Mechanics of Advanced and Smart Materials Journal

http://masm.araku.ac.ir

ISSN: 2783-4220

Investigating the effect of nanocellulose and nanoparticles of rosemary extract on elastic and antibacterial properties of epoxy-based biocomposite

Fatemeh Hadipour [a], Mahdi Karami Khorramabadi [b*], Behrooz Dousti [a]

[a] Department of Microbiology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
[b] Department of Mechanical engineering, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Hadipour F, Karami Khorramabadi M, Dousti B. Investigating the effect of nanocellulose and nanoparticles of rosemary extract on elastic and antibacterial properties of epoxy-based biocomposite. Mechanics of Advanced and Smart Materials. 2024;3(4):491-515.

https://10.61186/masm.3.4.491.

KEYWORDS

Epoxy,
Nanocellulose,
Rosmarinus officinalis,
Mechanical properties,
Antibacterial properties.

ABSTRACT

Plastic materials cause significant damage to the environment and are one of the biggest problems of humanity. Growing environmental concerns have led to increased scientific interest in the use of natural fibers for the development of epoxy biocomposite materials. Due to the emergence of antibiotic resistance and the side effects of antibiotic drugs, the tendency to use medicinal plants has increased. In this research, rosemary plant has been used to determine the antimicrobial activity. This research investigates the mechanical and antibacterial properties of cellulose nanoparticles and rosemary extract and their effect on the overall performance of epoxy composites based on nanocellulose and rosemary extract. It is made with four weight percentages (pure, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%) of rosemary extract, nanocellulose, a combination of extract and nanocellulose. Then the samples were subjected to a tensile test, the results indicated that the Young's modulus started to increase from 0.5% by weight, and most of the Young's modulus was evident at 1.5%, but the samples started to decrease at 2% by weight, which could be due to lumping. Nanoparticles are in epoxy, which reduces its mechanical properties. In the antibacterial test, according to the results, Escherichia coli bacteria did not show sensitivity to rosemary extract and no lack of growth was observed, while Staphylococcus aureus bacteria showed sensitivity to rosemary extract and a halo to It has recorded a diameter of 20 mm.

Extended Abstract

1. Introduction

Plastic materials cause significant environmental damage and are one of the biggest issues of our time. Petroleum-based plastics are not biodegradable even after a hundred years. Plastic polymers, which are made from non-renewable elements, are one of the main causes of global warming. Biocomposite materials are an ideal choice to replace probably fossil-based polymers [1]. Eco-friendly and sustainable epoxy biocomposites are obtained by using special types of reinforcing agents including natural fibers, particles and bio-based epoxies. Natural fiber-reinforced polymers have remained a hot topic of interest in materials science for the past two decades. Such fibers are attractive in composite materials due to their renewability, low density, better specific strength, biodegradability, accessibility, and low cost. Natural fiber reinforced polymers offer better mechanical performance at lower cost and can be the best alternative to synthetic fibers. Nowadays, biological fillers are considered due to their cost-effectiveness and ability to modify basic materials in the composite structure [2]. Composites made of synthetic resin and natural reinforcing materials have become very popular today. These

* Corresponding author. Tel.: +9866133120467
E-mail address: m.k.khorramabadi@gmail.com
DOI: https://10.61186/masm.3.4.491
Received: December 11, 2023; Received in revised form: February 03, 2024; Accepted: March 07, 2024
© Author

natural reinforcing materials are generally natural fibers. Natural fibers are biodegradable and generally non-toxic. In fact, biodegradable means materials that are decomposed by biological components such as bacteria, fungi, etc. If a composite material contains one or more biological components or natural components, that composite is called biocomposite [3]. Sharma et al. prepared epoxy containing loofah fibers and nano clay using compression molding method. The composition of nanoclay was different and the maximum mechanical properties were obtained at 2% by weight of nanoclay. By increasing the content of nano clay more than 2% by weight, the mechanical properties of the hybrid decreased [4]. Kumar et al investigated the effect of epoxy matrix polymer composites with metal particle reinforcements. In this study, the physical and mechanical properties of epoxy reinforced with metal nanoparticles of aluminum (Al), graphene and both Al and graphene were analyzed. Fabrication was done by mixing different weight percentages of 1, 3 and 5% of Al and graphene separately and 2.5% of both Al and graphene as reinforcement. The obtained results for stress and strain were compared with each other. Hybrid polymer composites have better mechanical properties than Al and graphene reinforced polymer composites [5]. Ochteh et al. investigated the effect of heat treatment on the mechanical properties of prepared jute/epoxy composites. After manufacturing, the samples were subjected to heat treatment at different temperatures and their mechanical properties such as tensile strength and hardness were determined. It was found that the jute/epoxy composite treated at 80°C has the maximum tensile strength and mechanical hardness compared to others. This is attributed to the improvement of the surface adhesion between the fiber and the epoxy matrix [6]. In this research, rosemary plant has been used to determine the antimicrobial activity. This research examines the mechanical and antibacterial properties of cellulose nanoparticles and rosemary plant extract and their effect on the overall performance of epoxy composites based on nanocellulose and rosemary extract. Considering that the plant extract of each region has unique properties, the idea of using the composition of native plant extract as a strengthening phase and in the form of nanoparticles next to epoxy is innovative. At first, samples were made for uniform distribution with four weight percentages (pure, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%) weight percentage of rosemary extract, nanocellulose, combination of extract and nanocellulose. Then the samples were subjected to tensile test, the results indicated that the Young's modulus started to increase from 0.5% by weight, and the highest Young's modulus was evident at 1.5%, but the samples started to decrease at 2% by weight, which could be due to Agglomeration of nanoparticles in epoxy, which reduces its mechanical properties. In the antibacterial test, according to the results, Escherichia coli bacteria is resistant to rosemary extract and no non-growth halo was observed, while Staphylococcus aureus showed sensitivity to rosemary extract and recorded a 20 mm diameter halo.

2. Materials and methods

The materials used in this research include epoxy resin, cellulose nanoparticles, and rosemary extract nanoparticles. The epoxy used in this research is a two-component system consisting of Khuzestan Petrochemical E06 epoxy and hardener (hardener) with the brand name polyamine PC205, whose weight ratio is 2:1, and also cellulose nanoparticles with dimensions between 20-50 nm are from nanosany company. . The native sample of rosemary plant was also collected from Kamalvand region in Khorram Abad city (Lorestan province). To prepare the alcoholic extract of this plant, the soaking method was used, during which 10 grams of rosemary plant was dissolved in 100 ml of 80% alcohol. Cellulose nanoparticles are mixed with epoxy and the mixture is placed on the heat until it reaches a temperature of 55 degrees Celsius and is stirred for 5 minutes. Then it was stirred for 10 minutes at 200 rpm using a mechanical stirrer made by KIA, Germany. In the next step, the mechanical stirrer is the turn of the ultrasonic device. In addition to debubbling, the use of this device causes homogenization and uniform distribution of nanoparticles in the matrix and prevents clumping. The mixture was placed in an ultrasonic device with a frequency of 100 MHz and a probe range of 0.5 for 15 minutes. Then a hair dryer is used to remove the bubbles that affect the mechanical properties of the composites and time is given for the mixture to reach 20 degrees Celsius. It is mixed by hand until it is completely combined. The prepared mixture was poured into the mold and it was baked at room temperature for 24 hours and then at 80 degrees Celsius for 3 hours. The composition of samples made with different percentages of 0.5, 1, 1.5 and 2% by weight is presented. For the biocomposite samples reinforced with rosemary nanoparticles, the weight percentage of rosemary extract nanoparticles was separated at first, and all the steps that were performed in the preparation of epoxy and nanocellulose samples are repeated for baking these types of samples. In the current research, rosemary alcoholic extract was used. The main difference between alcoholic extract and aqueous extract is the solvent used to extract effective substances from plants. Alcoholic extract usually contains more amounts of effective substances soluble in alcohol, such as terpenoids, but aqueous extract contains more amounts of effective substances soluble in water, such as flavonoids. In addition to the difference in composition, they also have differences in physical properties. The alcoholic extract usually has a higher concentration than the aqueous extract and is more stable, and the biocomposites made from the alcoholic extract are much stronger and more resistant than the aqueous extract. In the last step, to make biocomposite samples reinforced with cellulose nanofibers and nanoparticles of rosemary

extract, first, the weight percentage of nanocellulose and rosemary extract was separated, and all the steps in making the above samples were done to bake these types of samples. It is repeated. It should be noted that after making samples of epoxy reinforced with nanocellulose and epoxy reinforced with extract nanoparticles, according to the tensile test results and in order to achieve optimal properties, the percentage of nanocellulose in the composite samples is considered to be increased. has been for the pure sample, weigh the appropriate amount of epoxy and mix it with hardener (ratio 2:1) and pour it into the mold and put it at room temperature for 24 hours and then at 80 degrees Celsius in the oven for 3 hours. it was cooked.

2.1. Checking the quality of construction

In this section, the cross-sectional photos of the manufactured samples are taken and analyzed using a scanning electron microscope (SEM). The F-ESEM type electron microscope is the MIRA3-LMU model manufactured by TESCAN. Also, with the help of FTIR test, the bonds between the matrix and the reinforcers have been examined. First, the quality of cellulose nanofibers and nanoparticles of rose mary extract has been investigated.

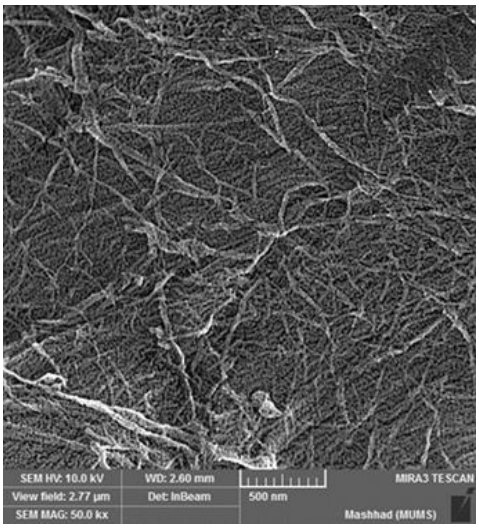


Figure 1. Electron microscope image of cellulose nanofibers

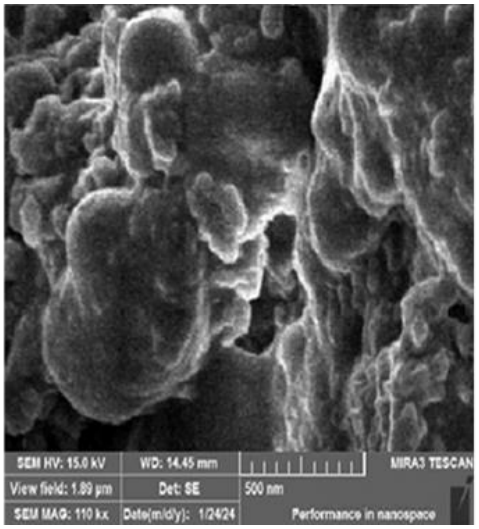


Figure 2. Electron microscope image of nanoparticles of rosemary extract

As shown in Figures 1 and 2, nanoscale fibers and particles can be seen.

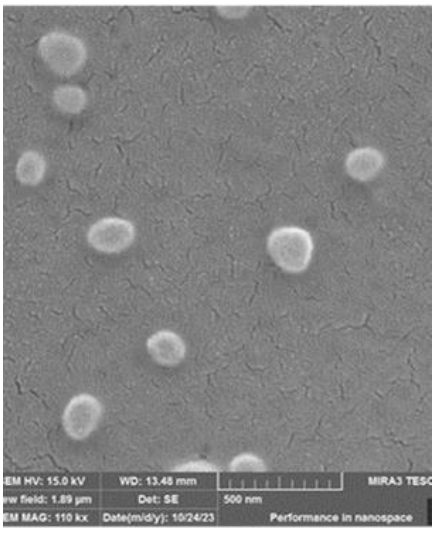


Figure 3. Electron microscope image of biocomposite sample with 0.5% rosemary extract

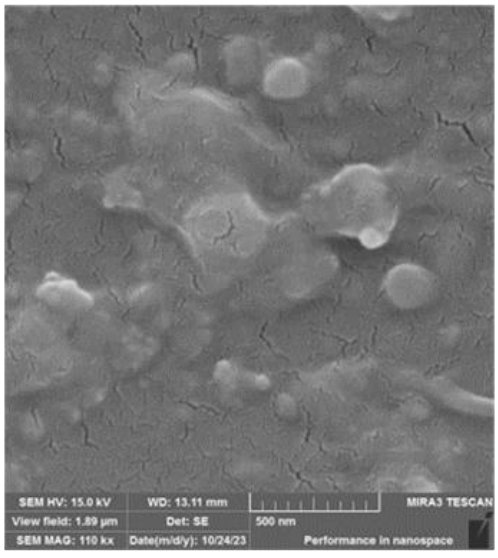


Figure 4. Electron microscope image of biocomposite sample with 2% rosemary extract

As shown in Figure 3, the distribution of extract nanoparticles is completely uniform.

