



Investigation of the effect of nanoparticles on the acoustic and flammability behavior of natural kenaf fibers

Seyed Ehsan Samaei, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

Somayeh Amininasab, Department of Acoustic, Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran.

Fatemeh Salimi, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Mohammad Javad Sheikhmozafari, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Reza Nadianmehr, Department of Acoustic, Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran.

Ali kazemi Tabrizi, Department of Wood and Paper Industry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

 **Ebrahim Taban**, (*Corresponding author), Department of occupational Health engineering, School of health, Social Determinants of Health Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. tabane@mums.ac.ir

Abstract

Background and aims: The use of natural kenaf fibers as a green and sustainable material and due to its remarkable properties is known as a potential alternative to synthetic fibers in the composite industries. One of the effective approaches to improve the properties of these fibers, especially in the face of fire, is creating a nano-coating with inorganic materials on the surface of the fibers. In this regard, this study was conducted with the aim of improving the flammability and acoustic properties of natural kenaf fibers using mineral nanoparticles.

Methods: The present study is a cross-sectional experimental study on a laboratory scale. Synthesis of ZnO-TiO₂ nanoparticles was by co-precipitation method, which its properties were determined by using X-ray diffraction (XRD), Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and scanning electron microscopy (SEM) analyzes. In this study, the flame retardant performance by conical calorimeter, and the study of acoustic absorption (at normal angles) in order to investigate the acoustic behavior of natural fibers was tested by impedance tube based on the transfer function method and ISO10534-2 standard.

Results: Based on the results, the time to ignition (TTI) in the fibers with ZnO-TiO₂ coating was almost doubled compared to the raw fibers. The total burning time of nanoparticle-coated fibers increases from 471 to 870 seconds, and the amount of carbon dioxide production in raw fibers with ZnO-TiO₂ nanoparticles has decreased from 0.33 to 0.12. In addition, this type of fiber had a higher sound absorption coefficient than raw fibers.

Conclusion: Due to the outstanding benefits of kenaf fibers (economic and environmental benefits) and the increasing use of these fibers as multifunctional composites, the process of coating these fibers with nanoparticles is considered a good approach to improve the thermal and acoustic properties.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Nanoparticles

Acoustic

Flammability

Natural fibers

Received: 2021/04/02

Accepted: 2022/02/05

INTRODUCTION

Today, noise pollution, as one of the environmental pollutants, has caused severe health risks such as discomfort, tinnitus, sleep disorders, or even ischemic heart disease. Hence, noise control is very important. One of the most effective technical-engineering methods for noise control is the use of sound absorbers. The basis of sound absorption control is that by increasing the absorption coefficient of workplace surfaces, the amount of reflected sound is reduced and as a result, the overall noise is reduced. The use of natural fibers in the fabrication of composites, due to its outstanding properties such as renewability, easy accessibility, low cost, high strength properties, lightweight, low density, low health and environmental hazards as well as optimal properties (mechanical, thermal and acoustics), have led to the increasing use of these fibers as a potential alternative to synthetic fibers in the composite industries. One of the most widely used groups of natural fibers is kenaf fibers. Today, the demand for the use of these fibers in the manufacture of multifunctional hybrid composites has increased. The use of kenaf as a green and sustainable material, with the low environmental impact on industrial pollution, has led to the reuse of natural and recycled materials in the industries. The common principle of natural fibers is their natural origin so that in terms of "energy consumption" and health effects, we can expect much less impact compared to synthetic materials. In addition, natural fibers, such as kenaf fibers, are a type of agricultural product or originated from other production cycles, which have become the subject of research in the field of noise pollution control. Apart from the desirable properties mentioned for this type of fiber, there are still limitations and drawbacks to this group of fibers that limit the possibility of using them as an alternative to synthetic fibers in the fabrication of noise control composites. It should not be overlooked that natural fibers decompose severely in contact with fire or other heat sources. This feature prevents the use of these materials in high-temperature conditions in industrial applications. In this area, flame retardancy and resistance in natural materials to develop and increase the practical applications of natural fibers in sound absorption are very necessary and significant. Currently, many studies have been performed to improve flame resistance in natural materials. One of the reported effective methods is the formation of

surface coatings. Creating nano-coatings with inorganic (mineral) materials on the surface of wood materials is considered a potential and promising method to increase fire resistance due to its economic and practical aspects. Nanotechnology has many applications in the production of various materials that can reduce weight, increase strength, increase surface area, increase longevity, self-cleaning properties and other properties. In recent years, nanomaterials in the manufacture of sound absorbers and insulators have grown exponentially due to their unique properties. The choice of materials plays an important role in the absorption and loss of sound transmission in a structure. It can be expected that the synergistic effects caused by physical or chemical interactions between the mineral coating and the fiber wood substrate will be able to produce properties such as improving thermal, mechanical, and dimensional stability. According to the above-mentioned and the lack of internal studies on the effect of nanoparticle coating on the acoustic and thermal properties of natural fibers, this study aimed to improve the acoustic properties and ignition of natural kenaf fibers using mineral nanoparticles ($ZnO-TiO_2$).

METHODS AND MATERIALS

ZnO-TiO₂ nanoparticles Synthesis and coating on natural kenaf fibers

The synthesis of $ZnO-TiO_2$ nanopowder was by the co-precipitation method. First, $Zn(NO_3)_2$, Merck, and $Ti(SO_4)_2$ were dissolved in distilled water in the same molar ratio, then the precipitating agent was added dropwise to the $NaOH$ solution at 60 °C and stirred with a magnetic stirrer until the pH reaches 9. In the next step, the solution is stirred under the same conditions for 4 hours. Then a filter was used to separate water and solids and the precipitate was washed with distilled water. After removing the sodium impurities, the precipitate is dried inside the oven at 100 °C for 12 hours. Finally, the precipitate is calcined in a calcination furnace at 500 °C, and $ZnO-TiO_2$ nanopowder is obtained. In the last stage, natural kenaf fibers are impregnated by $ZnO-TiO_2$ nanoparticles with a concentration of 5% and transferred to the laboratory for chemical analysis tests before and after coating.

Characterize of compounds

To record the X-ray diffraction (XRD) in this study, the Philips PW 1800 XRD device was used.

Diffraction patterns were reported using a CuK α lamp with a wavelength (λ) of 1.554 angstroms in the angle range (θ) of 10-70. The phases in each model were determined by comparing the angle and intensity of diffraction peaks based on the information contained in the standard cards. Furthermore, Energy Diffraction X-Ray Analysis (EDX) and surface morphological examination of nanoparticles were performed by FE-SEM TESCAN MIRA3.

Cone calorimeter

The cone calorimeter test is one of the most important tests on a laboratory scale to investigate the flame retardant properties of various products. The cone calorimeter test is a device for the ignition test that measures the inherent flammability of a substance by consuming oxygen. In this test, the sample with standard dimensions is placed on a weighing scale so that its mass reduction is recorded during combustion. During the test, the material is under irradiated and an electric spark starts combustion, and the sample is subjected to a specific heat flux (10-100 kW / m²). The basis of the work is to measure the rate of reduction of oxygen concentration in fuel gases. The data are recorded in the first 250 seconds and the released heat from the energy consumption during combustion is calculated. Combustion gases are absorbed by the centrifugal fan and hood. Concentrations of oxygen, carbon monoxide, and carbon dioxide as well as the density of the produced smoke in the exhaust are measured. The heat released per unit area and time unit is calculated by the oxygen concentration and gas rate. In this study, a conical calorimeter test was used to perform a fire inhibitory test in both samples of natural kenaf fibers before and after ZnO-TiO₂ nanoparticles coating with a certain thickness and density (thickness 30 mm and density 200 kg/m³). The dimensions of the samples according to the standard were 100*100 mm² and the amount of radiation was 50 kW / m² (equivalent to 757 °C).

Sample preparation and determination of sound absorption

The samples were made in an aluminum mold according to the dimensions of the impedance tube (inner diameters of 10 and 3 cm) and thickness of 3 cm and constant density of 200 kg / m³. All samples were placed at a laboratory temperature for 72 hours after molding to allow the moisture to dry completely.

In this study, the sound absorption coefficient at normal incidence angle was measured by impedance tube model 477 based on the transfer function method and ISO10534-2 standard. In this device, sound waves are generated by a sound source in the tube. By measuring the acoustic pressures at two fixed locations using microphones mounted on the tube wall and calculating the mixed acoustic conversion function, the sound absorption in the vertical collision mode and the impedance ratios of the adsorbent material are calculated and measured. Figure 1 illustrates the steps from the sample preparation process along with the experimental testing. Figure 2 shows the experimental setup for the measurement of the sound absorption coefficients.

RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the SEM cross-section, which was taken from natural fibers before and after the coating, was surveyed. After analyzing the SEM image of the cross-sectional area after coating and comparison with raw fibers (without coated), it is quite clear that the surface of natural fibers including its vessels is densely covered by ZnO-TiO₂ nanoparticles. It is quite clear that the surface and cavities of natural fibers are completely covered by ZnO-TiO₂ particles. Based on these images, the size of ZnO-TiO₂ nanoparticles is about 80 to 200 nm. The elemental composition of natural fiber panel samples before and after coated with ZnO-TiO₂ nanoparticles was analyzed based on the EDX spectrum strong peaks of about 0.1, 4.6, and 8.7 kV. The analysis confirms the presence of zinc and titanium, which are related to the mineral element on the natural fiber panel after coating with the Nanoparticle. The Au element is related to the coating that is applied to view the SEM image. In addition, the oxygen and carbon elements are related to the wood panel bed of natural fibers. X-ray analysis is for studying the crystalline phase of natural fiber panel samples without and coated with ZnO-TiO₂ nanoparticles. In the XRD pattern, new strong diffraction peaks are observed in the fiber coated with ZnO-TiO₂ nanoparticles compared to raw fibers. According to the standard diffraction peaks of wurtzite ZnO and anatase TiO₂, all these diffraction peaks can be related to wurtzite ZnO and anatase TiO₂. This means that the ZnO-TiO₂ coating is successfully coated on the natural fiber panel substrate during the co-deposition method.

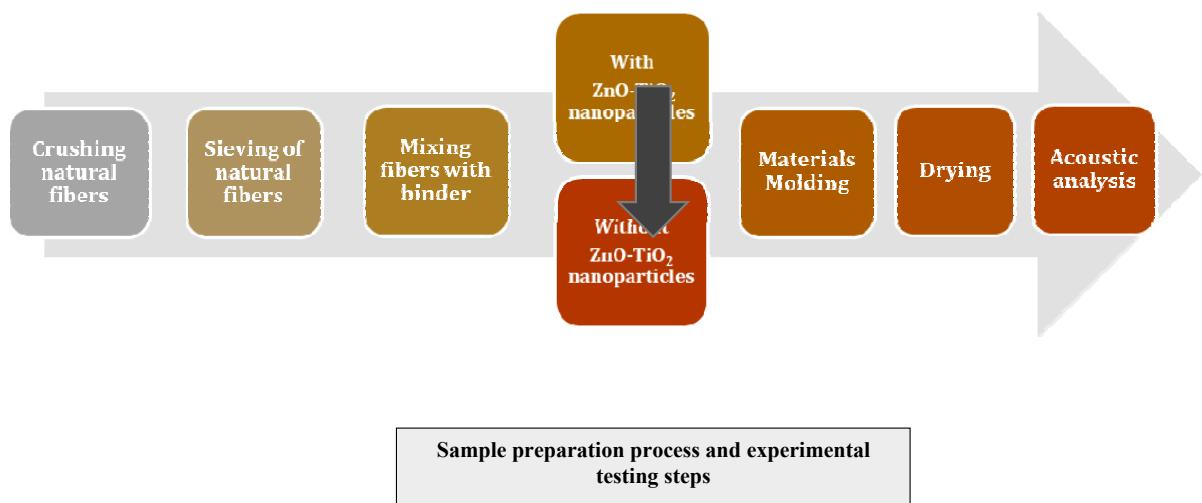


Figure 1. Kenaf Sample preparation and acoustic absorption testing

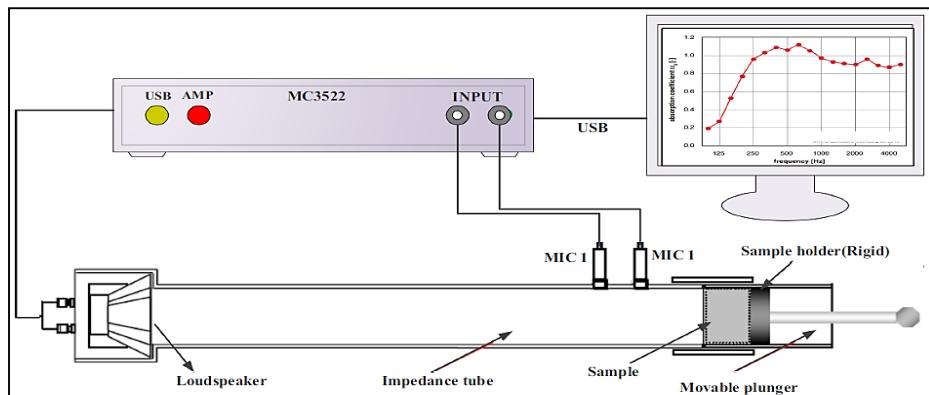


Figure 2. Schematic diagram of the acoustical measurement system

The cone calorimeter is the most important and acceptable laboratory flame test, the results of this test are also well related to the results of real-scale tests. The measured parameters by the cone calorimeter analysis are given in Table 1 for each optimized acoustic absorber (Thickness 3 cm and density 200 kg / m³) taken from natural hemp fibers with and without ZnO-TiO₂ nanoparticle coating. The time to ignition (TTI) is one of the most important parameters to assess the fire resistance of wood and cellulose. The longer TTI time, the greater the fire delay power. In natural kenaf fibers, the TTI time before and after ZnO-TiO₂ nanoparticles was 8 and 17 seconds, respectively (Table 1). The results of this study showed that the TTI time in ZnO-TiO₂ coated fibers is about 2 times in comparison with raw fibers. For raw kenaf fibers (without nanoparticle coating), the Heat Release

Rate (HRR) curve was sharp, which means that the raw natural kenaf fiber sample burns quickly and releases heat. However, the HRR curve of natural fibers coated with ZnO-TiO₂ was much smoother and relatively lower, which indicating that the intensity of combustion and heat release was slowed down. The total burning time of wood with ZnO-TiO₂ coating was twice as long as natural raw kenaf fibers. The total amount of heat released for samples coated with ZnO-TiO₂ nanoparticles was less than for samples of natural raw fibers. By adding ZnO-TiO₂ nanoparticles to natural kenaf fibers, it has reduced the total heat release rate by about 50%.

Most lignocellulosic fibers, as organic matter, are very sensitive to fire. Therefore, it is important to improve their flame retardancy to comply with safety requirements. A flame retardant is a compound or mixture of compounds that used

Table 1. Natural fiber cone calorimeter test with and without ZnO-TiO₂ nanoparticles coating

Parameters	Kenaf fiber	
	Without Coating	with coating
Initial mass (g)	56.23	56.70
Mass drop at the end of the test (g)	40.12	39.15
Final mass at the end of the test (g)	16.11	17.09
Sample thickness (mm)	30	30
Sample diameter (mm)	100	100
Bulk density (kg/m ³)	200	200
The time to ignition (s)	8	17
Flame extinguishing time (s)	471	870
Test duration for calculations (s)	471	870
Total Heat Release Rate (MJ/m ²)	42.95	23.80
Maximum Heat Release Rate intensity (kw / m ²)	158	297
Time to reach maximum Heat Release Rate intensity (s)	12	23
Average carbon monoxide production (g/s)	0.0048	0.0017
Average carbon dioxide emissions (g/)	0.33	0.12

to prevent fire or fire growth when physically or chemically added to fibers. On the other hand, one of the important features of nanoparticles is their high degree of crystallization due to the removal of amorphous parts, which can act as a barrier against heat transfer. Consequently, the resulting composite begins to melt at higher temperatures. As the crystal structure increases at the surface of natural fibers, more heat is required to melt the samples. Several studies in agreement with the present study results have shown that nanoparticles, due to their nucleating properties, accelerate the crystallization process and thus slow down the heat transfer and increase the melting temperature in composites. Moreover, according to the ASTMC423 standard, after the nanoparticles coated on kenaf fibers, the average sound absorption coefficient of natural

kenaf fibers was increased. Therefore, the fibers coated with nanoparticles have a higher sound absorption coefficient than the raw fibers.

CONCLUSION

Finally, it can be said that the modification of fibers by nanoparticles has been effective in improving the ignition and acoustic properties of natural kenaf fibers. The results of the present study confirm the effect of ZnO-TiO₂ nanoparticles in improving the properties of hemp fibers. It is necessary to note that due to the outstanding benefits of natural fibers (economic and environmental benefits) and increasing the use of these fibers as multifunctional acoustic composites, the process of coating fibers with nanoparticles is a good way to improve the overall properties of composites.

How to cite this article:

Seyed Ehsan Samaei, Somayeh Amininasab, Fatemeh Salimi, Mohammad Javad Sheikhmozafari, Reza Nadianmehr, Ali kazemi Tabrizi, Ebrahim Taban. Investigation of the effect of nanoparticles on the acoustic and flammability behavior of natural kenaf fibers. Iran Occupational Health. 2022 (01 June);19:11.

*This work is published under CC BY-NC 4.0 licence





بررسی تأثیر نانوذرات بر رفتار آکوستیک و اشتعال‌پذیری الیاف طبیعی کنف

سید احسان سمامی: گروه مهندسی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران.
سمیله امینی نسب: گروه مهندسی آکوستیک، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.

فاطمه سلیمانی: گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

محمد جواد شیخ مظفری: گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

رضا نادیان مهر: گروه مهندسی آکوستیک، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.

علی کاظمی تبریزی: گروه صایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ازاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

ابراهیم تابان: (*نویسنده مسئول) گروه مهندسی بهداشت محیط و حرفه ای، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
tabane@mums.ac.ir

چکیده

کلیدواژه‌ها

نانوذرات
آکوستیک
اشتگیری
الیاف طبیعی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

زمینه و هدف: استفاده از الیاف طبیعی کنف به عنوان مواد سبز و پایدار، به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بارز، به عنوان جایگزین بالقوه برای الیاف مصنوعی در صنایع کامپوزیتی شناخته می‌شود. یکی از روش‌های مؤثر در بهبود خواص این الیاف، مخصوصاً در مواجهه با آتش، ایجاد پوشش نانویی با مواد غیرآلی (معدنی) بر روی سطح الیاف است. در این راستا، تحقیق حاضر، با هدف بهبود خواص آکوستیکی و آتش‌گیری الیاف طبیعی کنف با استفاده از نانوذرات معدنی انجام شد.

