

(یادداشت فنی)

ساخت کامپوزیت اپوکسی – الیاف خرما با هدف بهبود خواص مکانیکی

یکی از چالش‌های پیش‌رو در ساخت کامپوزیت‌های الیاف طبیعی، چسبندگی الیاف به زمینه است. از آنجاکه بهبود چسبندگی بین الیاف و ماتریس سبب تغییر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های طبیعی می‌شود، اصلاح سطح الیاف مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش اثر چسبندگی و اصلاح سطح الیاف خرما در بهبود خواص مکانیکی اعم از کشش، خمش و ضربه مورد بررسی قرار گرفت. اصلاح سطح روی الیاف نخل خرما با استفاده از دو ماده شیمیایی سدیم کلریت و سدیم هیدروکسید انجام شد. الیاف در چهار گروه ۱-سدیم هیدروکسید، ۲-سدیم کلریت، ۳-سدیم کلریت سپس سدیم هیدروکسید و ۴-سدیم هیدروکسید سپس سدیم کلریت اصلاح سطح شدند. با ساخت نمونه‌های مختلف و انجام آزمون‌های استاندارد مکانیکی (کشش، خمش و ضربه) و آزمون‌های میکروسکوپ الکترونیکی (SEM)، آنالیز حرارتی (TGA)، کشش لیف، بیرون کشیدگی لیف از ماتریس (Pull out) اثرات گروه‌های مختلف بر بهبود چسبندگی و خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها مورد بررسی و راستی‌آزمایی قرار گرفت. نتایج نشان داد لیف اصلاح سطح شده با سدیم کلریت در برابر کشش، بیرون کشیدگی لیف از ماتریس و تخریب ناشی از افزایش دما در مقایسه با سایر الیاف مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. همچنین، نتایج آزمون‌های مکانیکی حکایت از افزایش و بهبود استحکام کششی نمونه‌های تقویت شده با الیاف اصلاح سطح شده با سدیم هیدروکسید و بیشترین استحکام خمشی با الیاف اصلاح سطح شده با سدیم کلریت و کاهش استحکام ضربه با الیاف اصلاح سطح شده در هر چهار گروه داشته است.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت الیاف طبیعی، الیاف نخل خرما، اصلاح سطح شیمیایی

Fabrication of Epoxy-date Fiber Composite with the Aim of Improving Mechanical Properties

One of the leading challenges in the fabrication of natural fiber composites is the adhesion of the fibers to the matrix. Since improving the adhesion between the fibers and the matrix changes the mechanical properties of natural composites, fiber surface modification has been considered. In this study, the effect of adhesion and surface treatment of date fibers on improving mechanical properties (tension, bending, impact) was investigated. Surface treatment was performed on date palm fibers using two chemicals, sodium chloride, and sodium hydroxide. These fibers were modified in four groups with sodium hydroxide, sodium chloride, sodium chloride, then sodium hydroxide, and finally sodium hydroxide, then sodium chloride. By making different samples and performing standard mechanical tests (tensile, impact bending) and electron microscope (SEM) tests, thermal analysis (TGA), fiber tension, fiber extrusion from the matrix (Pull out) the effects of different groups on improving the adhesion and mechanical properties of composites was examined and verified. The results showed that the surface treatment fiber with sodium chloride showed more resistance against stretching, extrusion of the fiber from the matrix, and degradation due to temperature increase compared to the fiber without surface treatment and with surface treatment. Also, mechanical tests on composites showed an increase and improvement in tensile strength of samples reinforced with sodium hydroxide-modified fibers, and the highest flexural strength with sodium-chloride-modified fibers and a decrease in impact strength with surface treatment fibers in all four groups.

Keywords: Natural Fiber Composite, Palm Fiber, Chemical Surface Treatment

ساجده هادویان^{۱*}، جعفر اسکندری
جم^{۱**}، علی داور^{۱***}، محسن حیدری
بنی^{۱****} و مجید اسکندری شهرکی^{۲****}

۱- مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت،
دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران،
کدپستی: ۱۵۸۷۵۱۷۷۴

۲- دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه فردوسی
مشهد، کدپستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴، مشهد، ایران

* دانش‌آموخته کارشناسی ارشد

** استاد (نویسنده پاسخگو)، ایمیل:

jafar.eskandarijam@gmail.com

*** استادیار

**** دانشجوی دکتری

S. Hadavian^{1*}, J. Eskandari Jam^{1**},
A. Davar^{1***}, M. Heydari Beni^{1****},
and M. Eskandari Shahraki^{2****}

1- University Complex of Materials
and Manufacturing Technology,
Malek Ashtar University of
Technology, Postal Code:
1477893855, Tehran, IRAN

2- Department of Aerospace
Engineering, Ferdowsi University of
Mashhad, Postal Code: 9177948974,
Mashhad, IRAN

* M.Sc. Holder

** Professor (Corresponding Author):
Email:

jafar.eskandarijam@gmail.com

*** Assistant Professor

**** Ph.D. Student

(یادداشت فنی)

ساجده هادویان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر نگرانی دانشمندان در خصوص محدود بودن منابع نفتی و آلودگی ناشی از پلیمرهای مصنوعی و تولید گازهای گلخانه‌ای، باعث ورود کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی به بازارهای جهانی شده است. کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف طبیعی، رقبای پیشرو مواد تشکیل دهنده برای بهبود کارایی بسیاری از مکانیسم‌ها، به دلیل وزن کم، مقاومت بالا و سختی مؤثر هستند. الیاف طبیعی به دلیل هزینه کم، چگالی پایین در واحد حجم، کمترین میزان سایش ابزار، استحکام ویژه قابل مقایسه، تجدیدشوندگی، غیر سرطان‌زایی و مشخصات زیست‌تخریب‌پذیری بر الیاف مصنوعی برتری دارند [۱]. با این وجود، به دلیل تمایل به جذب آب این دسته از کامپوزیت‌ها، سازگاری نسبتاً ضعیف بین ماتریس پلیمر و الیاف، همچنین عملکرد ضعیف تحت بارگذاری ضربه که منجر به کاهش قابل توجهی در استحکام، سختی و ثبات می‌شود، بهره برداری وسیع‌تر از آن‌ها دارای محدودیت است [۲-۳]. در حال حاضر الیاف طبیعی مانند کناف، نارگیل، اباکا، سیسال، آناناس، پنبه، جوت، بامبو، موز، برگ پالمیرا، خرما، شاهدان و کتان در توسعه کامپوزیت‌های پلیمری، کامپوزیت‌های ترکیبی و کامپوزیت‌های سبز با انواع مختلفی از ماتریس‌های پلیمری به موفقیت تجاری رسیدند [۴].

در چند سال اخیر تحقیقات روی الیاف خرما و استفاده از آن‌ها در کامپوزیت‌ها صورت گرفته است. کشور ایران طبق آمار فائو سال ۲۰۱۲، بعد از عربستان و مصر سومین تولید کننده خرما در جهان است [۵]، بنابراین، ایران پتانسیل بالقوه‌ای برای استفاده از الیاف خرما در مصارف صنعتی دارد. این الیاف عمدتاً به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شوند. از این رو، با بکارگیری این الیاف به‌عنوان تقویت کننده می‌توان از یک ماده با قیمت پایین، محصولی با ارزش افزوده بالا تولید کرد [۶-۷].

المدید^۱ و همکاران [۸] در پژوهشی به بررسی مشخصات مکانیکی برگ نخل نر و ماده در وضعیت با اصلاح سطح و بدون اصلاح سطح پرداخته است. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که برگ‌های ماده بدون اصلاح سطح استحکام کششی و مدول یانگ بالاتری را نسبت به برگ‌های نر دارند. آلکالیزاسیون خواص استحکام کششی و مدول یانگ را برای الیاف نر بهبود می‌بخشد، اما برای الیاف ماده تأثیر معکوس داشته است. برگ‌های ماده بدون اصلاح سطح دارای پایداری حرارتی بالاتر (۳۵۳ درجه سانتی‌گراد) نسبت به برگ‌های نر (۳۴۳ درجه سانتی‌گراد) است. هر دو می‌تواند به عنوان

تقویت کننده در مواد ماتریس گرماترم استفاده شود که دمای پردازش آن‌ها کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است.

امرون^۲ و همکاران [۹] در تحقیقی به بررسی ویژگی مکانیکی کشش و حساسیت شیمیایی سطح الیاف شاخه خرما^۳ پرداختند. الیاف استخراج شده از شاخه میوه نخل خرما تحت اصلاح سطح با محلول قلیایی با غلظت مختلف در دمای اتاق قرار گرفته‌اند. نتایج تجربی آنان نشان داد که اصلاح شیمیایی این الیاف خواص مکانیکی (استحکام کششی و مدول یانگ) را تحت بارگذاری کششی افزایش می‌دهد، افزایش خواص مکانیکی قابل توجهی را می‌توان با مقدار کمی از مواد شیمیایی به دست آورد. همچنین، لازم به ذکر است که استفاده از مواد شیمیایی قلیایی، ساختار الیاف و پیوند بین الیاف و ماتریس را بهبود می‌بخشد.

تحقیقات انجام شده توسط شاولان^۴ و همکاران [۱۰] درباره بررسی چسبندگی بین الیاف خرما-اپوکسی نشان می‌دهد که چسبندگی میان الیاف طبیعی با زمینه، عامل تعیین کننده عملکرد کامپوزیت در انواع بارگذاری‌ها است. در این مطالعه تأثیر غلظت محلول سدیم‌هیدروکسید و قطر لیف (۰/۷-۰/۳ میلی‌متر) بر رفتار چسبندگی بین الیاف خرما با زمینه اپوکسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد، استحکام لیف با کاهش قطر آن افزایش یافت. اصلاح سطح به وسیله محلول قلیایی تأثیر قابل توجهی بر مقاومت لیف و چسبندگی بین لیف و ماتریس دارد، یعنی مورفولوژی سطحی، حذف ناخالصی‌ها و کاهش قطبیت بین الیاف و زمینه سبب بهبود پیوند بین الیاف و زمینه می‌شود.

سناوی^۵ و همکاران [۱۱] اثر تیمارهای مختلف شیمیایی بر ویژگی‌های کامپوزیت طبیعی پلی‌لاکتیک اسید تقویت شده با الیاف طبیعی^۶ (شاخه میوه خالص) مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش سه اصلاح سطح شیمیایی، سدیم کلریت^۷ و سدیم کلریت/سیلان و سدیم‌هیدروکسید/سدیم کلریت روی الیاف انجام شد. تحقیقات آن‌ها نشان داد که در تمام انواع اصلاح سطح مقدار خواص مکانیکی در مقایسه با نمونه بدون اصلاح سطح افزوده شده است. این بهبودسازی موجب افزایش چسبندگی سطوح بین الیاف و زمینه می‌شود. افزودن سیلان اثر قابل ملاحظه‌ای بر خواص کامپوزیت زیستی نداشت. آزمایشات

2. Amroune
3. FBBPD
4. Shalwan
5. Senawi
6. PLA-EFB
7. Empty Fruit Bunch
8. NaClO2

1. AlMaadeed

الیاف در آن در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت پنج روز افزایش استحکام کششی الیاف را به همراه دارد.

