Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2021 (01 Jan);18: 1

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Optimization and sound absorption modeling of Yucca Gloriosa natural fiber composites

Seyed Ehsan Samaei, PhD, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Hasan Asilian Mahabadi, (*Corresponding author), Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran. Iran. asili_h@modares.ac.ir.

Seyyed Mohammad Mousavi, Associate Professor, Biotechnology Group, Chemical Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Ali Khavanin, Professor, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran. Iran.

Mohammad Faridan, Assistant Professor, Department of Occupational Health and Safety at Work Engineering, School of Health and Nutrition, Nutritional Health Research Center, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

Abstract

Background and aims: The use of natural fibers brought fundamental changes to natural fibers production, considering its vast environmental, physical, mechanical, and sound absorbing qualities. Nowadays, considering their new revenue at absorbing sound, the acoustic behavior analysis of natural fibers composites, called "The Green Fibers", has received increasing attention by researchers. In this regard, the present study is aimed to optimize and imitate the sound absorption behavior of Yucca Gloriosa (YG) composites via using mathematical imitation and optimization approach.

Methods: In order to fabricate the natural acoustic composites, in this experimental cross-sectional study, the alkaline treatment of the fibers was employed. Therefore, the design of experiments and determination of the optimum amount of alkaline treatment parameters (NaOH concentration and immersion time), was promoted to improve the sound absorption by Response Surface Methodology (RSM). Moreover, the sound absorption coefficient (SAC) of YG fiber was measured by an impedance tube system (ISO10534-2 standard). To predict the sound absorption coefficients of the natural composites, the applicability of Delany-Bazley (DB) and Miki analytical models was investigated by coding formulas in MATLAB software as well.

Results: Comparison of the obtained SAC showed that, the value of optimized composites was higher than the untreated ones at all frequencies. Particularly, when compared to the raw composites, the sound absorption average (SAA) index increased by 18.92%. Also, a good compatibility was found, between the empirical models' and the experimental results in the low and mid-frequency range of one-third octave band.

Conclusion: With regard to the prominent benefits of natural fibers and the wide use of these fibers, the optimization of alkaline treatment and prediction of SAC by empirical models, is considered as an acceptable strategy for acoustic applications (industries and buildings).

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Optimization

Empirical models

Sound absorption

Composite

Yucca natural fiber

Received: 2020/01/05

Accepted : 2020/08/16

Copyright © 2021 The Authors. Published by Tehran University of Medical Sciences.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Today, persistent noise pollution, as one of the environmental pollutants, has contributed to serious health risks. Therefore, the control and prevention of such noise pollution level's, are of utmost importance. The use of acoustic absorbers (1), is one of the most effective and technical engineering methods of noise control.

Recently, in the field of sound/noise control, sound absorbers have provided a good opportunity to study the process of acoustic attenuation in a variety of materials. Particularly, the synthetic fibrous and porous materials (2). However, increase in the greenhouse gas emissions, the huge amount of wastes generated due to the use of these synthetic matters and increasing concerns about the safety and health issues, has generated a motive to make use of eco-friendly and green alternatives, such as natural fibers (3). The overall properties of natural sound absorbers such as their biodegradable characteristics, lightweight, low density, acceptable tensile strength, minimum adverse effects on human health, reasonable price and being non-toxic, have made them a good choice for special applications in the composite industry. Therefore, particularly when used as fillers and reinforcement agents in the multi-purpose hybrid composites construction, they are considered as an acceptable alternative to the synthetic fibers. Accordingly, in recent years, numerous studies have reported the use of natural fibers in the fields of sound absorption and thermal insulation (4). However, despite their promising advantages, practical application of these natural fibers has not yet become as popular as synthetic fibers due to shortcomings such as, low adhesion properties, high fiber diameter, low moisture resistance as well as poor antifungal qualities. So this has led researchers to develop the treatment process methods in order to improve the quality of natural fibers and overcome these limitations (5, 6).

The use of natural fibers, has led to fundamental changes in the manufacturing of a variety of acoustic composites due to their obvious environmental characteristics and high physical, mechanical and acoustic properties. Today, the analysis of acoustic behavior and other properties of this group of composites, called "Green Composites", has received more and more attention from researchers. Referring to the above and the limitations in optimizing and modeling of natural composites' acoustic behavior in local studies (in Iran), The aim of this study was to optimize and model the sound absorption characteristics of Yucca Gloriosa (YG) natural fiber composites, using mathematical optimization and modeling approaches.

Experimental procedure or Methodology

Materials

The YG fibers were extracted using the manual traditional method. Extracted fibers were washed and dried.

Design, statistical analysis and optimization

To determine the effects of multiple variables on a response, the full factorial design (FFD) was used in this article. The concentrations NaOH (three levels) and immersion time (two levels) were considered as the parameters impacting the SAA in the alkaline treatment process and the fabrication of natural composites. The design and analysis of data was performed using the Design Expert software (version 11).

Alkaline treatment

In this article, designing the experiments and determination of the optimal values of these two parameters were taken into account based on the factorial design approach, since different values of these two parameters have been reported in the previous studies.

Fabrication of the composites

The fibers were cut into small pieces (5 mm) using scissors, after fibers were treated (based on RMS approach). Then, the Polyvinyl Alcohol (PVA; Sigma-Aldrich Company) was used to bind the fibers and hence fabricate the composite samples with constant density of 200 kg/m^3 (based on impedance tube dimensions).