روش بررسی: مطالعه‌ی حاضر، از نوع مطالعه‌ی تجربی مقطعی در مقایسه آزمایشگاهی است. ستر نانوذرات $ZnO-TiO_2$ به روش هم‌رسوبی بود و ویژگی‌های آن با استفاده از آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD)، پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) و میکروسکوپ الکترونی روشنی (SEM) تعیین شد. در این مطالعه، اثر بازدارندگی شعله به وسیله‌ی دستگاه گرماسنج مخوبی و مطالعه‌ی ضربی جذب صوتی (تحت زاویه نرمال) بهمنظور بررسی رفتار آکوستیک الیاف طبیعی توسط لوله‌ی امدادانس و بر اساس روش تابع انتقال و استاندارد ISO10534-2 اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، زمان افزایش (TTI) در الیاف با پوشش $ZnO-TiO_2$ در مقایسه با الیاف خام، حدود ۲ برابر شد و زمان کل سوختن در الیاف با پوشش نانوذرات از ۴۷۱ به ۸۷۰ ثانیه رسیده و میزان تولید دی‌اکسید کربن در الیاف خام و با نانوذرات $ZnO-TiO_2$ از $0/۳۳$ به $0/۱۲$ رسیده است. همچنین این نوع الیاف، از ضربی جذب صوتی بالاتری نسبت به الیاف خام برخوردار بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به مزایای بر جسته‌ی الیاف کنف (مزایای اقتصادی و محیط زیستی) و افزایش استفاده از این دسته از الیاف به عنوان کامپوزیت‌های چندمنظوره، فرآیند پوشش دهنی این الیاف با نانوذرات، روش مناسبی برای بهبود خواص حرارتی و آکوستیکی تلقی می‌شود.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: ندارد.

شیوه استناد به این مقاله:

Seyed Ehsan Samaei, Somayeh Amininasab, Fatemeh Salimi, Mohammad Javad Sheikhmozafari, Reza Nadianmehr, Ali kazemi Tabrizi, Ebrahim Taban. Investigation of the effect of nanoparticles on the acoustic and flammability behavior of natural kenaf fibers. Iran Occupational Health. 2022 (01 June);19:11.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

دیگر ناشی می‌شوند و به موضوع تحقیقات در زمینه‌ی کنترل آلودگی صوتی تبدیل شده است (۱۲، ۱۳).

جدا از خواص مطلوب اشاره شده در این نوع الیاف، هنوز محدودیت‌ها و اشکالاتی بر این دسته الیاف حاکم است که امکان استفاده از آن‌ها را به عنوان جایگزین برای الیاف مصنوعی در ساخت کامپوزیت‌های کنترل آلودگی صوتی، محدود می‌کند. در این راسته، الیاف طبیعی در تماس با آتش یا منبع حرارت، بهشدت در معرض تجزیه و احتراق گرمایی قرار می‌گیرند که مانع استفاده از این مواد در شرایط دمای بالا می‌شود. برای توسعه‌ی کاربردهای عملی الیاف طبیعی در زمینه‌ی جذب صوتی، بهبود و بازدارندگی شعله در این دست از مواد بسیار ضروری و قابل توجه است. در حال حاضر، مطالعات زیادی جهت بهبود مقاومت در برابر شعله در مواد طبیعی انجام شده است که سه روش کارآمد و امکان‌پذیر در این مطالعات شامل اشباع^۱، اختلاط^۲ و تشكیل پوشش‌های سطحی^۳ گزارش شده است؛ بهخصوص ایجاد پوشش نانویی با مواد غیرآلی (معدنی) بر روی سطح مواد چوبی، به دلیل جنبه‌های اقتصادی و عملی، یک روش بالقوه و امیدوارکننده برای افزایش مقاومت در برابر آتش در نظر گرفته می‌شود (۱۴، ۱۵). نانوفن‌آوری، در تولید مصالح مختلف، کاربردهای فراوانی دارد که می‌تواند باعث کاهش وزن، افزایش مقاومت، افزایش سطح، افزایش طول عمر، خواص خودتمیزشوندگی و ویژگی‌های دیگر شود. در سال‌های اخیر، نانو مواد در ساخت جاذب‌ها و عایق‌های صوتی، به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد، رشد فزاینده‌ای داشته است. انتخاب مواد، نقش مهمی در جذب و افت انتقال صوت در یک ساختار بازی می‌کند (۱۶، ۱۸)، می‌توان انتظار داشت که اثرات هم‌افزایی ناشی از فعل و انفعالات فیزیکی یا شیمیایی بین پوشش معدنی و بستر چوبی الیاف، قادر به تولید خواصی نظری بهبود ثبات حرارتی، مکانیکی و ابعادی باشد. به عنوان مثال، طبق تحقیقات Sun، کامپوزیت ساخته شده از مواد چوبی و پوشش سطحی اکسید تیتانیوم (TiO_2)، پیشرفت زیادی در مقاومت در برابر آتش نشان داد. در همین حال، از پوشش نانوذرات اکسیدروی (ZnO) و مشتقات آن به طور گستردگی در بازدارنده‌های آتش استفاده شده است و همچنین استفاده از پوشش نانوذرات، زمینه‌ی را جهت انجام تحقیقات و توسعه‌ی گستره‌ی ترکیبات ضد حریق برای انواع مواد طبیعی فراهم کرده است (۱۹، ۲۰).

مقدمه

آلودگی صوتی، امروزه باعث ایجاد خطرات شدید بهداشتی نظری ناراحتی، وزوز گوش، اختلال خواب یا حتی بیماری‌های ایسکمیک قلبی شده است؛ از این‌رو، کنترل سروصدای از اهمیت زیادی برخوردار است (۱). یکی از روش‌های فنی-مهندسی و مؤثر برای کنترل صدا، استفاده از جاذب‌های صوتی است (۲). استفاده از جاذب‌های صوتی به عنوان یک روش کنترلی پسیو، یکی از مؤثرترین راه‌ها برای کنترل صدای ناشی از انعکاس است. اساس کنترل مبتنی بر جذب، این است که از طریق افزایش ضربی جذب سطوح کارگاه، میزان صدای انعکاسی کم شده و درنتیجه، صدای کلی کاهش یابد (۳).

استفاده از الیاف طبیعی به عنوان ماده‌ی تقویت‌کننده‌ی سازگار با محیط‌زیست در ساخت کامپوزیت‌های هیبریدی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بارزی همچون تجدیدپذیری، دسترسی آسان و کم‌هزینه بودن، خواص استحکامی بالا، وزن سبک، چگالی کم، خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی کم و همچنین داشتن خواص مکانیکی، حرارتی و آکوستیکی مطلوب، منجر به استفاده یروزافرودن از این دسته الیاف به عنوان جایگزینی بالقوه برای الیاف مصنوعی در صنایع کامپوزیتی شده است (۴، ۵)؛ به طوری که استفاده از الیاف طبیعی به عنوان تقویت‌کننده، سبب دگرگونی در کاربردهای فنی مرتبط با صنایع خودرو، بسته‌بندی، صنایع عایق و صنایع ساختمانی شده است (۶، ۷).

یکی از پرکاربردترین نوع الیاف طبیعی، الیاف کنف می‌باشد که دارای سابقه‌ی طولانی کشت در برخی مناطق جهان نظری مناطق شمال ایران است. در سال‌های گذشته، عمده‌تاً از این الیاف در تولید طناب، ریسمان، پارچه و کاغذ استفاده می‌شد؛ اما امروزه تقاضا برای استفاده از این الیاف در ساخت کامپوزیت‌های هیبریدی چندمنظوره افزایش یافته است (۸). استفاده از الیاف طبیعی کنف به عنوان محصولات سبز و پایدار، با تأثیر زیست‌محیطی کم در آلودگی ناشی از صنایع، باعث افزایش علاقه به استفاده‌های جایگزین از مواد طبیعی و بازیافتی و ضایعات ناشی از سایر فرآیندهای تولید شده است (۹، ۱۰). عنصر مشترک الیاف طبیعی، منشأ طبیعی آن‌ها است؛ به طوری که از نظر «صرف انرژی» و اثرات بهداشتی، انتظار تأثیر بسیار کمتری در مقایسه با مواد مصنوعی دارند (۱۱). همچنین الیاف طبیعی مانند الیاف کنف، نوعی از فرآورده‌های کشاورزی هستند و یا از چرخه‌های تولیدی

1 Impregnation

2 Incorporation

3 Formation of surface coating

(EDAX) و بررسی مورفولوژیک^۴ سطحی نانو ذرات، توسط دستگاه FE-SEM TESCAN MIRA3 انجام شد.

