

(Original Research Paper)

Investigation of Mechanical and Antibacterial Properties of Epoxy Biocomposite Reinforced with Nano Cellulose and Thyme Plant

Emad Salahvarzi¹, Behrooz Dousti^{2*}, Mahdi Karami Khorramabadi³

1- M.Sc Graduated of Microbiology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

2- Associate Professor, Department of Microbiology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.

Received:04/02/2024

Accepted:01/06/2024

DOI: [10.71810/jfst.2025.1004800](https://doi.org/10.71810/jfst.2025.1004800)

Abstract

In this paper, the experimental investigation of mechanical and antibacterial properties of epoxy biocomposite reinforced with cellulose nanofibers and thyme plant nanoparticles is studied. At first, an extract was extracted from the thyme plant, and after preparing the extract in a solid form, the particles of the extract were obtained on a nano scale. In the next step, the combination of nano particles of extract, nano fibers of cellulose and the simultaneous combination of nano particles of extract and nano fibers of cellulose with epoxy are made separately in weight percentages of pure, 0.5, 1, 1.5 and 2 respectively. For each of the weight percentages, in order to the investigation of mechanical properties, a tensile test has been performed according to the standard, as well as an antibacterial test. The results show that by increasing the weight percentage of reinforcements up to 1.5% by weight, the mechanical properties improve and then decrease. The highest amount of elastic modulus obtained for the combination of extract nanoparticles, cellulose nanofibers and the simultaneous combination of extract nanoparticles and cellulose nanofibers with epoxy at 1.5% by weight is 4.053, 4.169, and 3.522 MPa, respectively. On the other hand, by increasing the weight percentage of the reinforcements, the antibacterial properties of the samples have increased. The results of this test show that a lack of growth halo with a diameter of 22 mm has been created for the thyme extract. Regarding gram-negative bacteria, no growth halo was observed for thyme extract on Escherichia coli bacteria medium. For the disk containing the antibiotic gentamicin, the diameter of the halo of non-growth on staph bacteria and Escherichia coli bacteria was 8 and 6 mm, respectively. For the disc containing penicillin antibiotic, the diameter of non-growth halo on staph bacteria was 24 mm, and Escherichia coli bacteria did not show sensitivity to penicillin antibiotic. Considering that for the purpose of practical exploitation, it is important to have both mechanical and antibacterial properties in the samples, the summary of the results indicates that for all the samples in the percentage of 1.5% by weight, the mechanical properties and antibacterial will be optimal.

Keywords: Biocomposite, Epoxy, Nanocellulose, Thyme Plant.

*Corresponding Author: doostybehrooz@gmail.com

(مقاله پژوهشی)

بررسی خواص مکانیکی و ضد باکتریایی زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانو سلولز و گیاه آویشن

عماد سلاهورزی^۱، بهروز دوستی^{۲*}، مهدی کرمی خرم آبادی^۳

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه میکروبیولوژی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاداسلامی، خرم آباد، ایران.

۲- دانشیار، گروه میکروبیولوژی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاداسلامی، خرم آباد، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاداسلامی، خرم آباد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

DOI: [10.71810/jfst.2025.1004800](https://doi.org/10.71810/jfst.2025.1004800)

چکیده

در این مقاله به بررسی تجربی خواص مکانیکی و ضد باکتریایی زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات گیاه آویشن پرداخته شده است. در ابتدا از گیاه آویشن عصاره گیری شده و پس از تهیه عصاره به شکل جامد، ذرات عصاره در مقیاس نانو به دست آورده شده است. در مرحله بعد ترکیب نانو ذرات عصاره، نانو الیاف سلولز و ترکیب همزمان نانو ذرات عصاره و نانو الیاف سلولز با اپوکسی به صورت مجزا در درصدهای وزنی به ترتیب خالص، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ ساخته شده است. برای هر یک از درصدهای وزنی به منظور بررسی خواص مکانیکی، آزمایش کشش مطابق استاندارد انجام شده و همچنین آزمایش ضد باکتریایی نیز صورت گرفته است. نتایج نشان می دهد که با افزایش درصد وزنی تقویت کننده ها تا ۱/۵٪ وزنی، خواص مکانیکی بهبود یافته و پس از آن کاهش می یابد. بیشترین مقدار مدول الاستیک به دست آمده برای ترکیب نانو ذرات عصاره، نانو الیاف سلولز و ترکیب هم زمان نانو ذرات عصاره و نانو الیاف سلولز با اپوکسی در ۱/۵٪ وزنی به ترتیب برابر ۴/۰۵۳، ۴/۱۶۹ و ۳/۵۲۲ مگاپاسکال می باشد. در مقابل با افزایش درصد وزنی تقویت کننده ها، خاصیت ضد باکتریایی در نمونه ها افزایش یافته است. نتایج حاصل از این آزمایش نشان می دهد که برای عصاره آویشن روی محیط استاف هاله عدم رشدی به قطر ۲۲ میلیمتر ایجاد شده است. در خصوص باکتری گرم منفی نیز هاله عدم رشدی برای عصاره آویشن روی محیط ایکالای مشاهده نگردید. برای دیسک حاوی آنتی بیوتیک جنتامایسین، قطر هاله عدم رشد روی باکتری استفاف و باکتری اشیرشیاکلی به ترتیب برابر ۸ و ۶ میلیمتر بوده است. برای دیسک حاوی آنتی بیوتیک پنی سیلین نیز قطر هاله عدم رشد روی باکتری استفاف برابر ۲۴ میلیمتر بوده و باکتری اشیرشیاکلی نیز به آنتی بیوتیک پنی سیلین حساسیتی نشان نداده است. با توجه به این که به منظور بهره برداری های کاربردی، دارا بودن همزمان هر دو خاصیت مکانیکی و ضد باکتریایی در نمونه ها دارای اهمیت است، جمع بندی نتایج حاکی از آن است که برای تمامی نمونه ها در درصد وزنی ۱/۵٪، خواص مکانیکی و ضد باکتریایی بهینه خواهند بود.