Determination of the SAC

Investigation of acoustic behavior of the samples, was performed using an impedance tube system (type SW 422 and SW 477, BSWA Technology Co., Ltd., China) based on the transfer function method recommended by ISO10534-2 (Figure 1). Moreover, the SAA index was calculated according to ASTM C423 standards in order to investigate the effect of alkaline treatment on the sound absorption values of the fabricated sample composites. For this purpose, standard calculation of 12 band centers (from 200 to 2500 Hz) in the frequency range of 1/3 octave band was estimated according to the following equation:

$$SAA = \frac{1}{12} \sum_{i=200\ Hz}^{i=2500\ Hz} \alpha_i \qquad (1)$$

Empirical models

The proposed empirical models usually considers some of the basic physical properties of porous/fibrous

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

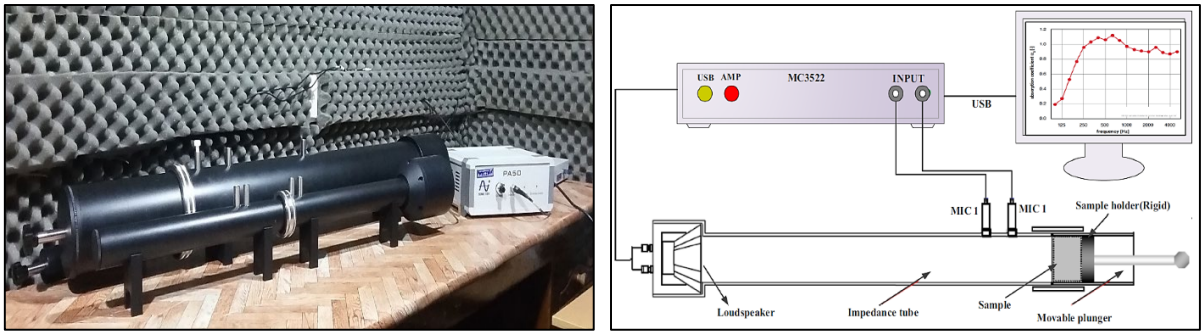


Figure 1. The actual and schematic view of impedance tube system for sound absorption measurements

Table 1. Analysis of Variance for Response Surface Models for SAA

Response	Model	ANOVA					
		Source	Sum of square	DF	Mean square	F	p
SAA	Quadratic SAA= +0.41094+0.012687A + 0.0168112B – 9.688750×10^{-4}AB $-5.516325\times10^{-4}A^2$	Model	3.26×10^{-3}	4	8.16×10^{-4}	1088.42	0.022
		A	3.02×10^{-5}	1	3.02×10^{-5}	40.33	0.048
		B	2.90×10^{-3}	1	2.90×10^{-3}	3872	0.010
		AB	2.40×10^{-4}	1	2.40×10^{-4}	320.33	0.055
		A^2	9.07×10^{-5}	1	9.07×10^{-5}	121	0.057
		Residual	7.50×10^{-7}	1	7.5×10^{-7}		
		Total	3.26×10^{-3}	5			
		(R^2 = 0.98, R^2_{adj}=0.99)					

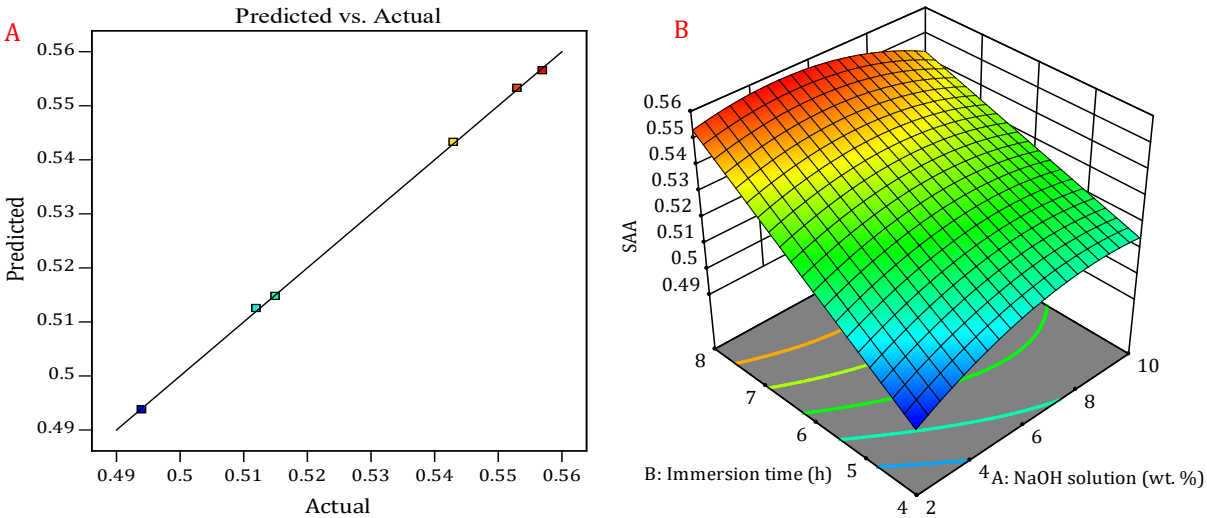


Figure 2. Related predicted vs. actual (A) and 3D surface (B) plots with the effect of chemical treatment's parameters on SAA index

materials before predicting their SAC. In the present study, as one of the first accepted empirical models in prediction of the fabricated samples' SAC (in the frequency range of 63-6300 Hz), the Delany-Bazley (DB) and Miki models, were performed by coding in MATLAB software.

Results and Discussions

Study's design, statistical analysis and optimization process

The number of experiments (runs) required for optimization was determined based on FFD. Also, using Design-Expert software, a quadratic model for the

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

response variable (SAA) was obtained. The statistical values of the presented model are shown in Table 1.

Figure 2 (a), shows the differences between the predicted and actual values. The experiment results are in good agreement with the results obtained from the equation. Likewise, an acceptable correlation between the predicted and actual values was reported (R^2= 0.98). Based on the results from the ANOVA (F=1088.42), it was determined that the model is capable of estimating the expected results for the desired response, as was predicted. Figure 2 shows how two factors affect the SAA as well as, how the parameters interact with each other.

Therefore, the NaOH and immersion time should be selected respectively at 5% and 8 hours, to design and fabricate the sound absorbers as well as achieving optimal conditions.

The SAC in optimal sample

As shown in the Figure 3, in the low, mid, and high frequency ranges, the sound absorption coefficients of the optimal treated samples were higher than the untreated. The results of the present study and the previous studies in this field shows that, the diameter of natural fibers is an important parameter in improving the acoustic absorption of the natural fiber composites. In line with the presented results, due to the reduced diameter of coir fibers in numerical simulations performed by Nor et al, a significant increase in the acoustic absorption of natural composites in the low and mid-frequency range, was reported (7). In this study, a gradual increase in acoustic absorption peak and a shift to the low and mid-frequency region was reported by reducing the diameter of YG fibers. Accordingly, the alkaline treatment process, reduces the fiber diameter, removes moisture, impurities, hemicellulose and wax from natural fibers' surface, hence improves the adhesion quality and antifungal (antibacterial) properties of the composite (8).