As shown in the figure, with the increase in the percentage of nano particles in the extract, a connection is established between these nanoparticles and masses are formed, which is a sign of lumpiness.

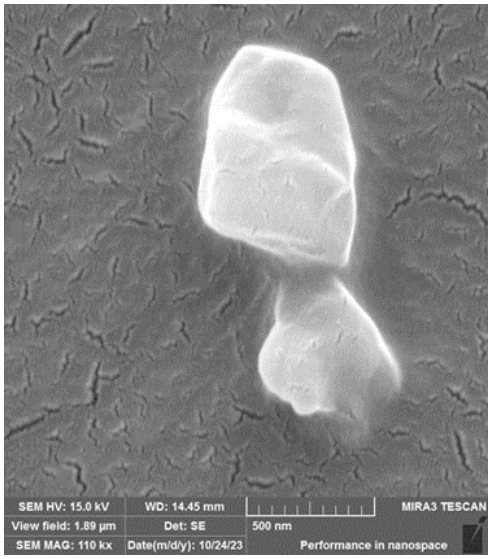


Figure 5. Electron microscope image of the sample with 2% cellulose nanoparticles

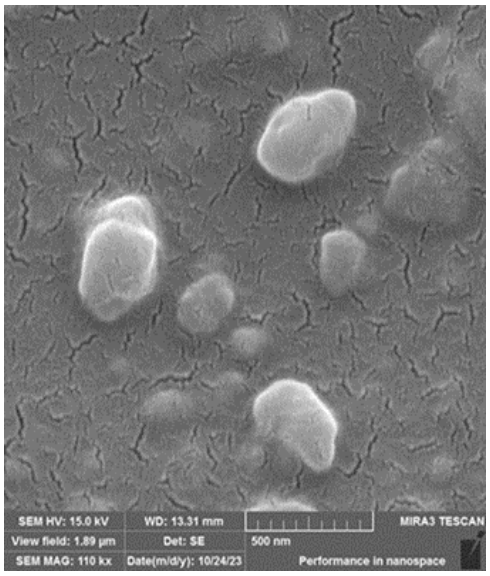


Figure 6. Electron microscope image of the sample with 0.5% cellulose nanoparticles

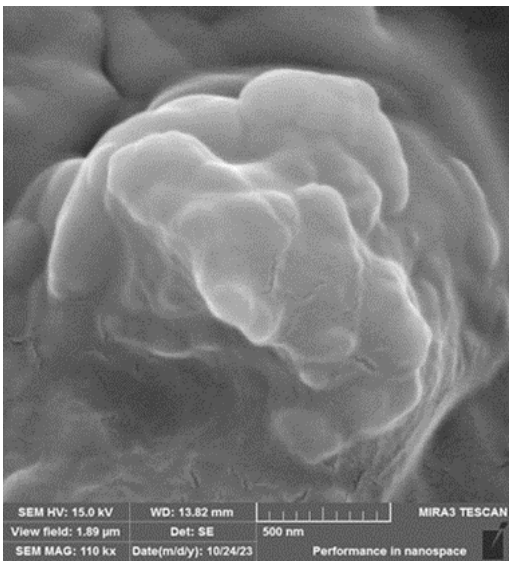


Figure 7. Electron microscope image of 2% hybrid sample

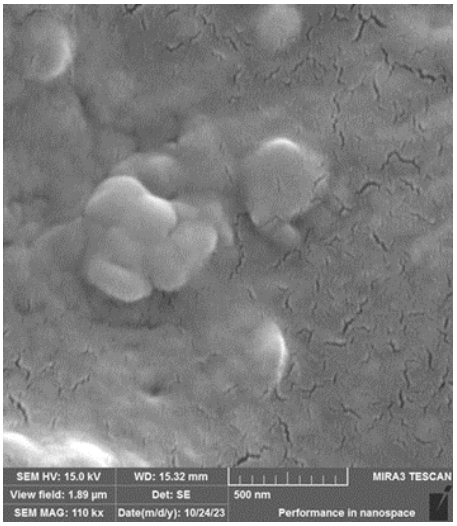


Figure 8. Electron microscope image of 0.5% hybrid sample

3. Experimental investigation

3.1. Examination of mechanical properties

Dumbbell-shaped samples made according to ASTM D636 standard. To check the elastic properties, Go-AL5000L tensile testing machine made by Gotag company in Taiwan was used. The graphs below show the tensile test results for biocomposite samples with different reinforcements.

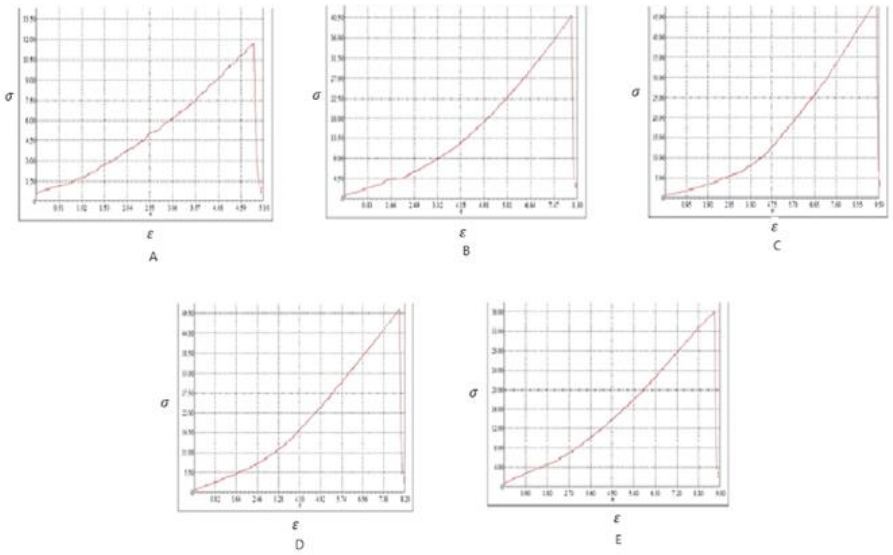
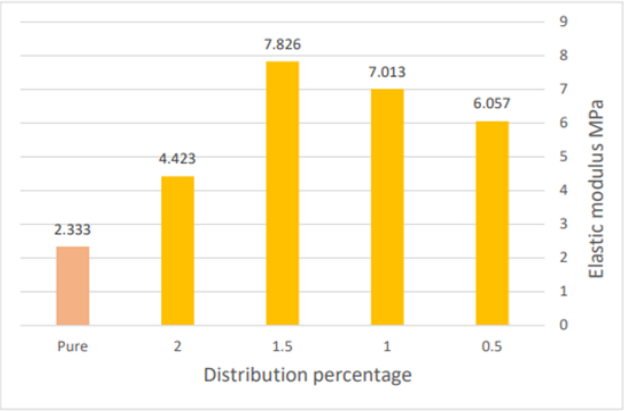


Figure 9. Stress-strain diagrams (A) pure sample, (B) 0.5% rosemary extract biocomposite sample, (C)1% rosemary extract biocomposite sample, (D) 1.5% rosemary extract biocomposite sample), (E)2% rosemary extract biocomposite sample



Fi gure 10. Modulus of elasticity of epoxy biocomposite reinforced with nanoparticles of rosemary extract

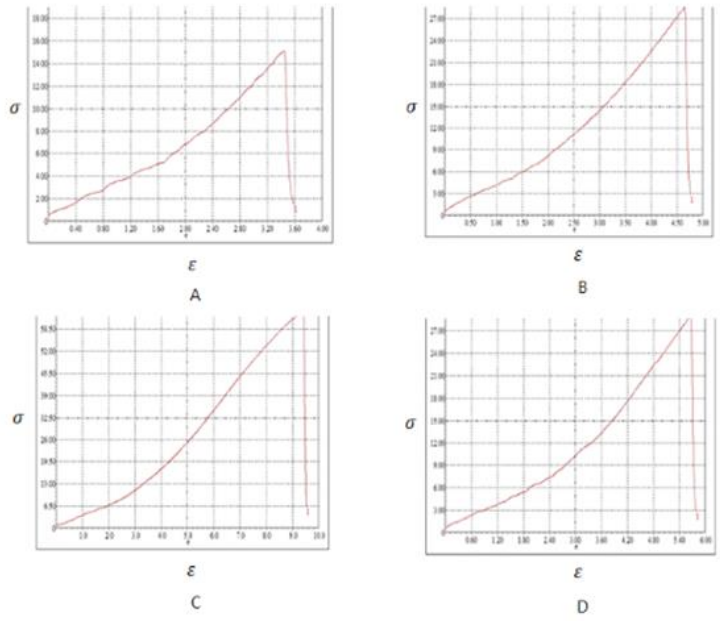


Figure 11. Stress-strain diagram (A) 5% nanocellulose biocomposite sample, (B) 1% nanocellulose biocomposite sample, (C) 1.5% nanocellulose biocomposite sample, (D) 2% nanocellulose biocomposite sample

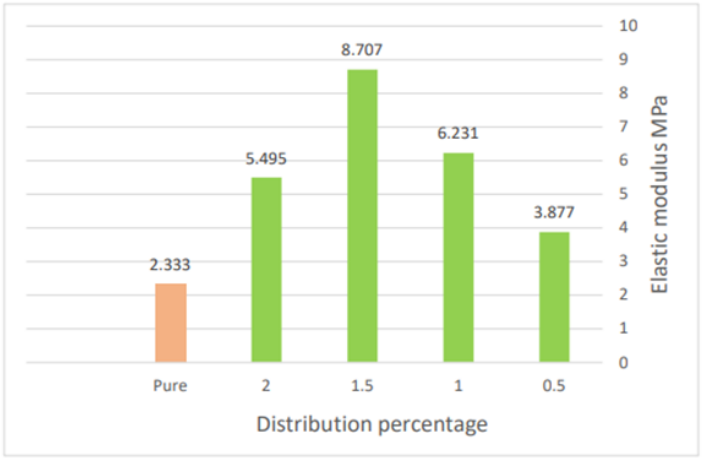


Figure 12. Modulus of elasticity of epoxy biocomposite reinforced with cellulose nanofibers.

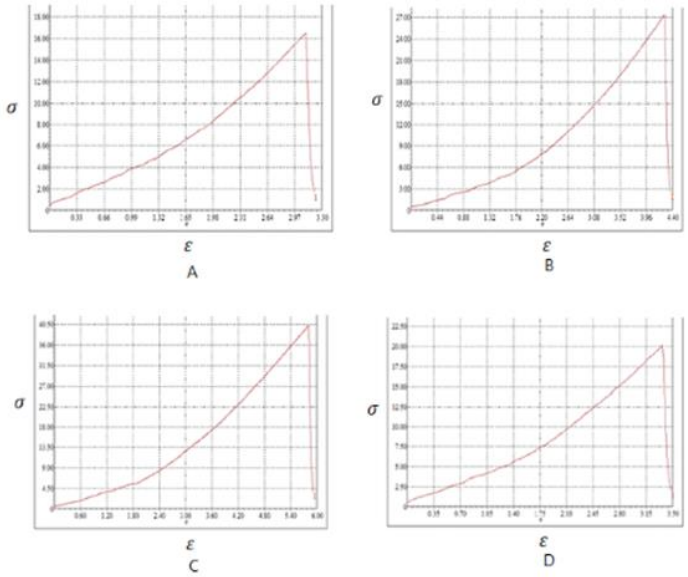


Figure 13. Stress-strain diagram (A) 0.5% hybrid biocomposite sample, (B) 1% hybrid biocomposite sample. (C) 1.5% hybrid biocomposite sample, (D) 2% hybrid biocomposite sample

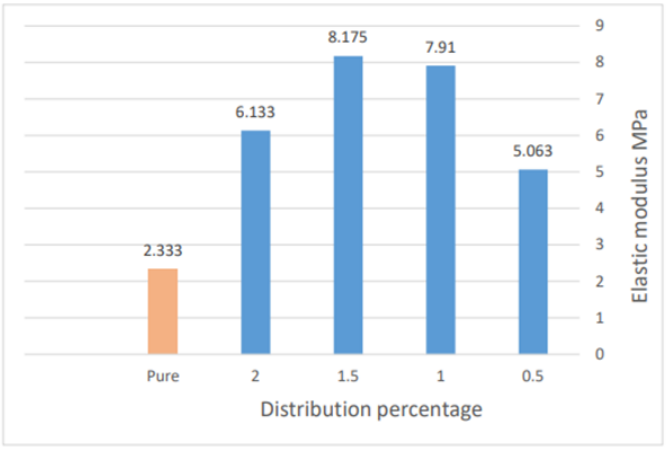


Figure 14. Modulus of elasticity of epoxy biocomposite reinforced with cellulose nanofibers and rosemary nanoparticles.