واژه های کلیدی: بایو کامپوزیت، اپوکسی، نانو سلولز، گیاه آویشن.

* مسئول مکاتبات: doostybehrooz@gmail.com

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر کامپوزیت‌ها، نانو و زیست کامپوزیت‌ها به دلیل خواصی همچون چگالی پایین، نسبت استحکام به وزن بالا، پایداری شیمیایی ذاتی در دمای محیط و خواص مکانیکی و ضد باکتریایی بالا به‌طور گسترده در کاربردهای مهندسی و پزشکی مورد استفاده و توجه قرار گرفته‌اند. علاوه بر این کامپوزیت‌ها، نانو و زیست کامپوزیت‌ها به صنعت بسته بندی مواد غذایی نیز راه یافته‌اند تا سدی بزرگتر در برابر نفوذ گازها و کاهش فساد باشند (۱۲).

در مطالعه‌ای که صوفی و همکاران در سال ۲۰۲۱، برای تهیه فیلم نانو زیست کامپوزیت بر اساس ضایعات لیموترش نانوالیاف سلولز و اسانس مرزه انجام دادند نشان داده شد که در این مطالعه، برای اولین بار، این نانو زیست کامپوزیت با موفقیت ساخته شد و عامل ضد میکروبی و تقویت کننده نانو در فیلم‌ها گنجانده شد (۸). فیلم ساخته شده بیشترین میزان‌زدیاد طول را در زمان شکست و کمترین مقاومت کششی را داشت. همچنین نتایج نشان داد که در غلظت‌های بالاتر از تقویت کننده‌ها، نمونه‌های فیلم در برابر باکتری‌های گرم مثبت به ویژه *استافیلوکوکوس اورئوس* موثرتر هستند. در مطالعه‌ای دیگری کهاوتمانو همکاران در سال ۲۰۲۱، روی نشاسته ذرت / نانوذرات کیتوسان / فیلم‌های نانو کامپوزیت زیستی تیمول برای کاربردهای بالقوه بسته‌بندی مواد غذایی انجام دادند، نشان داده شد که فیلم‌های نانو کامپوزیت زیستی با موفقیت توسعه داده شده و به عنوان مواد بسته‌بندی فعال در صنایع غذایی قابل استفاده خواهند بود (۴). در ادامه پندوراگان و همکارش در سال ۲۰۲۰، خواص مورفولوژیکی و پخت کامپوزیت‌های اپوکسی پر شده بانانو الیافموز را ارزیابی کردند (۵). آن‌ها تاکید کردند که پرکننده‌های نانو الیافموز با افزایش چگالی پیوند متقابل در طول ژل شدن اپوکسی به عنوان یک عامل پخت کاتالیزوری عمل می‌کنند. همچنین، چیخ و همکاران در سال ۲۰۲۰، فیلم‌های نانو کامپوزیتی آلژینات حاوی سیپولیت اصلاح شده با عصاره توت‌های

گلغنی از پلی‌فنل‌ها به روش ریخته‌گری محلول را مورد بررسی قرار دادند (۱). در این مقاله اثرات غلظت‌های مختلف عصاره بر ویژگی‌های فیلم با اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی، مکانیکی و آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها تعیین شده است. در ادامه، زوکال و همکاران در سال ۲۰۲۰، اثرات روان کننده و خاک رس بر فیزیکی، شیمیایی، خواص مکانیکی، حرارتی و مورفولوژیکی سیب زمینی فیلم‌های نانو کامپوزیت مبتنی بر نشاسته را مورد بررسی قرار دادند (۲). در این مطالعه، مشخص گردید که افزودن انواع مختلف خاک رس تغییرات ساختاری و مورفولوژیکی فیلم‌های ساخته شده در حضور نرم کننده‌ها و نانورس‌ها در جزئیات با خواص مکانیکی، بلورینگی، زیست تخریب پذیری، پایداری حرارتی و آب همبستگی داشتند. همچنین تالجا و همکاران در سال ۲۰۰۷، اثر پلی ال‌های مختلف و محتویات پلی ال بر فیزیکی خواص مکانیکی فیلم‌های مبتنی بر نشاسته سیب زمینی را مورد بررسی قرار دادند (۹). این مطالعه نشان داد که تأثیر نرم کننده‌ها بر خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌ها برای گلیسرول بیشترین و برای سوربیتول کوچک‌ترین است. اخیراً مطالعاتی بر روی اپوکسی تقویت شده با نانوسلولز توسط محققان در بسیاری از زمینه‌ها مانند هوافضا، خودروسازی و ساخت وساز دریایی انجام شده است. وو و همکاران در سال ۲۰۱۷، مطالعه‌ای بر روی تاثیر فیبرهای بامبو سفید میکرو/نانو بر ویژگی‌های فیزیکی کامپوزیت‌های تقویت شده با رزین اپوکسی انجام داده‌اند (۱۱). آن‌ها دریافتند که گنجاندن نانو الیاف باعث افزایش رفتارهای خمشی و کششی، چقرمگی شکست و خواص حرارتی نانو کامپوزیت می‌شود. وجود نانو الیاف بامبوی سفید، مدول کششی و خمشی را افزایش داد که بهبود سفتی نانو کامپوزیت را نشان داد. شوبهام و همکاران به این نتیجه رسیدند که با افزودن نانوذرات مختلف به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌های پلیمری، می‌توان خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی و سایر خواص را بهبود بخشید (۷). لیو و همکاران، ساخت نانو کامپوزیت‌های شفاف

۲-مواد و روش ها

۲-۱-مواد

ماتریس مورد استفاده برای ساخت زیست کامپوزیت مورد نظر از نوع اپوکسی با نام تجاری E06 و ساخت پتروشیمی خوزستان می باشد. همچنین از پلی آمین PC205 ساخت پتروشیمی خوزستان به عنوان سخت کننده استفاده شده است. لازم به ذکر است که بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده، نسبت وزنی اپوکسی و سخت کننده ۱:۲ می باشد. نانو الیاف سلولز مورد استفاده دارای سایز عرضی ۲۰-۵۰ نانومتر، طول رشته های ۲۰-۱۸۰ میکرومتر و خلوص ۹۹/۳ درصد وزنی بوده و ساخت شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان (نانوئانی) می باشد. گیاه آویشن مورد استفاده با نام محلی ازبوه، دارای فرم رویشی بوته ای پایا و مربوط به شهرستان الشتر (استان لرستان) می باشد. در مورد محیط کشت نیز، از محیط های کشت نوترینت براث، مولر هیتون آگار، باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* و باکتری گرم منفی *اشریشیا کلای* استفاده شده است.