Prediction of sound absorption based on models

Based on the results, the compatibility of both models for predicting the SAC of the untreated and modified composites with the experimental results, in the low (Hz 50-500) and middle-frequency range (Hz 500-1600) of one-third octave band, is evident. In other words, the SAC of samples are well-estimated at the low and mid-frequency ranges of these two models. However, the results of the models differed from the experimental results, by increasing the frequency and moving towards the high-frequency range (more than 1600 Hz) for the untreated composites. Therefore, the difference is observable in the frequency range above 1600 Hz. However, in the high-frequency region for both types of composites, the results from the models did not differ from the experimental results. As presented in Figure 4, the proximity of the experimental results for the treated composite, was more prominent

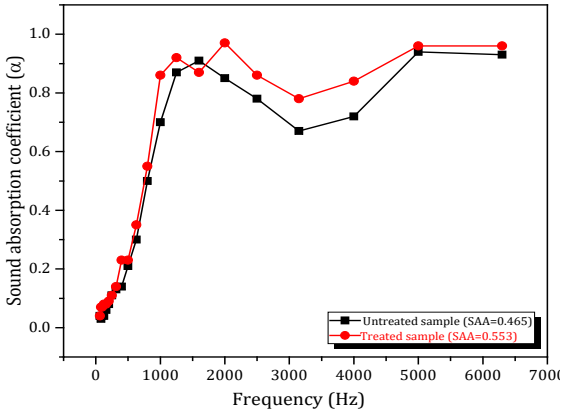


Figure 3. Sound absorption comparison of the untreated and treated YG sample.

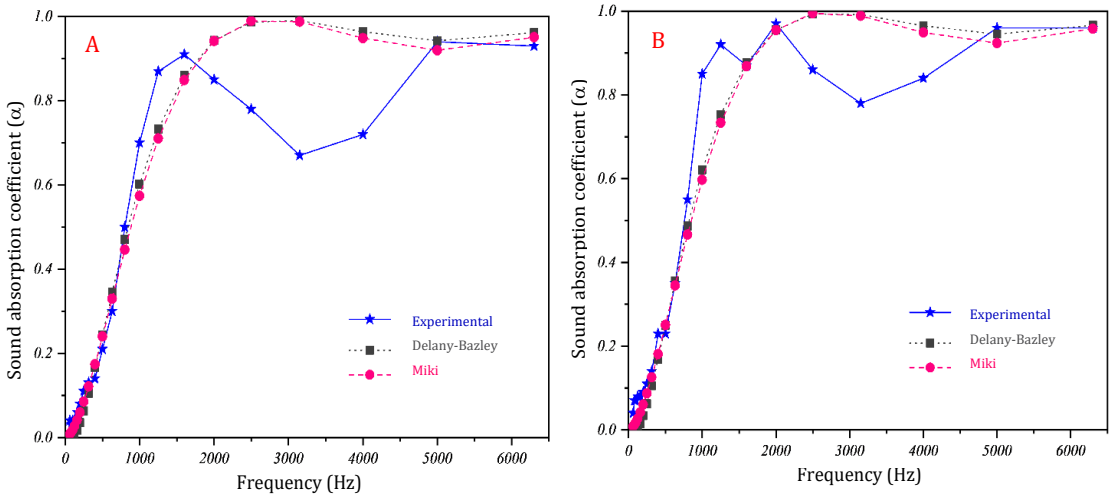


Figure 4. Comparison of experimental and empirical models' results in untreated (A) and treated (B) samples.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

than that of the raw composite compared to the results of the D-B and Miki empirical models.

Based on the results from the analytical models used in this study, an acceptable fit between analytical and experimental results was established, in low and mid-frequency range of composites made of optimally treated fibers. Nonetheless, the results of the models do not correspond to the experimental results that were obtained from increasing the frequency and moving towards a high-frequency range. Appropriate efficiency of sound energy absorption of porous materials through the thermal mechanism, depends on the influence of non-acoustic variables, including airflow resistivity, tortuosity, and porosity.

Despite the fact that a number of experiments have been conducted on the study of acoustic absorption of these types of composites, due to more credibility and accuracy, optimal matching of experimental and analytical results, the use of empirical models have limitations in studies. In this regard, today the process of developing and applying predictive models in the field of acoustics and sound absorption is progressing, and the need to create practical, accurate and easy empirical models is considered more than ever. Performing mathematical modeling by different empirical models to achieve a comprehensive understanding of existing models and the ability to choose the best one for predicting the sound absorption level is of particular importance in future studies. As a result, it would be very useful to conduct studies on the development of empirical models, based on the performance of natural-sound absorbers. Since empirical models have advantages such as, time and cost saving and simplification of the sound absorption process. Therefore, there is a need to develop models, with the ability to accurately measure the sound absorption coefficient in natural fiber composites.

Conclusion

It should be reminded that optimizing the process of alkaline modification of natural fibers, should be taken into account. In order to achieve the maximum SAA, when the NAOH concentration is in the middle range (about 4% to 6 %) and the immersion time is in the range of 7 to 8 hours. Also, many empirical models of sound absorption in porous materials, perform well in their respective frequency ranges (some at low and some at high frequencies). Therefore, they can be used for mixed models and approaches to predict the sound absorption of all frequencies. Finally, it can be stated that alkaline treatment has been effective on improving the acoustic properties in YG fiber composite. According to the outstanding benefits of natural fibers (economic and environmental) and increasing use of these fibers in hybrid composites, the alkaline treatment under optimal conditions, is considered a good method of improving the compatibility between natural fibers and polymer matrix, as well as enhancing the overall properties of hybrid composites.