موهان^۶ و کومار^۷ [۱۶] مطالعات تجربی روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری زیستی انجام داده‌اند. پودر پوست نارگیل، گردو و برنج به‌عنوان الیاف تقویت‌کننده با رزین اپوکسی برای ساخت نمونه‌های کامپوزیتی هیبریدی مورد استفاده قرار گرفته شد. درصد حجمی الیاف ۵۰ درصد بوده است. خواص مکانیکی نمونه‌ها در حضور رطوبت و بدون رطوبت از جمله استحکام کششی، مقاومت خمشی، مقاومت برشی و مقاومت به ضربه بررسی شدند. نتایج آن‌ها نشان داد که ادغام پوست گردو و نارگیل موجب بهبود خواص کامپوزیت می‌شود.

سپه^۸ و همکاران [۱۷] مقاله تأثیر اصلاح سطح کف با محلول اسیدی و قلیایی را ارائه دادند. نتایج نشان داد، اصلاح الیاف کف با عامل سیلان نسبت به محلول‌های قلیایی بهبود بیشتری در استحکام کششی کامپوزیت الیاف کف/ اپوکسی ارائه می‌دهد. اصلاح قلیایی، لیگنین و همی سلولز را از سطح الیاف طبیعی خارج می‌کند، اما باعث کشیدگی راحت‌تر الیاف از ماتریس می‌شود که کاهش خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها را در پی دارد.

سینگ^۹ و همکاران [۱۸] اثر جزء حجمی الیاف کف و دمای پخت بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سبز پلی‌لاکتیک اسید-کف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد، حجمی ۳۰ درصد الیاف و دمای پخت 160°C حداکثر استحکام کششی و خمشی حاصل شد. سعید و همکاران [۱۹] استحکام کششی و مدول یانگ کامپوزیت‌های کف را در مقایسه با سایر الیاف طبیعی بررسی کردند. هزینه‌های تولید و کاربرد الیاف نیز بر اساس خواص مکانیکی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. زارعی و همکاران [۲۰] استحکام برشی و کششی بین لایه‌ای در FMLهای تقویت‌شده با الیاف ترکیبی کف-بازالت را مطالعه کردند. نفوذ ناقص رزین در الیاف موجب ایجاد حفره‌های خالی در کامپوزیت و کاهش خواص مکانیکی شده است. در نمونه‌های الیاف کف فشرده‌شده میان الیاف بازالت بیشترین استحکام کششی و مدول یانگ به‌دست آمده است. سینگ و همکاران [۲۱] اثر اصلاح سطح با محلول قلیایی را بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سبز کف-اپوکسی بررسی کردند. برای اصلاح این الیاف به‌عنوان نقطه بهینه با بیشترین خواص مکانیکی محلول ۵ درصد سدیم هیدروکسید به‌دست آمد.

کششی، خمشی و ضربه نشان دادند که پلی‌لاکتیک‌اسید تقویت‌شده با الیاف طبیعی اصلاح سطح شده با سدیم کلریت دارای خواص برتری نسبت به سایر روش‌های اصلاح سطح دارد.

مانوروزامان^۱ و همکاران [۱۲] در پژوهشی الیاف برگ آناناس را با سدیم هیدروکسید و سدیم کلریت اصلاح سطح کردند. مشخصات الیاف اصلاح شده توسط طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه^۲، میکروسکوپ الکترونی و تجزیه و تحلیل ترموگرافی بررسی شد. مقدار رطوبت و خواص استحکام کششی نیز برای عملکرد محیطی و مکانیکی آن‌ها ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد، پایداری حرارتی الیاف اصلاح سطح شده با سدیم هیدروکسید با غلظت ۱۰ درصد کمتر از الیاف خام است. از تجزیه و تحلیل میکروسکوپ الکترونی مشخص شد که سطوح الیاف اصلاح شده با سدیم کلریت نسبت به الیاف خام و قلیایی یکنواخت‌تر است.

هوسنیل^۳ و همکاران [۱۳] به بررسی اثر قلیایی کردن و سفید کردن بر ساختار خواص شلتوک ذرت پرداخته است. تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه و میکروسکوپ الکترونی از الیاف شلتوک ذرت نشان داد که از طریق قلیایی کردن و سفید کردن موم، ناخالصی، بیشترین مقدار لیگنین، همی سلولز و پکتین از سطح فیبر حذف می‌شود. همچنین، مشخص شد که استفاده از الیاف اصلاح سطح شده به‌عنوان عامل تقویت‌کننده در ماتریس پلی‌پروپیلین می‌تواند کریستالی شدن کامپوزیت حاصل را در مقایسه با پلی‌پروپیلین خالص افزایش دهد.

رازالی^۴ و همکاران [۱۴] برای بدست آوردن سلولز آلفا از ساقه برنج با استفاده از روش شیمیایی یعنی هیدرولیز اسید و اصلاح سطح قلیایی پرداختند. هر دو اصلاح سطح با استفاده از سدیم کلریت سفید شدند. سلولز آلفا با اصلاح سطح قلیایی، رنگ سفید را در مقایسه با هیدرولیز اسید نشان می‌دهد. همچنین، اصلاح سطح قلیایی در تولید سلولز آلفا، $20/68$ درصد در مقایسه با $12/20$ درصد توسط هیدرولیز اسید تولید بیشتر را نشان می‌دهد. مانجولا^۵ و همکاران [۱۵]، اثرات عامل استحکام حرارت را بر ویژگی‌های مکانیکی الیاف نارگیل بررسی کردند. نتایج تحقق آن‌ها نشان داد که نگهداشتن

1. Maniruzzaman
2. FTIR
3. Husnil
4. Razali
5. Manjula

6. Mohan
7. Kumar
8. Sepe
9. Singh

(یادداشت فنی)

ساجده هادویان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی

جدول (۱): مواد لازم برای اصلاح سطح الیاف خرما.

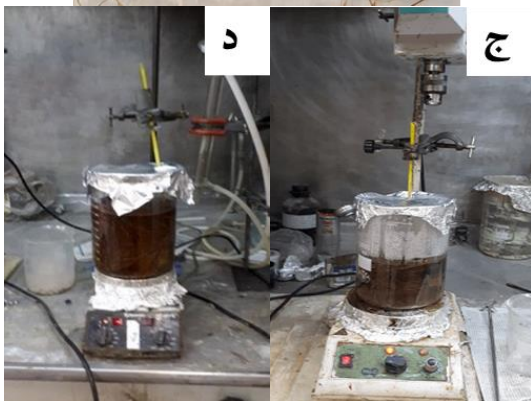
مواد لازم	روش اصلاح سطح
سدیم هیدروکسید جامد	قلیایی کردن
سدیم کلریت ۸۰ درصد جامد محصول سیگما کره- استیک اسید - آب مقطر	سفید کردن



الف



ب



ج

شکل (۱): الیاف و تجهیزات اصلاح الیاف، الف) الیاف تنه نخل خرما. ب) الیاف نخل ریش شده. ج) اصلاح سطح الیاف نخل با روش قلیایی در آزمایشگاه و د) اصلاح سطح الیاف نخل با روش سفید کردن در آزمایشگاه.

جدول (۲): خواص مکانیکی الیاف نخل خرما و الیاف رزین [۲۲-۲۳].

خواص				
چگالی ρ (kg/m ³)	مدول الاستیک E (Gpa)	ضریب پواسون ν	مدول مدول برشی G (Gpa)	استحکام کششی S _T (Mpa)
۰/۹ - ۱/۲	۵ - ۱۲	۰/۲۷	-	۱۷۰ - ۲۷۵
۱/۳	۲/۵	۰/۲۳	۱/۲	۴۳

برای اصلاح سطح الیاف خرما با محلول سدیم هیدروکسید با استفاده از شیوه آبدال‌های [۲۴]، ابتدا الیاف خرما را برای از

با توجه به مطالعات انجام شده بر روی الیاف خرما و کامپوزیت آن مشخص شد برای ساخت کامپوزیت الیاف خرما- اپوکسی ابتدا باید الیاف اصلاح سطح شوند. براساس تحقیقات قبلی برای اصلاح سطح الیاف نخل خرما به روش قلیایی غلظت بهینه برای محلول سدیم هیدروکسید ۶ درصد و همچنین برای اصلاح سطح این الیاف به روش سفید کردن غلظت مناسب برای محلول سدیم کلریت ۰/۴ درصد است. پس از اصلاح سطح الیاف کامپوزیت الیاف خرما- اپوکسی تهیه می‌شود. هدف از این پژوهش اصلاح سطح الیاف خرما در جهت بهبود خواص مکانیکی است. در این راستا با توجه به کارهای انجام شده توسط پژوهشگران ضمن تکرار روش‌های قبلی با مشخص بودن الیاف و رزین موردنظر اصلاح سطح با روش قلیایی کردن و سفیدشویی انتخاب شد. همچنین، از محلول سدیم کلریت نیز برای تأمین و افزایش خواص مکانیکی در جهت نوآوری در پژوهش بهره برده شده است. به منظور بررسی صحت اصلاح سطح انجام شده روی الیاف از آزمون آنالیز حرارتی و میکروسکوپ الکترونی استفاده شده است. همچنین، آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس برای تخمین میزان چسبندگی الیاف و ماتریس و همین‌طور آزمون کشش لیف برای اندازه‌گیری میزان استحکام لیف پس از اصلاح سطح انجام شد. در ادامه کامپوزیت الیاف خرما و اپوکسی ساخته شد. در مرحله بعد به کمک آزمون‌های کشش، خمش و ضربه این نمونه‌ها بررسی شدند.

۲- بیان مسأله

در این بخش ابتدا توضیحاتی پیرامون مواد لازم برای اصلاح سطح الیاف نخل خرما و روش‌های آن، روش ساخت صفحات کامپوزیتی الیاف نخل خرما- اپوکسی، استفاده از روش آنالیز حرارتی و میکروسکوپ الکترونی روشی برای بررسی اصلاح سطح الیاف، ساخت نمونه‌های آزمون‌های مکانیکی (کشش لیف تک، کشش صفحه کامپوزیتی، خمش، ضربه آیزود) ارائه داده شده است.

