رطوبت بیشتر از نشاسته است و از طرف دیگر افزودن کربوکسی متیل سلولز، مسیر پریپیچ و خمی را برای نفوذ مولکول‌های آب ایجاد کرده و باعث کاهش نفوذ آب در ساختار کامپوزیت می‌شود [15]. این نتیجه نشان می‌دهد که افزودن کربوکسی متیل سلولز تا یک حد معین، می‌تواند ویژگی بازدارندگی در برابر رطوبت را بهبود بخشد، زیرا کربوکسی متیل سلولز ماده‌ای آب‌دوست به حساب می‌آید، هرچند که آب‌دوستی آن کمتر از نشاسته است.

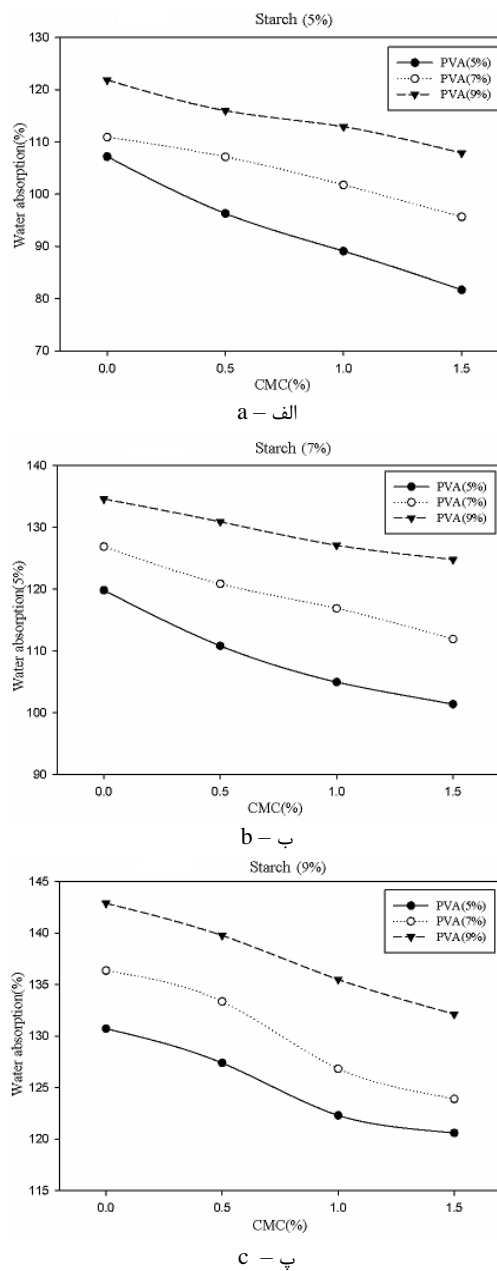


Fig. 7 The effect of carboxymethylcellulose on the water absorption curve of composites (a) containing 5% starch, (b) containing 7% starch, (c) containing 9% starch

شکل 7 تأثیر میزان کربوکسی متیل سلولز، بر روی منحنی جذب آب کامپوزیت‌ها، (الف) دارای 5% نشاسته، (ب) دارای 7% نشاسته، (پ) دارای 9% نشاسته

تجزیه پذیری بالای پلی وینیل الکل است. در نمونه‌های فاقد کربوکسی متیل سلولز، به دلیل وجود پیوندهای ضعیف‌تر نسبت به نمونه‌هایی که کربوکسی متیل سلولز وجود دارند، جذب رطوبت بیشتر را برای کامپوزیت‌ها ایجاد کرده و موجب شکست بیشتر پیوندها و در نتیجه کاهش وزن بیشتر می‌شود. پس با افزایش مقدار نشاسته و همچنین مقدار پلی وینیل الکل، جذب رطوبت کامپوزیت‌ها افزایش یافته، به دنبال آن شرایط مناسب برای رشد میکرواورگانیزم‌ها فراهم شده و در نتیجه میکرواورگانیزم موجب تجزیه کامپوزیت‌ها می‌شود [18].