Acknowledgments

The authors would like to express their deepest gratitude to Tarbiat Modares University for supporting and providing the necessary research environmet.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

How to cite this article:

Seyed Ehsan Samaei, Hasan Asilian Mahabadi, Seyyed Mohammad Mousavi, Ali Khavanin, Mohammad Faridan. Optimization and sound absorption modeling of Yucca Gloriosa natural fiber composites. Iran Occupational Health. 2021 (01 Jan);18:1.

سلامت کار ایران
دوره ۱۸ - ۱/۱۴۰۰
مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

بهینه سازی و مدل سازی جذب صوتی در کامپوزیت های الیاف طبیعی یوکا

سیداحسان سمائی: دکتری تخصصی، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
حسن اصیلیان مهابادی: (* نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. asilia_h@modares.ac.ir
سید محمد موسوی: دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
علی خوانین: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
محمد فریدن: استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از الیاف طبیعی با توجه به ویژگی های بارز زیست محیطی و خواص بالای فیزیکی، مکانیکی و جذب صوت، سبب تغییرات اساسی در ساخت انواع کامپوزیت‌های آکوستیکی شده است. امروزه تجزیه و تحلیل رفتار آکوستیکی این دسته ازکامپوزیت ها تحت عنوان "کامپوزیت‌های سبز" با توجه به عملکرد نوین آن ها در زمینه های جذب صوتی، بیش از پیش مورد توجه محققان قرار گرفته است. در همین راستا این مطالعه با هدف بهینه سازی و مدل سازی جذب صوتی در کامپوزیت های الیاف طبیعی یوکا با استفاده از رویکرد بهینه سازی و مدل سازی ریاضی انجام گرفت

روش بررسی: در این مطالعه تجربی-مقطعی، جهت ساخت کامپوزیت های آکوستیکی طبیعی از روش اصلاح آلکالینی به عنوان یکی از روش های متداول در اصلاح شیمیایی و یک فرایند کمکی جهت کاهش قطر الیاف استفاده شد. دو پارامتر اساسی در اصلاح آلکالینی، پارامترهای مقدار سدیم هیدروکسید (نسبت درصد وزنی به حجمی) و مدت زمان غوطه وری (ساعت) می باشد. در این مطالعه طراحی آزمایشات و تعیین مقدار بهینه این دو پارامتر جهت بهبود جذب صوتی توسط روش طرح فاکتوریل و با استفاده از نرم افزار Design Expert11 و آزمون آماری آنالیز واریانس انجام شد. همچنین ضریب جذب صوتی (تحت زاویه نرمال) به منظور بررسی رفتار کامپوزیت طبیعی الیاف یوکا در طول فرآیند اصلاح آلکالینی توسط لوله ی امپدانس و براساس روش تابع انتقال و استاندارد ISO10534-2 اندازه گیری گردید . همچنین بررسی کاربردپذیری مدل های تحلیلی دلانی-بازلی (Delany-Bazley) و میکی (Miki)برای پیش بینی جذب صوتی در کامپوزیت های طبیعی توسط کدنویسی فرمول ها در نرم افزار متلب صورت گرفت .

یافته ها: *بهینه سازی فرآیند اصلاح آلکالینی جهت دستیابی به شاخص میانگین ضریب جذب صوتی (SAA) بیشینه، زمانی اتفاق می افتد که مقدار سدیم هیدروکسید و زمان غوطه وری به ترتیب ۵ درصد و ۸ ساعت انتخاب شود. همچنین پاسخ های پیش بینی شده (شاخص SAA) در شرایط بهینه، مقدار ۰/۵۵۷ محاسبه شد که با پاسخ های آزمون های تاییدی مطابقت دارد. نتایج مقایسه ضریب جذب صوتی کامپوزیت های طبیعی یوکا نشان داد که در تمامی فرکانس های یک سوم اکتاو باند، ضریب جذب صوتی در کامپوزیت اصلاح شده در شرایط بهینه، بیشتر از کامپوزیت خام (اصلاح نشده) بود. همچنین اصلاح آلکالینی کامپوزیت در شرایط بهینه سبب افزایش ۱۸/۹۲ درصدی شاخص SAA در مقایسه کامپوزیت خام شد. از طرفی تطابق مناسبی بین نتایج مدل های پیش بینی کننده ضریب جذب صوتی در کامپوزیت طبیعی یوکا در شرایط بهینه و کامپوزیت خام، با نتایج تجربی در محدوده فرکانسی پایین و میانی یک سوم اکتاوباند برقرارشد

نتیجه گیری: اصلاح آلکالینی در شرایط بهینه، جهت بهبود خواص آکوستیکی کامپوزیت های طبیعی موثر واقع شده است و این فرآیند با توجه به مزایای برجسته الیاف طبیعی و افزایش استفاده از این دسته از الیاف به عنوان تقویت کننده خواص مکانیکی در کامپوزیت های هیبریدی چندمنظوره، روش مناسبی برای بهبود سازگاری بین الیاف طبیعی و ماتریس پلیمری و همچنین بهبود خواص آکوستیکی و کلی کامپوزیت های هیبریدی تلقی می شود.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*
منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
بهینه سازی
مدل های تحلیلی
جذب صوتی
کامپوزیت
الیاف طبیعی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶

شیوه استناد به این مقاله:
Seyed Ehsan Samaei, Hasan Asilian Mahabadi, Seyyed Mohammad Mousavi, Ali Khavanin, Mohammad Faridan. Optimization and sound absorption modeling of Yucca Gloriosa natural fiber composites. Iran Occupational Health. 2021 (01 Jan);18:1.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