۲-۱- مواد لازم برای اصلاح سطح الیاف خرما

موادی که برای اصلاح سطح الیاف خرما استفاده می‌شوند، در جدول ۱ قابل مشاهده است. الیاف خرما از نخلستان‌های شهر بزم تهیه شده است. شکل ۱-الف الیاف تنه نخل خرما به شکل طبیعی است. شکل ۱-ب الیاف خرما ریش شده است. در جدول ۲ خواص مکانیکی الیاف نخل خرما و رزین اپوکسی ارائه شده است. برای ساخت صفحات کامپوزیتی با الیاف رشته‌ای، درصد وزنی الیاف ۴۰ درصد و لایه چینی (۰/۹۰) و برای الیاف خرد شده درصد وزنی ۱۵ درصد با لایه چینی تصادفی اعمال شده است.

اسیدی ۷ رسید. سپس، الیاف اصلاح سطح شده به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای گرم قرار گرفت.

۲-۲- ساخت کامپوزیت الیاف خرما-اپوکسی

برای ساخت کامپوزیت باروش لایه‌چینی دستی، ابتدا قالب آلومینیومی مورد نظر از با ابعاد ۲۴۰ میلی‌متر در ۲۱۰ میلی‌متر ساخته شد. سپس، سطح آن توسط تینر از هرگونه آلودگی به طور کامل پاک شد. در ساخت کامپوزیت به روش لایه‌چینی، ابتدا مش خرما متناسب با ابعاد قالب برش خورد. سپس، سطح قالب کاملاً واکس زده شد، در مرحله بعد توسط یک قلم‌مو لایه‌ای نازک از رزین به آرامی روی سطح قالب پخش شد. بعد از آن لایه اولیه مش خرما روی رزین قرار گرفت، سپس مجدداً لایه دیگری از رزین بر روی الیاف پخش شد و پس از آن لایه بعدی از مش خرما روی کامپوزیت قرار گرفت. در نهایت قالب بسته شد و برای پخت داخل آن قرار گرفت. سیکل پخت رزین ۲ مورد نظر ۹۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان لازم برای رسیدن به دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد ۳۰ دقیقه است. در شکل ۲-الف صفحه کامپوزیتی الیاف خرما-اپوکسی ساخته شده با روش لایه‌چینی دستی در قالب بسته قابل مشاهده است.

برای ساخت کامپوزیت با الیاف خرد شده ابتدا الیاف به صورت رشته رشته از مش خرما جدا شدند، سپس الیاف با قطر در محدوده ۶۰۰ تا ۸۰۰ میکرومتر از سایر الیاف غربال شدند. پس از آن، به طول ۱۰ میلی‌متر خرد شدند. سپس با استفاده از تینر سطح قالب از هرگونه آلودگی پاک شد. در مرحله بعد، سطح قالب با واکس پوشیده شده و لایه نازکی از رزین به کمک قلم‌مو به آرامی روی سطح قالب پخش شد. همچنین، الیاف خرد شده با ۱۵ درصد وزنی در قالب به ابعاد ۱۶۰ میلی‌متر در ۲۱۰ میلی‌متر به صورت تصادفی قرار گرفتند. قالب با سیکل پخت ۹۰ دقیقه، در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۰ دقیقه زمان لازم برای رسیدن به دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آن پخت شد. در شکل ۲-ب صفحه کامپوزیتی الیاف خرما خرد شده-اپوکسی نشان داده شده است.

مطابق با استاندارد کشش الیاف تک ASTM C1557-03، برای ساخت نمونه‌های آزمون از مقوا با ضخامت دو میلی‌متر استفاده و الیاف با طول ۵۰ میلی‌متر با چسبی متشکل از اپوکسی و هاردنر با نسبت برابر بر روی صفحه مقوایی چسبانده شد. در شکل ۲-ج نمونه ساخته شده برای انجام آزمون کشش لایف تک خرما مشاهده می‌شود. برای ساخت نمونه‌های آزمون کشش کامپوزیت، مطابق با استاندارد کشش

بین بردن خاک و گرد و غبار موجود روی آن چند مرتبه با آب شستشو داده، سپس به مدت ۳۰ دقیقه در آب با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور کرده و دمای آب را تا نقطه جوش افزایش داده تا باکتری‌های موجود روی سطح لایف از بین برود. سپس، الیاف به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. در مرحله بعد، الیاف خرما در محلول سدیم‌هیدروکسید با غلظت ۶ درصد و با نسبت الیاف به محلول ۱/۴۰ در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت اصلاح سطح می‌شود. سپس چند مرتبه با آب شستشو شده و در معرض هوای گرم (۶۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته است. در شکل ۱-ج تصویر اصلاح سطح الیاف نخل با روش قلیایی در آزمایشگاه مشاهده می‌شود [۲۴]. برای اصلاح سطح الیاف خرما با روش سفیدکردن روش مانیروزامان [۱۲] به کار برده شده است. در این روش پس از شستشوی اولیه الیاف به منظور حذف گرد و غبار و آلودگی‌ها، این الیاف در محلولی مرکب از سدیم کلریت با غلظت ۰/۴ و ۰/۲ درصد مولار استیک اسید در دمای ۸۵-۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۹۰ دقیقه غوطه‌ور شد. میزان محلول به ازای هر گرم از الیاف ۸۰ میلی‌لیتر است. باید دقت شود درجه اسیدی^۲ محلول ۴ در نظر گرفته شود. در نهایت الیاف چند مرتبه با آب مقطر شسته شد تا به درجه اسیدی خنثی رسید، سپس به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای گرم قرار گرفت. در شکل ۱-د اصلاح سطح الیاف نخل با روش سفید کردن در آزمایشگاه مشاهده می‌شود.

برای انجام اصلاح سطح با روش قلیایی و سپس سفیدکردن، ابتدا مطابق با روش قلیایی‌کردن، الیاف پس از شستشو اولیه و قرار دادن در آب با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه و جوشاندن آن، الیاف در معرض هوای داغ با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس، الیاف خشک شده در محلول سدیم‌هیدروکسید با غلظت ۶ درصد با نسبت الیاف به محلول ۱/۴۰ و در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت اصلاح سطح شد. پس از شستشوی الیاف با آب به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای گرم قرار گرفت. در مرحله بعد الیاف خشک شده در محلولی مرکب از سدیم کلریت با غلظت ۰/۴ و ۰/۲ درصد مولار استیک اسید با درجه اسیدی ۴ در دمای ۸۵-۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه غوطه‌ور شد. میزان محلول به ازای هر گرم الیاف ۸۰ میلی‌لیتر است. پس از زمان لازم برای غوطه‌وری الیاف با آب مقطر شسته شده تا به درجه

1. Maniruzzaman

2. ph

(یادداشت فنی)

ساجده هادویان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی

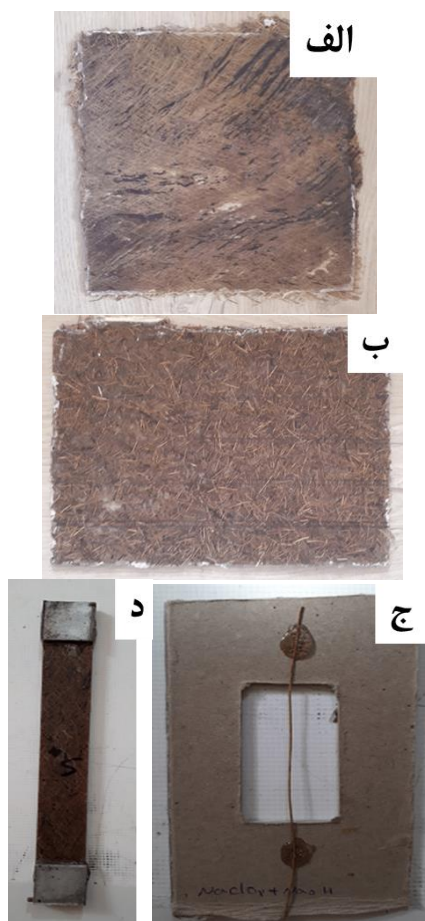


شکل (۳): نمونه آزمون خمش، نمونه آزمون ضربه و نمونه آزمون کشش (به ترتیب از راست به چپ).

۲-۳- آزمون‌ها

آزمون کشش برای لیف بدون اصلاح سطح و اصلاح سطح شده، مطابق با استاندارد کشش لیف تک انجام شده است. مشخصات کششی، استحکام کششی، مدول یانگ و درصد کشیدگی طولی منجر به شکست حاصل شد. در شکل ۴-الف آزمون کشش لیف تک خرما ارائه شده است. یک روش مناسب برای ارزیابی مقاومت چسبندگی بین الیاف و رزین آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس^۱ است. در این روش، لیف در یک ماده رزین جامد تعبیه شده و با یک نیروی در حال افزایش کشیده می‌شود. آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس در ابتدا در بتن مسلح با الیاف شیشه‌ای و آلومینیوم تقویت شده با کربن اعمال شده است و سپس توسط فاور^۲ و پرین^۳ برای استفاده در کامپوزیت‌های پلیمری/پلاستیک تقویت شده با الیاف مطابقت داده شده است. مشخص شد که آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس در الیاف با قطر بزرگتر نسبتاً آسان انجام می‌شود. با توجه به اینکه چسبندگی بین لیف و ماتریس قوی و قطر لیف کم است (به عنوان مثال کم‌تر از ۱۰ میکرومتر)، طول لیف جاسازی شده باید بسیار کوچک باشد. در غیر این صورت، به جای بیرون کشیدن لیف از رزین باعث شکستگی لیف خواهد شد. در این آزمون، مقاومت برشی رابط لیف و ماتریس در کامپوزیت معمولاً با اندازه‌گیری نیروی مورد نیاز برای بیرون کشیدن لیف محوری از رزین جامد مشخص می‌شود. این شامل تعبیه بخشی از لیف در استخر رزین مایع با محور لیف عمود بر سطح و اجازه دادن به سخت شدن رزین، چه از طریق واکنش متقاطع در رزین گرماسخت یا با خنک کردن در مورد رزین گرمانرم است. لیف با استفاده از تستر جهانی^۴ یا تجهیزات مشابه بیرون کشیده می‌شود. در شکل ۴-ب آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس قابل مشاهده است.