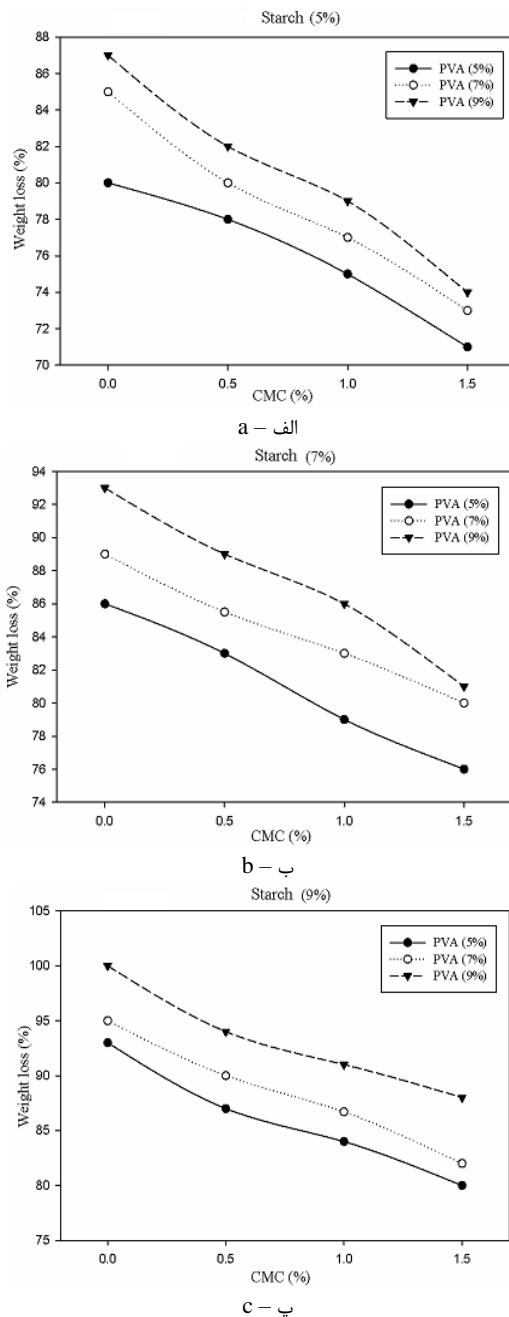


Fig. 9 Effect of CMC on the biodegradability of composites (a) contains 5% starch, (b) contains 7% starch, (c) contains 9% starch
شکل 9 تأثیر میزان کربوکسی متیل سلولز، بر روی زیست تجزیه پذیری کامپوزیت‌ها، (الف) دارای 5% نشاسته، (ب) دارای 7% نشاسته، (پ) دارای 9% نشاسته)

با توجه به شکل 8، نمونه‌های حاوی نشاسته بیشتر، از جذب رطوبت بالاتری برخوردار هستند. در شکل 8 (الف و پ)، در غلظت 7% نشاسته، جذب رطوبت کامپوزیت‌ها به کمترین مقدار خود رسیده و با افزایش مقدار نشاسته، جذب رطوبت افزایش می‌یابد. اما در غلظت 7% نشاسته شکل 8 (ب)، این روند متفاوت بوده و با افزایش مقدار نشاسته، میزان جذب رطوبت افزایش پیدا می‌کند. دلیل این پدیده را می‌توان به بالا بودن استحکام و مدول ینانگ در این غلظت نسبت داد. اگرچه کامپوزیت‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز استحکام خوبی دارند، مولکول‌های آب ابتدا بر روی سطح کامپوزیت‌ها جمع شده و مقداری جذب سطح می‌شوند، که در اصطلاح «جذب سطحی» نام دارند. سپس با افزایش هرچه بیشتر مولکول‌های آب بر روی سطح کامپوزیت‌ها، فشار آن‌ها برای نفوذ به داخل کامپوزیت‌ها افزایش یافته و مولکول‌های آب به داخل کامپوزیت‌ها نفوذ می‌کنند. با این وجود این مقدار نفوذ به اندازه‌ای نیست که بتواند موجب از هم گسیختگی کامپوزیت‌ها شود. با افزایش مولکول‌های آب، به دلیل خاصیت جذب رطوبت مواد پلی ساکاریدی (نشاسته و کربوکسی متیل سلولز) و پلی وینیل الکل، میزان جذب رطوبت کامپوزیت‌ها بالا می‌رود. همچنین مقداری از مولکول‌های آب به دلیل اثر مویبندی، توانایی قرارگیری در ساختار توخالی الیاف را دارند، که این امر می‌تواند سبب افزایش میزان جذب رطوبت کامپوزیت‌ها شود.