The obtained results indicate that with the addition of rosemary extract or nanocellulose or the combination of extract and nanocellulose, the elastic modulus begins to increase up to 1.5% by weight, and after that for samples with 2% by weight of reinforcement, the elastic modulus decreases.

3.2 Examining antibacterial properties

To check antibacterial properties, Staphylococcus bacteria with ATCC 25923 ID and Escherichia coli with ATCC 25922 ID were used. At first, rosemary extract was investigated by the method of diffusion in the well on the microbial culture medium of Staphylococcus and Icla to investigate its antibacterial properties. The results show that a 20 mm diameter halo of non-growth has been created for rosemary extract on the environment of Staphylococcus. Also, the extract of rosemary plant did not show lack of growth on the environment of Escherichia coli and it is a sign of bacterial resistance in the following, the growth process of Gram-positive and Gram-negative bacteria is shown for biocomposite samples with various types of reinforcement.

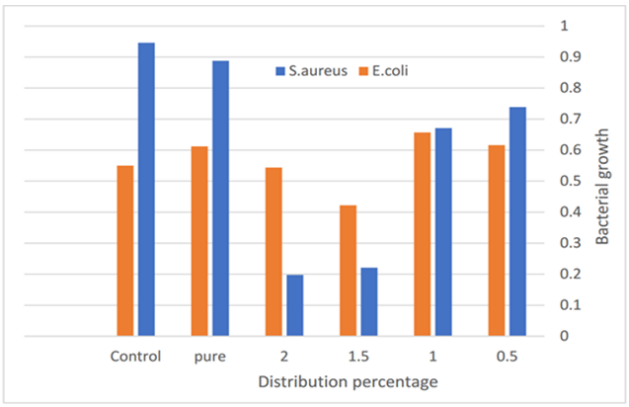


Figure 15. Investigating the growth process of gram-positive and gram-negative bacteria in biocomposite reinforced with rosemary.

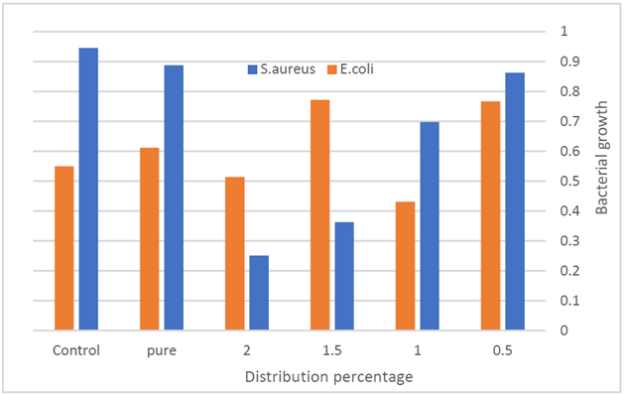


Figure 16. Investigating the growth process of gram-positive and gram-negative bacteria in biocomposite reinforced with nanocellulose.

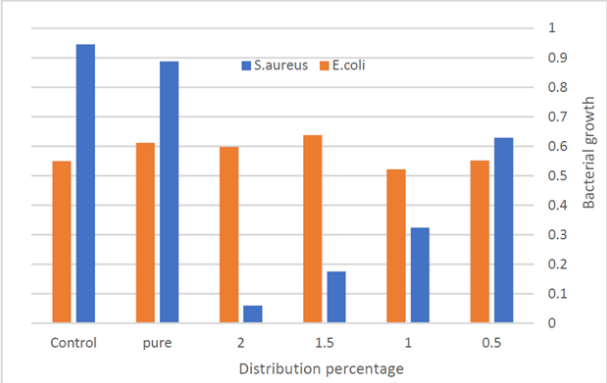


Figure 17. Investigating the growth process of gram-positive and gram-negative bacteria in hybrid biocomposite

4. discussion and conclusion

In this article, the mechanical and antibacterial properties of epoxy biocomposite reinforced with nanocellulose and rosemary extract nanoparticles have been investigated. By adding rosemary extract or nanocellulose or the combination of extract and nanocellulose, the tensile modulus starts to increase up to 1.5% by weight. This may be due to the existence of a strong bond between the epoxy particles and the extract and nanoparticles, and after that, for the sample of 2%, the tensile modulus decreases. found that the main reason can be due to the weakening of the bond between the matrix and the nanoparticles and ultimately the "clumping" of the nanoparticles in the sample. Rosemary extract has a greater antibacterial effect on gram-positive bacteria than its antibacterial effect on gram-negative bacteria. Perhaps the reason is the lower sensitivity of gram-negative bacteria. Negatively, the presence of an external membrane in this type of bacteria causes the diffusion of the active ingredients of the extract to be limited to the lipopolysaccharide layer of the bacteria. According to numerous tests, the results indicate that the epoxy biocomposite with 2% by weight of nanocellulose and rosemary extract has the highest antibacterial properties on Staphylococcus bacteria, but the purpose of this research is to simultaneously investigate the mechanical and antibacterial properties of the manufactured samples. Although the composite biocomposite sample at 2% by weight has high antibacterial properties, but its mechanical properties decrease at 2% by weight due to the clumping of reinforcements. According to the results of this research, it was found that using smaller amounts of rosemary extract and nanocellulose (1.5% by weight) increased the mechanical and antibacterial properties of the nanocomposite by almost 4 times. By summarizing the results of this research, it can be pointed out that the addition of cellulose nanofibers and nanoparticles of rosemary extract can increase the resistance of the material against stretching and Gram positive bacteria contamination. The results show that the best performance and properties of the hybrid bionanocomposite are at a concentration of 1.5% by weigh.

مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند

مجله علمی مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند

شاپا: ۴۲۲۰-۲۷۸۳

بررسی اثر تقویت‌کننده‌های نانو سلولز و نانو ذرات عصاره رزماری روی خواص الاستیک و ضد باکتریایی زیست کامپوزیت زمینه اپوکسی

فاطمه هادی پور [الف]، مهدی کرمی خرم‌آبادی [ب*]، بهروز دوستی [ج]

[الف] کارشناسی ارشد، گروه میکروبیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران، fatemehhadipour7256@gmail.com

[ب] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران، m.k.khorramabadi@gmail.com

[ج] دانشیار، گروه میکروبیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران، doostybehrooz@yahoo.com

واژگان کلیدی

اپوکسی،
نانو سلولز،
رزماری،
خواص مکانیکی،
خواص آنتی‌باکتریال.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۷

چکیده

این پژوهش به بررسی خاصیت الاستیک به‌عنوان یکی از خواص مکانیکی و خاصیت آنتی‌باکتریال نانوذرات سلولز و عصاره گیاه رزماری و تأثیر آن‌ها بر عملکرد کلی بیوکامپوزیت‌های اپوکسی مبتنی بر نانو سلولز و عصاره رزماری می‌پردازد. در این مقاله از گیاه رزماری برای تعیین فعالیت ضدمیکروبی استفاده شده است. در ابتدا نمونه‌ها برای توزیع یکنواخت با چهار درصد وزنی (خالص،۰/۵٪،۱٪،۱/۵٪،۲٪) عصاره رزماری، نانو سلولز و ترکیب عصاره و نانو سلولز ساخته شده است. سپس نمونه‌ها تحت آزمایش کشش قرار گرفته و نتایج حاکی از آن است که مدول یانگ از ۰/۵ درصد وزنی شروع به افزایش داشته و بیشترین مدول یانگ در ۱/۵٪ وزنی از تقویت‌کننده‌ها به دست می‌آید. همچنین خواص مکانیکی نمونه‌ها در ۲٪ وزنی شروع به کاهش نموده که می‌تواند به دلیل کلوخه شدن یا آگلومره شدن تقویت‌کننده‌ها در اپوکسی باشد که خواص مکانیکی آن را کاهش می‌دهد. در تست آنتی باکتریال، بر اساس نتایج باکتری اشریشیاکلی به عصاره رزماری حساسیت نشان نداده و هیچ هاله عدم رشدی مشاهده نشد. این در حالی است که باکتری استافیلوکوکوس اورئوس به عصاره رزماری حساسیت نشان داده و هاله‌ای به قطر ۲۰ میلی‌متر را ثبت کرده است. نهایتاً باکتری استافیلوکوکوس نسبت به بیوکامپوزیت‌های ساخته شده حساس بوده و بهترین عملکردآنتی باکتریال را در بیوکامپوزیت هیبریدی در ۲٪ وزنی مشاهده شد.

۱- مقدمه

مواد پلاستیکی باعث آسیب زیست‌محیطی قابل‌توجهی می‌شود و یکی از بزرگ‌ترین مسائل عصر حاضر است. پلاستیک‌های مبتنی بر نفت حتی پس از صدسال تجزیه‌پذیر نیستند. پلیمرهای پلاستیکی که از عناصر غیرقابل‌تجدید ایجاد می‌شوند، یکی از دلایل اصلی گرم شدن کره زمین هستند. مواد بیوکامپوزیت انتخاب ایده آلی برای جایگزینی پلیمرهای مبتنی بر فسیل هستند [۱]. بیوکامپوزیت‌های اپوکسی سازگار با محیط‌زیست و پایدار با استفاده از انواع خاصی از عوامل تقویت‌کننده ازجمله الیاف طبیعی، ذرات و اپوکسی‌های زیستی به دست می‌آیند. پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف طبیعی در دو دهه گذشته موضوع داغ مورد علاقه در علوم مواد باقی‌مانده است. چنین الیافی به دلیل تجدیدپذیری، چگالی کم، استحکام ویژه بهتر، زیست‌تخریب‌پذیری، دسترسی و هزینه کم در مواد کامپوزیتی جذاب هستند. پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف طبیعی عملکرد مکانیکی بهتری را با هزینه کمتر ارائه می‌دهند و می‌توانند بهترین جایگزین برای الیاف مصنوعی باشند. پرکننده‌های زیستی امروزه به دلیل مقرون‌به‌صرفه

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۹۸۶۶۱۳۳۱۲۰۴۶۷+

آدرس پست الکترونیک: m.k.khorramabadi@gmail.com

بودن و توانایی اصلاح مواد پایه در ساختار کامپوزیت مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲]. کامپوزیت‌های ساخته شده از رزین مصنوعی و مواد تقویت‌کننده طبیعی امروزه بسیار محبوب شده‌اند. این مواد طبیعی تقویت‌کننده عموماً الیاف طبیعی هستند. الیاف طبیعی زیست‌تخریب‌پذیر و به‌طورکلی غیر سمی هستند. درواقع، زیست‌تخریب‌پذیر به معنای موادی است که توسط اجزای بیولوژیکی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و غیره تجزیه می‌شوند. اگر یک ماده کامپوزیت حاوی یک یا چند جزء زیستی یا جزء طبیعی باشد، آن کامپوزیت بیوکامپوزیت نامیده می‌شود [۳].