ابعاد نمونه‌ها در این استاندارد ASTM D3039-00 عمل شد. ۲۰۰ میلی‌متر در ۲۵ میلی‌متر است. برای انجام این آزمون از هر نوع کامپوزیت سه نمونه ساخته شد. شکل ۲-د نمونه آزمون کشش صفحه کامپوزیتی است. برای ساخت نمونه‌های آزمون خمش کامپوزیت، مطابق با استاندارد خمش ASTM D790-03 انجام شده است. ابعاد نمونه در این استاندارد ۵۷/۶ میلی‌متر در ۱۲/۷ میلی‌متر است. از نسبت دهانه به عمق ۱۶/۱ استفاده شد. ضخامت نمونه‌ها حدود ۳ میلی‌متر است. برای انجام این آزمون از هر نوع کامپوزیت سه نمونه مورد مطالعه قرار گرفت. برای ساخت نمونه‌های آزمون ضربه کامپوزیت، مطابق با استاندارد ضربه آیزود ASTM D256-00 عمل شد. ابعاد نمونه در این استاندارد ۶۳/۵ میلی‌متر در ۱۲/۷ میلی‌متر می‌باشد. برای انجام این آزمون از هر نوع کامپوزیت سه نمونه بررسی شد. شکل ۳ تصویری از نمونه‌های آزمون خمش، ضربه و کشش نشان داده شده است.

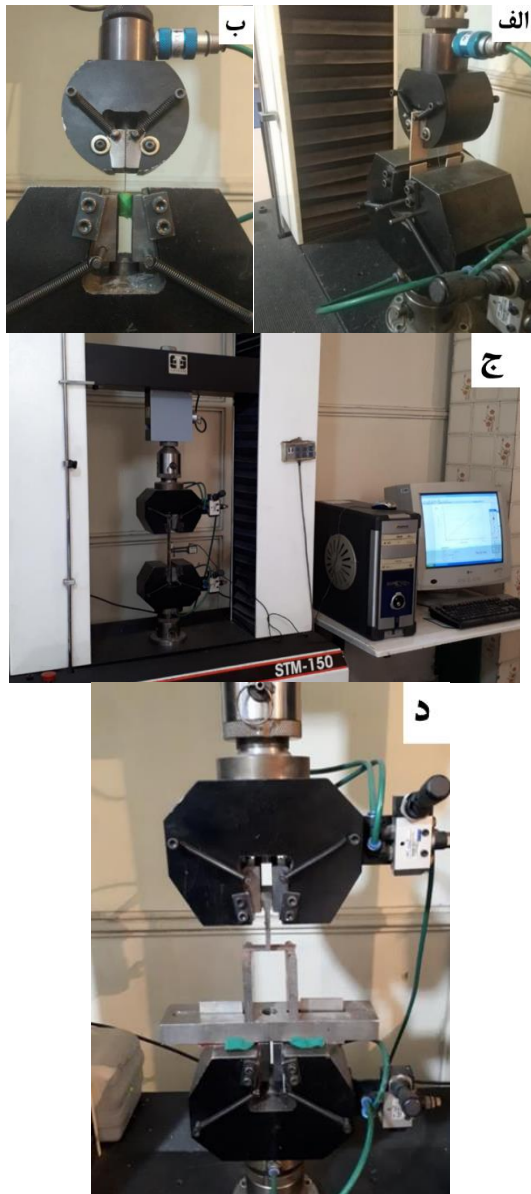


شکل (۲): نمونه‌های ساخته شده برای آزمون‌های مختلف، (الف)

صفحه کامپوزیتی الیاف نخل - اپوکسی ساخته شده با روش لایه‌چینی دستی در قالب بسته، (ب) صفحه کامپوزیتی الیاف نخل خرد شده - اپوکسی، (ج) نمونه آزمون کشش لیف واحد و (د) نمونه آزمون کشش صفحه کامپوزیتی.

1. Pull out
2. Favre
3. Perrin
4. Instron

قرار گرفته و نیرو از طریق سمبه^۵ به وسط قطعه اعمال می‌شود. در تست خمش، نیرو از بالا توسط سمبه به قطعه مورد آزمون اعمال می‌شود و این سمبه با سرعت مشخصی که معمولاً بین ۱۰ تا ۳۰ میلی متر بر دقیقه می‌باشد به سمت قطعه مورد آزمون حرکت می‌کند. هنگام برخورد به قطعه نیروی اعمالی به آن افزایش می‌یابد و همچنین قطعه در محل برخورد با سمبه به سمت پایین حرکت می‌کند. در شکل ۴-د آزمون خمش سه نقطه قابل مشاهده است.



شکل (۴): آزمون‌های خواص مواد، الف) آزمون کشش لیف واحد، ب) آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس، ج) نمایی از تجهیزات آزمون کشش و د) آزمون خمش سه نقطه.

از آزمون کشش کامپوزیت به منظور بررسی خواص کششی مواد استفاده شده است. این آزمون مهمترین آزمون برای بررسی خواص مکانیکی مواد به خصوص پلیمرها است. مهم‌ترین هدف این تحقیق افزایش چسبندگی الیاف خرما به ماتریس اپوکسی بوده که برای بررسی آن نمونه‌های ساخته شده، توسط این آزمون تحت کشش قرار گرفتند. این آزمون برای همه نمونه‌ها در دمای محیط و با سرعت کشش ۳ میلی‌متر بر دقیقه با دستگاه کشش سنتام ساخت ایران انجام شد. در شکل ۴-ج آزمون کشش نمونه صفحه کامپوزیتی ارائه شده است.

از مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌های انجام آزمون ضربه، روش آیزود^۱ و چارپی^۲ می‌باشد که در این پژوهش از روش آیزود به منظور بررسی میزان جذب انرژی استفاده شد. این دو روش فقط در نحوه قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه آزمایش ضربه با یکدیگر تفاوت دارند که در آزمون ضربه آیزود نمونه به صورت عمودی در دستگاه قرار می‌گیرد. دستگاه تست ضربه آیزود از یک آونگ سنگین با جرم ۲۷/۲۴ کیلوگرم (۶۰ پوند)، از ارتفاع ۰/۶۱ متری (۲ فوت) شروع به حرکت می‌کند که سرعت آونگ در پایین‌ترین نقطه نوسان، تقریباً ۳/۵ متر بر ثانیه است. آونگ در پایین‌ترین نقطه حرکتش به نمونه شیاردار که محکم در گیره بسته شده است، برخورد می‌کند که بخشی از ضربه آونگ صرف شکستن نمونه آزمایش می‌شود. مقدار واقعی انرژی مصرف شده در اثر شکست نمونه، توسط شاخص متحرکی که همراه با آونگ در حال حرکت، روی یک صفحه مدرج حرکت می‌کند و در موقعیت حداکثر آونگ متوقف می‌شود، قابل خواندن است. در این آزمون از پاندولی با ظرفیت ۲ ژول استفاده شده است. همچنین، آزمون در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۲ درصد انجام شد. نمونه‌ها ۴۰ ساعت در دمای تقریبی ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۰ درصد پیش‌نگهداری شدند. نوع شکست نمونه‌ها، شکست کامل^۳ بود.

آزمون خمش آزمون جهت تعیین خواص مکانیکی مواد جهت سنجش مقاومت قطعه در برابر خم شدگی است و توسط دستگاه تست کشش سنتام به دو صورت سه نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای انجام می‌شود. در حالت سه نقطه‌ای قطعه مورد آزمون روی پایه‌ای^۴ که دارای دو قسمت بعنوان تکیه گاه است

1. Aizod
2. Charpy
3. Compelet Break
4. Supporting Pins

(یادداشت فنی)

ساجده هادویان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی

حذف لیگنین و ناخالصی‌های موجود روی سطح الیاف، به داخل الیاف نفوذ کرده و حفره‌هایی روی سطح آن ایجاد کرده است. قطر الیاف اصلاح شده با سدیم هیدروکسید در حدود ۲۲۴/۵۲ میکرومتر و قطر حفره‌ها در حدود ۱۴/۴۵ میکرومتر است. کاهش محسوس قطر الیاف اصلاح شده در مقایسه با الیاف خام به دلیلی حذف لیگنین و ناخالصی‌های روی سطح الیاف است. در شکل ۵- پ الیاف اصلاح شده با محلول سدیم کلریت ۰/۴ درصد ارائه شده است. با توجه به تصاویر مشخص است سطح الیاف نسبت به حالت خام و همچنین در مقایسه با الیاف اصلاح شده با محلول سدیم هیدروکسید، ناهموار و خشن تر است. در واقع سدیم کلریت با خاصیت خوردگی خود سطح الیاف را زبر کرده است. قطر الیاف ۳۶۷/۳۱ میکرومتر است. شکل ۵-ت الیاف اصلاح شده با محلول سدیم هیدروکسید و سپس محلول سدیم کلریت را نمایش داده است. سطح الیاف ابتدا به دلیل نفوذ سدیم هیدروکسید حفره حفره شده و سپس هنگامی که الیاف در معرض سدیم کلریت قرار می‌گیرد، سطح الیاف خشن و زبر شده و حتی بعضی از حفره‌ها پر می‌شود. قطر لیف ۳۰۰/۸۹ میکرومتر است. شکل ۵-ج اصلاح سطح الیاف ابتدا با محلول سدیم کلریت و سپس محلول سدیم هیدروکسید را ارائه می‌دهد. سطح الیاف ابتدا با محلول سدیم کلریت زبر شده و سپس هنگامی که در معرض سدیم هیدروکسید قرار می‌گیرد، حفره‌هایی روی سطح الیاف ایجاد می‌شود. میزان زبری سطح در مقایسه با الیاف اصلاح شده با سدیم کلریت کمتر است که این می‌تواند اثر سدیم هیدروکسید در مرحله دوم اصلاح سطح باشد. با توجه به تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی، مشخص است سطح الیاف اصلاح شده با سدیم کلریت ناهمواری بیشتری در مقایسه با سایر الیاف دارد که می‌تواند بر میزان چسبندگی بین لیف و ماتریس تأثیر بگذارد. در شکل ۵-د تصاویر الیاف خرما اصلاح شده با سدیم هیدروکسید نشان داده شده است. جهت راستی آزمایشی و مقایسه می‌توان از این تصویر بهره‌برد.

۳- نتایج

در این بخش به بررسی نتایج آزمون‌های توزین حرارتی، کشش لیف، کشش، خمش و ضربه انجام شده بر روی الیاف اصلاح شده و بدون اصلاح سطح و نمونه صفحات کامپوزیتی می‌پردازیم.

در آزمون میکروسکوپ الکترونی^۱ با کمک دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل JXA-840 ساخت شرکت JEOL ژاپن، تصاویر نمونه‌های الیاف خرما اصلاح شده گرفته شده است. برای مطالعه شکل‌گیری و مورفولوژی سطح الیاف و همچنین تعیین قطر الیاف از تصاویر با بزرگنمایی ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ برابر استفاده شد و برای تمام تصاویر ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۵ Kv در نظر گرفته شده است. نمونه‌ها پس از بریده شدن در ابعاد کوچک (با توجه به ظرف دستگاه) در دستگاه لایه نشانی طلا- پالادیوم مدل SCD005 از شرکت BAL-TEC قرار گرفته، سطح آن‌ها با لایه بسیار نازکی از اتم‌های طلا پوشش داده شده و در محل قرارگیری نمونه در میکروسکوپ قرار می‌گیرد. لایه رسانا روی نمونه‌ها سبب باقی نماندن الکترون تابانده شده روی سطح نمونه می‌شود. به این ترتیب الکتروسیته ساکن روی سطح نمونه ایجاد نمی‌شود و تصویر از وضوح مطلوبی برخوردار است.