3-7-زیست تجزیه پذیری کامپوزیت‌ها

مطالعه تجزیه کامپوزیت‌های زیستی آنچنان مهم است، که می‌تواند به‌عنوان هدفی برای ساخت کامپوزیت‌های زیستی باشد [16]. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه کامپوزیت‌ها براساس مقادیر مختلف نشاسته، پلی وینیل الکی و کربوکسی متیل سلولز بعد از گذشت 25 روز نشان داده شده است. اندازه‌گیری مقدار کاهش وزن نمونه‌های کامپوزیتی، در مقدار محتوی الیاف سلولزی 60% انجام شده است. همان‌گونه که در شکل 9 (الف، ب و پ) دیده می‌شود، با افزایش مقدار کربوکسی متیل سلولز، کاهش وزنی کمتری در نمونه‌های کامپوزیتی به وجود می‌آید، که این کاهش وزن، معیاری برای اندازه‌گیری میزان زیست تجزیه پذیری کامپوزیت‌ها است. ارزیابی زیست تجزیه پذیری، اغلب براساس کاهش وزن مواد وابسته به تجزیه مولکول‌ها در فاز جامد است. آزمون تجزیه در خاک، مستقیم به تجزیه زیستی اشاره دارد. اگر نمونه‌ها داخل خاک با شرایط آب‌وهوایی و میکرواورگانیزم‌های مناسب قرار گیرند، در مقایسه با آزمون آنزیمی این روش مؤثرتر است [17]. طبق شکل 9، با افزایش مقدار کربوکسی متیل سلولز، وزن کامپوزیت‌ها کاهش می‌یابد که این کاهش وزن را می‌توان ناشی از ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین کربوکسی متیل سلولز، نشاسته و پلی وینیل الکل دانست. اما این پیوندها آنچنان مستحکم نیستند که مولکول‌های آب توانایی نفوذ بین آن‌ها را نداشته باشند. کمترین مقدار تجزیه (71.32%)، برای نمونه حاوی 5% نشاسته، 7% پلی وینیل الکل و 1.5% کربوکسی متیل سلولز است.

کربوکسی متیل سلولز قابلیت امتزاج‌پذیری و سازگاری با نشاسته و پلی وینیل الکل را برای تشکیل ساختار متراکم‌تر دارد. همین دلیل باعث کاهش نفوذ میکرواورگانیزم‌ها می‌شود، اما این کاهش نفوذ چندان بالا نبوده و نمونه به مقدار قابل توجهی تجزیه می‌شود.

در شکل 10 (الف، پ) کمترین مقدار کاهش وزن در غلظت 7% نشاسته مشاهده می‌شود، که با افزایش مقدار نشاسته مقدار کاهش وزن افزایش می‌یابد. این درحالی است که در شکل 10 (ب) با افزایش مقدار نشاسته، مقدار کاهش وزن افزایش پیدا می‌کند. در حالت کلی با افزایش مقدار پلی وینیل الکل از 5% به 9%، کاهش وزن بیشتری ملاحظه می‌شود، که ناشی از آب‌دوستی و زیست

الیاف سلولزی به دلیل خاصیت آمورفی و همچنین وجود کانال‌های توخالی در ساختار خود، به‌طور طبیعی مورد هجوم میکروکرب‌ها قرار گرفته و تجزیه می‌شوند [19]. از آنجایی که تمام مواد مورد استفاده در ساخت این کامپوزیت‌ها قطبی هستند، بیشتر مورد حمله میکروکرب‌ها قرار می‌گیرند. زمانی که نمونه‌ها آب را جذب می‌کنند، آب به‌عنوان پلاستی‌سایزر عمل کرده و میان پیوندهای هیدروژنی تشکیل شده بین نشاسته، پلی‌وینیل الکل و کربوکسی متیل سلولز قرار می‌گیرد. سپس پیوندها را سست و نرم کرده و بعد از گذشت مدت زمان کافی، باعث شکسته شدن پیوندها می‌شود. با ازبین رفتن پیکره ساختاری کامپوزیت‌ها، میکرواورگانیزم‌ها از نقاطی که پیوندها ضعیف شده‌اند، به کامپوزیت‌ها حمله کرده و در نهایت موجب تجزیه آن‌ها می‌شوند.