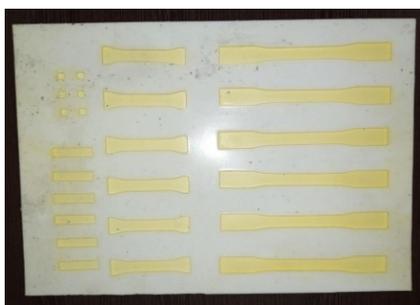
۲-۲-ساخت

برای تهیه عصاره آبی گیاه آویشن، از روش خیساندن استفاده شده است. یه این منظور، سرشاخه و برگهای جوان خشک شده گیاه آویشن به وسیله آسیاب به صورت پودر درآمده، سپس پودر با آب مقطر بگونه ای که چند سانتیمتر بالاتر از سطح پودر باشد، مخلوط و بعد از ۲۴ ساعت فاز بالای عصاره گیاه را برداشته و مجددا روی باقیمانده آن آب مقطر ریخته و به طور مناسب مخلوط می گردد. این فرآیند به مدت دو روز تکرار شده تا عصاره اولیه گیاه بطور کامل و تا حد امکان خالص استخراج شود. سپس عصاره اولیه از صافی عبور داده شده و طی سه مرحله درون دستگاه سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ قرار داده شد. به منظور تهیه عصاره خشک آویشن، محصول اولیه درون آون با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. در ادامه، نانو ذرات عصاره آویشن به دست می آید. برای استخراج نانو ذرات روش های مختلفی

(پلی متیل متاکریلات) را مورد مطالعه قرار دادند. تقویت کننده با روش های هیدرولیز اسیدی و همگن سازی با فشار بالا به دست آمدند و نانو کامپوزیت ها با استفاده از ریخته گری محلول تهیه شدند. ورق های کامپوزیت سنتز شده دارای شفافیت و خواص مدول ذخیره سازی خوبی بودند (۳). پونگوزالی و همکاران سنتز کامپوزیت های نانو سلولزی کیتوزان-PVP با استفاده از ریخته گری محلول را بررسی نمودند. نانو کامپوزیت های تهیه شده پایداری حرارتی خوبی نشان دادند. مطالعه بیولوژیکی استفاده از نانو سلولز را در تأثیرات ماتریس حاضر در کاربردهای زیست پزشکی به عنوان یک ماده ترمیم کننده زخم پیشنهاد می کند (۶).

در این مقاله به بررسی تجربی خواص مکانیکی و ضد باکتریایی زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانو سلولز و گیاه آویشن پرداخته شده است. در ابتدا از گیاه آویشن عصاره گیری شده و پس از تهیه عصاره به شکل جامد، ذرات عصاره در مقیاس نانو بدست آورده شده است. در ادامه و به منظور ساخت زیست کامپوزیت، نانو ذرات عصاره، نانو الیاف سلولز و ترکیب همزمان آن ها به صورت مجزا با اپوکسی در درصد های وزنی مورد استفاده قرار گرفته است. پس از ساخت نمونه ها، برای بررسی کیفیت توزیع تقویت کننده ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی و برای بررسی کیفیت پیوندها از طیف های حاصل از FTIR استفاده شده است. در مرحله بعد، برای هر یک از درصد های وزنی به منظور بررسی خواص مکانیکی، آزمایش کشش مطابق استاندارد انجام شده و همچنین آزمایش ضد باکتریایی نیز صورت گرفته است. در پایان نتایج مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته تا با هدف بهره برداری های کاربردی، ترکیب بهینه به منظور دارا بودن همزمان هر دو خاصیت مکانیکی و ضد باکتریایی در نمونه ها مشخص گردد.

ایجاد توزیع یکنواخت نانو ذرات در ماتریس، می‌بایست محصول به دست آمده که شامل ماتریس پلیمری، هاردنر و نانوذرات است، در همزن آلتراسونیک قرار داده شود. محصول بدست آمده شامل ماتریس پلیمری، هاردنر و نانو ذرات به مدت ۱۵ دقیقه با فرکانس ۱۰۰ مگا هرتز و دامنه کاوش ۰.۵ در درون همزن آلتراسونیک قرار داده می‌شود. حال پس از این مرحله، نوبت به پخت نمونه‌های زیست کامپوزیت پلیمری می‌رسد. قبل از ریختگری محلول درون قالب می‌بایست قالب توسط یک واکس بخوبی پوشش داده شود. زیرا محلول نانو کامپوزیت پلیمری پس از خشک شدن در صورت عدم وجود یک فیلم جدا کننده مابین قالب، کاملاً به قالب می‌چسبد و امکان جدا شدن از قالب بدون وارد کردن صدمه وجود ندارد. لذا جهت جلوگیری از این مشکل از یک واکس سازگار با مواد پلیمری استفاده شده است (۱۰).



شکل ۱- قالب دمبلی شکل سیلیکونی

ابعاد قالب دمبلی شکل سیلیکونی نشان داده شده در شکل (۱) مطابق با استاندارد ASTM D638 می‌باشد. در ادامه، جداول مربوط به مشخصات نمونه‌ها ارائه گردیده است.