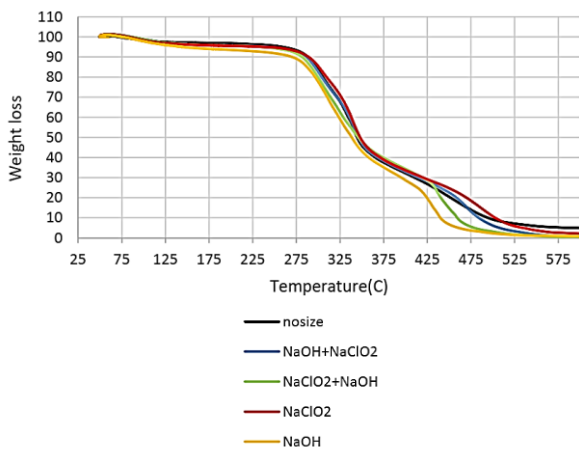
آنالیز گرما وزن‌سنجی یکی از تکنیک‌های حرارتی است که تغییرات وزن ماده را به صورت تابعی از دما یا زمان در یک اتمسفر کنترل شده ثبت می‌کند. در آزمون توزین حرارتی^۲ در یک اتمسفر کنترل شده طبق برنامه دمایی مشخص به نمونه حرارت اعمال می‌شود. تغییر وزن مواد به شدت به شرایط تجربی اعمال شده بستگی دارد. همچنین، فاکتورهایی از قبیل جرم نمونه، حجم، شکل و خصوصیات فیزیکی و سرعت گرمایش همگی بر منحنی به دست آمده می‌تواند تأثیر داشته باشند. از این تکنیک برای شناسایی و تعیین مقدار مواد فرار (آلی و غیر آلی) استفاده می‌شود. علاوه بر این، پایداری حرارتی، خصوصیات تخریب، طول عمر و سینتیک واکنش نیز قابل بررسی است.

۲-۴- بررسی اصلاح سطح الیاف توسط میکروسکوپ الکترونی

الیاف اصلاح شده و بدون اصلاح سطح توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شدند. شکل ۵-الف الیاف خام و بدون اصلاح سطح را نشان می‌دهد. با توجه به تصویر مشخص است سطح الیاف از موم و ناخالصی پوشیده شده است. قطر الیاف خام در حدود ۴۷۸/۵ میکرومتر است. شکل ۵-ب الیاف اصلاح شده در محلول سدیم هیدروکسید ۶ درصد را نمایش می‌دهد. سدیم هیدروکسید با

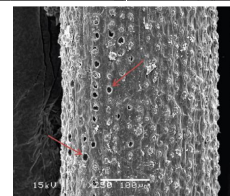
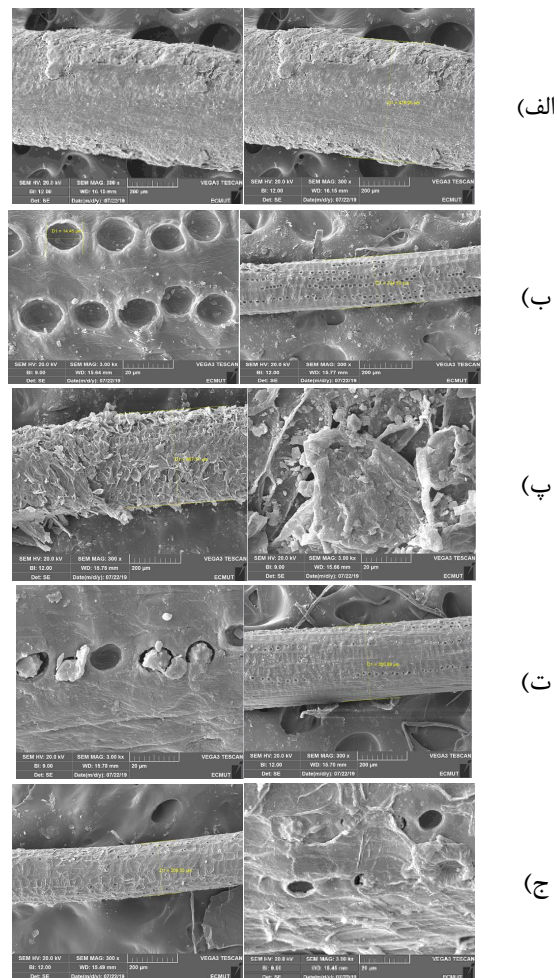
1. SEM
2. TGA

که می‌تواند به رطوبت موجود در لیف نسبت داده شود. وزن لیف تا ۲۷۵ درجه سانتی‌گراد ثابت است و در دمای بالاتر از ۲۷۵ درجه سانتی‌گراد تخریب آغاز می‌شود. این نتایج با سایر انواع الیاف طبیعی قابل مقایسه است. در الیاف اصلاح شده با سدیم‌هیدروکسید، سدیم کلریت، ابتدا سدیم‌هیدروکسید و سپس سدیم کلریت و برعکس، همانند لیف بدون اصلاح سطح تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش وزن جزئی دارند و تا حدود دمای ۲۷۵ درجه سانتی‌گراد وزن الیاف ثابت بوده و سپس روند کاهشی آغاز می‌شود. آنچه مشخص است لیف اصلاح شده با سدیم کلریت در برابر تخریب ناشی از افزایش دما در مقایسه با لیف بدون اصلاح سطح و سایر الیاف اصلاح شده مقاوم‌تر است.



شکل (۶): نمودار آنالیز حرارتی الیاف نخل خرما تحت اصلاح سطح گوناگون.

لیف اصلاح شده با سدیم‌هیدروکسید در مقایسه با سایر الیاف تخریب‌پذیری بیشتری در برابر حرارت دارد. شکل ۶ نشان می‌دهد که پس از عملیات قلیایی یا سفید کردن، پایداری حرارتی مواد بهبود یافته است. این امر به دلیل حذف جزئی ترکیبات با ثبات حرارتی کم مانند همی سلولز، لیگنین و پکتین است. ثبات حرارتی بالاتر نمونه تیمار شده با اسید نسبت به نمونه تیمار شده قلیایی، به حذف جزئی نشاسته در حین هیدرولیز اسید نسبت می‌دهد. می‌توان توضیح داد که از بین بردن جزئی ذرات نشاسته‌ای که در طول هیدرولیز اسید به سطح الیاف تعبیه شده‌اند، تعامل بین ماده سدیم‌هیدروکسید و الیاف را تسهیل می‌کند که منجر به از بین بردن کارآمدتر ترکیبات غیر سلولی در مرحله درمانی قلیایی می‌شود. در شکل ۷ نمودار آنالیز حرارتی پالپ کاساوا^۱ و در شکل ۸ نمودار آنالیز حرارتی الیاف نخل خرما نشان داده شده است. برای راستی‌آزمایی نتایج آنالیز حرارتی می‌توان از این نمودارها بهره برد.



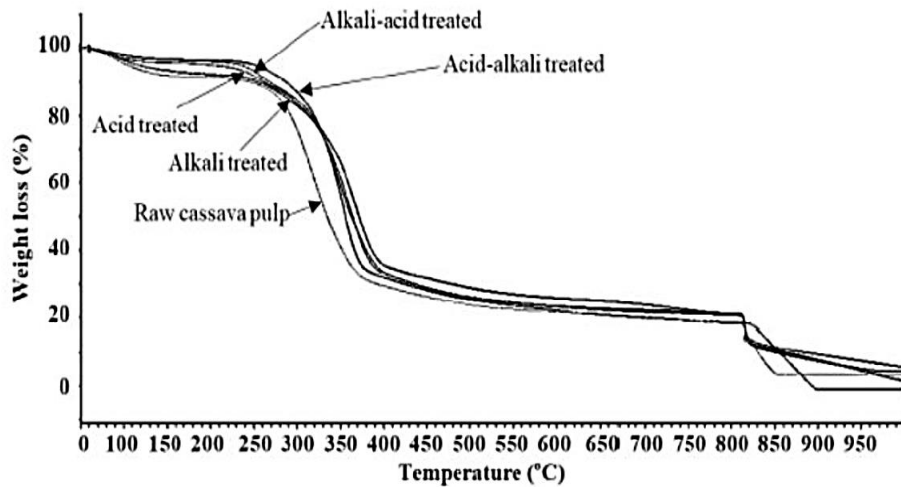
شکل (۵): تصاویر الیاف در میکروسکوپ الکترونی روبشی، الف) الیاف خام و بدون اصلاح سطح. ب) الیاف اصلاح شده با محلول سدیم هیدروکسید ۶ درصد، پ) الیاف اصلاح شده با محلول سدیم کلریت ۰/۴ درصد، ت) الیاف اصلاح شده ابتدا با محلول سدیم‌هیدروکسید و سپس محلول سدیم کلریت، ج) الیاف اصلاح شده ابتدا با محلول سدیم کلریت و سپس محلول سدیم‌هیدروکسید و د) تصاویر SEM از الیاف نخل خرما پس از اصلاح سطح با سدیم‌هیدروکسید [۲۵].

۳-۱- نتایج آزمون توزین حرارتی (TGA)

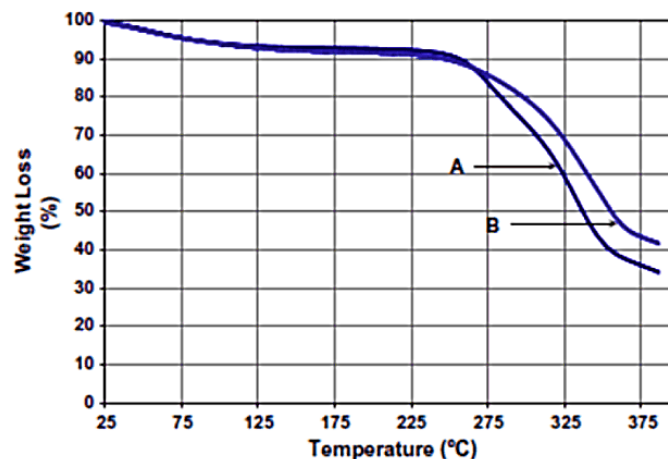
پایداری حرارت پایین الیاف طبیعی به‌عنوان یکی از مشکلات الیاف طبیعی شناخته شده است. دانستن دمای تخریب خواص مکانیکی الیاف زمانی که در معرض دمای بالا در پردازش کامپوزیت قرار دارند، اهمیت بسیار بالایی داد. تجزیه و تحلیل گرماسنجی الیاف نخل خرما بدون اصلاح سطح در شکل ۶ نشان داده شده است. نمودار آنالیز حرارتی الیاف نخل خرما بدون اصلاح سطح، کاهش جزئی وزن را با افزایش دما به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد

(یادداشت فنی)

ساجده هادویان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی



شکل (۷): نمودار آنالیز حرارتی پالپ کاساوا تحت اصلاح سطح گوناگون [۲۶].