4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق کامپوزیت‌های دوستدار محیط‌زیست از پارچه پنبه‌ای و زمینه زیست تجزیه‌پذیر تهیه شدند. این کامپوزیت‌ها دارای خواص مکانیکی خوبی بودند، که نشان‌دهنده برهم‌کنش قوی بین پارچه پنبه‌ای و رزین زیست تجزیه‌پذیر است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که با افزودن کربوکسی متیل سلولز به کامپوزیت‌ها، خواص مکانیکی آن‌ها بهبود یافته و جذب رطوبت کاهش پیدا می‌کند.

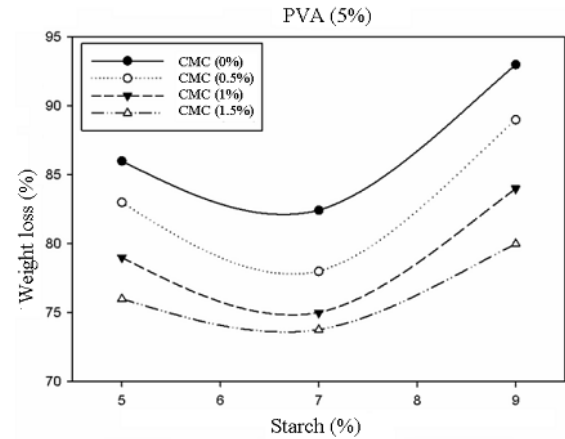
بیشترین مقدار استحکام کششی ($27.8 \text{ MPa} \pm 2.1 \text{ MPa}$) و مدول یانگ ($8.3 \text{ GPa} \pm 0.8 \text{ GPa}$) و همچنین کمترین میزان کرنش ($1.1\% \pm 3.4\%$) در نمونه‌ای با 5% نشاسته، 7% پلی‌وینیل الکل و 1.5% کربوکسی متیل سلولز مشاهده شد. بیشترین میزان کرنش ($1.1\% \pm 8.46\%$) در نمونه حاوی 5% نشاسته، 5% پلی‌وینیل الکل و فاقد کربوکسی متیل سلولز است. مقادیر به دست آمده خواص مکانیکی با مقایسه سایر مطالعات انجام شده، قابل ملاحظه است. در بررسی کامپوزیت‌های مبتنی بر نشاسته تقویت شده با رشته‌های جوت با روش قالب‌گیری تزریقی و ارزیابی آن، نشان می‌دهد که در 30% الیاف جوت، استحکام تا حد پارگی 22.2 MPa و مدول یانگ 2470 MPa و درصد ازدیاد طول 1.8% می‌شود [4]. در تحقیق بر روی کامپوزیت نشاسته و الیاف رامی نیز با افزوده شدن الیاف به زمینه تا 40% خواص مکانیکی کامپوزیت از جمله مدول یانگ تا 480 MPa و استحکام تا حد پارگی تا 9.6 MPa و باعث کاهش ازدیاد طول تا حد پارگی به 13.65% می‌شود [5]. در بررسی کامپوزیت پلی‌ال لاکتیک اسید و الیاف کنف نتایج نشان می‌دهد که با ترکیب الیاف کنف به میزان 70% حجمی در کامپوزیت، مدول یانگ 6.3 GPa و استحکام 62 MPa به دست [7].

با افزایش مقدار محتوی کربوکسی متیل سلولز، مقاومت کامپوزیت‌ها در برابر نفوذ آب و رطوبت‌پذیری بهبود یافت. کمترین مقدار جذب رطوبت (81.46%) در نمونه حاوی 5% نشاسته، 7% پلی‌وینیل الکل و 1.5% کربوکسی متیل سلولز دیده شد. همچنین بیشترین جذب رطوبت (143.6%) در نمونه حاوی 9% نشاسته، 9% پلی‌وینیل الکل و بدون کربوکسی متیل سلولز مشاهده شد.