شارما و همکاران، اپوکسی حاوی الیاف لوفا[1] و خاک رس نانو را با استفاده از روش قالب‌گیری فشرده‌سازی ساخت. ترکیب نانو رس متفاوت بود و حداکثر خواص مکانیکی در ۲٪ وزنی نانو رس به دست آمد. با افزایش محتوای نانو رس بیش از ۲٪ وزنی، خواص مکانیکی هیبرید کاهش یافت [۴]. کومار و همکاران اثر کامپوزیت‌های پلیمری ماتریکس اپوکسی با تقویت‌کننده‌های ذرات فلزی را بررسی کرد. در این مطالعه، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی اپوکسی، تقویت‌شده با نانو ذرات فلزی آلومینیوم (Al)، گرافن و هر دو آل و گرافن با هم مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. ساخت با مخلوط کردن درصدهای وزنی مختلف ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی آل و گرافن به‌صورت جداگانه و ۲/۵٪ از هر دو آل و گرافن به‌عنوان تقویت‌کننده انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده برای تنش، کرنش با یکدیگر مقایسه شد. کامپوزیت‌های پلیمری هیبریدی خواص مکانیکی بهتری نسبت به کامپوزیت‌های پلیمری تقویت‌شده با آل و گرافن دارند [۵]. اوچته و همکاران، اثر عملیات حرارتی را بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های جوت/اپوکسی[2] تهیه‌شده را بررسی کرد. نمونه‌ها پس از ساخت در دماهای مختلف، تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند و خواص مکانیکی آن‌ها مانند استحکام کششی و سختی تعیین شد. مشخص شد که کامپوزیت جوت/اپوکسی تیمار شده در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد دارای حداکثر استحکام کششی و سختی مکانیکی در مقایسه با سایرین است. این به بهبود چسبندگی سطحی بین فیبر و ماتریس اپوکسی نسبت داده می‌شود [۶]. محمود و همکاران، الیاف کویر به‌عنوان عایق حرارتی و عملکرد آن به‌عنوان ماده تقویت‌کننده در تولید بیوکامپوزیت را مورد مطالعه قرار دادند. این مطالعه به‌منظور آشنایی با خاصیت عایق حرارتی و عملکرد به‌عنوان ماده تقویت‌کننده در ساختارهای کامپوزیت الیاف زغال‌سنگ، الیافی که از ضایعات نارگیل تولید می‌شود انجام شده است. درواقع هزینه کم، خاصیت عایق حرارتی و خواص مکانیکی نسبتاً منصفانه آن را برای مواد کامپوزیت مناسب می‌کند [۷]. ژائو و همکاران یک روش پلیمریزاسیون درجا آسان برای تهیه GO[3] پیوندی با زنجیره پلی آمید ۶ ایجاد کرد. آن‌ها دریافتند که ۵۲/۶٪ افزایش در چقرمگی شکست کامپوزیت‌های اپوکسی تقویت‌شده در مقایسه با اپوکسی خالص وجود دارد [۸]. شوبهام و همکاران به این نتیجه رسیدند که با افزودن نانوذرات مختلف به‌عنوان تقویت‌کننده در کامپوزیت‌های پلیمری، می‌توان خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی و سایر خواص را بهبود بخشید [۹]. لیو و همکاران و کیزیلتاس و همکاران، ساخت نانوکامپوزیت‌های شفاف (پلی‌متیل‌متاکریلات) (PMMA)/CNCs را مورد مطالعه قرار دادند. CNC ها با روش‌های هیدرولیز اسیدی و همگن‌سازی با فشار بالا به دست آمدند و نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از ریخته‌گری محلول تهیه شدند. ورق‌های کامپوزیت سنتزشده دارای شفافیت و خواص مدول ذخیره‌سازی خوبی بودند [۱۰]. پونگوزالی و همکاران سنتز کامپوزیت‌های نانوسلولزی کیتوزان-PVP[4] با استفاده از ریخته‌گری محلول را بررسی نمودند. نانوکامپوزیت‌های تهیه‌شده پایداری حرارتی خوبی نشان دادند. مطالعه بیولوژیکی استفاده از نانوسلولز را در تأثیرات ماتریس حاضر در کاربردهای زیست‌پزشکی به‌عنوان یک ماده ترمیم‌کننده زخم پیشنهاد می‌کند [۱۱].

در این پژوهش از گیاه رزماری برای تعیین فعالیت ضد میکروبی استفاده شده است. این پژوهش به بررسی خواص مکانیکی و آنتی‌باکتریال نانوذرات سلولز و عصاره گیاه رزماری و تأثیر آن‌ها بر عملکرد کلی کامپوزیت‌های اپوکسی مبتنی بر نانو سلولز و عصاره رزماری می‌پردازد. با توجه به اینکه عصاره گیاهی هر منطقه، دارای خواص منحصربه‌فردی می‌باشد، ایده استفاده از ترکیب عصاره گیاهی بومی به‌عنوان فاز تقویت‌کننده و به‌صورت نانوذره در کنار اپوکسی دارای نوآوری می‌باشد. در ابتدا نمونه‌ها برای توزیع یکنواخت با چهار درصد وزنی (خالص،۰/۵٪،۱٪،۱/۵٪،۲٪) درصد وزنی عصاره رزماری، نانو سلولز، ترکیب عصاره و نانوسلولز ساخته شده است. سپس نمونه‌ها تحت آزمایش کشش قرار گرفتند که نتایج حاکی از آن بود که مدول یانگ از ۰/۵٪ وزنی شروع به افزایش داشت و بیش‌ترین مدول یانگ در ۱/۵٪ کاملاً مشهود بود ولی نمونه‌ها در ۲٪ وزنی شروع به کاهش کرد که می‌تواند

[1] Loofah fibers
[2] Jute/epoxy composite
[3] Graphene Oxide
[4] Chitosan- Poly(vinyl pyrrolidone)

به دلیل کلوخه شدن نانوذرات در اپوکسی باشد که خواص مکانیکی آن را کاهش می‌دهد. در تست آنتی باکتریال، بر اساس نتایج باکتری اشریشیاکلی[1] به عصاره رزماری مقاوم است و هیچ هاله عدم رشدی مشاهده نشد این در حالی است که باکتری استافیلوکوکوس اورئوس[2] به عصاره رزماری حساسیت نشان داده و هاله‌ای به قطر ۲۰ میلیمتر را ثبت کرده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

مواد مورد استفاده در این تحقیق، شامل رزین اپوکسی، نانوذرات سلولز و نانوذرات عصاره رزماری است. اپوکسی مورد استفاده در این پژوهش سامانه دو جزئی شامل اپوکسی E06 پتروشیمی خوزستان وسخت کننده (هاردنر) با نام تجاری پلی آمین PC205 می‌باشد که نسبت وزنی آن ۲:۱ می‌باشد و همچنین نانو ذرات سلولز دارای ابعادی بین ۵۰-۲۰ نانومتر شرکت nanosany می‌باشد. نمونه بومی گیاه رزماری نیز منطقه کمالوند در شهرستان خرم‌آباد (استان لرستان) جمع آوری شده است.

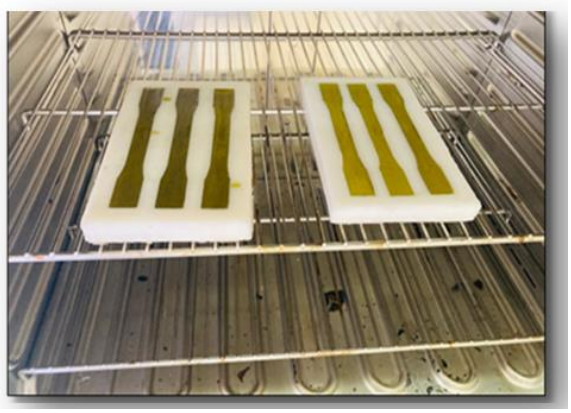
۲-۲- ساخت

جهت تهیه عصاره الکلی این گیاه از روش خیساندن استفاده شد، که طی این روش ۱۰ گرم گیاه رزماری را در ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل ۸۰٪ حل گردید. جهت تهیه عصاره یکنواخت، در این زمان ترکیب راهم زده، سپس به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی نگهداری شد. بعد ازگذشت این مدت ترکیب مورد نظر را از کاغذ صافی عبور داده و سپس عصاره به‌دست‌آمده طی سه مرحله درون سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه قرار داده شده است. درنهایت عصاره مورد نظر را جهت خشک کردن درون آون بادمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. درنهایت عصاره‌های خشک شده را به‌وسیله تیغ اسکالپل [3]در ابعاد نانومتر جدا شد. دلیل استفاده از روش خیساندن، عدم آسیب به مواد موجود در عصاره تهیه شده از گیاهان بود.

برای ساخت نمونه‌های بایوکامپوزیت در ابتدا مقدار درصد وزنی نانوذرات سلولز جهت ترکیب با اپوکسی جدا می‌گردد. سپس نانوذرات سلولز را بااپوکسی مخلوط کرده و مخلوط را روی حرارت تا رسیدن به دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و به مدت ۵ دقیقه هم زده می‌شود. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با دورrpm ۲۰۰ با استفاده از همزن مکانیکی ساخت شرکت KIA آلمان هم زده شد. هنگامی‌که محلول به‌وسیله همزن مکانیکی مخلوط می‌شود، در ساختار محلول حباب‌هایی مشاهده می‌گردد؛ که این حباب‌ها با چشم غیرمسلح نیز قابل روئیت می‌باشد، اگر این حباب‌ها از محلول جدا نشوند در نتایج نهایی تأثیر منفی بسزایی می‌گذارند. زیرا حباب‌های ایجاد شده باعث عدم یکنواختی و گسیختگی در ساختار نانو کامپوزیت پلیمری می‌شود. حال جهت حباب زدایی می‌بایست ترکیب مورد نظر درون همزن آلتراسونیک[4] قرار گیرد.

در مرحله بعد همزن مکانیکی نوبت به دستگاه آلتراسونیک می‌باشد. استفاده از این دستگاه علاوه بر حباب زدایی باعث همگن‌سازی و توزیع یکنواخت نانو ذرات در ماتریس می‌شود و باعث جلوگیری از کلوخه شدن می‌شود. مخلوط را درون دستگاه آلتراسونیک با فرکانس ۱۰۰ مگاهرتز و دامنه کاوش ۰/۵ به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت. سپس از سشوار برای از بین بردن حباب‌های ایجاد شده که بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها تأثیر می‌گذارد استفاده کرده و برای رسیدن دمای مخلوط به ۲۰ درجه سانتی‌گراد زمان داده می‌شود. سپس به مقدار استوکیومتری هاردنر را به مخلوط اضافه کرده و به مدت ۵ دقیقه به‌صورت دستی هم زده می‌شود تا کاملاً ترکیب شود. مخلوط آماده‌شده را درون قالب ریخته (شکل ۱) و آن را در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت و به دنبال آن در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت پخته شد.

[1] Escherichia coli bacteria
[2] Staphylococcus aureus bacteria
[3] Scalpel blade
[4] ultrasonic



شکل ۱ محلول ریخته شده در قالب های دمبلی شکل بر اساس استاندارد ASTMD638

ترکیب نمونه‌های ساخته‌شده با درصدهای مختلف وزنی در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱ درصد نانوسلولز در ماتریس اپوکسی-هاردنر

ضخامت mm	سلولز	اپوکسی- هاردنر	نمونه
	٪۰/۵	۹۹,۵	۱
۴ میلی‌متر	٪۱	۹۹	۲
	٪۱/۵	۹۸,۵	۳
	٪۲	۹۸	۴

برای نمونه‌های بایو کامپوزیت تقویت‌شده با نانو ذرات رزماری، در ابتدا مقدار درصد وزنی نانوذرات عصاره رزماری جدا شد و تمام مراحلی که در ساخت نمونه‌های اپوکسی و نانوسلولز انجام شد برای پخت این نوع نمونه‌ها تکرار می‌شود.

جدول ۲ درصد نانوذرات عصاره رزماری در ماتریس اپوکسی-هاردنر

ضخامت mm	عصاره رزماری	اپوکسی- هاردنر	نمونه
	٪۰/۵	۹۹,۵	۱
۴ میلی‌متر	٪۱	۹۹	۲
	٪۱/۵	۹۸,۵	۳
	٪۲	۹۸	۴

در پژوهش حاضر از عصاره الکلی رزماری استفاده شد. تفاوت اصلی بین عصاره الکلی و عصاره آبی در حلال مورداستفاده برای استخراج مواد مؤثره از گیاهان است. در عصاره الکلی از الکل به‌عنوان حلال استفاده می‌شود، درحالی‌که در عصاره آبی از آب استفاده می‌شود. حلالیت مواد مؤثره گیاهان دارویی در الکل و آب متفاوت است. برخی مواد مؤثره، مانند فلاونوئیدها[1] در آب و الکل حل می‌شوند، درحالی‌که برخی دیگر مانند ترپنوئیدها[2] فقط در الکل حل می‌شوند. بنابراین ترکیب عصاره الکلی و آبی متفاوت خواهد بود. عصاره الکلی معمولاً حاوی مقادیر بیشتری از مواد مؤثره محلول در الکل، مانند ترپنوئیدها است اما عصاره آبی حاوی مقادیر بیشتری از مواد مؤثره محلول در آب مانند فلاونوئیدها، است. علاوه بر تفاوت در ترکیب تفاوت در خواص فیزیکی نیز دارند. عصاره الکلی معمولاً غلظت بالاتری نسبت به عصاره آبی دارد و پایداری بیشتری دارد و بیوکامپوزیت‌های ساخته شده از عصاره الکی به‌مراتب استحکام و مقاومت بیشتری نسبت به عصاره آبی دارد. در آخرین مرحله و برای ساخت نمونه‌های بایوکامپوزیت تقویت‌شده با نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره رزماری، در ابتدا مقدار درصد وزنی نانو سلولز و عصاره رزماری جدا گردید و تمام مراحلی که در ساخت نمونه‌های بالا انجام شد برای پخت این نوع نمونه‌ها تکرار می‌شود.