شکل (۸): نمودار آنالیز حرارتی (A) لیف بدون اصلاح سطح و (B) لیف اصلاح شده با سدیم هیدروکسید (۵ درصد) نخل خرما [۲۸].

نهایت می‌توان گفت اصلاح سطح در دو مرحله سبب تضعیف لیف خرما می‌شود.

۳-۳- نتایج آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس (Pull out)

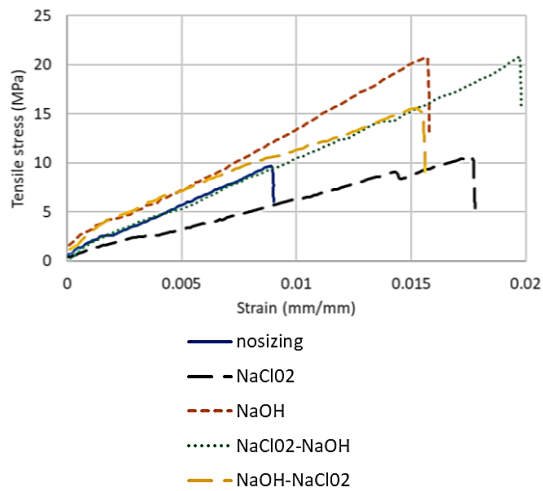
نتیجه آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس به همان اندازه که به میزان چسبندگی لیف و ماتریس بستگی دارد، به استحکام کششی لیف تک پس از اصلاح سطح نیز وابسته است. شکستن لیف در اثر کشش آن می‌تواند نتیجه تضعیف لیف در مراحل اصلاح سطح و یا چسبندگی لیف و ماتریس باشد.

با توجه به آزمون کشش لیف تک، بیشترین استحکام لیف خرما در اصلاح سطح با سدیم کلریت اتفاق می‌افتد، با تحمل تنش برشی بیش از ۳۰۰ درصد در مقایسه با لیف بدون اصلاح سطح، در واقع این استحکام در اثر چسبندگی لیف و ماتریس اتفاق افتاده

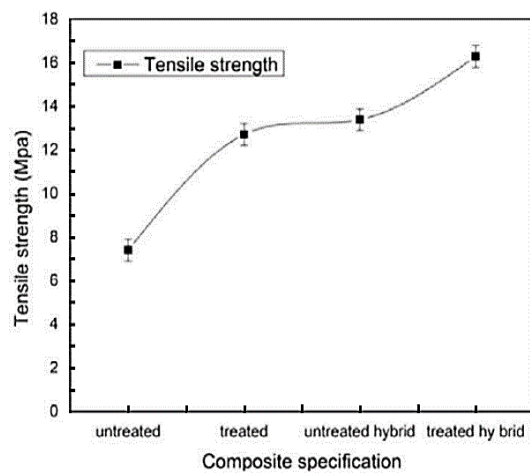
۳-۲- نتایج آزمون کشش لیف

در شکل ۹ داده‌های آزمون کشش لیف نخل خرما تحت اصلاح سطح مختلف ارائه شده است. بیشترین استحکام کششی مربوط به لیف خرما اصلاح شده با سدیم کلریت و در حدود ۸۰ مگاپاسکال است. کمترین استحکام کششی نیز مربوط به لیف خرما اصلاح شده ابتدا با سدیم هیدروکسید و سپس سدیم کلریت و در حدود ۱۹ مگاپاسکال است. می‌توان گفت اصلاح سطح لیف خرما با این روش سبب تضعیف لیف و کاهش استحکام کششی آن می‌شود. همچنین، استحکام کششی لیف خرما اصلاح شده ابتدا با سدیم کلریت و سپس سدیم هیدروکسید حدود ۳۰ مگاپاسکال و تقریباً ۳۶ درصد بیشتر از استحکام کششی لیف اصلاح شده با سدیم هیدروکسید و سپس سدیم کلریت است. می‌توان گفت فاصله چندانی بین این دو نمونه وجود ندارد. درحالی‌که اصلاح سطح لیف خرما با سدیم هیدروکسید حدود ۶۰ مگاپاسکال است. در

سطح سدیم هیدروکسید و کامپوزیت ترکیبی الیاف خرما و شیشه جهت مقایسه و راستی‌آزمایی آورده شده است. استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل اصلاح شده ابتدا با سدیم کلریت و سپس سدیم‌هیدروکسید ۱۱۱/۳۴ درصد استحکام کششی کامپوزیت نخل بدون اصلاح سطح است. در نهایت استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل اصلاح شده ابتدا با محلول سدیم‌هیدروکسید و سپس محلول سدیم کلریت ۶۲/۸۸ درصد استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل بدون اصلاح سطح است.



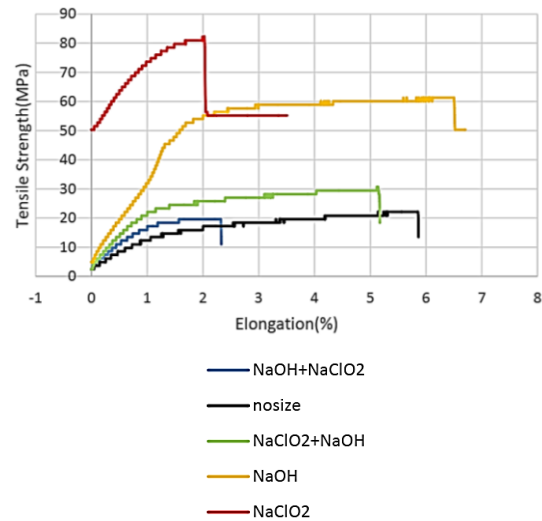
شکل (۱۰): استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل خردشده با و بدون اصلاح سطح.



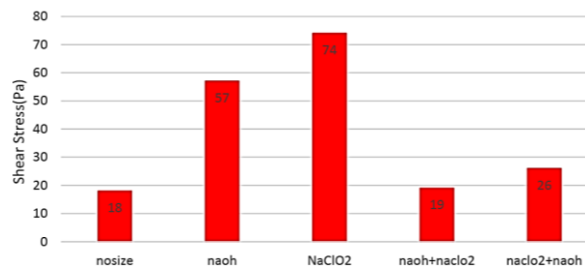
شکل (۱۱): استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل خرما-اپوکسی بدون اصلاح سطح، با اصلاح سطح سدیم هیدروکسید و کامپوزیت ترکیبی الیاف خرما و شیشه [۲۲].

کامپوزیت لایه‌چینی الیاف نخل اصلاح سطح شده با سدیم کلریت ۱۵/۷۸ درصد کامپوزیت لایه‌چینی الیاف نخل بدون اصلاح سطح (شکل ۱۳) است. در استحکام کششی تقریبی ۱۸ مگاپاسکال در اثر سرخوردگی نمونه در گیره، شکستگی در نمودار

است. نتایج آزمون بیرون کشیدگی لیف اصلاح سطح شده و بدون اصلاح سطح از ماتریس در شکل ۱۰ ارائه شده است.



شکل (۹): استحکام کششی لیف تک خرما با و بدون اصلاح سطح.



شکل (۱۰): استحکام کششی لیف تک خرما با و بدون اصلاح سطح.

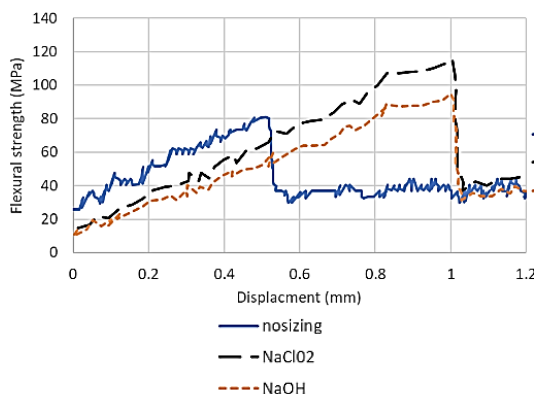
۳-۴- نتایج آزمون کشش نمونه‌های کامپوزیتی

نمودارهای زیر نشان دهنده میزان استحکام کششی انواع کامپوزیت‌های الیاف نخل-اپوکسی هستند. در شکل ۱۱ نمودار استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل خردشده با و بدون اصلاح سطح نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل بدون اصلاح سطح به دلیل عدم وجود چسبندگی کافی بین الیاف و ماتریس در مقایسه با سایر کامپوزیت‌ها کم‌تر است. همچنین، استحکام کامپوزیت الیاف نخل اصلاح شده با محلول سدیم کلریت ۱۱/ ۳۴ درصد بیشتر از استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل بدون اصلاح سطح است. در استحکام کششی تقریبی ۹ مگاپاسکال در اثر سرخوردگی نمونه در گیره، شکستگی در نمودار دیده شد. استحکام کششی کامپوزیت الیاف خرما اصلاح شده با محلول سدیم‌هیدروکسید ۱۱۶/۴۹ درصد بیشتر از کامپوزیت خرما بدون اصلاح سطح است. در شکل ۱۲ نمودار استحکام کششی کامپوزیت الیاف نخل خرما-اپوکسی بدون اصلاح سطح، با اصلاح

(یادداشت فنی)

ساجده هادویان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی

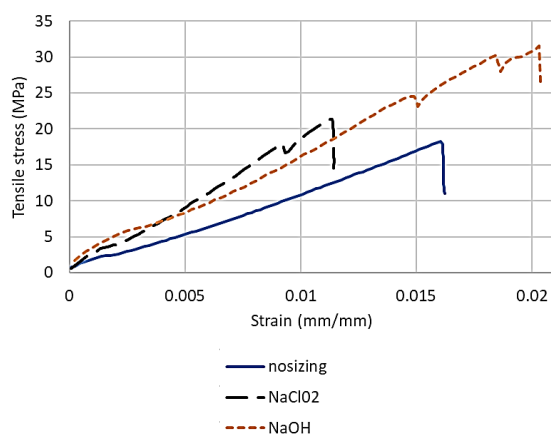
دیده شد. در شکل ۱۳ نمودار استحکام کششی کامپوزیت لایه‌ای الیاف نخل با و بدون اصلاح سطح ارائه شده است. همچنین، استحکام کششی کامپوزیت لایه‌چینی الیاف نخل اصلاح شده با سدیم‌هیدروکسید ۶۳/۱۵ درصد استحکام کششی کامپوزیت لایه‌چینی الیاف نخل بدون اصلاح سطح است. در استحکام کششی تقریبی ۲۵ و ۳۰ مگاپاسکال در اثر سرخوردگی نمونه در گیره، شکستگی در نمودار دیده شد. شکل ۱۴ نمودار مدول کششی کامپوزیت الیاف نخل خرما-اپوکسی است. کامپوزیت لایه‌چینی اصلاح شده با محلول سدیم کلرید بیشترین مدول کششی را داشته و همچنین کامپوزیت الیاف نخل خرد شده اصلاح شده با سدیم‌هیدروکسید دارای بیشترین مدول کششی از بین کامپوزیت با الیاف خرد شده است.