وجود دارد. یکی از این روشها، فرآیندهای حالت جامد نام دارد. در این روش، به کمک آسیب یا پودر کردن می‌توان به ذرات در ابعاد نانو دست یافت. ابعاد و خواص نانو ذرات در این روش، تابعی از زمان آسیاب و محیط اتمسفری خواهند بود. برای ساخت زیست کامپوزیت پلیمری، نمونه‌ها در سه حالت مختلف و با درصدهای وزنی متفاوت ساخته شده‌اند. در حالت اول زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز ساخته شده است. در حالت دوم، زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو ذرات عصاره آویشن و در حالت سوم زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن ترکیب و ساخته شده است. در تمامی حالات از درصدهای وزنی به ترتیب خالص، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ برای تقویت کننده استفاده شده است. مراحل ساخت نمونه‌ها بدین صورت است که ابتدا می‌بایست مقدار اپوکسی و هاردنر مورد نیاز مطابق با محاسبات انجام شده، بوسیله ترازو دیجیتال اندازه‌گیری شود. حال این دو ماده را درون بشر شیشه‌ای ریخته و توسط همزن مکانیکی هم زده می‌شوند. محصول تهیه شده از ماتریس پلیمری و هاردنر می‌بایست به مدت ۱۵ دقیقه با دور 700rpm هم زده شود. حال نوبت به اضافه نمودن نانو ذرات است. برای هر حالت و با توجه به درصدهای وزنی مربوطه، نانو ذرات به مخلوط آماده شده از ماتریس پلیمری و هاردنر اضافه می‌شود. حال این ترکیب، توسط همزن مکانیکی به مدت ۵ دقیقه با سرعت 400 rpm هم زده می‌شود. حال جهت

جدول ۱- نمونه‌های زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز

شماره نمونه	درصد وزنی اپوکسی و هاردنر	درصد وزنی نانو الیاف سلولز
۱	۱۰۰	۰
۲	۹۹/۵	۰/۵
۳	۹۹	۱
۴	۹۸/۵	۱/۵
۵	۹۸	۲

جدول ۲- نمونه های زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو ذرات عصاره آویشن

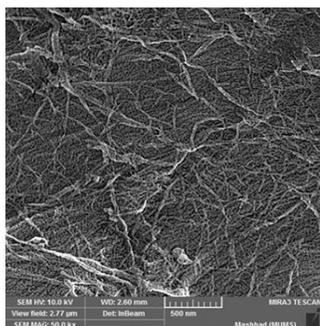
شماره نمونه	درصد وزنی اپوکسی و هاردنر	درصد وزنی ذرات عصاره آویشن
۱	۱۰۰	۰
۲	۹۹/۵	۰/۵
۳	۹۹	۱
۴	۹۸/۵	۱/۵
۵	۹۸	۲

جدول ۳- نمونه های زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن

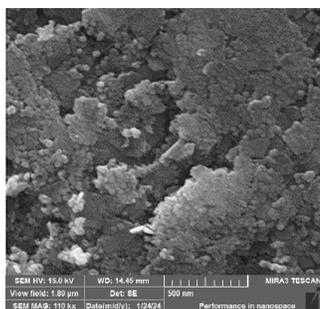
شماره نمونه	درصد وزنی اپوکسی و هاردنر	نانو الیاف سلولز	نانو ذرات عصاره آویشن
۱	۱۰۰	۰	۰
۲	۹۹/۵	۰/۱	۰/۴
۳	۹۹	۰/۴	۰/۶
۴	۹۸/۵	۰/۹	۰/۶
۵	۹۸	۱/۶	۰/۴

۲-۳- بررسی کیفیت ساخت

برای بررسی کیفیت ساخت نمونه ها، از دو روش استفاده شده است. این روش ها شامل بررسی کیفیت توزیع تقویت کننده به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی و بررسی کیفیت پیوندها به وسیله طیف های حاصل از FTIR می باشند. عکس های سطح مقطع نمونه های ساخته شده پس از قرار دادن لایه ای بسیار نازک مسی بر روی نمونه و به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) گرفته شده و مورد بررسی قرار می گیرند. میکروسکوپ الکترونی نوع F-ESEM مدل MIRA3-LMU ساخت شرکت TESCAN می باشد. در ابتدا کیفیت نانو الیاف سلولز و نانوذرات عصاره آویشن مورد بررسی قرار گرفته است.

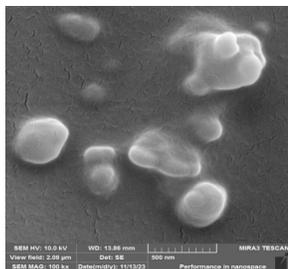


شکل ۲- بررسی میکروسکوپ الکترونی نانوالیاف سلولز



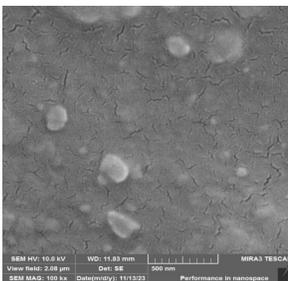
شکل ۳- بررسی میکروسکوپ الکترونی نانوذرات عصاره آویشن

همان طور که در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است، الیاف و ذراتی در مقیاس نانو قابل مشاهده می باشند.



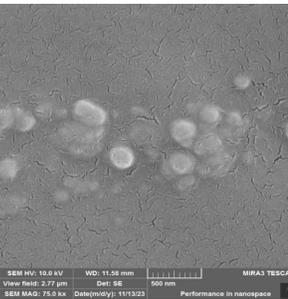
شکل ۷- بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به زیست کامپوزیت اپوکسی و نانو ذرات عصاره آویشن با توزیع وزنی ۲ درصد

همان طور که در شکل ۷ نشان داده شده، با افزایش درصد نانو ذرات عصاره آویشن، میان این نانو ذرات اتصال برقرار گردیده و توده‌هایی تشکیل شده که نشان دهنده کلوخگی می باشد.