جدول ۳ درصد نانوذرات عصاره رزماری و نانوسلولز در ماتریس اپوکسی-هاردنر

ضخامت mm	نانوسلولز	عصاره رزماری	اپوکسی- هاردنر	مخلوط

[1] flavonoid
[2] Terpenoids

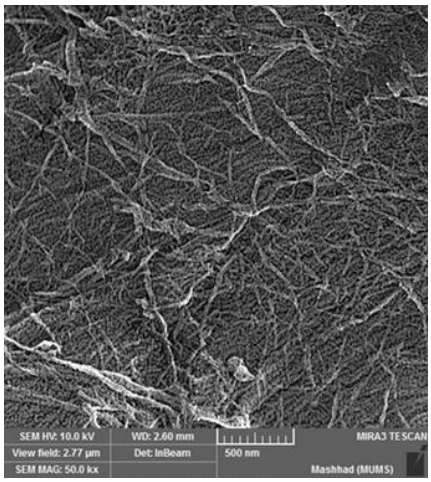
۴ میلی‌متر	٪۰/۱	٪۰/۴	۹۹/۵	۱
	٪۰/۴	٪۰/۶	۹۹	۲
	٪۰/۹	٪۰/۶	۹۸/۵	۳
	٪۱/۶	٪۰/۴	۹۸	۴

لازم به ذکر است که پس از ساخت نمونه‌های اپوکسی تقویت‌شده با نانوسلولز و اپوکسی تقویت‌شده با نانو ذرات عصاره، با توجه به نتایج آزمایش کشش و به‌منظور دستیابی به خواص بهینه، درصد نانوسلولز در نمونه‌های ترکیبی به‌صورت صعودی در نظر گرفته شده است. برای نمونه خالص نیز، به مقدار مناسب اپوکسی را وزن کرده و به تناسب با هاردنر ترکیب کرده (نسبت ۲:۱) و درون قالب ریخته و آن را در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت و به دنبال آن در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، درون آون به مدت ۳ ساعت پخته شد.

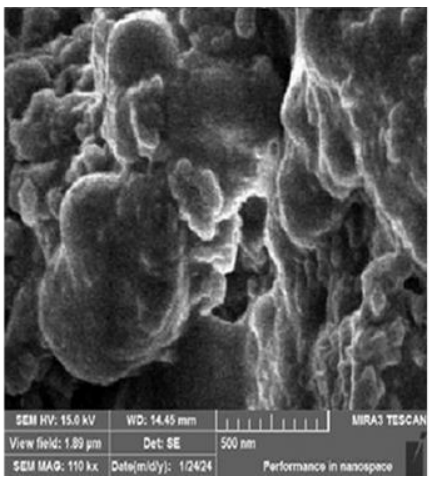
شکل۲ نمونه‌ی خالص و بیوکامپوزیت‌ها با ۱/۵٪ وزنی تقویت‌کننده‌های متفاوت

۲-۳- بررسی کیفیت ساخت

در این قسمت عکس‌های سطح مقطع نمونه‌های ساخته‌شده پس از قرار دادن لایه‌ای بسیار نازک مسی بر روی نمونه و به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) گرفته شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. میکروسکوپ الکترونی نوع F-ESEM مدل MIRA3-LMU ساخت شرکت TESCAN می‌باشد. همچنین به کمک آزمایش FTIR پیوندهای میان ماتریس و تقویت‌کننده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا کیفیت نانو الیاف سلولز و نانوذرات عصاره رز ماری مورد بررسی قرار گرفته است.

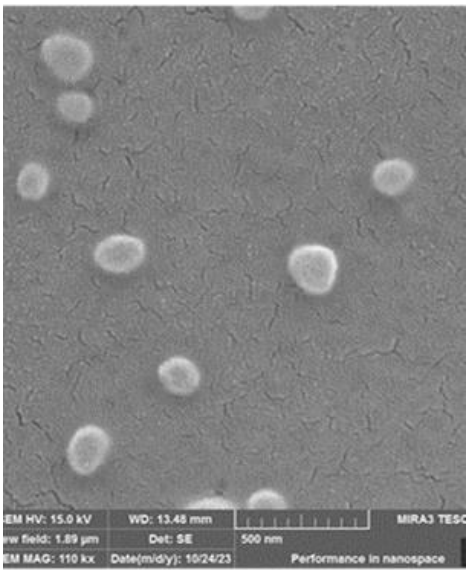


شکل ۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوالیاف سلولز

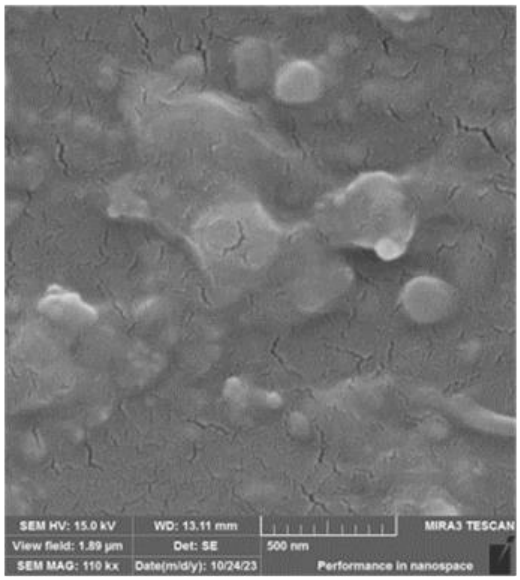


شکل ۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوذرات عصاره رزماری

همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است، الیاف و ذراتی در مقیاس نانو قابل‌مشاهده می‌باشند.



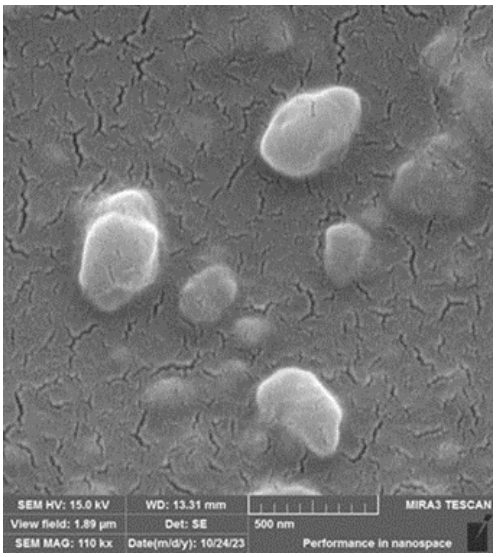
شکل ۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه بیوکامپوزیت با ۰/۵٪ عصاره رزماری



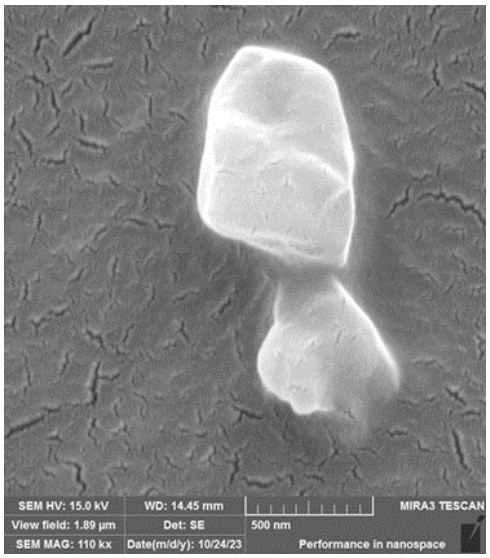
شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه بیوکامپوزیت با ۲٪ عصاره رزماری

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده‌شده، توزیع نانو ذرات عصاره به‌صورت کاملاً یکنواخت می‌باشد.

که همان‌طور در شکل ۶ نشان داده‌شده، با افزایش درصد نانو ذرات عصاره، میان این نانو ذرات اتصال برقرار گردیده و توده‌هایی تشکیل شده که نشان از کلوخگی می‌باشد.



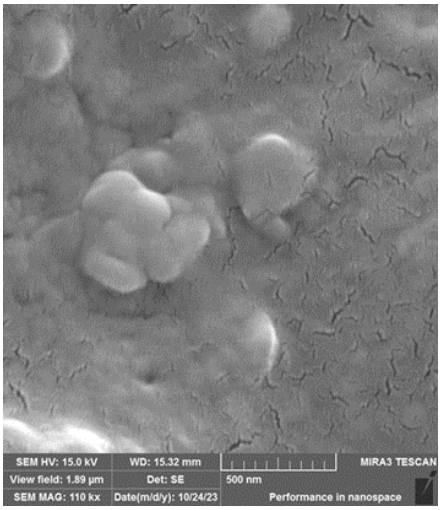
شکل ۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه با ۰/۵٪ نانوذرات سلولز



شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه با ۲٪ نانوذرات سلولز

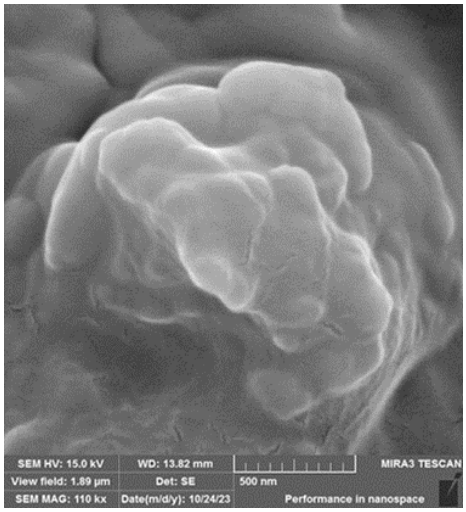
همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده‌شده، توزیع نانو الیاف سلولز به‌صورت کاملاً یکنواخت می‌باشد.

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده، با افزایش درصد نانو الیاف سلولز، میان این نانو الیاف اتصال برقرار گردیده و توده‌هایی تشکیل شده که نشان‌دهنده کلوخگی می‌باشد.



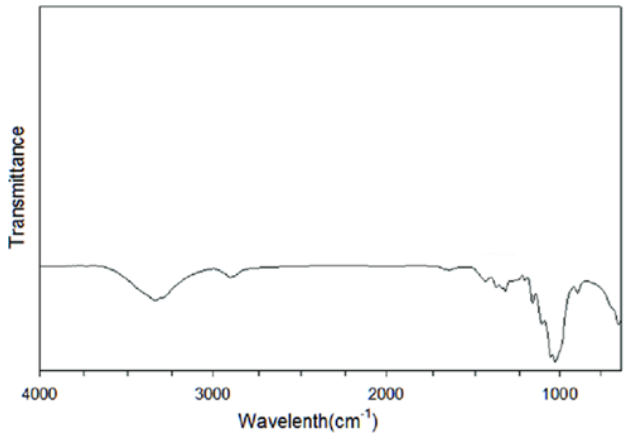
شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ترکیبی ۰/۵٪ نانوذرات عصاره رزماری و نانو الیاف سلولز

همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده‌شده، توزیع نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره رزماری به‌صورت کاملاً یکنواخت می‌باشد.

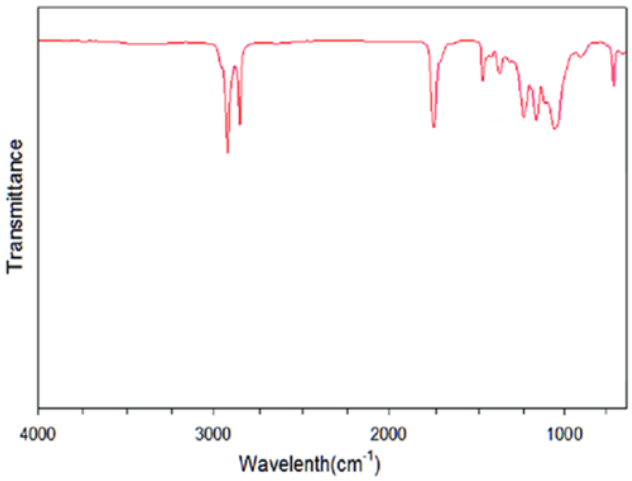


شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ترکیبی ۲٪ نانوذرات عصاره رزماری و نانوالیاف سلولز

همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده، با افزایش درصد نانو الیاف سلولز و نانو ذرات عصاره رزماری، میان این نانو الیاف و همین‌طور نانو ذرات اتصال برقرار گردیده و توده‌هایی تشکیل‌شده که نشان‌دهنده کلوخگی می‌باشد.



شکل ۱۱ نمودار FTIR بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانوالیاف سلولز با ۰/۵٪ وزنی



شکل ۱۲ نمودار FTIR بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت‌شده با نانوذرات رزماری با ۰/۵٪ وزنی

در شکل‌های ۱۱ الی ۱۲ نمودارهای مربوط به آزمایش‌های FTIR برای نمونه‌های بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت‌شده با نانو الیاف سلولز و بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت‌شده با نانوذرات رزماری نشان داده شده است. با توجه به تعداد امواج، نواحی قله و ترکیب شیمیایی اپوکسی، سلولز و رزماری، می‌توان اتصالات O-C و O- H را مشاهده کرد. نمودارها برقراری پیوند مناسب میان ماتریس و تقویت‌کننده‌ها را نشان می‌دهند.