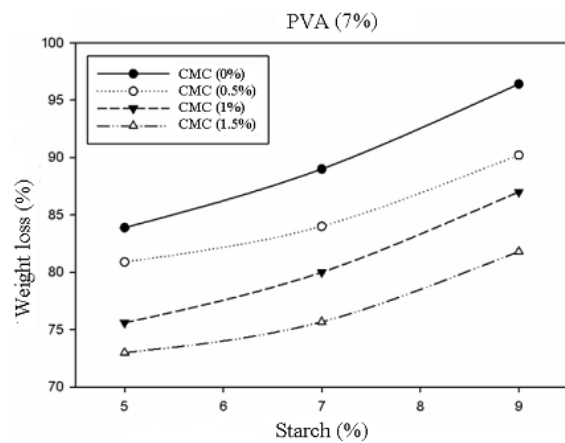
آزمایش تجزیه در خاک کامپوزیت نشان داد که افزودن کربوکسی متیل سلولز، بر روی زیست تجزیه‌پذیری تأثیر کمتری دارد. کمترین مقدار تجزیه در نمونه حاوی 5% نشاسته، 7% پلی‌وینیل الکل و 1.5% کربوکسی متیل سلولز است. اگرچه با افزایش مقدار کربوکسی متیل سلولز میزان تجزیه‌پذیری کاهش می‌یابد، اما در حالت کلی تجزیه‌پذیری نمونه‌ها خوب است.

با افزایش مقدار محتوی پارچه تا 60%، افزایش خواص مکانیکی مشاهده شد. در مقایسه با تحقیقات انجام شده، مقدار درصد الیاف جوت تا 30% وزنی

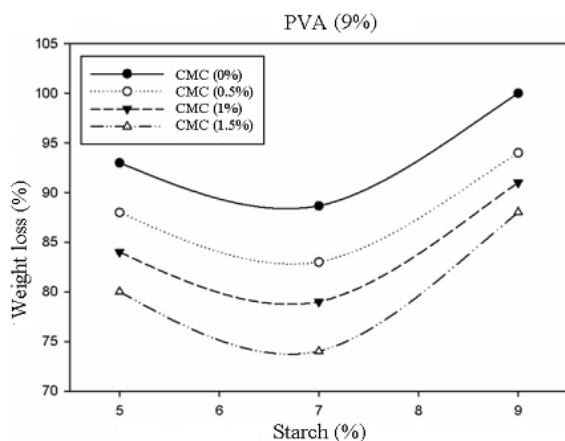
زمینه کامپوزیت‌ها زودتر از پارچه سلولزی مورد حمله میکرواورگانیزم‌ها قرار می‌گیرند. این مسئله به دلیل جذب رطوبت بالای زمینه، نسبت به الیاف سلولزی است و می‌تواند منجر به کاهش استحکام بین الیاف و زمینه و در نتیجه تجزیه کامپوزیت‌ها شود. نواحی کریستالی به دلیل ساختار محکم، کمتر مورد حمله باکتری‌ها و میکروکرب‌ها قرار می‌گیرند.



a - الف



b - ب



c - پ

Fig. 10 Effect of starch content on biodegradability of composites (a) containing 5% polyvinyl alcohol, (b) containing 7% polyvinyl alcohol, (c) containing 9% polyvinyl alcohol

شکل 10- تأثیر میزان نشاسته، بر روی زیست تجزیه‌پذیری کامپوزیت‌ها، الف) دارای 5% پلی‌وینیل الکل، ب) دارای 7% پلی‌وینیل الکل، پ) دارای 9% پلی‌وینیل الکل

- [17]. Hadano, S., Maehara, S., Onimura, K., Yamasaki, H., Tsutsumi, H., and Oishi, T., "Syntheses and biodegradability of benzylated waste pulps and graft copolymers from PBZs and L-lactic acid," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 92, pp. 2658–2664, 2004.
- [18]. Ramaraj, B., "Crosslinked poly (vinyl alcohol) and starch composite films. II. Physicomechanical, thermal properties and swelling studies," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 103, pp. 909–916, 2007.
- [19]. Haseena, A.P., Dasan, K.P., Namitha, R., Unnikrishnan, G., and Thomas, S., "Mechanical properties of sisal/coir hybrid fibre reinforced natural rubber," *Progress in Rubbers, Plastics and Recycling Technology*, Vol. 21, pp. 155–181, 2005.