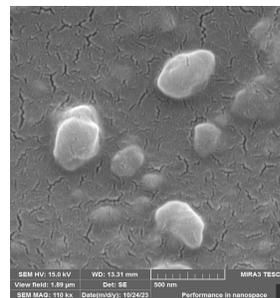
شکل ۸- بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به زیست کامپوزیت اپوکسی و نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن با توزیع وزنی ۵/۰ درصد

همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده، توزیع نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن به صورت کاملاً یکنواخت می باشد.



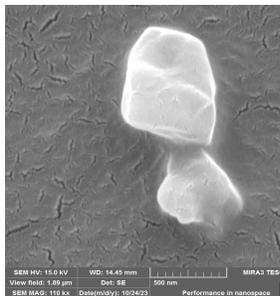
شکل ۹- بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به زیست کامپوزیت اپوکسی و نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن با توزیع وزنی ۲ درصد

همان طور که در شکل ۹ نشان داده شده، با افزایش درصد نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره رزماری، میان این نانو الیاف و همین طور نانو ذرات اتصال برقرار گردیده و توده‌هایی تشکیل شده که نشان دهنده کلوخگی می باشد.



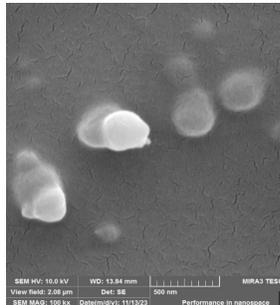
شکل ۴- بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به زیست کامپوزیت اپوکسی و نانو سلولز با توزیع وزنی ۵/۰ درصد

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده، توزیع نانو الیاف سلولز به صورت کاملاً یکنواخت می باشد.



شکل ۵- بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به زیست کامپوزیت اپوکسی و نانو سلولز با توزیع وزنی ۲ درصد

همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده، با افزایش درصد نانو الیاف سلولز، میان این نانو الیاف اتصال برقرار گردیده و توده‌هایی تشکیل شده که نشان از کلوخگی می باشد.



شکل ۶- بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به زیست کامپوزیت اپوکسی و نانو ذرات عصاره آویشن با توزیع وزنی ۵/۰ درصد

همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده، توزیع نانو ذرات عصاره به صورت کاملاً یکنواخت می باشد.

۳- نتایج و بحث

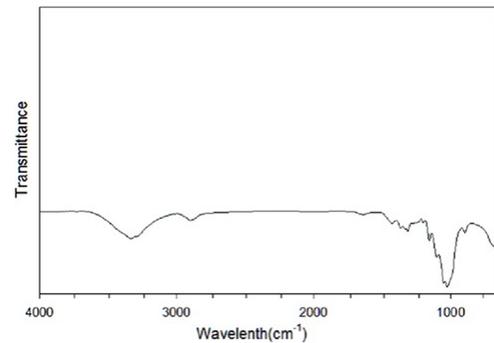
۳-۱- بررسی خواص مکانیکی

یکی از مهمترین خواص مکانیکی، خاصیت الاستیک بوده و کمیت متناظر با آن، مدول الاستیک (مدول یانگ) می باشد. برای بررسی این کمیت، شرایط آزمایش و همچنین ساخت نمونه ها منطبق بر استاندارد ASTM D638 می باشد. بدین منظور، از آزمایش کشش محوری استفاده شده است. در این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ نمونه های دمبلی شکل بین دو فک دستگاه تست کشش مدل Go-AL5000L ساخت شرکت گوتگ کشور تایوان قرار داده شده و پس از وارد نمودن مشخصات هندسی نمونه، این آزمایش با سرعت ۵۰ میلیمتر بر دقیقه انجام می شود.

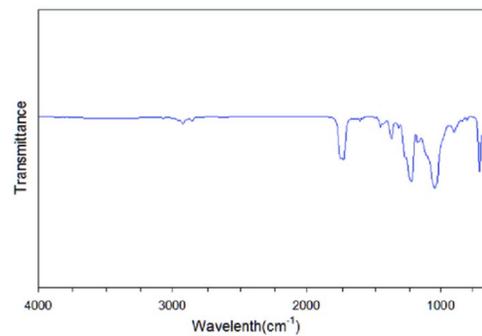


شکل ۱۲- دستگاه تست کشش ساخت شرکت گوتگ کشور تایوان

در شکل ۱۳، نتایج مربوط به مدول الاستیسیته برای نمونه های مختلف زیست کامپوزیت ارائه گردیده است.

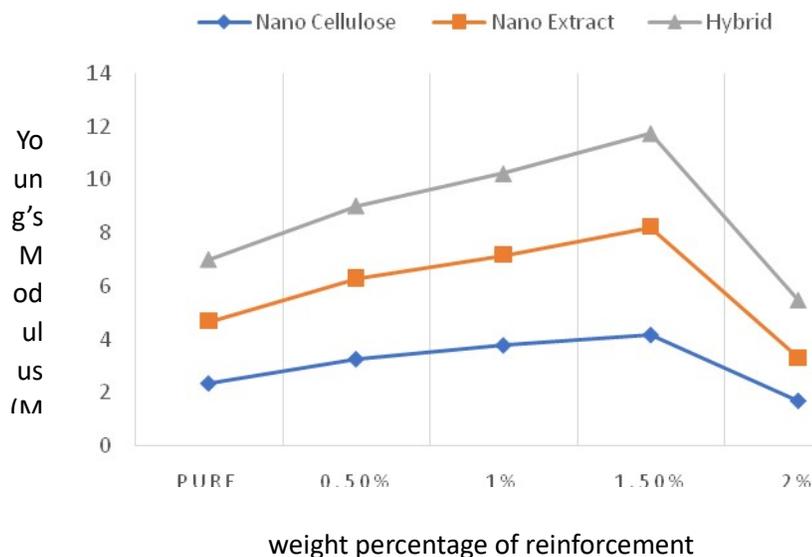


شکل ۱۰- نتیجه FTIR زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانوالیاف سلولز با ۰/۵ درصد وزنی



شکل ۱۱- نتیجه FTIR زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانوذرات آویشن با ۰/۵ درصد وزنی

در شکل های ۱۰ الی ۱۱ نتایج مربوط به آزمایش های FTIR برای نمونه های زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانو الیاف سلولز و زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانوذرات آویشن نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، نتایج برقراری پیوند مناسب میان ماتریس و تقویت کننده ها را نشان می دهند.