دستگاه گرماسنجدخروطی

آزمون گرماسنجدخروطی^۵ یکی از مهمترین آزمون‌ها در مقیاس آزمایشگاهی برای بررسی خواص ضد شعله‌ی محصولات مختلف است. آزمون گرماسنجدخروطی، دستگاهی برای آزمون اشتعال است که از روی مصرف اکسیژن، اشتعال پذیری ذاتی ماده را اندازه‌می‌گیرد. در این آزمون، نمونه با ابعاد استاندارد روی وزنه‌ای قرار گرفت؛ به‌گونه‌ای که کاهش جرم آن در طی احتراق ثبت شد. در حین آزمون، ماده تحت تابش قرار گرفت، احتراق به‌وسیله‌ی جرقه‌ی الکتریکی آغاز شد و نمونه تحت شار گرمایی مشخص ($100-100 \text{ kw/m}^2$) قرار گرفت. اساس کار، اندازه‌گیری میزان کاهش غلظت اکسیژن در گازهای سوختی بود. داده‌ها در ۲۵۰ ثانیه‌ی اول ثبت شدند و گرمای آزادشده از مصرف انرژی در حین احتراق محاسبه شد (همچنین در این مطالعه، گازهای تولیدشده از احتراق به‌وسیله‌ی فن و هود سانتریفیوژی جذب شد). غلظت اکسیژن، مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن و همچنین دانسیته دود تولیدشده اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، از روی غلظت اکسیژن و نرخ گاز، گرمای آزادشده در واحد سطح و واحد زمان محاسبه شد^(۶). شکل ۱، تصویر شماتیک دستگاه گرماسنجدخروطی را نشان می‌دهد. در این پژوهش، از آزمون گرماسنجدخروطی برای انجام تست بازدارندگی آتش در هر دو نمونه‌ی الیاف طبیعی کنف قبل و بعد از پوشش نانو ذرات ZnO-TiO₂ با ضخامت و چگالی مشخص (ضخامت ۳۰ میلی‌متر و چگالی ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تهران بر اساس استاندارد ملی ۱-۷۲۷۲ و بین‌المللی ISO ۵۶۰۰-۱ انجام گرفت. ابعاد نمونه‌ها، بر طبق استاندارد $100 \times 100 \text{ mm}^2$ و میزان تابش 50 kw/m^2 (معادل ۷۵۷ °C)^(۷) بود.

آماده‌سازی نمونه و تعیین جذب صوتی

نمونه‌های مورد نظر (به شکل الیاف تودهشده)، در درون قالبی مطابق با ابعاد لوله‌ی امپدانس، یعنی به قطر داخلی ۱۰ و ۳ سانتی‌متری به ضخامت ۳ سانتی‌متر با چگالی ثابت ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ساخته شدند. کلیه‌ی نمونه‌ها پس

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا و عدم انجام مطالعات داخلی در خصوص تأثیر پوشش نانو ذرات بر خواص صوتی و حرارتی الیاف طبیعی، این مطالعه با هدف بهبود خواص آکوستیکی و آتش‌گیری الیاف طبیعی کنف با استفاده از نانو ذرات معدنی ZnO-TiO₂ انجام شد.

مواد و روش‌ها

سنتر نانو ذرات ZnO-TiO₂ و پوشش دهنی بر روی الیاف طبیعی کنف

نحوه‌ی سنتر نانو پودر ZnO-TiO₂ به روش همرسوبی^۱ بود. ابتدا نیترات روی (Zn(NO₃)₂, Merck) و سولفات تیتانیوم (Ti(SO₄)₂) با نسبت مولی یکسان درون آب مقطر حل شد، سپس عامل رسوب‌دهنده به صورت قطره‌ای به محلول NaOH در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اضافه شد (در این مرحله، برای تعیین و نگهداری محلول در دمای RCT IKA مدل basic استفاده شد). سپس توسط همزن مغناطیسی هم زده شد (۱۲۰۰ دور در دقیقه) تا pH آن به مقدار عددی ۹ برسد. سپس با حفظ شرایط موجود، محلول به مدت چهار ساعت هم زده شد. برای جدا کردن آب و ماده‌ی جامد، از فیلتر استفاده شد و شستشوی رسوب توسط آب مقطر انجام شد. رسوب در داخل آون در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک گردید؛ و درنهایت رسوب به درون کوره‌ی کلسیناسیون در دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کلسینه شد و نانو پودر ZnO-TiO₂ استخراج شد. در مرحله‌ی آخر نیز الیاف طبیعی کنف، توسط نانو ذرات ZnO-TiO₂ با غلظت ۵ درصد وزنی به صورت غوطه‌وری (در حمام اولتراسونیک) آغشته شد و جهت انجام تست‌های آنالیز شیمیایی قبل و بعد از پوشش، به آزمایشگاه منتقل شد.

مشخصه‌یابی ترکیبات

جهت ثبت الگوی پراش پرتو ایکس^۲ (XRD)، در این مطالعه از دستگاه Philips PW 1800 مدل XRD استفاده شد. الگوهای پراش با استفاده از لامپ CuKα با طول موج (λ) ۱/۵۴۲ آنگstrom، در گستره‌ی زاویه‌ی (θ) ۱۰-۷۰ گزارش شد. فازهای موجود در هر الگو، از طریق مقایسه‌ی زاویه و شدت پیک‌های پراش بر اساس اطلاعات موجود در کارت‌های استاندارد، مشخص و تعیین شد؛ همچنین آنالیز پرتو ایکس^۳

¹ Co-precipitation

² X-ray Powder Diffraction (XRD)

³ Energy Dispersive X-ray Analysis (EDXA or EDAX)



شکل ۱. تصویر شماتیک و واقعی دستگاه گرماسنج مخروطی

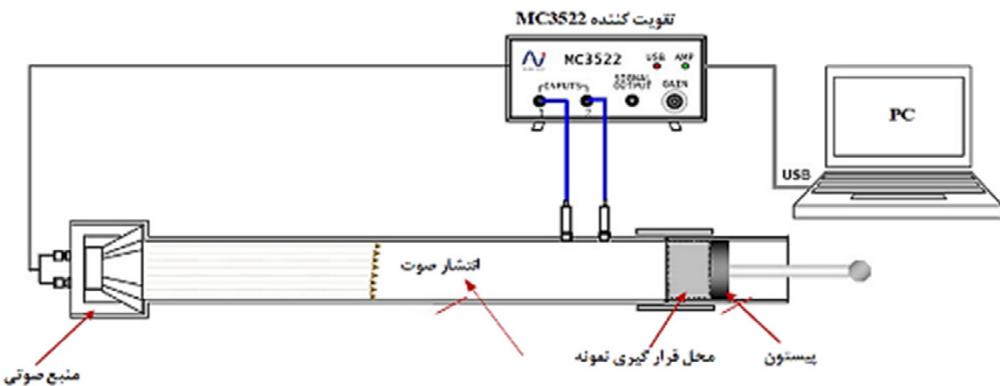


شکل ۲. مراحل ساخت نمونه‌های جاذب صوتی

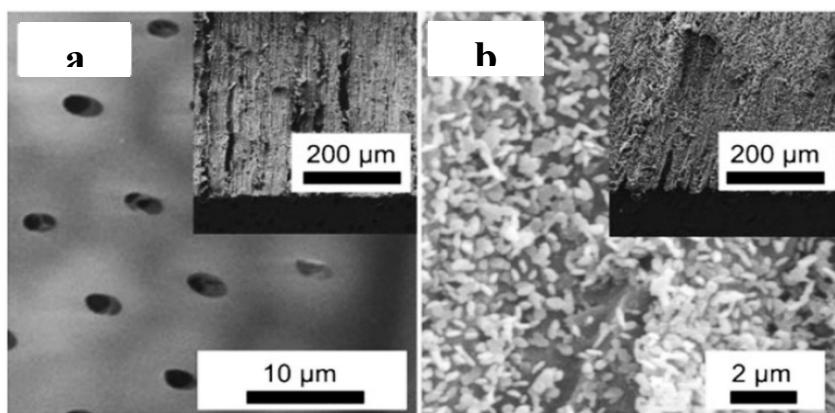
۳). این لوله، برای تعیین ضریب جذب و انتقال صوت در مواد متخلخل و یا برای تعیین امپدانس سطحی استفاده می‌شود. در این دستگاه، امواج صوتی توسط یک منبع تولید صدا در لوله ایجاد می‌شوند. از طریق اندازه‌گیری فشارهای آکوستیکی در دو مکان ثابت با استفاده از میکروفون‌های نصب شده بر دیواره‌ی لوله و محاسبه‌ی تابع تبدیل آکوستیکی مختلط، جذب صوت در حالت برخورد عمود و نسبت‌های امپدانس ماده‌ی جاذب محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود. سیستم لوله‌ی امپدانس صوتی مجهز به لوله با قطر بزرگ (۱۰ سانتی‌متر) برای اندازه‌گیری ضریب جذب و افت انتقال صوت در فرکانس‌های پایین (۶۳ - ۱۶۰۰ هرتز) و لوله با قطر کوچک (۳ سانتی‌متر) برای اندازه‌گیری ضریب جذب و افت انتقال صوت در فرکانس‌های بالا (۶۳۰۰ - ۱۶۰۰ هرتز) کاربرد دارد.

از قالب‌گیری، به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه قرار می‌گرفتند تا رطوبت آن‌ها کاملاً خشک شود. مراحل مختلف ساخت کامپوزیت ساخته شده توسط الیاف طبیعی، در شکل ۲، نشان داده شده است.