۳- بررسی تجربی

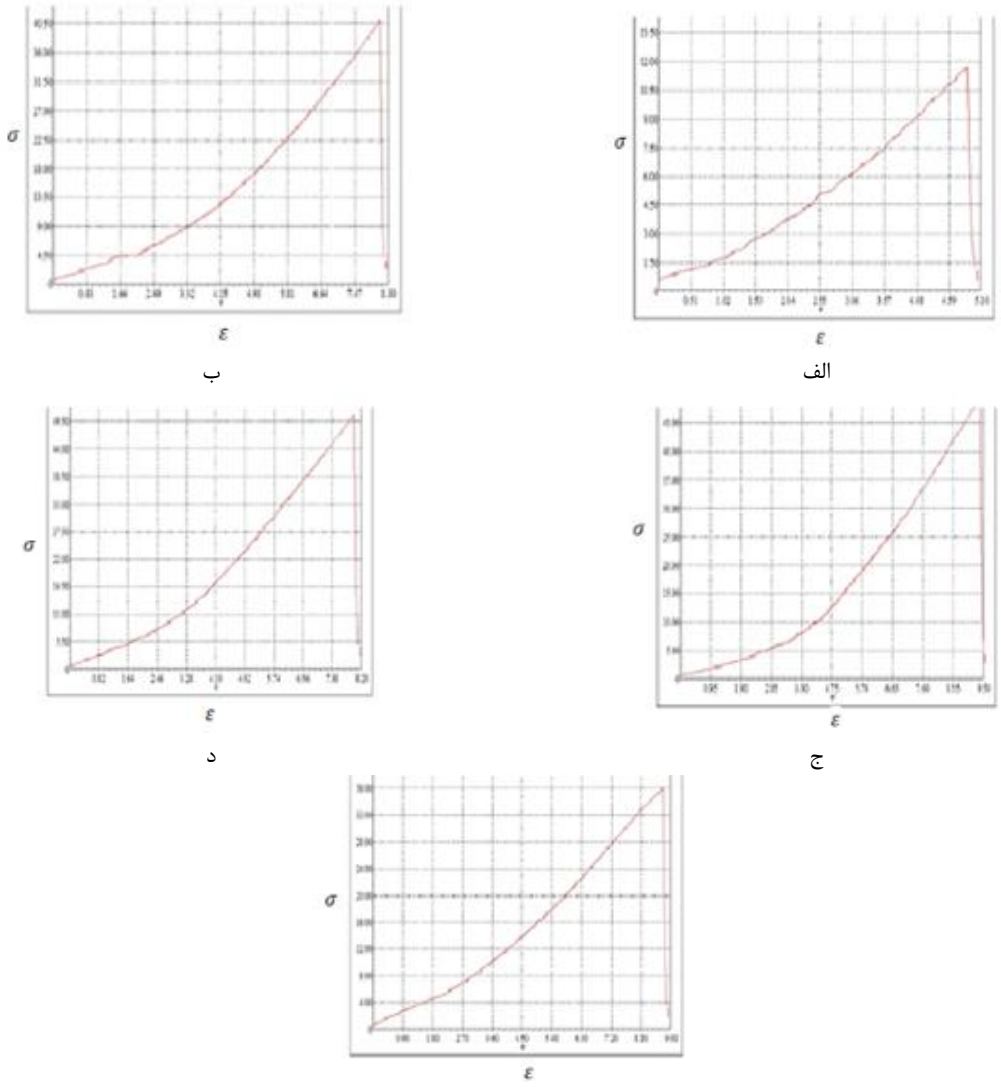
۳-۱- بررسی خواص مکانیکی

مطابق با آنچه قبلاً اشاره شد، نمونه‌های دمبلی شکل که بر اساس استاندارد ASTM D636 ساخته شده است. نمونه‌ها مطابق مشخصات ارائه‌شده در جداول ۱ الی ۳ می‌باشند. برای بررسی خواص الاستیک، دستگاه تست کشش مدل Go-AL5000L ساخت شرکت گوتگ [1] کشور تایوان مطابق شکل ۱۳ مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل ۱۳ دستگاه تست کشش مدل GT-5000L

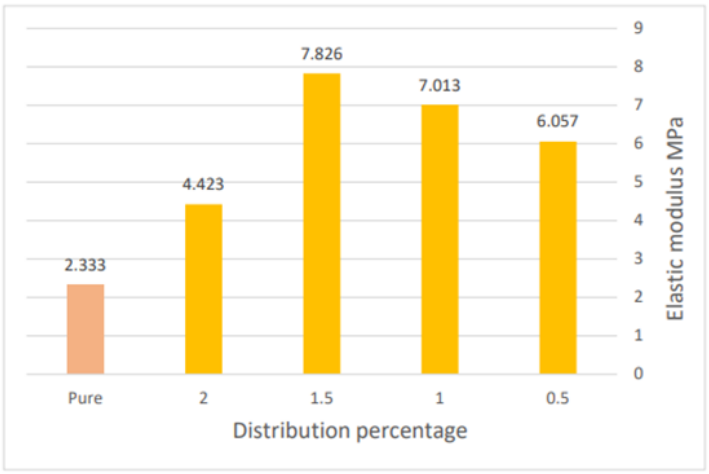
[1] Gutag Co

در نمودارهای ۱۴ الی ۱۹ نتایج مربوط به آزمایش کشش برای نمونه‌های بایوکامپوزیت با تقویت‌کننده‌های مختلف ارائه گردیده است.

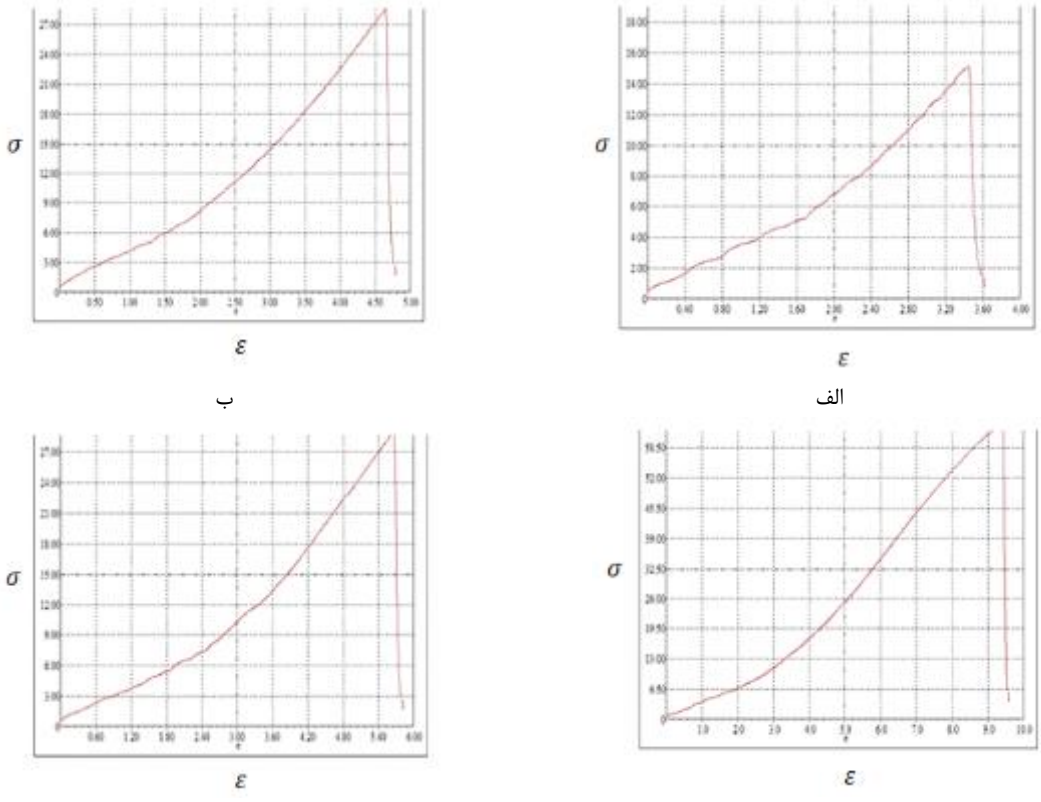


الف ب ج د ه

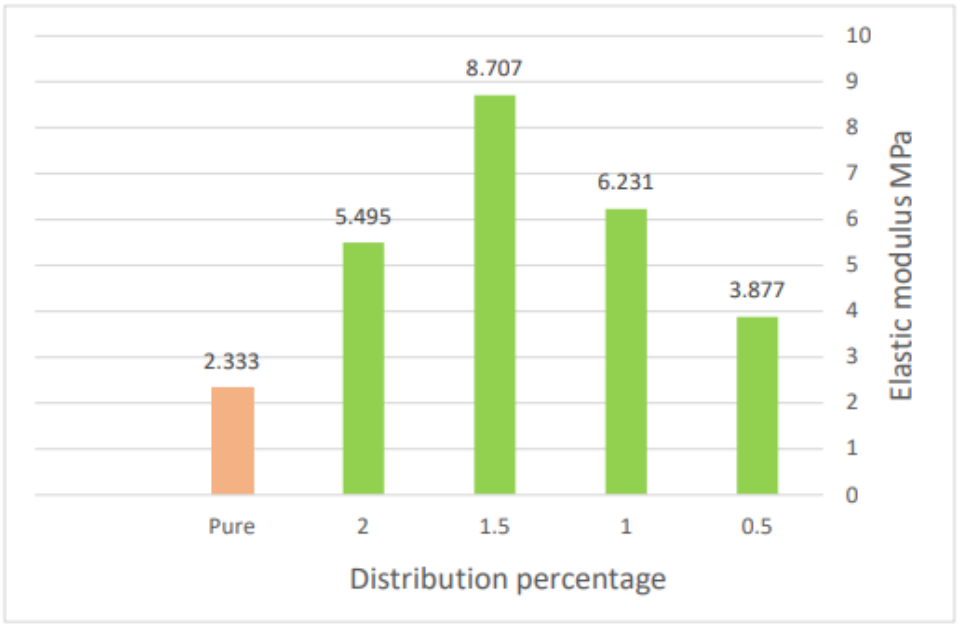
شکل ۱۴ نمودارهای تنش-کرنش الف) نمونه خالص، ب) نمونه بیوکامپوزیت ۰/۵٪ عصاره رزماری،ج) نمونه بیوکامپوزیت ۱٪ عصاره رزماری، د) نمونه بیوکامپوزیت ۱/۵٪ عصاره رزماری)، ه) نمونه بیوکامپوزیت ۲٪ عصاره رزماری



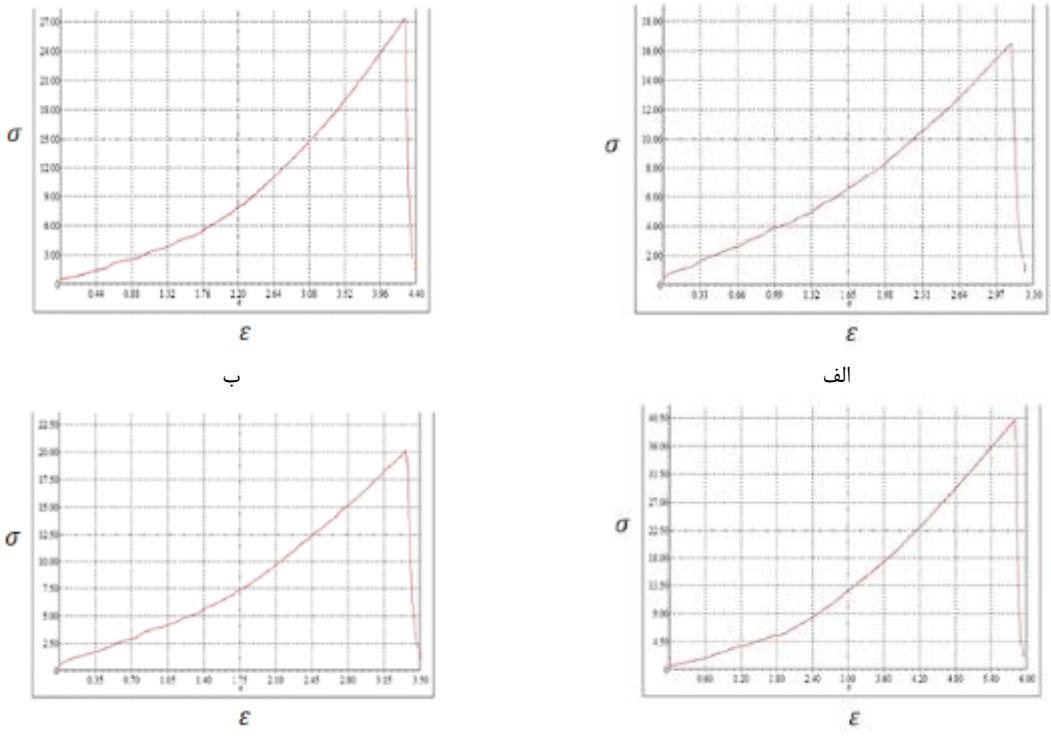
شکل ۱۵ مدول الاستیسیته بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانوذرات عصاره رزماری