مقدمه

آلودگی صوتی به عنوان یکی از آلودگی های زیست محیطی، باعث ایجاد خطرات شدید بهداشتی نظیر وزوز گوش، اختلال خواب یا حتی بیماری های ایسکمیک قلبی می شود .. از این رو کنترل سر و صدا از اهمیت زیادی برخوردار است(۹). یکی از روش های فنی-مهندسی و موثر برای کنترل صدا استفاده از جاذب های صوتی است (۱۰). استفاده از جاذب های صوتی به عنوان یک روش کنترلی پسیو، یکی از مؤثرترین راه ها برای کنترل صدا هایی است که از انعکاس ناشی می شود. اساس کنترل مبتنی بر این است که از طریق افزایش ضریب جذب سطوح کارگاه، میزان صدای انعکاسی کم شده و در نتیجه صدای کلی کاهش یابد(۱۱). با توجه به اینکه معضل صدا، یکی از دغدغه های جدی امروز جامعه به حساب می آید، تقاضا برای داشتن محیطی بهتر افزایش یافته است. لذا، استفاده از جاذب های صوتی با کیفیت بالا که توانایی جذب صدا را درطیف فرکانس داشته باشند، مورد نیاز انسان است. پیشرفت های کنترل صدا با کمک جاذب صوتی، فرصت مناسبی را برای مطالعه روش های تضعیف آکوستیکی در انواع مختلف مواد متخلخل فراهم می کند. (۲). جاذب های صوتی متخلخل، متشکل از کانال ها، ترک ها یا حفره هایی هستند که اجازه می دهد امواج صوتی وارد مواد شوند. انرژی صدا براثر اصطکاک مولکول های هوا با دیواره های منافذ بصورت حرارت از بین می رود. بطورکلی مصرف انرژی صوتی در مواد متخلخل بطور عمده از سه اصل یعنی اثر حرارتی[1] ناشی از اصطکاک مولکول های هوا با دیواره ی منافذ، اثر ویسکوزیته[2] و ارتعاش مواد[3] تبعیت می کند. این قواعد حاکم بر کاهش و هدررفتن انرژی صوتی در مواد متخلخل، سبب شده است تااین دسته از مواد برای جذب صدا در دامنه وسیعی از فرکانس ها کاربرد داشته باشد(۱۲, ۹).

امروزه، محبوب‌ترین عایق‌های صوتی موجود در بازار، مواد متشکل از الیاف شیشه‌ای یا الیاف معدنی هستند. این مواد، علی‌رغم مزایای قابل توجه‌شان، افزایش نگرانی‌ها درباره ی تأثیر این مواد مصنوعی زمینه را برای به کارگیری الیاف طبیعی[4] (به عنوان جایگزین الیاف مصنوعی) در ساخت جاذب های صوتی فراهم کرده است (۱۱). از این رو، نگرانی روزافزون در مورد مسائل ایمنی و سلامتی انسان، افزایش گازهای گلخانه‌ای به دلیل انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و حجم عظیم ضایعات و زباله‌های حاصل از به‌کارگیری جاذب های آکوستیکی ساخته شده از الیاف مصنوعی، سازندگان را به سمت استفاده از الیاف طبیعی دوستدار محیط زیست (به عنوان جایگزینی الیاف مصنوعی) سوق داده است (۳). جاذب های طبیعی به عنوان یک دسته مهم در جاذب های صوتی متخلخل، با توجه به ویژگی‌های زیست تخریب پذیر، وزن سبک، چگالی کم، مقاومت الکتریکی بالا، استحکام ویژه قابل‌قبول، عدم ایجاد اثرات کلی بر سلامت انسان، عایق گرمایی و آکوستیکی، قیمت مناسب و غیر سمی بودن دارای کاربرد متعددی در صنایع کامپوزیتی می باشد و جایگزین مناسبی برای الیاف مصنوعی به‌عنوان عنصر تقویت‌کننده در ساخت کامپوزیت‌های چندمنظوره تلقی می‌شوند(۴). این مواد با عملکرد بالا، به علت دارا بودن خواص فیزیکی، مکانیکی، زیست محیطی و اقتصادی قابل‌توجه، کاربرد صنعتی و ساختمانی متنوعی پیداکرده است. به طوری که در مطالعات متعددی استفاده از الیاف طبیعی برای کاربردهای مربوط به جذب صدا و حرارت استفاده می شود .(۱۳)،

بااین‌حال استفاده از الیاف طبیعی علی‌رغم مزیت‌های گوناگون، به دلیل خاصیت چسبندگی کم، قطر زیاد الیاف، مقاومت کم در برابر رطوبت و کیفیت ضد قارچ بسیار ضعیف، هنوز به‌اندازه ی الیاف مصنوعی محبوبیت نیافته است. لذا این امر باعث شده تا محققان برای بهبود کیفیت الیاف طبیعی و غلبه براین محدودیت‌ها از روش اصلاح آلکالینی[5] قبل از تولید کامپوزیت استفاده کنند(۱۴, ۶). اصلاح آلکالینی یا مرسری کردن یکی از رایج‌ترین روش‌های اصلاح شیمیایی الیاف طبیعی است. اهمیت این فرآیند گسستن پیوندهای هیدروژنی در ساختار شبکه است، این عمل باعث زدودن لیگنین، موم و روغن‌های پوشش‌دهنده سطح خارجی دیوار سلولی الیاف، واپلیمرشدن سلولوز و یونش گروه هیدروکسیل به آلکوکسید می‌شود. اصلاح آلکالینی با افزایش زبری سطح، باعث بهترشدن درهم‌تنیدگی شده و افزایش مقدار سلولوز روی سطح الیاف و درنتیجه افزایش تعداد مواضع ممکن برای واکنش را بیشتر می‌کند که این امر به بهبود خواص مکانیکی الیاف طبیعی لینگوسلولزی[6] منجر می‌شود (۱۶, ۱۵). همانطور که گفته شده با زودن مواد از روی سطح الیاف، قطر الیاف نیز کاهش یافته، که این امر باعث افزایش ضریب جذب صوتی و افزایش مقاومت الیاف در برابر جریان هوا شده و با گرفتن انرژی صوتی در

1 - Thermal effect
2 - Viscous effect
3 - Material damping
4 - Natural fiber
5 - Alkaline treatment
6 -Ligno-cellulosic fibers

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

اثر اصطکاک، جذب انرژی امواج صوتی را آسان می کند (۱۷).