به‌منظور بررسی رفتار آکوستیکی، از روش اندازه‌گیری ضریب جذب صوتی استفاده شد. به‌طور کلی، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ضریب جذب صوتی وجود دارد. در این مطالعه، ضریب جذب صوت در زاویه‌ی برخورد مستقیم، توسط لوله‌ی امپدانس واقع در دانشگاه تربیت مدرس (مدل ۴۷۷ ساخت شرکت BSWA کشور چین) و بر اساس روش تابع انتقال و استاندارد ISO10534-2 اندازه‌گیری شد (۲۲). در یک انتهای این لوله‌ی استوانه‌ای شکل و غیرمتخلخل، محل قرارگیری نمونه‌ها و در انتهای دیگر آن، بلندگوی تولید صدا قرار دارد (شکل



شکل ۳. تصویر شماتیک امدادانس تیوب جهت تعیین جذب صوتی در الیاف کنف

شکل ۴. تصاویر SEM الیاف طبیعی (a: الیاف طبیعی خام b: الیاف طبیعی پوشش داده شده با نانوذرات $ZnO-TiO_2$)

عنصر طلا، مربوط به روکشی است که برای مشاهدهٔ تصویر SEM اعمال شده است و عناصر اکسیژن و کربن مربوط به بستر پنل چوبی الیاف طبیعی می‌باشند.

آنالیز پراش اشعهٔ X، برای بررسی فاز کریستالی نمونه‌های پنل الیاف طبیعی بدون و پوشش داده شده با نانوذرات $ZnO-TiO_2$ است. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده، الگوی XRD در پنل الیاف پوشش داده شده به نانوذرات $ZnO-TiO_2$ (منحنی d) در مقایسه با الیاف طبیعی خام تیمارنشده (منحنی a)، دارای پیک‌های پراش قوی جدیدی مشاهده می‌شود. با توجه به پیک‌های استاندارد پراش ZnO ورتزیت (منحنی b) و TiO_2 آناتاز (منحنی c)، همه‌ی این پیک‌های پراش را می‌توان به ورتزیت و TiO_2 آناتاز مربوط دانست. این بدان معناست که پوشش $ZnO-TiO_2$ طی روش همروسوی با موفقیت روی بستر پنل الیاف طبیعی پوشش یافته است.

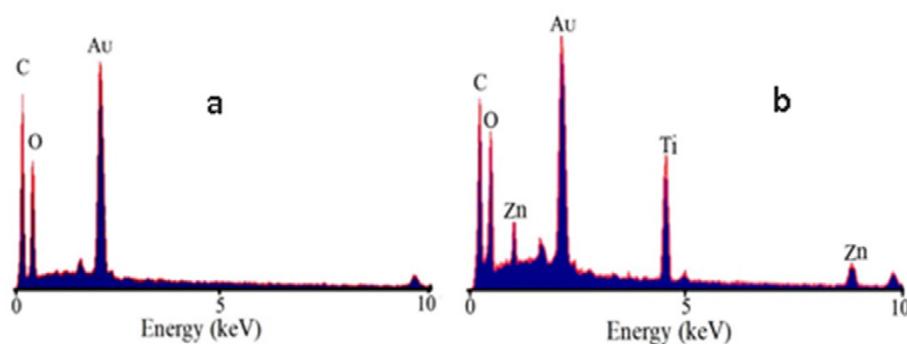
آزمون گرماسنج مخروطی
گرماسنج مخروطی، مهم‌ترین و مقبول‌ترین آزمون

یافته‌ها

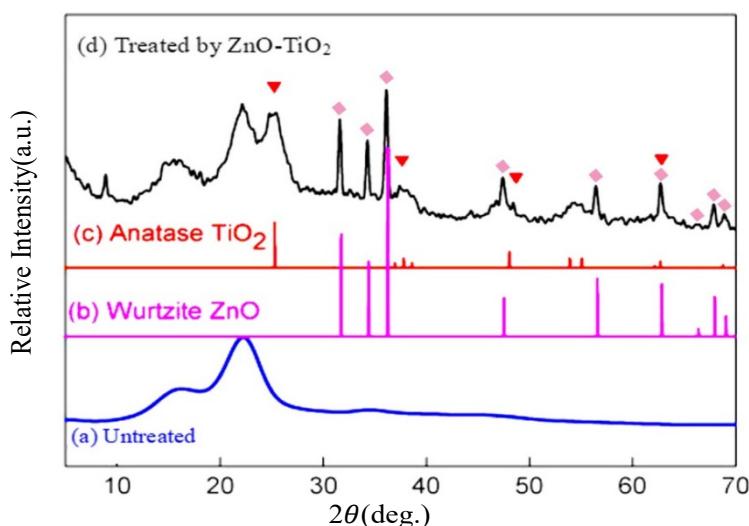
بررسی آنالیز ریز ساختار الیاف طبیعی بدون و پوشش داده شده با نانوذرات $ZnO-TiO_2$

سطح مقطع SEM گرفته شده از الیاف طبیعی قبل و بعد از پوشش دهنده نشان داده شده است (شکل ۴). از تصویر SEM سطح مقطع بعد از پوشش دهنده (تصویر داخلی b) و مقایسه با تصویر داخلی شکل a، می‌توان بهوضوح مشاهده کرد که سطح الیاف طبیعی شامل آوندهای آن توسط نانوذرات $ZnO-TiO_2$ بهصورت متراکم پوشش یافته است. کاملاً واضح است که سطح و حفرات الیاف طبیعی، کلاً توسط ذرات ترکیب $ZnO-TiO_2$ پوشش یافته‌اند. بر اساس این تصاویر، اندازهٔ نانوذرات $ZnO-TiO_2$ حدود ۸۰ nm تا ۲۰۰ nm است.

ترکیب عنصری نمونه‌های پنل الیاف طبیعی قبل و بعد از پوشش داده شده با نانوذرات $ZnO-TiO_2$ بر اساس طیف EDX آنالیز شد. پیک‌های قوی در حدود ۴/۶، ۱۱/۰ و ۸/۷ کیلوولت (مشخص شده در شکل ۵)، حضور روی و تیتانیوم را تأیید می‌کند و مربوط به عنصر مادهٔ معدنی روی پنل الیاف طبیعی بعد از پوشش به نانوذرات است.



شکل ۵. آنالیز EDX مربوط به نمونه (a: نمونه ای الیاف خام، b: الیاف طبیعی پوشش داده شده با نانوذرات ZnO-TiO_2)



شکل ۶. تصاویر طیف XRD مربوط به نمونه الیاف طبیعی (a: نمونه الیاف خام، b: استاندارد آناتاز و c: استاندارد ZnO ، d: الیاف طبیعی پوشش داده شده به نانوذرات ZnO-TiO_2)

در الیاف پوشش یافته با ZnO-TiO_2 در مقایسه با الیاف خام حدود ۲ برابر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تأخیر در آتش‌گیری بستر الیاف طبیعی به‌طور مؤثری با مواد پوشش داده شده توسط ZnO-TiO_2 تقویت شده است. میزان رهایش گرمای^۲ (HRR)، مهم‌ترین پارامتر در بررسی اشتعال‌پذیری مواد است؛ زیرا حرارت آزادشده از سوختن مواد، انرژی گرمایی بیشتری را برای رشد و پخش شعله فراهم می‌کند. علاوه بر این، پارامترهای دیگری مانند کل رهایش گرمای، تولید دود و رهایش CO به مقدار HRR وابسته هستند. پیک HRR در مدت زمان کوتاه و اغلب بعد از افروزش ظاهر می‌شود و معمولاً معیار خوبی برای ارزیابی اشتعال‌پذیری مواد است. منحنی‌های میزان رهایش گرمای بر حسب زمان برای الیاف طبیعی کنف با و بدون پوشش داده شده به نانوذرات ZnO-TiO_2 در شکل

آزمایشگاهی شuele است که نتایج آن نیز به‌خوبی با نتایج آزمایش‌ها مقایس حقیقی مرتبط است. پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط آنالیز گرماستنج مخروطی، در جدول ۱، برای هر جاذب آکوستیکی بهینه شده (ضخامت ۳ سانتی‌متر و چگالی ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) برگرفته شده از الیاف طبیعی کنف با و بدون پوشش نانوذرات ZnO-TiO_2 آورده شده است.