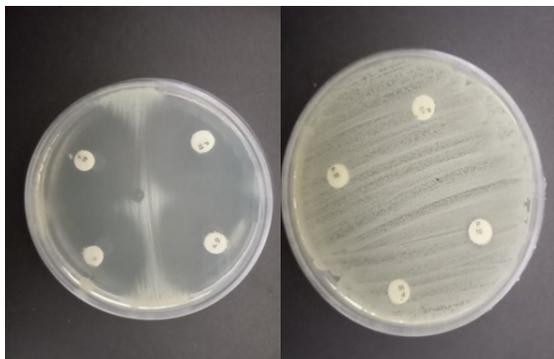
شکل ۱۳-مقایسه مدول یانگ نمونه های زیست کامپوزیت اپوکسی

به بیش از ۲ درصد، مقدار مدول یانگ کاهش یافته است. علت این امر، افزایش درصد نانو ذرات و نانو الیاف و اتصال میان آن ها بوده که منجر به کلوخگی می گردد. این کلوخگی به عنوان نوعی از عیوب عمل کرده و سبب کاهش مدول یانگ شده است. لازم به ذکر است که پیش از این، در اشکال میکروسکوپ الکترونی، این موضوع به وضوح مشاهده گردیده است.

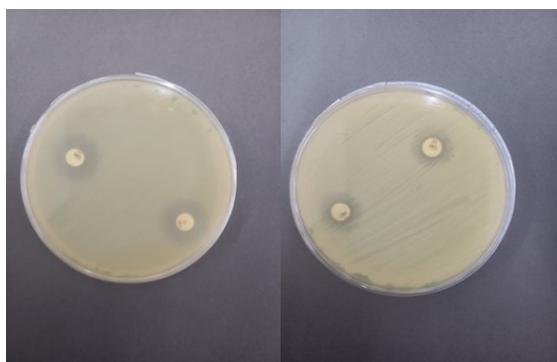
۲-۳- بررسی خواص ضد باکتریایی

برای بررسی خواص ضد باکتریایی، از باکتری استافیلوکوکوس اورئوس با شناسه ATCC 25923 و اشیریشیاکلی با شناسه ATCC 25922 استفاده شد. در ابتدا عصاره آویشن به روش انتشار در چاهک روی محیط کشت میکروبی استافیلوکوکوس اورئوس و اشیریشیاکلی بر پایه محیط مولر هینتون آگار جهت بررسی خواص ضد باکتریایی کشت داده می شود. نتایج حاصل از این آزمایش نشان می دهد که برای عصاره آویشن روی محیط استافیلوکوکوس اورئوس هاله عدم رشدی به قطر ۲۲ میلیمتر ایجاد شده است. در خصوص باکتری گرم منفی نیز هاله عدم رشدی برای عصاره آویشن

همان طور که از شکل ۱۳ مشاهده می شود، اعداد نشان داده شده در محور عمودی نمودار، مدول الاستیک (یانگ) بر حسب مگاپاسکال بوده و اعداد نشان داده شده در محور افقی نمودار نیز بیانگر درصد وزنی تقویت کننده ها می باشند. مدول الاستیک به عنوان یکی از مهمترین نتایج حاصل از آزمایش کشش، در درصدهای وزنی مختلف به دست آمده و برای رسم نمودار فوق، تغییرات آن به صورت خطی در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که برای بررسی روند کاهش و یا افزایش مدول الاستیک، مقادیر این مدول در هر یک از درصدهای وزنی دارای اهمیت بوده و نوع تغییرات (خطی یا غیر خطی) تنها برای مدلسازی رفتار مکانیکی جهت ارائه یک مدل ریاضی کاربرد خواهد داشت. برای کلیه نمونه ها شامل زیست پلیمر اپوکسی تقویت شده با نانو الیاف سلولز، زیست پلیمر اپوکسی تقویت شده با نانو ذرات عصاره آویشن و زیست پلیمر اپوکسی تقویت شده با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن، با افزایش درصدهای وزنی تا میزان ۱/۵ درصد، مقدار مدول یانگ افزایش یافته است. همچنین برای تمامی این نمونه ها، با افزایش درصدهای وزنی



شکل ۱۶- اثر آنتی بیوتیک پنی سیلین: شکل سمت راست استافیلوکوکوس، شکل سمت چپ اشیرشیا کلی



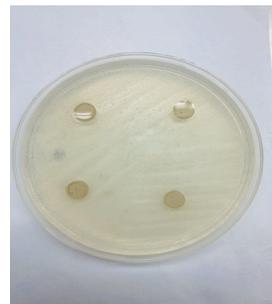
شکل ۱۷- تاثیر آنتی بیوتیک جنتامایسین روی سویه های مورد نظر: شکل سمت راست هاله عدم رشد باکتری استاف به قطر ۸ میلی متر شکل سمت چپ هاله عدم رشد باکتری اشیرشاکلی به قطر ۶ میلیمتر

در ادامه و در جداول ۴ الی ۶، نتایج تست ضد باکتریایی برای انواع زیست کامپوزیت شامل زیست پلیمر اپوکسی تقویت شده با نانو الیاف سلولز، زیست پلیمر اپوکسی تقویت شده با نانو ذرات عصاره آویشن و همچنین زیست پلیمر اپوکسی تقویت شده با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن، به صورت مجزا ارائه گردیده است.