از طرفی، اندازه گیری جذب صوتی در حالت نرمال (توسط امپدانس تیوب)، بسته به قرارگیری نمونه در نگهدارنده (هولدر) مستعد خطای اندازه گیری نیز هست. بسیاری از مطالعات روابط تجربی را به عنوان مدل های پیش بینی کننده ضریب جذب صوتی برای به دست آوردن بهترین سازگاری بین مقادیر اندازه گیری شده تجربی و بهینه سازی پیش بینی ضریب جذب صوتی پیشنهاد می کنند. مدل های تئوری ارائه شده برای بررسی تحلیلی با درنظر گرفتن برخی از خواص فیزیکی اولیه مواد، مانند تخلخل، انحنا، و مقاومت در برابر جریان هوا، مصرف انرژی صوتی را در مواد جاذب صوت محاسبه کرده و ضریب جذب صوتی و سایر رفتار آکوستیکی در جاذب های صوتی متخلل را پیش بینی می کند(۱۸). در این راستا، مارتلوتا و همکاران (۱۹) با روش های تجربی و تحلیلی به بررسی رفتار آکوستیکی جاذب های ساخته شده در ضایعات درخت زیتون پرداختند. براساس نتایج تجربی، دستیابی به ضریب جذب بیش از ۰/۹ در فرکانس های بالای ۱ کیلوهرتز در ضخامت ۵۰ میلیمتر امکان پذیر بود. و این نتایج تجربی توافق بسیار خوبی با نتایج حاصل از مدل های تحلیلی داشت و از این مدل ها می توان برای بهبود بیشتر پارامترهای دخیل در جذب صوتی استفاده نمود. همچنین تابان و همکاران (۲۰) در مطالعه ای دیگر، با بهره گیری از روش های تجربی و تحلیلی به بررسی ویژگی های کامپوزیت های طبیعی ساخته شده الیاف نخل خرما پرداختند. در این مطالعه نتایج نشان داد که در فرکانس های بالاتر از ۱۵۰۰ هرتز برای نمونه ها با چگالی ۱۰۰و ضخامت های ۲۰ و ۳۰ میلیمتر، ، ضریب جذب صوتی بین ۰/۸-۰/۶ تغییر می کند. همچنین مدل ریاضی بهینه شده، پیش بینی موفقیت آمیزی در جذب صوتی در مقایسه با نتایج تجربی ارائه کرد.

استفاده از الیاف طبیعی با توجه به ویژگی های بارز زیست محیطی و خواص بالای فیزیکی، مکانیکی و آکوستیکی، سبب تغییرات اساسی در ساخت انواع کامپوزیت‌های اکوستیکی شده است. امروزه تجزیه و تحلیل رفتار آکوستیکی، خواص مکانیکی، شیمیایی و حرارتی این دسته ازکامپوزیت ها تحت عنوان «کامپوزیت‌های سبز» با توجه به عملکرد نوین آن ها در زمینه های جذب صوتی، بیش از پیش مورد توجه محققان قرار گرفته است. با توجه به موارد ذکرشده و محدودیت بکارگیری رویکردهای بهینه سازی و مدلسازی ی رفتار آکوستیکی کامپوزیت های طبیعی در مطالعات داخلی صورت گرفته، این مطالعه با هدف بهینه سازی و مدل سازی جذب صوتی در کامپوزیت های الیاف طبیعی یوکا با استفاده از رویکرد بهینه سازی و مدل سازی ریاضی انجام گرفته است. در این مطالعه، ابتدا یک بررسی تجربی با رویکرد طرح فاکتوریل در مورد تأثیر فرآیند اصلاح آلکالینی بر جذب صوتی الیاف یوکا انجام شد. و سپس بهینه سازی آماری جهت بررسی تأثیر پارامترهای مستقل (مقدار سدیم هیدروکسید و زمان غوطه وری) بر جذب صوتی کامپوزیت های طبیعی الیاف یوکا و تعیین شرایط بهینه صورت گرفت. و در آخر، از مدل های تحلیلی جهت پیش بینی جذب صوتی جاذب های متخلخل، استفاده شد.

روش بررسی

- مواد

در این مطالعه، جهت آماده سازی و ساخت جاذب های صوتی، برگ گیاه یوکا از نواحی اطراف تهران تهیه شد، و سپس استخراج الیاف یوکا توسط روش سنتی (استفاده از چوب با سطح اصطکاک زیاد) صورت گرفت (شکل ۱) . الیاف استخراجی پس از حمل به آزمایشگاه، با استفاده از آب مقطر شستشو داده شدند . نمونه ها جهت خشک شدن و ثابت شدن وزن به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۷۰°C قرار گرفت.

- طراحی آزمایش، آنالیز آماری و بهینه سازی

طرح فاکتوریل یک روش مهم برای تعیین تأثیرات چندین متغیر روی پاسخ است. با استفاده از این طرح علاوه بر تأثیر فاکتورهای اصلی)برای هر مستقل(، تأثیرات متقابل نیز مورد بررسی قرار میگیرند. در واقع طرح فاکتوریلی کامل همه شرایط ممکن را مورد بررسی قرار میدهد.بنابراین اگر تعداد متغیرها زیاد باشند، استفاده از این طرح مشکل خواهد بود. بهترین حالت استفاده از این طرح زمانی است که تعداد متغیرها بین ۱ الی ۳ باشد(۲۱). در این مطالعه مقدار سدیم هیدروکسید (در سه سطح) و زمان غوطه وری (در دو سطح) در فرآیند اصلاح آلکالینی به عنوان پارامترهای مؤثر بر شاخص میانگین ضریب جذب صوتی[1] (SAA) در ساخت تایل های آکوستیکی ساخته شده از الیاف طبیعی یوکا در نظرگرفته شد (جدول ۱).

1 - Sound Absorption Average (SAA)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]



شکل ۱– نحوه استخراج و اصلاح شیمیایی الیاف یوکا

جدول ۱– متغیرها و دامنه تغییرات آنها در ساخت پانل های آکوستیکی الیاف کنف

متغییرها	واحد اندازه‌گیری	تعداد سطوح	مقادیر متغییر
A: مقدار سدیم هیدروکسید	نسبت درصد وزنی به حجمی	۳	۲، ۶ و ۱۰
B: زمان غوطه وری	ساعت	۲	۴ و ۸

در این پژوهش، طراحی و آنالیز داده ها توسط نرم افزار Design Expert (نسخه ۱۱) انجام گردید . آزمایش ها به صورت تصادفی انجام شدند تا خطاهای سیستماتیک به حداقل برسند. همچنین پس از انجام آزمایشات براساس طرح آزمایشی فاکتوریل کامل، با استفاده از روش آنالیز واریانس[1] مدل هایی بین پارامترهای مورد بررسی و متغییرهای پاسخ توصیف و برای پیش بینی شرایط بهینه بکارگرفته شد. از روش آنالیز واریانس برای بررسی میزان تاثیر فاکتورهای اصلی (مقدار سدیم هیدروکسید و زمان غوطه وری) و تاثیرات متقابل، بر متغییرهای پاسخ (شاخص SAA) استفاده شد.