و الیاف رامی تا 40% وزنی و نیز الیاف کنف تا 70% حجمی به بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت کمک کرده است [4-5,7].

5-مراجع

- [1] Canigueral, N., Vilaseca, F. Méndez, JA. López L., Barbera, J.P., Puig, J., Pelach, M.A. and Mutje, P., "Behavior of biocomposite materials from flax strands and starch-based," *Chemical Engineering Science*, Vol. 64, pp. 2651-2658, 2009.
- [2] Kestur, G., Saryanarayana, Gregorio, G.C. and Arizaga Fernando W., "Biodegradable composites based on limocellulosic fibers-An overview," *Progress in Polymer Science*, Vol. 34, pp. 982-1021, 2009.
- [3] Tongdee, W.T., Mauer, L.J., Wongnuong, S., Snburi, P., and Rachtanapun, P., "Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films," *Chemistry Central Journal*, Vol. 5, No. 6., 2011, doi:10.1186/1752-153X-5-6-2011
- [4] F. Vilaseca, J.A. Mendez, A. Pe'lach, M. Llop, N. Can'igueral, J. Girones, X. Turon, P. Mutje, "Composite materials derived from biodegradable starch polymer and jute strands", *Process Biochemistry*, Vol. 42, No. 3, pp. 329–334, 2007
- [5] Lu, Y, Weng.L, Cao.X." Morphological, thermal and mechanical properties of ramie crystallites—reinforced plasticized starch biocomposites", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 63, pp.198–204, 2006
- [6] Mohammad ZR Khan1, Sunil K Srivastava1 and MK Gupta "Tensile and flexural properties of natural fiber reinforced polymer composites: A review " *Journal of Reinforced Plastics and Composites* Vol. 37, No. 24, pp. 1435-1455,2018
- [7] Takashi Nishinoa, Koichi Hiraoa, Masaru Koteraa, Katsuhiko Nakamaea, Hiroshi Inagakib "Kenaf reinforced biodegradable composite" *Composites Science and Technology*, Vol. 63, pp. 1281–1286, 2003
- [8] Hosseinkhani, M., Haghghi Yazdi, M., Mousavi Mashadi, M., Safarabadi, M., "Finite element modeling and experimental investigation of the effect of fiber orientation on viscoelastic behavior of composite laminates reinforced with long fibers", In Persian, *Journal of Science and Technology of Composites*, Vol. 6, No. 2, pp. 248-254, 2019.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Rui-Hua Hu ab, Min-yo'ing Sun C, Jae-Kyoo Lim a." Moisture absorption, tensile strength and microstructure evolution of short jute fiber/poly lactide composite in hygrothermal environment." *Materials and Design*, Vo. 31, No. 7, pp. 3167-3173, 2010. doi:10. 1016j.muides
- [12] Thakore, M., Desai, S., Sarawade, BD., and Devi, S., "Studies on biodegradability. Morphology and thermomechanical properties, of LDPE modified starch blends," *European Polymer journal*, Vol. 37. pp. 151-60. 2001
- [13] Sreedhar., B., Sairam, M., Chattopadhyay, DK, Syamala Rathnam, PA, and Mohan Rao D.V., "Thermal, mechanical and surface characterization of starch poly (vinyl alcohol) blends and borax cross-linked films," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 96, pp. 1313, 2005.
- [14] Dai, S., Cunningham, P.R., Marshall, S., and Silva, C., "Influence of fibre architecture on the tensile, compressive and flexural behaviour of 3D woven composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 69, pp. 195–207, 2015.
- [15] Ma, X., Chang, P.R., and Yu, J., "Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites," *Journal of Carbohydrate Polymers*, Vol. 72, pp. 369–375, 2008.
- [16]. Alvarez, V.A., Ruseckaite, R.A., and Va'zquez, A., "Degradation of sisal fibre/Mater Bi-Y bio composites buried in soil," *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 91, pp. 3156- 3162, 2006.