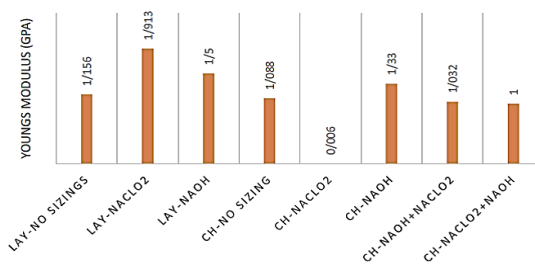
شکل (۱۵): نمودار آزمون خمش کامپوزیت لایه‌ای الیاف اصلاح شده و بدون اصلاح سطح.

استحکام خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرد شده بدون اصلاح سطح (شکل ۱۶) ۲۹ درصد بیش‌تر از استحکام خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرد شده با اصلاح سطح سدیم‌هیدروکسید است. در شکل ۱۶ نمودار خمش کامپوزیت الیاف نخل خرد شده با و بدون اصلاح سطح ارائه شده است. در شکل ۱۷ نمودار استحکام خمشی کامپوزیت الیاف خرما-اپوکسی بدون اصلاح سطح، با اصلاح سطح سدیم‌هیدروکسید و کامپوزیت ترکیبی الیاف خرما و شیشه جهت راستی‌آزمایی و مقایسه آورده شده است. استحکام خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرد شده اصلاح سطح شده ابتدا با سدیم‌کلرید و سپس سدیم‌هیدروکسید ۳۵ درصد کم‌تر از استحکام خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرد شده بدون اصلاح سطح است. شکل ۱۷ نمودار خمش کامپوزیت الیاف نخل خرد شده اصلاح سطح شده ابتدا با سدیم‌کلرید و سپس سدیم‌هیدروکسید را ارائه داده است. استحکام خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرد شده اصلاح سطح شده ابتدا با سدیم‌هیدروکسید و سپس سدیم‌کلرید ۱۹ درصد کم‌تر از استحکام خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرد شده اصلاح سطح است. استحکام خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرد شده اصلاح شده با سدیم‌کلرید ۱۴ درصد کم‌تر از استحکام خمشی کامپوزیت بدون اصلاح سطح است. شکل ۱۸ مدول بیشترین مدول خمشی مربوط به کامپوزیت لایه‌چینی بدون

شکل ۱۳: استحکام کششی کامپوزیت چندلایه الیاف نخل با و بدون اصلاح سطح.



شکل (۱۳): استحکام کششی کامپوزیت چندلایه الیاف نخل با و بدون اصلاح سطح.



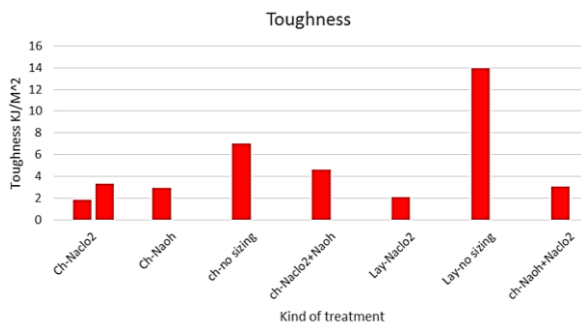
شکل (۱۴): نمودار مدول کششی کامپوزیت الیاف نخل خرما-اپوکسی.

۳-۵- نتایج آزمون خمش نمونه‌های کامپوزیتی

مهم‌ترین پارامتر کنترل‌کننده استحکام فشاری مواد کامپوزیت الیاف خرد شده، چسبندگی سطحی بین الیاف و ماتریس است. در واقع اصلاح سطح شیمیایی باعث کاهش ماهیت آبرگریزی لیف سلولز شده و در نتیجه باعث بهبود پیوند بین لیف و ماتریس شده و در نهایت استحکام فشاری کامپوزیت افزایش می‌یابد. استحکام خمشی کامپوزیت لایه‌ای الیاف نخل بدون اصلاح سطح (شکل ۱۵) در مقایسه با استحکام خمشی

۳-۶- نتایج آزمون ضربه نمونه‌های کامپوزیتی

آزمون مقاومت ضربه‌ای آیزود انرژی لازم برای انتشار ترک موجود را اندازه‌گیری می‌کند. نتایج آزمایش ضربه برای کامپوزیت طبیعی الیاف خرما خردشده/ اپوکسی و کامپوزیت طبیعی لایه‌چینی الیاف خرما- اپوکسی در شکل ۱۹ نشان داده شده است. چقرمگی عامل اصلی کنترل مقدار استحکام ضربه است. هرچه انرژی لازم برای شکستن نمونه بیش‌تر باشد نمونه چقرمه‌تر و برعکس هرچه انرژی لازم کمتر باشد، نمونه تردتر است. مقاومت کامپوزیت در برابر ضربه به استحکام الیاف، ماتریس و استحکام پیوند بین آن‌ها بستگی دارد. مقادیر استحکام ضربه کامپوزیت لایه‌چینی در مقایسه با کامپوزیت با الیاف خردشده بیش‌تر است. کامپوزیت لایه‌چینی بدون اصلاح سطح در مقایسه با کامپوزیت با الیاف خرد شده بدون اصلاح سطح، ۹۸ درصد چقرمه‌تر است. در بین نمونه‌های با الیاف خرد شده تردترین نمونه، کامپوزیت با الیاف خرما اصلاح شده با سدیم کلریت در مقایسه با کامپوزیت بدون اصلاح سطح ۷۰ درصد تردتر و چقرمه‌ترین نمونه کامپوزیت با الیاف اصلاح شده با سدیم کلریت و سپس سدیم‌هیدروکسید است که در مقایسه با کامپوزیت بدون اصلاح سطح ۳۴ درصد تردتر می‌باشد. در بین نمونه‌های لایه‌چینی، تردترین نمونه کامپوزیت با الیاف اصلاح شده با سدیم کلریت ۷۴ درصد تردتر از کامپوزیت بدون اصلاح سطح و چقرمه‌ترین نمونه مربوط به کامپوزیت لایه‌چینی اصلاح شده با سدیم‌هیدروکسید است که در مقایسه با کامپوزیت لایه‌چینی بدون اصلاح سطح ۶۴ درصد تردتر می‌باشد. در واقع اصلاح سطح الیاف خرما در هر چهار روش انجام شده باعث کاهش چقرمگی شده است.

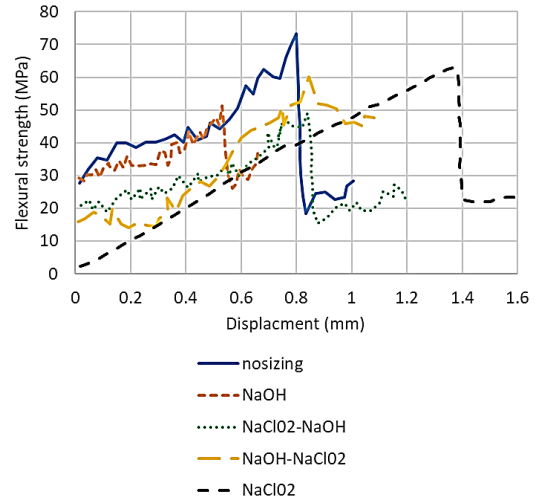


شکل (۱۹): نمودار آزمون نمودار ضربه آیزود کامپوزیت الیاف نخل خرما-اپوکسی.

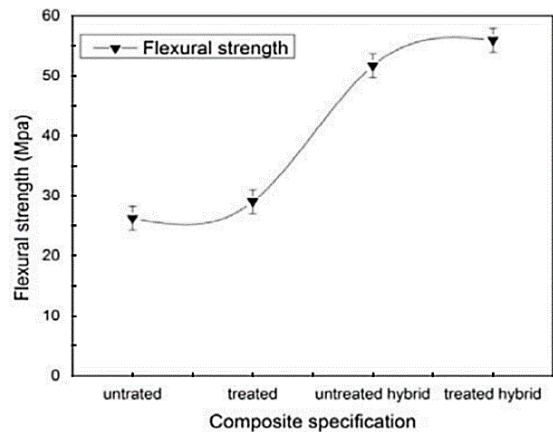
۴- نتیجه‌گیری

نتایج آزمون توزین حرارتی نشان داد پس از عملیات قلیایی و سفیدکردن الیاف پایداری حرارتی الیاف نخل خرما بهبود

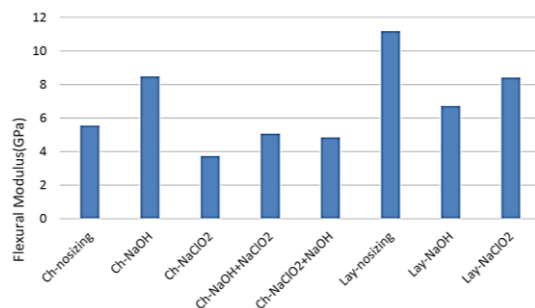
اصلاح سطح می‌باشد. همچنین، کامپوزیت الیاف نخل خرد شده با اصلاح سدیم‌هیدروکسید دارای بیشترین مدول خمشی از بین کامپوزیت با الیاف خردشده می‌باشد. مابقی نمونه‌ها بدلیل کاهش ضخامت الیاف ناشی از اصلاح سطح، نسبت به نمونه معیار از استحکام خمشی کمتری برخوردار می‌باشند.



شکل (۱۶): نمودار آزمون خمش کامپوزیت الیاف نخل خردشده بدون اصلاح سطح.



شکل (۱۷): نمودار آزمون خمش کامپوزیت الیاف نخل خردشده اصلاح سطح شده ابتدا با سدیم کلریت و سپس سدیم‌هیدروکسید [۲۲].



شکل (۱۸): نمودار مدول خمشی کامپوزیت الیاف نخل خرما-اپوکسی.

(یادداشت فنی)

ساجده هادویان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی

مربوط به الیاف بدون اصلاح سطح و در حدود ۷۰ مگاپاسکال است.