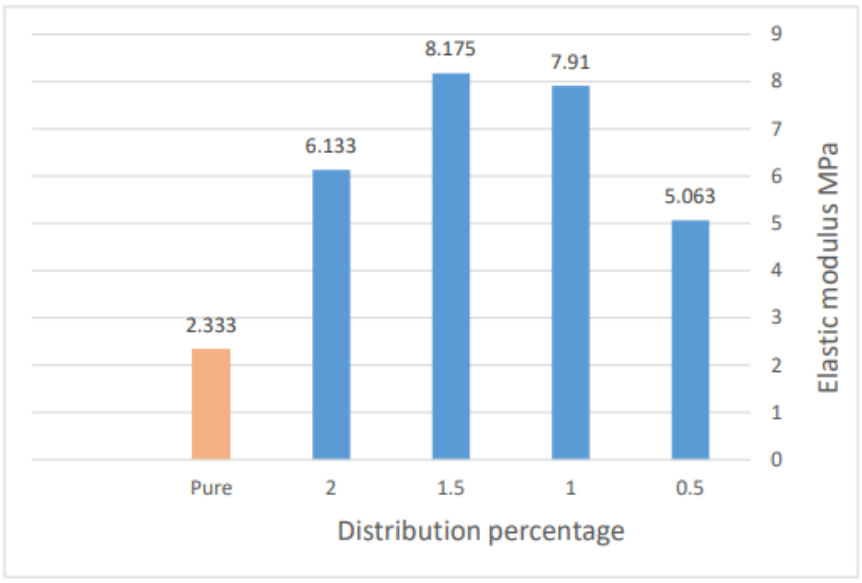
شکل ۱۶ نمودارتنش_کرنش الف) نمونه بیوکامپوزیت۰/۵٪نانوسلولز، ب) نمونه بیوکامپوزیت ۱٪نانوسلولز، ج) نمونه بیوکامپوزیت۱/۵٪ نانوسلولز، د) نمونه بیوکامپوزیت۲٪نانوسلولز



شکل ۱۷ مدول الاستیسیته بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت شده با نانوالیاف سلولز



شکل ۱۸ نمودار تنش-کرنش الف) نمونه بیوکامپوزیت ۰/۵٪هیبریدی، ب) نمونه بیوکامپوزیت ۱٪ هیبریدی، ج) نمونه بیوکامپوزیت ۱/۵٪ هیبریدی، د) نمونه بیوکامپوزیت ۲٪ هیبریدی



شکل ۱۹ مدول الاستیسیته بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت‌شده با نانو الیاف سلولز و نانوذرات رزماری

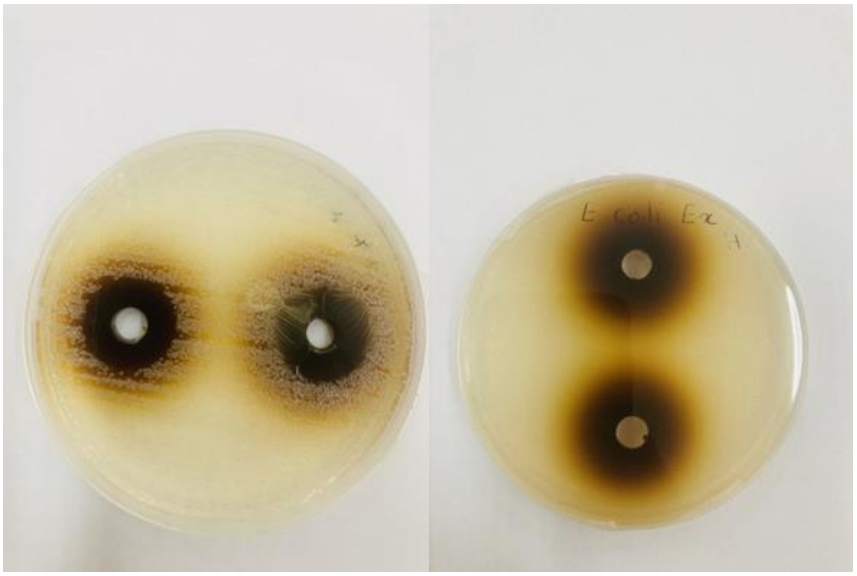
نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که با افزودن عصاره رزماری یا نانو سلولز و یا ترکیب عصاره و نانوسلولز مدول الاستیک شروع به افزایش تا ۱/۵٪ درصد وزنی می‌کند و بعدازآن برای نمونه‌های با ۲٪ وزنی تقویت‌کننده، مدول الاستیک کاهش پیدا می‌نماید.

۳-۲- بررسی خواص آنتی باکتریال

برای بررسی خواص آنتی باکتریال، از باکتری استافیلوکوکوس با شناسه ATCC 25923[1] و اشریشیاکلی با شناسه ATCC25922 استفاده شد. در ابتدا عصاره رزماری را به روش انتشار در چاهک روی محیط کشت میکروبی استافیلوکوکوس و ایکلای[2] جهت بررسی خواص انتی باکتریال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که برای عصاره رزماری روی محیط استافیلوکوکوس هاله عدم رشدی به قطر ۲۰ میلی‌متر ایجاد شده است. همچنین، عصاره گیاه رزماری روی محیط اشریشیاکلی هاله عدم رشدی نداشته است ونشان از بی‌اثر بودن عصاره رزماری روی باکتری گرم منفی است (شکل ۲۰). برای بررسی اثر ضد باکتری نانوکامپوزیت با داروها، از دیسک‌های آنتی بیوتیک پنی‌سیلین وجنتامایسین[3] استفاده شد. سپس هاله‌های عدم رشد باکتری پس از طی زمان رشد باکتری‌ها (۲۴ ساعت) بررسی شدند. قطر هاله عدم رشد دیسک آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین روی باکتری استاف[4] ۲۴ میلی‌متر مشاهده شد درحالی‌که باکتری اشریشیاکلی به آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین حساسیت نشان نداده و هیچ هاله عدم رشدی مشاهده نشد. قطر هاله عدم رشد دیسک آنتی‌بیوتیک جنتامایسین روی باکتری استاف ۹ میلی‌متر و روی باکتری اشریشیاکلی ۶ میلی‌متر مشاهده شد. نهایتاً برای انجام تست انتی باکتریال از نمونه‌های بیوکامپوزیت، ابتدا محیط کشت نوترینت براث[5] را تهیه کرده و به مقدار ۱۵۰۰ میکرولیتر از محیط را درون میکروتیوپ ریخته و سپس مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از محیط کشت ۰/۵ مک فارلند[6] از باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشریشیاکلی، هرکدام را به‌صورت مجزا، به میکروتیوپ اضافه نموده و نهایتاً نمونه‌های دایره‌ای برش خورده به‌اندازه ۱۲ میلی‌متر را درون میکروتیوپ‌ها انداخته و به مدت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها در انکوباتور[7] با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. بعد از مدت‌زمان لازم، هریک از نمونه‌ها با استفاده از

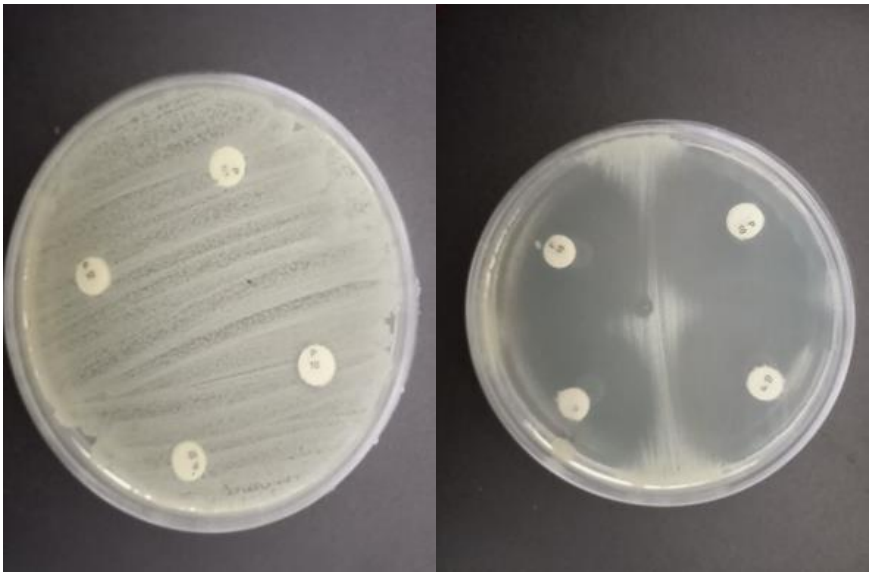
[1] American Type Culture Collection
[2] Escherichia coli
[3] Penicillin and gentamicin antibiotic disc
[4] Staphylococcus aureus
[5] Broth nutrient
[6] 0.5 McFarland
[7] Incubator

اسپکتوفتومتری[1] مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه می‌گردد.



شکل۲۰ سمت راست، عدم حساسیت باکتری اشریشیاکلی به عصاره رزماری و سمت چپ، حساسیت باکتری استافیلوکوکوس به عصاره رزماری

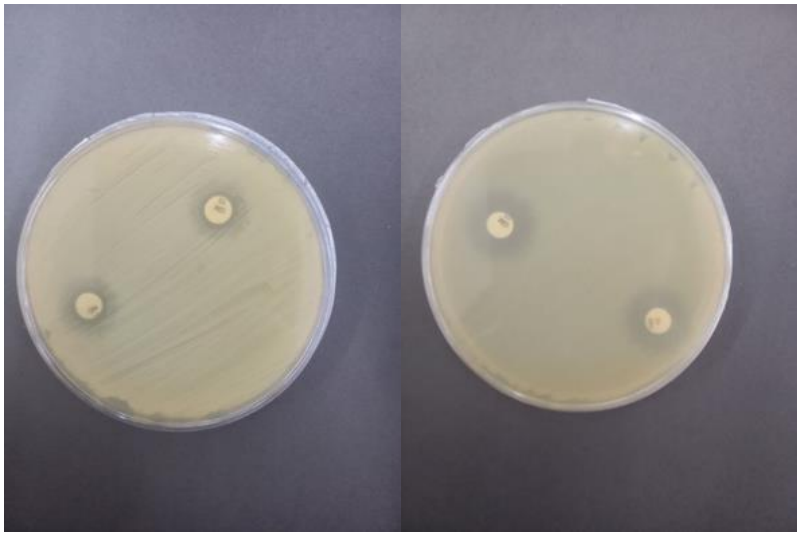
جهت بررسی خاصیت آنتی باکتریال نمونه‌های بیوکامپوزیت، برای کنترل از دیسک‌های آنتی‌بیوتیک وسیع الطیف استفاده شد. در شکل (۲۱) تصویر سمت راست هاله عدم رشد باکتری استافیلوکوکوس به قطر ۲۴ میلی‌متر مشاهده می‌شود و شکل سمت چپ مقاومت باکتری E.coli[2] به آنتی‌بیوتیک را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ نتایج بررسی اثر آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین بر روی باکتری‌های مورد مطالعه

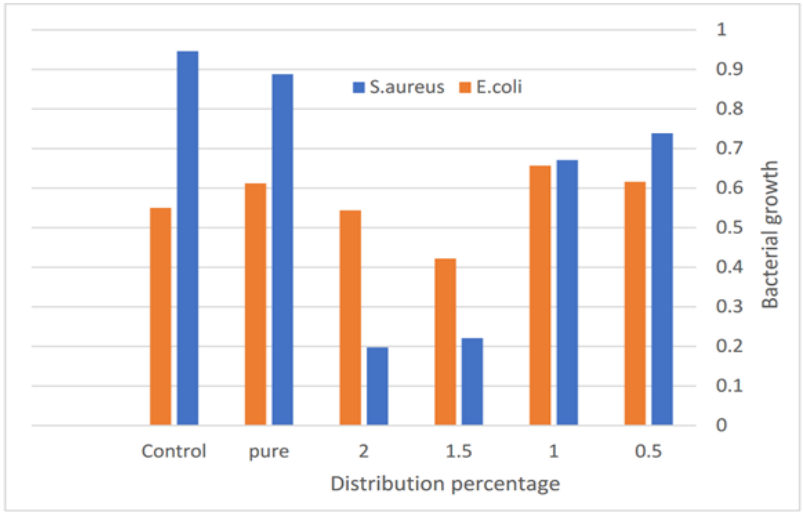
تصویر سمت راست در شکل (۲۲) هاله عدم رشد باکتری استافیلوکوکوس به قطر ۸ میلیمتر رانشان می دهد، و شکل سمت چپ هاله عدم رشد باکتری E.coli به قطر ۶ میلیمتر رانشان می دهد.