روی محیط اشیرشیاکلی مشاهده نگردید. این موضوع نشان از بی اثر بودن عصاره آویشن بر روی این باکتری است. در خصوص مقایسه خواص ضد باکتریایی نیز از دیسک های آنتی بیوتیک پنی سیلین و جنتامایسین استفاده شده است. برای دیسک حاوی آنتی بیوتیک جنتامایسین، قطر هاله عدم رشد روی باکتری استاف و باکتری اشیرشیاکلی به ترتیب برابر ۸ و ۶ میلیمتر بوده است. برای دیسک حاوی آنتی بیوتیک پنی سیلین نیز قطر هاله عدم رشد روی باکتری استاف برابر ۲۴ میلیمتر بوده و باکتری اشیرشیاکلی نیز به آنتی بیوتیک پنی سیلین حساسیتی نشان نداده است.



شکل ۱۴- اثر عصاره آویشن روی باکتری استافیلوکوکوس



شکل ۱۵- اثر عصاره آویشن روی باکتری اشیرشیاکلی

جدول ۴- نتایج تست ضد باکتریایی برای نمونه های زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز

شماره نمونه	درصد وزنی اپوکسی و هاردنر	درصد وزنی نانو الیاف سلولز	StaphylococcusAureus	Escherichia Coli
۱	۱۰۰	۰	۰/۸۸۸	۰/۶۱۲
۲	۹۹/۵	۰/۵	۰/۸۶۳	۰/۷۶۷
۳	۹۹	۱	۰/۶۹۸	۰/۴۳۱
۴	۹۸/۵	۱/۵	۰/۳۶۳	۰/۷۷۲
۵	۹۸	۲	۰/۲۵۱	۰/۵۱۴
6	Control		۰/۹۴۶	۰/۵۵۰

کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز در درصدهای مختلف وزنی، تاثیر اندکی بر باکتری گرم منفی داشته است.

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۴، با افزایش درصد وزنی نانو الیاف سلولز، رشد باکتری گرم استافیلوکوکوس در زیست کامپوزیت کاهش می یابد. هم چنین زیست

جدول ۵- نتایج تست ضد باکتریایی برای نمونه های زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو ذرات عصاره آویشن

شماره نمونه	درصد وزنی اپوکسی و هاردنر	درصد وزنی ذرات عصاره آویشن	StaphylococcusAureus	Escherichia Coli
۱	۱۰۰	۰	۰/۸۸۸	۰/۶۱۲
۲	۹۹/۵	۰/۵	۰/۶۹۱	۰/۵۸۷
۳	۹۹	۱	۰/۶۱۲	۰/۶۰۲
۴	۹۸/۵	۱/۵	۰/۲۰۹	۰/۳۹۳
۵	۹۸	۲	۰/۱۸۳	۰/۵۱۲
6	Control		۰/۹۴۶	۰/۵۵۰

اپوکسی با نانو ذرات عصاره در درصدهای مختلف وزنی، تاثیر اندکی بر باکتری گرم منفی داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۵، با افزایش درصد وزنی نانو ذرات عصاره، رشد باکتری گرم استافیلوکوکوس در زیست کامپوزیت کاهش می یابد. همچنین زیست کامپوزیت

جدول ۶- نتایج تست ضد باکتریایی برای نمونه های زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن

شماره نمونه	درصد وزنی اپوکسی و هاردنر	نانو الیاف سلولز	نانو ذرات عصاره آویشن	StaphylococcusAureus	Escherichia Coli
۱	۱۰۰	۰	۰	۰/۸۸۸	۰/۶۱۲
۲	۹۹/۵	۰/۱	۰/۴	۰/۵۸۷	۰/۵۱۹
۳	۹۹	۰/۴	۰/۶	۰/۲۹۸	۰/۴۹۶
۴	۹۸/۵	۰/۹	۰/۶	۰/۱۴۳	۰/۵۸۵
۵	۹۸	۱/۶	۰/۴	۰/۰۵۸	۰/۵۴۱
۶		Control		۰/۹۴۶	۰/۵۵۰

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۶، با تغییر توزیع نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره، رشد باکتری گرم استافیلوکوکوس در زیست کامپوزیت کاهش می یابد. همچنین زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره در توزیع مختلف وزنی، تاثیر اندکی بر باکتری گرم منفی داشته است.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی تجربی خواص مکانیکی و ضد باکتریایی زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانو سلولز و گیاه آویشن پرداخته شده است. سپس به روش عصاره گیری گیاه آویشن پرداخته شده و پس از تهیه عصاره به شکل جامد و در مقیاس نانو، ترکیب آن با اپوکسی در درصدهای وزنی مختلف ساخته شده است. همچنین ترکیب نانو ذرات سلولز با اپوکسی در درصدهای وزنی مختلف ساخته شده و در پایان زیست کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانو سلولز و گیاه آویشن در درصدهای وزنی مختلف ساخته شده است. برای هر یک از درصدهای وزنی به منظور بررسی خواص مکانیکی، آزمایش کشش مطابق استاندارد انجام شده و همچنین آزمایش ضد باکتریایی نیز صورت گرفته است. برای هر یک از نمونه های یاد شده، درصدهای وزنی شامل ۰/۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ می باشد. نتایج به دست آمده به شرح زیر می باشند:

- برای زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز با افزایش درصد وزنی تقویت کننده ها تا ۱/۵٪ وزنی، خواص مکانیکی بهبود یافته و پس از آن کاهش می یابد. علت اصلی این کاهش، تجمع تقویت کننده ها و کلوخه شدن آنها و تبدیل به عیوب در نمونه ها گردیده که این موضوع سبب کاهش خواص مکانیکی می گردد.