نتایج بدست آمده از آزمون ضربه آیزود نشان می‌دهد مقادیر استحکام ضربه کامپوزیت لایه‌چینی در مقایسه با کامپوزیت با الیاف خردشده بیش‌تر است. کامپوزیت لایه‌چینی بدون اصلاح سطح در مقایسه با کامپوزیت با الیاف خرد شده بدون اصلاح سطح، ۹۸ درصد چقرمه‌تر است. در بین نمونه‌های با الیاف خرد شده تردترین نمونه، کامپوزیت با الیاف خرما اصلاح شده با سدیم کلریت در مقایسه با کامپوزیت بدون اصلاح سطح ۷۰ درصد تردتر و چقرمه‌ترین نمونه کامپوزیت با الیاف اصلاح شده با سدیم کلریت و سپس سدیم‌هیدروکسید است که در مقایسه با کامپوزیت بدون اصلاح سطح ۳۴ درصد تردتر می‌باشد. در بین نمونه‌های لایه‌چینی، تردترین نمونه کامپوزیت با الیاف اصلاح شده با سدیم کلریت ۷۴ درصد تردتر از کامپوزیت بدون اصلاح سطح و چقرمه‌ترین نمونه مربوط به کامپوزیت لایه‌چینی اصلاح شده با سدیم‌هیدروکسید است که در مقایسه با کامپوزیت لایه‌چینی بدون اصلاح سطح ۶۴ درصد تردتر می‌باشد. در واقع، اصلاح سطح الیاف خرما در هر چهار روش انجام شده باعث کاهش چقرمگی شده است.

می‌یابد. همچنین لیف اصلاح شده با سدیم کلریت در برابر تخریب ناشی از افزایش دما در مقایسه با سایر الیاف اصلاح شده مقاوم‌تر است. نتایج آزمون کشش لیف تک نشان داد، بیشترین استحکام کشی مربوط به لیف خرما اصلاح شده با سدیم کلریت و در حدود ۸۰ مگاپاسکال است. همچنین، کمترین استحکام کشی مربوط به لیف اصلاح شده ابتدا با سدیم‌هیدروکسید و سپس سدیم کلریت و در حدود ۱۹ مگاپاسکال است. در نهایت می‌توان گفت اصلاح سطح در دو مرحله سبب تضعیف لیف خرما می‌شود.

در آزمون بیرون کشیدگی لیف از ماتریس، تنش برشی لیف اصلاح شده با سدیم کلریت ۳۰۰ درصد بیشتر در مقایسه با لیف بدون اصلاح سطح بوده است. نتایج بدست آمده از آزمون کشش کامپوزیت نشان می‌دهد بیشترین استحکام کششی از بین نمونه‌های لایه‌چینی و الیاف خرد شده مربوط به کامپوزیت با الیاف اصلاح شده با سدیم‌هیدروکسید می‌باشد. نتایج بدست آمده از آزمون خمش نمونه‌های کامپوزیتی نشان می‌دهد بیشترین استحکام خمشی مربوط به کامپوزیت لایه‌ای اصلاح شده با سدیم کلریت و در حدود ۱۲۰ مگاپاسکال است. همچنین، در کامپوزیت با الیاف خرد شده بیشترین استحکام خمشی

۵- مراجع

- [1] Jawaid, M.H.P.S. and Khalil, H.A., "Cellulosic/Synthetic Fibre Reinforced Polymer Hybrid Composites: A Review", *Carbohydr Polym.*, Vol. 86, No. 1, pp. 1-18, 2011.
- [2] Corbiere-Nicollier, T., Laban, B.G., Lundquist, L., Leterrier, Y., Manson, J.A., and Jolliet, O., "Life Cycle Assessment of Biofibres Replacing Glass Fibres as Reinforcement in Plastics", *Resour. Conserv. Recycl.*, Vol. 33, No. 4, pp. 267-287, 2001.
- [3] Abrate, S., *Impact on Composite Structures*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2005.
- [4] Mahdavi, S., Kermanian, H., and Varshoei, A., "A Comparison of Mechanical Properties of Date Palm Fiber-Polyethylene Composite", *Bio Resources*, Vol. 5, No. 4, pp. 2391-2403, 2010.
- [5] Shalwan, A. and Yousif, B., "Investigation on Interfacial Adhesion of Date Palm/Epoxy Using Fragmentation Technique", *Materials & Design*, Vol. 53, pp. 928-937, 2014.
- [6] AL-Oqla, F.M., Alothman, O.Y., Jawaid, M., Sapuan, S.M., and Es- Saheb, M.H., "Processing and Properties of Date Palm Fibers and Its Composites", *In Biomass and Bioenergy*, Springer International Publishing, New York, USA, 2014.
- [7] Al-Oqla, F.M. and Sapuan, S.M., "Natural Fiber Reinforced Polymer Composites in Industrial Applications: Feasibility of Date Palm Fibers for Sustainable Automotive Industry", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 66, pp. 347-354, 2014.
- [8] AlMaadeed, M.A., Kahraman, R., Noorunnisa Khanam, P., and Al-Maadeed, S., "Characterization of Untreated and Treated Male and Female Date Palm Leaves", *Materials and Design*, Vol.43, pp. 526-531, 2013.
- [9] Amroune, S., Bezazi, A., Belaadi, A., Zhu, C., Scarpa, F., Rahatekar, S., and Imad, A., "Tensile Mechanical Properties and Surface Chemical Sensitivity of Technical Fibres from Date Palm Fruit Branches (Phoenix Dactylifera L.)", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 71, pp. 95-106, 2015.
- [10] Shalwan, A. and Yousif, B.F., "Investigation on Interfacial Adhesion of Date Palm/Epoxy Using Fragmentation Technique", *Materials and Design*, Vol. 53, pp. 928-937, 2015.
- [11] Senawi, R., Alauddin, S.M., Salleh, R.M., Rashid, S.R.A., and Shueb, M.I., "Effect of Chemical Treatments on Properties of Polylactic Acid (PLA) and Empty Fruit Bunch (EFB) Fibers Biocomposites", 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC), Langkawi, Malaysia, 2013.
- [12] Maniruzzaman, M., Rahman, M.A., Gafur, M.A., Fabritius, H., and Raabe, D., "Modification of Pineapple Leaf Fibres and Graft Copolymerization of Acrylonitrile onto Modified Fibers", *Journal of Composite Materials*, Vol. 46, No. 1, pp. 79-90, 2011.
- [13] Husnil, Y.A., Ismojo, A., Handayani, A.S., Setiaji, D.A., and Chalid, M., "The Effect of Alkalization and Bleaching Treatment of Sorghum Fibre on the Crystallinity Index of Pp Composite", *Materials Science and Engineering*, Vol. 509, 2019.
- [14] Razali, N.A.M., Ya'acob, W.M.H.W., Rusdi, R.A.A., and Aziz, F.A., "Extraction of Rice Straw Alpha Cellulose Micro/Nano Fibres", *Materials Science Forum*, Vol. 888, pp. 244-247, 2017.
- [15] Manjula R., Raju N.V., Chakradhar R.P.S., and Johns J., "Effect of Thermal Aging and Chemical Treatment on Tensile Properties of Coir Fiber", *Journal of Natural Fibers*, Vol. 15, pp. 112-21, 2018.
- [16] Chandramohan, D. and Kumar, A.J., "Experimental Data on the Properties of Natural Fiber Particle Reinforced Polymer Composite Material", *Data in Brief*, Vol.13, pp. 460-468, 2017.
- [17] Sepe, R., Bollino, F., Boccarusso, L., and Caputo, F., "Influence of Chemical Treatments on Mechanical Properties of Hemp Fiber Reinforced Composites", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 133, pp. 210-217, 2018.
- [18] Singh, J.I.P., Sehijpal, S., and Dhawan, V., "Influence of Fiber Volume Fraction and Curing Temperature on Mechanical Properties of Jute/Pla Green Composites", *Polymers and Polymer Composites*, Vol. 28, No. 4, pp. 273-284, 2020.
- [19] Sayeed, M.M.A., Sayem, A.S.M., and Haider, J., "Opportunities with Renewable Jute Fiber Composites to Reduce Eco-Impact of Nonrenewable Polymers", *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, Elsevier, pp. 810-821, 2020.
- [20] Geranmayeh, A., Eslami-Farsani, R., and Zareei, Na., " Interlaminar Shear Strength and Tensile Properties of Environmentally-Friendly Fiber Metal Laminates Reinforced by Hybrid Basalt and Jute Fibers", *Polymer Testing*, Vol. 75, pp. 205-212, 2019.
- [21] Singh, J.I.P., Sehijpal, S., and Dhawan, V., "Effect of Alkali Treatment on Mechanical Properties of Jute Fiber-Reinforced Partially Biodegradable Green Composites Using Epoxy Resin Matrix", *Polymers and Polymer Composites*, Vol. 28, No. 6, pp. 388-397, 2020.
- [22] Tripathy, S., Dehury, J., and Mishra, D., "A Study on the Effect of Surface Treatment on the Physical and Mechanical Properties of Date-Palm Stem Liber Embedded Epoxy Composites", *Materials Science and Engineering*, Vol. 115, 2016.
- [23] Gholami, M., Ahmadi, M.S., Tavaniaie, M.A., and Khajeh Mehrizi, M., "Mechanical Properties of Date Palm Fiber Reinforced Polymer Composites: A Review", *Polymerization*, Vol. 7, No. 1, pp. 83-94, 2017 (In Persian).
- [24] Abdal-hay, A., Suardana, N.P.G., Jung, D.Y., Choi, K.-S. and Lim, J.K., "Effect of Diameters and Alkali Treatment on the Tensile Properties of Date Palm Fiber Reinforced Epoxy Composites", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 13, No. 7, pp. 1199-1206, 2009.
- [25] Boukettaya, S., Al Seddique, W., Alawar, A., Daly, H.B., and Hammami, A., "Cooling Rate Effects on the Crystallization Kinetics of Polypropylene/Date Palm Fiber Composite Materials", *Sci. Eng. Compos. Mater*, Vol. 23, No. 5, pp. 523-533, 2016.
- [26] Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., and Ruksakulpiwat, Y., "Extraction of Cellulose

(یادداشت فنی)

ساجده هادیان، جعفر اسکندری جم، علی داور، محسن حیدری بنی و مجید اسکندری شهرکی

- Microfibrils from Cassava Pulp”, *Key Engineering Materials Submitted*, Vol. 723, pp 427-433, 2017.
- [27] Pradeep, P. and Dhas, J.E.R., “Characterization of Chemical and Physical Properties of Palm Fibers”, *Advances in Materials Science and Engineering: An International Journal (MSEJ)*, Vol. 2, No. 4, 2015.
- [28] Alawar, A., Hamed, A.M., and Al-Kaabi, K., “Characterization of Treated Date Palm Tree Fiber as Composite Reinforcement”, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 40, No. 7, pp. 601–606, 2009.