[1] Spectrophotometry
[2] Escherichia coli bacteria

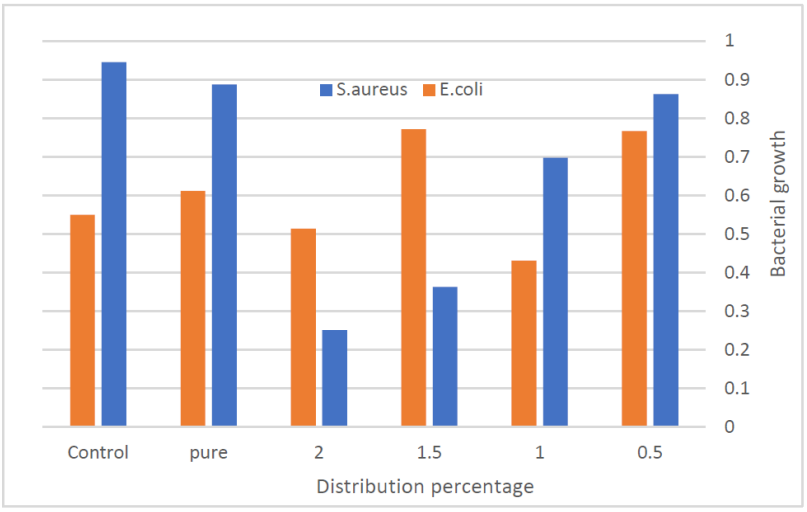


شکل ۲۲ نتایج بررسی اثر آنتی‌بیوتیک جنتامایسین بر روی باکتری‌های مورد مطالعه

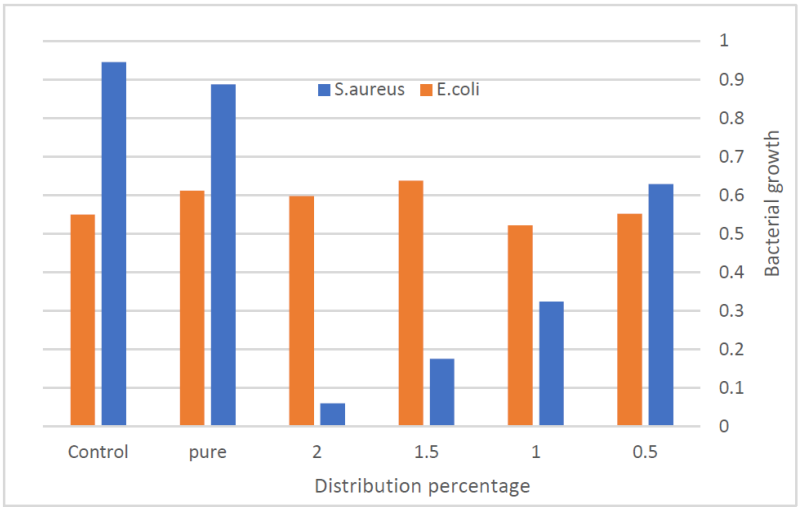
در ادامه و در شکل‌های ۲۳ الی ۲۵، روند رشد باکتری گرم مثبت و گرم منفی برای نمونه‌های بایوکامپوزیت با انواع تقویت‌کننده نشان داده شده است.



شکل ۲۳ بررسی روند رشد باکتری گرم مثبت و گرم منفی در بیوکامپوزیت تقویت‌شده با رزماری



شکل ۲۴ بررسی روند رشد باکتری گرم مثبت و گرم منفی در بیوکامپوزیت تقویت‌شده با نانوسلولز



شکل ۲۵ بررسی روند رشد باکتری گرم مثبت و گرم منفی در بیوکامپوزیت هیبریدی

۴ بحث و نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، خواص مکانیکی و آنتی باکتریال بیوکامپوزیت اپوکسی تقویت‌شده با نانوسلولز و نانوذرات عصاره گیاه رزماری مورد بررسی قرارگرفته است. مزیت معرفی افزودنی‌های طبیعی این است که می‌تواند باعث کاهش تشکیل مواد سمی شود که درنتیجه تجزیه رزین اپوکسی آزاد می‌شوند. با افزودن عصاره رزماری یا نانو سلولز و یا ترکیب عصاره و نانوسلولز مدول کششی شروع به افزایش تا ۱/۵٪ درصد وزنی می‌کند. این ممکن است به دلیل وجود پیوند قوی بین ذرات اپوکسی و عصاره و نانوذرات باشد و بعد از آن برای نمونه ۲٪ مدول کششی کاهش پیدا کرد که علت اصلی آن می‌تواند به دلیل تضعیف پیوند ماتریس با نانوذرات و نهایتاً کلوخه شدن نانو ذرات در نمونه باشد. عصاره رزماری بر روی باکتری‌های گرم مثبت نسبت به اثرضدباکتری آن‌ها بر روی باکتری‌های گرم منفی بیشتر است. شاید علت حساسیت کمتر باکتری‌های گرم منفی، وجود غشای خارجی در این نوع باکتری‌ها می‌باشد که سبب محدود شدن انتشار مواد مؤثره عصاره به لایه لیپوپلی ساکارید[1] باکتری می‌شود. متابولیت‌های ثانویه[2] موجود در عصاره گیاهان داروئی از راه‌های متعددی سبب اثر کشندگی بر روی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی می‌شوند. بااین‌حال مشخص شده که اثر آنتی باکتریال گیاهان داروئی بر روی باکتری‌های گرم مثبت بیشتر از باکتری‌های گرم منفی است و این خصوصیت ناشی از وجود غشای خارجی در باکتری‌های گرم منفی می باشد که سبب کاهش نفوذ متابولیت‌های ثانویه به درون سلول این دسته از باکتری‌ها می‌گردد [۱۲]. در پژوهش دیگری که بر روی اثر آنتی میکروبی عصاره و نانوذرات سنتزشده توسط گیاه رزماری صورت گرفت، مشخص گردید که باکتری اشریشیاکلی در برابر عصاره گیاه رزماری مقاومت بالاتری نسبت به نانوذرات سنتز شده نشان می‌دهد که بیانگر کارائی بالاتر نانوذرات سنتز شده نسبت به عصاره بود[۱۳]. به‌طورکلی مقایسه نتایج مطالعات مختلف در مورد خواص ضد میکروبی عصاره‌های مختلف بسیار مشکل است. از دلایل آن می‌توان به تفاوت در روش‌های مختلف عصاره‌گیری، روش مختلف بررسی خصوصیات ضد میکروبی، شرایط کشت گیاه، سویه‌های مختلف میکروبی و حتی غلظت‌های متفاوتی از باکتری که به‌عنوان مایه تلقیح به کار می‌روند، اشاره کرد. به‌طورکلی هر چه مقادیر مواد فنولیک و فلاونوئیدی[3] در گیاه بالاتر باشد، خواص آنتی باکتریال آن‌ها علیه پاتوژن‌های غذایی[4] بیشتر خواهد بود.

با توجه به آزمایش‌های متعدد، نتایج حاکی از آن است که بیوکامپوزیت اپوکسی با ۲٪ وزنی نانوسلولز و عصاره رزماری بالاترین خاصیت آنتی باکتریال را روی باکتری استافیلوکوکوس دارد اما هدف از این پژوهش بررسی هم‌زمان خواص مکانیکی و

[1] Lipopolysaccharide
[2] Secondary metabolites
[3] Phenolic
[4] Food pathogens

آنتی باکتریال در نمونه‌های ساخته شده است. اگرچه نمونه بیوکامپوزیت ترکیبی در ۲٪ وزنی خاصیت آنتی باکتریالی بالایی دارد اما خواص مکانیکی آن در ۲٪ وزنی به دلیل کلوخه شدن تقویت‌کننده‌ها، کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج این تحقیق مشخص شد که با استفاده از مقادیر کمتری از عصاره رزماری و نانوسلولز (۱/۵ درصد وزنی) ویژگی‌های مکانیکی و آنتی باکتریال نانوکامپوزیت را تقریباً به میزان ۴ برابر افزایش داد. با جمع‌بندی نتایج این تحقیق می‌توان به این نکته اشاره کرد افزودن نانوالیاف سلولز و نانوذرات عصاره رزماری می‌تواند مقاومت ماده را در برابر کشش و آلودگی باکتری‌های گرم مثبت افزایش دهد. از سوی دیگر، نانوذرات رزماری تأثیر قابل‌توجهی بر خواص مکانیکی و آنتی باکتریال کامپوزیت نسبت به نانوسلولز دارد اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بهترین عملکرد و خواص مربوط به بیونانوکامپوزیت هیبریدی در غلظت ۱/۵٪ وزنی می‌باشد. به‌طورکلی افزودن سلولز زیستی و نانوذرات عصاره رزماری به رزین اپوکسی، هیچ‌گونه تغییر منفی در خواص آنتی باکتریال بیوکامپوزیت‌های آزمایش شده علیه باکتری گرم مثبت ایجاد نکرد اما بیشتر از ۱/۵٪ وزنی نانوذرات، باعث افت خواص مکانیکی بیونانوکامپوزیت شد.

Authorship Contribution Statement

Fatemeh Hadipour

Biography:Fatemeh Hadipour received his M.Sc in Microbiology from Islamic Azad University of Khorramabad in 2024. Her current research interest includes preparation of bio composites and investigation of antibacterial properties of bio composites.

Contribution Statement: Samples Preparation, Methodology, Investigation, Writing – original draft.

Dr. Mahdi Karami Khorramabadi

Biography: Mahdi Karami Khorramabadi received his PhD in Mechanical Engineering from Razi University in 2018. He is currently Assistant Professor at the Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khorramabad Branch, Iran. His current research interest includes preparation of functionally graded nanocomposites and modelling with theoretical predictions on mechanical properties of polymer/clay nanocomposites. His research also focuses on mechanical buckling, free vibration and dynamic stability analysis of functionally graded nanocomposite columns.

Contribution Statement: Validation, Analysis, Supervision, Project administration, Investigation.

Dr. Behrooz Dousti

Biography: Behrooz Dousti received his PhD in Microbiology from Islamic Azad University Science and Research Branch in 2007. He is currently Associate Professor at the Department of Microbiology, Islamic Azad University, Khorramabad Branch, Iran. His current research interest includes includes preparation of bio composites and investigation of antibacterial properties of bio composites.

Contribution Statement: Writing – review & editing, Validation, Analysis, Supervision.

۴- مراجع

[1] Mohammed AA, Omran AAB, Hasan Z, Ilyas R, Sapuan S. Wheat biocomposite extraction, structure, properties and characterization: A review. Polymers. 2021;13:3624.

[2] Khan FM, Shah AH, Wang S, Mehmood S, Wang J, Liu W, Xu X. A comprehensive review on epoxy biocomposites based on natural fibers and bio-fillers: Challenges, recent developments and applications. Advanced Fiber Materials. 2022;4:683-704.

[3] Mahmud MA, Abir N, Anannya FR, Khan AN, Rahman AM, Jamine N. Coir fiber as thermal insulator and its performance as reinforcing material in biocomposite production. Heliyon. 2023.

[4] Sharma R, Sharma DK, Agarwal R, Rinawa ML, Subbiah R, Kumar PM. Investigating the effect of nanoclay content on the mechanical characteristics of natural fiber epoxy composite. Materials Today: Proceedings. 2022;66:1319-23.

[5] Kumar G, Kumar PV, Kumar S, Datta VV, Sai RH. Epoxy matrix polymer composites with metal particle reinforcements. AIP Conference Proceedings: AIP Publishing; 2021.

[6] Ouchte I, Chafiq J, El Fqih MA, Chakir H. Effect of thermal treatment on mechanical properties and thermogravimetric analysis of laminate composite jute/epoxy. Materials Today: Proceedings. 2022;66:135-9.

[7] Mahmud MA, Abir N, Anannya FR, Khan AN, Rahman AM, Jamine N. Coir fiber as thermal insulator and its performance as reinforcing material in biocomposite production. Heliyon. 2023.

[8] Zhao X, Li Y, Chen W, Li S, Zhao Y, Du S. Improved fracture toughness of epoxy resin reinforced with polyamide 6/graphene oxide nanocomposites prepared via in situ polymerization. Composites Science and Technology. 2019;171:180-9.

[9] 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.

[10] Liu H, Liu D, Yao F, Wu Q. Fabrication and properties of transparent polymethylmethacrylate/cellulose nanocrystals composites. Bioresource technology. 2010;101:5685-92.

[11] 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.

[12] Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. International journal of food microbiology. 2004;94:223-53.

[13] Abu-Zaid AA. Antibacterial effect of green synthesis silver nanoparticles against Escherichia coli. Research Journal of Fisheries and Hydrobiology. 2016;11:7-14.