- اصلاح آلکالینی الیاف یوکا

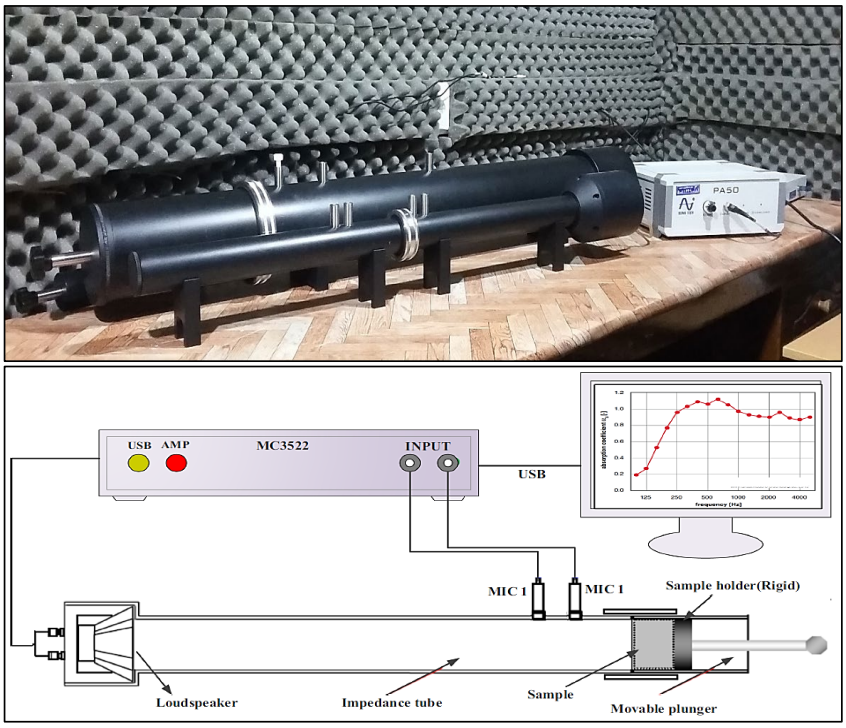
در این مطالعه از روش اصلاح آلکالینی توسط سدیم هیدروکسید[2] به عنوان یکی از روش های متداول در اصلاح شیمیایی الیاف طبیعی استفاده شد. دو پارامتر اساسی در اصلاح آلکالینی، پارامترهای مقدار سدیم هیدروکسید (نسبت درصد وزنی به حجمی) و مدت زمان غوطه وری (ساعت) می باشد. از آنجایی که در مطالعات صورت گرفته در زمینه اصلاح شیمیایی الیاف طبیعی، مقادیر مختلفی از مقدار سدیم هیدروکسید (محدوده ۲ تا ۱۰ درصد) و زمان غوطه وری (محدوده ۲ تا ۲۴ ساعت) استفاده شده است(۲۶-۲۲)، در این مطالعه طراحی آزمایشات و تعیین مقدار بهینه این دو پارامتر مرتبط با اصلاح آلکالینی جهت بهبود ضریب جذب صوتی متوسط الیاف طبیعی یوکا براساس روش طرح فاکتوریل صورت پذیرفت (جدول ۲). براساس رویکرد طرح فاکتوریل آزمایشات در غطلت های ۲، ۶ و ۱۰ درصد سدیم هیدروکسید و زمان های غوطه وری ۴ و ۸ ساعت انجام شد. پس از انجام هرآزمایش، الیاف اصلاح شده جهت رسیدن به pH خنثی، چندین بار با آب مقطر شستشو داده شد (جهت اطمینان از خنثی بودن محلول از pH متر استفاده شد). در مرحله آخر الیاف یوکا به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد در داخل اون خلا قرار گرفت تا رطوبت آن کاملا از بین برود.

- ساخت کامپوزیت طبیعی

الیاف پس از خشک شدن توسط قیچی به اندازه های کوچکی (در حدود ۵ میلیمتر) بریده شد. براساس رویکرد طرح فاکتوریل برای ساخت مقادیر مختلف از سدیم هیدروکسید، مقدار مورد نظر سدیم هیدروکسید در هرآزمایش براساس گرم، توسط ترازوی دقیق Prezisa ساخت سوییس مدل SMA-FR ۲۶۲ وزن گردید و در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شدند. سپس یک مگنت مغناطیسی درون محلول قرار داده شد و به مدت ۳ ساعت در دمای ۸۰ درجهٔ سانتیگراد بر روی دستگاه همزن قرار گرفت. پس از ساخت مقادیر مختلف سدیم هیدروکسید در سه سطح (۲، ۶ و ۱۰ درصد وزنی)، الیاف یوکا در مدت

1 - Analysis of variance (ANOVA)
2 - Sodium hydroxide (NaOH)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]



شکل ۲- تصویر و نمای شماتیک از دستگاه لوله امپدانس مورد استفاده در این مطالعه

زمان های اشاره شده در طرح آزمایش، درون محلول ها غوطه ور شدند. پس از انجام غوطه وری در مقادیر مشخص جهت همبندی[1] الیاف مربوطه (کنارهم قرارگیری الیاف منفرد)، از پلی ونیل الکل[2] (PVA) ساخت شرکت سیگما استفاده شد. PVA ، پلیمری که قابلیت انحلال بالا در آب را دارد به عنوان ماده ای زیست تخریب پذیر شناخته می شود و در تحقیقات مختلف به عنوان همبند الیاف طبیعی مورد استفاده قرار گرفته است (۲۷). در مرحله بعد، نمونه های مورد نظر (به شکل الیاف توده شده) در درون قالبی مطابق با ابعاد لولهٔ امپدانس، یعنی به قطر داخلی ۱۰و ۳سانتی متری به ضخامت ۳ سانتی متر با چگالی ثابت ۲۰۰کیلوگرم بر مترمکعب ساخته شدند. کلیهٔ نمونه ها پس از قالب گیری به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه قرار می گرفتند تا رطوبت ان ها کاملاخشک شود. نهایتاً پس از این مرحله نمونه ها برای ارسال به آزمایشگاه آکوستیک تربیت مدرس آماده شدند.