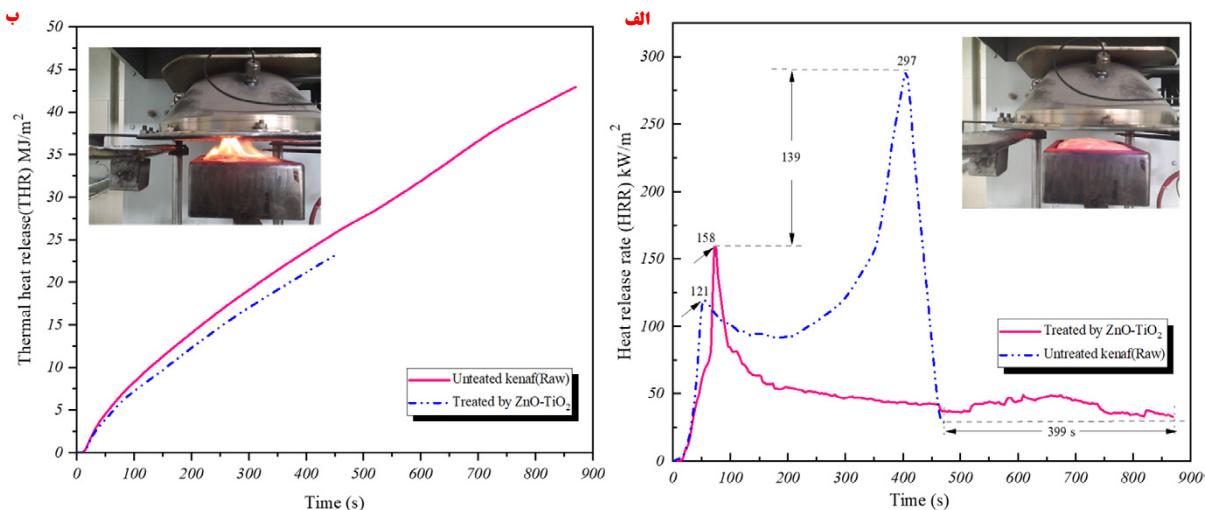
زمان وقوع افروزش^۱ (TTI)، یکی از مهم‌ترین پارامترها برای ارزیابی توانایی مقاومت ماده‌ی چوبی و سلولزی در برابر آتش است. هرچه زمان وقوع افروزش بیشتر باشد، قدرت تأخیراندازی آتش بیشتر است؛ همان‌طور که در جدول ۱ گزارش شد، در الیاف طبیعی کنف زمان TTI قبل بعد از نانوذرات ZnO-TiO_2 به ترتیب ۸ و ۱۷ ثانیه بود. نتایج برگرفته از این مطالعه، نشان داد که زمان

² Heat release rate

۱ The time to ignition

جدول ۱. نتایج حاصل از آزمون گرماسنج مخروطی الیاف طبیعی با و بدون پوشش نانو ذرات ZnO-TiO₂ تحت تابش kw.m-۲۵۰

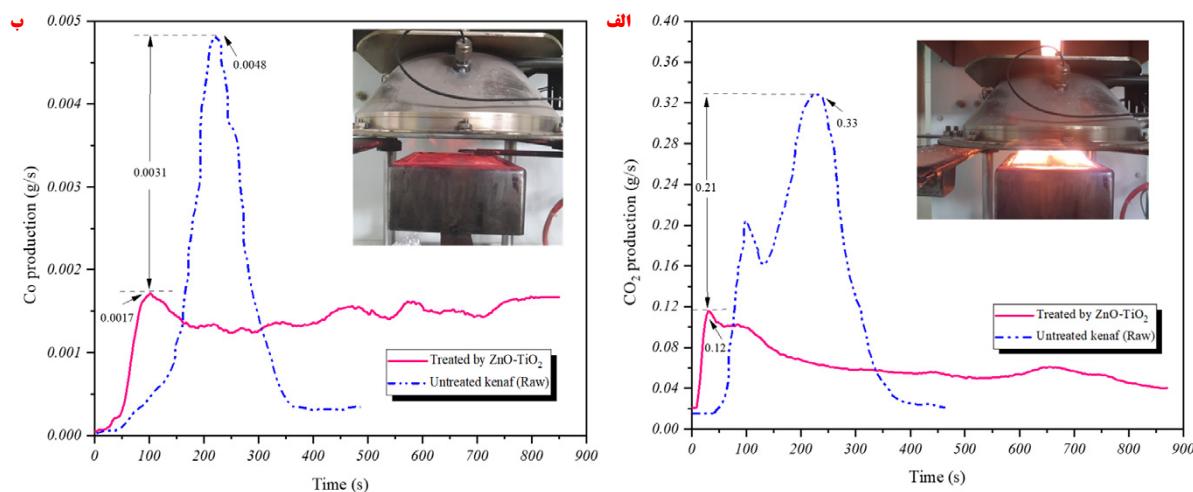
کنف		پارامترهای مورد بررسی
با پوشش	بدون پوشش	
56/70	56/23	جرم اولیه (g)
39/15	40/12	افت جرم در پایان آزمون (g)
17/09	16/11	جرم نهایی آزمونه در پایان آزمون (g)
30	30	ضخامت آزمونه (mm)
100	100	قطر نمونه (mm)
200	200	چگالی بالک (kg/m ³)
17	8	زمان وقوع افروزش (s)
870	471	زمان خاموش شدن شعله (s)
870	471	طول مدت آزمون برای محاسبات (s)
23/80	42/95	کل رهایش گرما (MJ/m ²)
297	158	حداکثر شدت رهایش گرما (kW/m ²)
23	12	زمان رسیدن به حداکثر شدت رهایش گرما (s)
5/95	6/68	میانگین سطح تبرگی ویژه (m ² /kg)
0/0017	0/0048	میانگین تولید منوكسید کربن (g/s)
0/12	0/33	میانگین تولید دیاکسید کربن (g/s)

شکل ۷. منحنی شدت رهایش گرما (الف) و کل رهایش گرما (ب) برای الیاف طبیعی کنف قبل و بعد از پوشش نانو ذرات ZnO-TiO₂ تحت تابش kw.m-۲۵۰

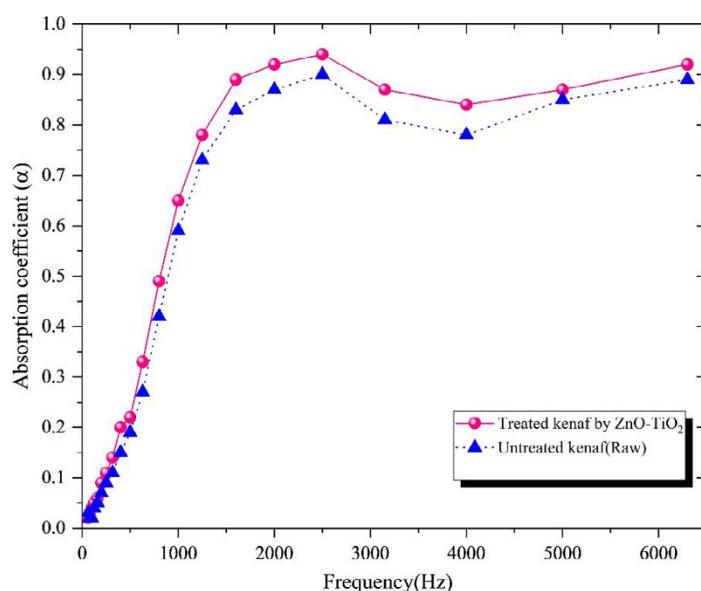
زمان کل سوختن در الیاف طبیعی کنف بدون و با پوشش به نانو ذرات ZnO-TiO₂ از ۴۷۱ به ۸۷۰ ثانیه می‌رسد؛ این بدان معناست که پوشش ZnO-TiO₂ انتقال گرما به بستر الیاف طبیعی را به تأخیر انداخته و درنتیجه سرعت گازهای فرار اشتعال پذیر از پوشش حرارتی الیاف سلولزی را کم کرده است. شکل ۷ (ب)، منحنی کل رهایش گرما^۱ (THR) بر حسب زمان برای الیاف طبیعی کنف با و بدون پوشش داده شده به نانو ذرات ZnO-TiO₂ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده شد، پوشش ZnO-TiO₂ در مقایسه با الیاف طبیعی کنف خام، کمتر است،

¹ Thermal heat release

۷ (الف)، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای الیاف طبیعی کنف خام (بدون پوشش نانو ذرات)، منحنی HRR شدید و تندر بود و این بدان معناست که نمونه‌ی الیاف طبیعی کنف خام به سرعت می‌سوزد و گرما را زاد می‌کند؛ اما منحنی HRR الیاف طبیعی پوشش Yافته با ZnO-TiO₂ خیلی ملائم‌تر و نسبتاً پایین‌تر بود که نشان می‌دهد شدت سوختن و رهایش گرما آهسته و کم شده است. به علاوه دو پیک رهایش گرما در خصوص الیاف پوشش یافته با ZnO-TiO₂ در مقایسه با الیاف پوشش داده نشده، به طور قابل توجهی کاهش یافته است که نشان می‌دهد الیاف پوشش داده شده، بهتر آتش را به تأخیر می‌اندازد. زمان کلی سوختن چوب با پوشش ZnO-TiO₂ دو برابر بیشتر از الیاف طبیعی کنف خام بود؛ به طوری که



شکل ۸. منحنی تولید دیاکسید کربن (الف) و مونواکسید کربن (ب) برای الیاف طبیعی کنف قبل و بعد از پوشش نانوذرات ZnO-TiO₂ تحت تابش kw.m-۲۵۰



شکل ۹. منحنی تولید مقایسه‌ی ضریب جذب آکوستیکی الیاف طبیعی کنف بدون و با پوشش نانوذرات ZnO-TiO₂

در طول آزمون آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزودن نانوذرات بر روی الیاف طبیعی کنف، مقادیر تولید منوکسید و دیاکسید کربن کاهش یافته است. نتایج برگرفته از تحقیق، بیانگر آن است که میزان تولید دیاکسید کربن در الیاف طبیعی کنف بدون و با پوشش به نانوذرات ZnO-TiO₂ از ۰/۳۳ به ۰/۱۲ رسیده است؛ همچنین تولید منوکسید کربن در الیاف طبیعی کنف بدون و با پوشش به نانوذرات ZnO-TiO₂ از ۰/۰۰۴۸ به ۰/۰۰۱۷ رسیده است. این امر، با نتایج شدت رهایش گرما که به صورت تناسبی با اکسیژن مصروفی برای سوختن محاسبه می‌شود، در تطابق است. همچنین از مقایسه‌ی این دو شکل، مشاهده می‌شود که تولید منوکسید کربن

به طوری که در الیاف طبیعی کنف بدون و با پوشش یافته ZnO-TiO₂ منحنی کل رهایش گرمایی از ۴۲/۹۵ به ۲۳/۸۰ مگاژول بر کیلوگرم رسیده است؛ به عبارت دیگر، افزودن نانوذرات ZnO-TiO₂ سبب کاهش کل رهایش گرما شده است. هرچه میزان گرمای آزادشده در هنگام احتراق کمتر باشد، سرعت سوختن پایین‌تر است. بر طبق جدول ۱ و شکل ۷، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن نانوذرات ZnO-TiO₂ به الیاف طبیعی کنف، میزان کل رهایش گرما را در حدود ۵٪ کاهش داده است.