- برای زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو ذرات عصاره آویشن با افزایش درصد وزنی تقویت کننده ها تا ۱/۵٪ وزنی، خواص مکانیکی بهبود یافته و پس از آن کاهش می یابد. علت اصلی این کاهش نیز تجمع تقویت کننده ها و کلوخه شدن آن ها و تبدیل به عیوب در نمونه ها گردیده که این موضوع سبب کاهش خواص مکانیکی می گردد.

- برای زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره آویشن با افزایش درصد وزنی تقویت کننده ها تا ۱/۵٪ وزنی، خواص مکانیکی بهبود یافته و پس از آن کاهش می یابد. علت اصلی این کاهش، تجمع تقویت کننده و کلوخه شدن آنها و تبدیل به عیوب در نمونه ها گردیده که این موضوع سبب کاهش خواص مکانیکی می گردد.

- با افزایش درصد وزنی نانو الیاف سلولز، رشد باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس در زیست کامپوزیت کاهش می یابد. همچنین زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز در درصدهای مختلف وزنی، تاثیر اندکی بر باکتری گرم منفی داشته است.

films containing sepiolite modified with polyphenols from myrtle berries extract. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;165:2079-88, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.052.

2. Islam HBMZ, Susan MABH, Imran AB. Effects of plasticizers and clays on the physical, chemical, mechanical, thermal, and morphological properties of potato starch-based nanocomposite films. *ACS omega*. 2020;5(28):17543-52, doi: 10.1021/acsomega.0c02012.

3. Liu H, Liu D, Yao F, Wu Q. Fabrication and properties of transparent polymethylmethacrylate/cellulose nanocrystals composites. *Bioresource technology*. 2010;101(14):5685-92, doi: 10.1016/j.biortech.2010.02.045.

4. Othman SH, Othman NFL, Shapi'i RA, Ariffin SH, Yunos KFM. Corn starch/chitosan nanoparticles/thymol bio-nanocomposite films for potential food packaging applications. *Polymers*. 2021;13(3):390, doi: 10.3390/polym13030390.

5. Pandurangan MT, Kanny K. Study of curing characteristics of cellulose nanofiber-filled epoxy nanocomposites. *Catalysts*. 2020;10(8):831, doi: 10.3390/catal10080831.

6. Poonguzhali R, Basha SK, Kumari VS. Synthesis and characterization of chitosan-PVP-nanocellulose composites for in-vitro wound dressing application. *International journal of biological macromolecules*. 2017;105:111-20, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.006.

7. Shubham SK, Purohit R, Yadav P, Rana R. Study of nano-fillers embedded in polymer matrix composites to enhance its properties—A review. *Materials Today: Proceedings*. 2020;26:3024-9, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.629.

8. Soofi M, Alizadeh A, Hamishehkar H, Almasi H, Roufegarinejad L. Preparation of nanobiocomposite film based on lemon waste containing cellulose nanofiber and

با افزایش درصد وزنی نانو ذرات عصاره، رشد باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوساورئوس در زیست کامپوزیت کاهش می یابد. همچنین زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو ذرات عصاره در درصدهای مختلف وزنی، تاثیر اندکی بر باکتری گرم منفی داشته است.

با تغییر توزیع نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره و افزایش آن، رشد باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوساورئوس در زیست کامپوزیت کاهش می یابد. همچنین زیست کامپوزیت اپوکسی با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره در توزیع مختلف وزنی، تاثیر اندکی بر باکتری گرم منفی داشته است.

همان طور که اشاره شد، اثر عصاره آویشن بر روی باکتری های گرم مثبت نسبت به اثر ضد باکتری آن ها بر روی باکتری های گرم منفی بیشتر است. علت حساسیت کمتر باکتری های گرم منفی، وجود غشای خارجی در این نوع باکتری ها می باشد که سبب محدود شدن انتشار مواد موثره عصاره به لایه لیپوپلی ساکارید باکتری می شود. متابولیت های ثانویه موجود در عصاره گیاهان داروئی از راه های متعددی سبب اثر کشندگی بر روی باکتری های گرم مثبت و گرم منفی می شوند. با این حال مشخص شده که اثر آنتی باکتریال گیاهان داروئی بر روی باکتری های گرم مثبت بیشتر از باکتری های گرم منفی است و این خصوصیت ناشی از وجود غشای خارجی در باکتری های گرم منفی می باشد که سبب کاهش نفوذ متابولیت های ثانویه به درون سلول این دسته از باکتری ها می گردد. با توجه به موارد فوق و اینکه به منظور بهره برداری های کاربردی، دارا بودن همزمان هر دو خاصیت مکانیکی و ضد باکتریایی در نمونه ها دارای اهمیت است، جمع بندی نتایج حاکی از آن است که برای تمامی نمونه ها در درصد وزنی ۱/۵٪، خواص مکانیکی و ضد باکتریایی بهینه خواهند بود.

۵-منابع

1. Cheikh D, Martín-Sampedro R, Majdoub H, Darder M. Alginate bionanocomposite

Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging; 2011: IEEE, doi: 10.1109/ICEPT.2011.6066864.

11. Vu CM, Sinh LH, Choi HJ, Pham TD. Effect of micro/nano white bamboo fibrils on physical characteristics of epoxy resin reinforced composites. *Cellulose*. 2017;24:5475-86, doi: 10.1007/s10570-017-1503-7.

12. Wilson M, Kannangara K, Smith G, Simmons M, Raguse B. Nanotechnology: basic science and emerging technologies. 2002.

savory essential oil: A new biodegradable active packaging system. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021;169:352-61, doi:

10.1016/j.ijbiomac.2020.12.114.

9. Talja RA, Helén H, Roos YH, Jouppila K. Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydrate polymers*. 2007;67(3):288-95, doi: 10.1016/j.carbpol.2006.05.019.

10. Tan W, Liu H, Li L, Wan Y, editors. The effect of wax on the properties of epoxy molding compound. 2011 12th International