از دیگر پارامترهای قابل اندازه‌گیری در آزمون گرماسنج مخروطی، تولید منوکسید کربن و دیاکسید کربن است. در شکل ۸، منحنی‌های تولید این دو گاز

پوشش داده شده توسط $ZnO-TiO_2$ تقویت شده است. بیشتر الیاف لیگنوسولولوزی به عنوان مواد آلی، بسیار به آتش حساس هستند؛ بنابراین، بهبود بازدارندگی شعله‌ی آن‌ها برای مطابقت با ملزمات ایمنی، اهمیت دارد. بازدارندگی شعله، یک ترکیب یا مخلوطی از ترکیب‌ها است و زمانی که به طور شیمیایی و یا فیزیکی بر روی الیاف اضافه می‌شود یا شرکت داده می‌شود، جلوگیری از آتش گرفتن یا رشد آتش را انجام می‌دهد (۲۵).

از طرف دیگر، یکی از ویژگی‌های مهم نانو ذرات، درجه‌ی تبلور بالای آن در اثر حذف بخش‌های آمورف است که می‌تواند به عنوان مانع در برابر انتقال گرما عمل کند و درنتیجه کامپوزیت حاصل، در دماهای بالاتر شروع به ذوب کند. با بیشتر شدن ساختار بلوری در سطح الیاف طبیعی، گرمای بیشتری برای ذوب نمونه‌ها مورد نیاز است (۲۶). مطالعات متعدد هم‌راستا با نتایج حاضر، مشخص کرده‌اند که نانو ذرات به دلیل داشتن خاصیت هسته‌زایی، موجب تسريع در فرآیند بلورسازی شده و درنتیجه موجب کند شدن انتقال گرما و افزایش دمای ذوب در کامپوزیت‌ها می‌شود (۲۷-۲۹). پایداری کامپوزیت در برابر آتش‌گیری، به طور چشمگیری به لایه‌ی نانو ذرات تشکیل شده در سطح آن بستگی دارد. درواقع این لایه با انتشار گازهای فرار اشتعال زا از قسمت‌های داخلی به سطح الیاف، موجب عایق شدن لایه‌های زیرین و توقف انتشار گازهای فرار ایفا می‌کند (۳۱-۲۹). کاهش مقدار حرارت آزادشده در اثر حضور نانو ذرات معدنی را می‌توان به تشکیل لایه‌ی بر روی سطح الیاف طبیعی نسبت داد که به عنوان محافظتی در برابر گرما و انتقال جرم عمل می‌کند. درواقع پس از شروع تجزیه گرمایی، مقدار ماده سازنده الیاف طبیعی روی سطح کاهش یافته و کسر حجمی نانو ذرات به طور موضعی افزایش می‌یابد. با افزایش دما سپر گرمایی بر روی الیاف تشکیل می‌شود. این سپر، از لحظه‌ی تشکیل با کاهش سرعت انتشار گازهای فرار اشتعال زا موجب کاهش مقدار حرارت تولید شده و به تأخیر انداختن تخریب گرمایی کامپوزیت ساخته شده می‌شود (۳۰، ۳۱). البته نباید از نظر دور داشت که نانو ذرات با ایجاد شبکه‌های عرضی با زنجیره‌های الیاف، نقش مهمی در کند شدن فرآیند سوختن دارد (۳۰، ۳۲-۳۴). در این مطالعه، پوشش $ZnO-TiO_2$ انتقال گرما به بستر چوب را به تأخیر انداخته و بنابراین میزان میزان سوختن مواد فرار قابل اشتعال حاصل از تجزیه‌ی حرارتی چوب را کاهش می‌دهد (۳۵)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الیاف طبیعی پوشش داده شده

در مقایسه با دی‌اکسید کربن در دو حال با و بدون پوشش نانو ذرات کمتر و میزان گاز سمی ناشی از احتراق کاهش یافته است (شکل ۸).

ضریب جذب صوتی الیاف بدون و با پوشش داده شده با نانو ذرات $ZnO-TiO_2$

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، نمودار ضریب جذب صوتی الیاف طبیعی کنف خام و با پوشش نانو ذرات $ZnO-TiO_2$ مشخص است. بر طبق استاندارد ASTM C423، میانگین ضریب جذب آکوستیکی الیاف طبیعی کنف در ضخامت ۳۰ میلی‌متر و چگالی بالک ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بدون و با پوشش نانو ذرات به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۴۸ است. همان‌طور که می‌بینید، الیاف با پوشش نانو ذرات نسبت به الیاف خام، از ضریب جذب صوتی بالاتری برخوردار هستند. همچنین الیاف طبیعی بدون و با پوشش داده شده به نانو ذرات نانو ذرات $ZnO-TiO_2$ در دو محدوده فرکانس پایین و بالا مورد بررسی قرار گرفت؛ به نحوی که در الیاف طبیعی کنف خام و با پوشش نانو ذرات نانو ذرات $ZnO-TiO_2$ ضریب جذب آکوستیکی در فرکانس پایین به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۹ و در محدوده فرکانس بالا به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۸۵ است.

بحث

در حال حاضر، پوشش‌های معدنی تأخیرانداز آتش‌گیر چوب و سلولز، فقط از مواد معدنی مونومری همچون TiO_2 ، ZnO و SiO_2 ساخته شده است (۱۴). درخصوص پوشش معدنی حاوی دو یا چند ماده‌ی معدنی برای تأخیراندازی آتش در چوب، به ندرت مطالعه صورت گرفته است، که علت آن پیچیدگی و مشکل بودن کنترل رشد بلور دو یا چند ماده‌ی متفاوت است. بر اساس تحقیقات قبلی، مزایای گونه‌های ZnO و TiO_2 عبارت است از: غیرسمی، ارزان، دوستدار محیط‌زیست و دارای پایداری گرمایی بالا (۲۳، ۲۴)؛ از این‌رو، در این مطالعه از الیاف طبیعی کنف $ZnO-TiO_2$ با استفاده از روش همرسوبی برای بهبود خاصیت بازدارندگی آتش و جذب صوتی پرداختیم.

بر اساس نتایج، مشخص شد که پوشش الیاف کنف توسط نانو ذرات $ZnO-TiO_2$ سبب بهبود پارامترهای مورد بررسی آزمون گرمسانج مخروطی شد؛ به طوری که زمان افروزش (TTI) و زمان کلی سوختن چوب در الیاف پوشش یافته با $ZnO-TiO_2$ در مقایسه با الیاف خام، حدود ۲ برابر شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تأخیر در آتش‌گیری بستر الیاف طبیعی، به طور مؤثری با مواد

کامپوزیت‌ها تلقی می‌شود.

سپاسگزاری

نویسنده‌گان، لازم می‌دانند مراتب قدردانی و تشکر خود را از دانشگاه تربیت مدرس که شرایط لازم برای انجام این تحقیق را فراهم آورده‌اند، اعلام نمایند.

REFERENCES

1. Cao L, Fu Q, Si Y, Ding B, Yu J. Porous materials for sound absorption. *Composites Communications*. 2018;10:25-35.
2. Zhao X-D, Yu Y-J, Wu Y-J. Improving low-frequency sound absorption of micro-perforated panel absorbers by using mechanical impedance plate combined with Helmholtz resonators. *Applied Acoustics*. 2016;114:92-8.
3. Jayamani E, Hamdan S, editors. Sound absorption coefficients natural fibre reinforced composites. *Advanced Materials Research*; 2013: Trans Tech Publ.
4. Koronis G, Silva A, Fontul M. Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites Part B: Engineering*. 2013;44(1):120-7.
5. Taban E, Mirzaei R, Faridan M, Samaei E, Salimi F, Tajpoor A, et al. Morphological, acoustical, mechanical and thermal properties of sustainable green Yucca (*Y. gloriosa*) fibers: an exploratory investigation. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2020;18(2):883-96.
6. Choe H, Sung G, Kim JH. Chemical treatment of wood fibers to enhance the sound absorption coefficient of flexible polyurethane composite foams. *Composites Science and Technology*. 2018;156:19-27.
7. Taban E, Soltani P, Berardi U, Putra A, Mousavi SM, Faridan M, et al. Measurement, modeling, and optimization of sound absorption performance of Kenaf fibers for building applications. *Building and Environment*. 2020;180:107087.
8. Meon MS, Othman MF, Husain H, Remeli MF, Syawal MSM. Improving tensile properties of kenaf fibers treated with sodium hydroxide. *Procedia Engineering*. 2012;41:1587-92.
9. Schiavoni S, Bianchi F, Asdrubali F. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;62:988-1011.
10. Samaei SE, Mahabadi HA, Mousavi SM, Khavanin A, Faridan M, Taban E. The influence of alkaline treatment on acoustical, morphological, tensile and thermal properties of Kenaf natural fibers. *Journal of Industrial Textiles*. 2020;1528083720944240.
11. Asdrubali F, Schiavoni S, Horoshenkov K. A review of sustainable materials for acoustic applications. *Building*

ZnO-TiO₂ قادر به جلوگیری از انتشار و تولید دود است. این نشان می‌دهد که کامپوزیت معدنی ZnO-TiO₂ می‌تواند به عنوان یک عمل بازدارنده‌ی شعله و آتش‌گیری در ساخت کامپوزیت‌های طبیعی استفاده شود. تاکنون مواد مختلفی به عنوان جاذب‌های صوتی شناسایی و به صورت منفرد و یا ترکیبی استفاده شده است. با توجه به ورود گسترده‌ی نانومواد در عرصه‌های مختلف علمی، یکی از کاربردهای آن طراحی و استفاده‌ی جاذب‌های صوتی محتوای نانومواد می‌باشد. نانوذرات، با توجه به اینکه سطح ویژه‌ی وسیعی نسبت به مواد متخلخل و سایر مواد مورد استفاده در صنعت دارند، دارای خواص متفاوتی نیز از نظر جذب صوتی هستند (۱۷، ۱)؛ که احتیاج به تحقیقات گسترده‌ی دارد و می‌تواند توجه محققان قرار گیرد. در این راستا، ضریب جذب آکوستیکی الیاف طبیعی کنف با و بدون پوشش نانوذرات ZnO-TiO₂ با استفاده از لوله‌ی امپدانس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همان‌طور که بیان شد، الیاف خام نسبت به الیاف طبیعی پوشش داده شده به نانوذرات ZnO-TiO₂ ضریب جذب صوتی کمتری برخوردار بودند؛ که این می‌تواند به دلیل غوطه‌ورسازی الیاف طبیعی در داخل نانوموادها باشد؛ که باعث شده است منافذ باز در مواد متخلخل بسته شود. از طرف دیگر، بهبود مکانیسم جذب صوتی در کامپوزیت‌های آکوستیکی پوشش داده شده با نانوذرات، مبتنی بر این واقعیت است که محدوده‌ی جذب کامپوزیت، به دلیل افزایش سطح تماس موج صوتی با بستر کامپوزیت و همچنین افزایش تعداد زیادی نانو منفذ‌های ایجاد شده در سطح کامپوزیت، به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (۱۸). با توجه به نانوذرات قرار گرفته در سطح کامپوزیت‌های آکوستیکی و محل قرار گیری هنگام برخورد موج صوتی، این مواد با پراکند کردن انرژی برخورده به شکل کانال‌های مجزا و تبدیل آن به گرما، سبب میرایی موج صوتی و افزایش جذب صوتی خواهند شد (۳۶، ۳۷).

در نهایت می‌توان بیان داشت که اصلاح الیاف توسط نانوذرات، جهت بهبود خواص آتش‌گیری و آکوستیکی الیاف طبیعی کنف مؤثر واقع شده است. نتایج مطالعه‌ی حاضر، مؤید تأثیر نانوذرات ZnO-TiO₂ در بهبود خواص الیاف کنف است و با توجه به مزایای برجسته‌ی الیاف طبیعی (مزایای اقتصادی و محیط زیستی) و افزایش استفاده از این دسته از الیاف به عنوان کامپوزیت‌های آکوستیکی چندمنظوره، فرآیند پوشش‌دهی الیاف با نانوذرات، روش مناسبی برای بهبود خواص کلی

- and photocatalytic properties of cellulosic fabric coated by nano-sized titanium dioxide. *Journal of thermal analysis and calorimetry*. 2011;104(2):717-24.
26. Roohani M, Habibi Y, Belgacem NM, Ebrahim G, Karimi AN, Dufresne A. Cellulose whiskers reinforced polyvinyl alcohol copolymers nanocomposites. *European polymer journal*. 2008;44(8):2489-98.
 27. Guo J, Xu Y, Chen X, Hu S, He M, Qin S. Influences of organic montmorillonite on the combustion behaviors and thermal stability of polyamide 6/polystyrene blends. *High Performance Polymers*. 2015;27(4):392-401.
 28. Kord B. Thermal properties and fire behavior of PLA nanocomposite films. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 2017;23(2):202-185.(ویرهایه)
 29. Lee S, Kang I, Doh G, Kim W, Kim J, Yoon HG, et al. Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites. *Express Polym Lett*. 2008;2(2):78-87.
 30. Wang D-Y, Leuteritz A, Wang Y-Z, Wagenknecht U, Heinrich G. Preparation and burning behaviors of flame retarding biodegradable poly (lactic acid) nanocomposite based on zinc aluminum layered double hydroxide. *Polymer Degradation and Stability*. 2010;95(12):2474-80.
 31. González A, Dasari A, Herrero B, Plancher E, Santarén J, Esteban A, et al. Fire retardancy behavior of PLA based nanocomposites. *Polymer degradation and stability*. 2012;97(3):248-56.
 32. LeBaron PC, Wang Z, Pinnavaia TJ. Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview. *Applied clay science*. 1999;15(1-2):11-29.
 33. Younis A. Flammability properties of polypropylene containing montmorillonite and some of silicon compounds. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2017;26(1):1-7.
 34. Qin H, Zhang S, Zhao C, Hu G, Yang M. Flame retardant mechanism of polymer/clay nanocomposites based on polypropylene. *Polymer*. 2005;46(19):8386-95.
 35. Yang D, Sarina S, Zhu H, Liu H, Zheng Z, Xie M, et al. Capture of radioactive cesium and iodide ions from water by using titanate nanofibers and nanotubes. *Angewandte Chemie International Edition*. 2011;50(45):10594-8.
 36. Asadi Khanouki M, Ohadi A. Improved acoustic damping in polyurethane foams by the inclusion of silicon dioxide nanoparticles. *Advances in Polymer Technology*. 2018;37(8):2799-810.
 37. Yıldırım B, Sancak A, Navidfar A, Trabzon L, Orfali W. Acoustic properties of polyurethane compositions enhanced with multi-walled carbon nanotubes and silica nanoparticles: Akustische Eigenschaften von durch mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren und Silizium-Nanopartikel verstärkten Polyurethan-Verbundwerkstoffen. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 2018;49(8):978-85.
 - Acoustics. 2012;19(4):283-311.
 12. Martellotta F, Cannavale A, De Matteis V, Ayr U. Sustainable sound absorbers obtained from olive pruning wastes and chitosan binder. *Applied Acoustics*. 2018;141:71-8.
 13. Taban E, Valipour F, Abdi DD, Amininasab S. Mathematical and experimental investigation of sound absorption behavior of sustainable kenaf fiber at low frequency. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020.
 14. Bourbigot S, Duquesne S. Fire retardant polymers: recent developments and opportunities. *Journal of Materials Chemistry*. 2007;17(22):2283-300.
 15. Li J, Yu H, Sun Q, Liu Y, Cui Y, Lu Y. Growth of TiO₂ coating on wood surface using controlled hydrothermal method at low temperatures. *Applied Surface Science*. 2010;256(16):5046-50.
 16. Mathew J, Joy J, George SC. Potential applications of nanotechnology in transportation: A review. *Journal of King Saud University-Science*. 2019;31(4):586-94.
 17. Madushika JWA, Lanarolle WDG. A review on novel approaches to enhance sound absorbing performance using textile fibers. *The Journal of The Textile Institute*. 2021;1-8.
 18. Bahrambeygi H, Sabetzadeh N, Rabbi A, Nasouri K, Shoushtari AM, Babaei MR. Nanofibers (PU and PAN) and nanoparticles (Nanoclay and MWNTs) simultaneous effects on polyurethane foam sound absorption. *Journal of Polymer Research*. 2013;20(2):1-10.
 19. Sun Q, Yu H, Liu Y, Li J, Cui Y, Lu Y. Prolonging the combustion duration of wood by TiO₂ coating synthesized using cosolvent-controlled hydrothermal method. *Journal of Materials Science*. 2010;45(24):6661-7.
 20. Zhou L, Fu Y. Flame-retardant wood composites based on immobilizing with chitosan/sodium phytate/nano-TiO₂-ZnO coatings via layer-by-layer self-assembly. *Coatings*. 2020;10(3):296.
 21. Morgan AB, Gagliardi NA, Price WA, Galaska ML. Cone calorimeter testing of S2 glass reinforced polymer composites. *Fire and Materials: An International Journal*. 2009;33(7):323-44.
 22. Standard B. Acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes—part 2: Transfer-function method. BS EN ISO. 2001:10534-2.
 23. Sun Q, Lu Y, Xia Y, Yang D, Li J, Liu Y. Flame retardancy of wood treated by TiO₂/ZnO coating. *Surface Engineering*. 2012;28(8):555-9.
 24. Özgür Ü, Alivov YI, Liu C, Teke A, Reschchikov M, Doğan S, et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of applied physics*. 2005;98(4):11.
 25. Moafi HF, Shojaii AF, Zanjanchi MA. Flame-retardancy