- ضریب جذب صوتی

به منظور بررسی رفتار کامپوزیت طبیعی الیاف یوکا در طول فرآیند اصلاح آلکالینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با الیاف خام از روش اندازه گیری ضریب جذب صوتی استفاده شد. به طور کلی، روش های مختلفی برای اندازه گیری ضریب جذب صوتی وجود دارد. در این مطالعه ضریب جذب صوت در زاویه برخورد مستقیم، توسط لوله ی امپدانس واقع در دانشگاه تربیت مدرس (مدل ۴۷۷ ساخت شرکت BSWA کشور چین) و براساس روش تابع انتقال و استاندارد ISO10534-2 اندازه گیری شد(۲۸). در یک انتهای این لوله ی استوانه ای شکل و غیر متخلخل محل قرار گیری نمونه ها و در انتهای دیگر آن بلندگوی تولید صدا قرار دارد (شکل ۲).ازاین لوله برای تعیین ضریب جذب و انتقال صوت در مواد متخلخل و یا برای تعیین امپدانس سطحی استفاده می شود. در این دستگاه، امواج صوتی توسط یک منبع تولید صدا در لوله ایجاد می شود. و بعداز طریق اندازه گیری فشارهای آکوستیکی در دو مکان ثابت با استفاده از میکروفون های نصب شده بر دیواره ی لوله و محاسبه ی تابع تبدیل آکوستیکی مختلط، جذب صوت در حالت برخورد عمود و نسبتهای امپدانس مادهٔ جاذب محاسبه و اندازه گیری می گردد . سیستم لولهٔ امپدانس صوتی مجهز به لو له ای با قطر بزرگ (۱۰سانتیمتر) برای اندازه گیری ضریب جذب و افت انتقال صوت در فرکانس های پایین (۱۶۰۰ - ۶۳ هرتز) و لوله ای با قطر کوچک (۳ سانتی متر) برای اندازه گیری ضریب جذب

1 -Binder
2 - Polyvinyl alcohol

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

و افت انتقال صوت در فرکانس های بالا (۶۳۰۰ - ۱۶۰۰ هرتز) کاربرد دارد. همچنین در این مطالعه جهت بررسی اصلاح آلکالینی بر جذب صوتی الیاف یوکا، شاخص SAA (میانگین ضریب جذب صوتی) مطابق استاندارد ASTM C423 و طبق رابطه زیر محاسبه شد. بدین منظور مطابق استاندارد میانگین حسابی ۱۲ مرکز باند (از فرکانس ۲۰۰ تا ۲۵۰۰ هرتز) در محدوده فرکانسی $\frac{1}{3}$ اکتاو باند مطابق رابطه زیر برآورد گردید:

$$SAA = \frac{1}{12}\sum_{i=200\ Hz}^{i=2500\ Hz}\alpha_i \qquad (۱)$$

- پیش بینی جذب صوتی کامپوزیت بهینه براساس مدل های ریاضی حاکم بر مواد متخلخل

اندازه گیری مستقیم ضریب جذب صوتی(توسط امپدانس تیوب)، با استفاده از یک نمونه کوچک و برخورد یک موج ایستا به آن صورت می گیرد. این روش فقط ضریب جذب صوتی در حالت نرمال را فراهم میاورد و بسته به قرارگیری نمونه در نگهدارنده (هولدر) مستعد خطای اندازه گیری نیز هست. بسیاری از نویسندگان تغییرات و فرمول های تجربی برگرفته شده از مطالعات انجام شده درباره ضریب جذب انواع مواد متخلل را به عنوان مدل های پیش بینی کننده ی ضریب جذب صوتی برای به دست آوردن بهترین سازگاری بین مقادیر اندازه گیری شده تجربی و بهینه سازی پیش بینی ضریب جذب صوتی پیشنهاد می کنند(۳۰, ۲۹). مدل های تئوری[1] ارائه شده برای بررسی تحلیلی، با درنظر گرفتن برخی از خواص فیزیکی اولیه مواد، مانند تخلخل[2]، انحنا (تورتوسیته[3]) و مقاومت در برابر جریان هوا[4]، مصرف انرژی صوتی را در مواد جاذب صوت محاسبه کرده و ضریب جذب صوتی و سایر رفتار آکوستیکی در جاذب های صوتی متخلل را پیش بینی می کند(۱۸). تا کنون، چندین مدل تحلیلی برای پیش بینی خواص جذب صدا در مواد جذب صدا متخلخل منتشر شده است(۳۱).که از میان آن ها، می توان به دو مدل رایج، مدل دلانی-بازلی[5] و مدل میکی[6] اشاره نمود. که در مطالعه حاضر نیز، بررسی کاربردپذیری این مدل ها برای پیش بینی جذب صوتی در کامپوزیت بهینه الیاف یوکا در بازه ی فرکانسی ۶۳-۶۳۰۰ هرتز توسط کدنویسی فرمول ها در نرم افزار متلب انجام شد.

مدل دلانی-بازلی: اولین مدل پذیرفته شده تجربی است که در چند دهۀ گذشته مورد استفاده قرار گرفته است، مدل دلانی-بازلی است(۳۲) که در جاذب های صوتی ساخته شده از الیافی مانند پشم شیشه و پشم سنگ با تخلخل نزدیک به ۱ به کار می رود، و به صورت معادله زیر است:

$$Z_c = \rho_0 c_0\left[1+0.0571(X)^{-0.754}-i0.087\left(\rho_0 f/\sigma\right)^{-0.732}\right] \qquad (۲)$$

$$K_c = \omega/c_0\left[1+0.0978(X)^{-0.7}-i0.189\left(\rho_0 f/\sigma\right)^{-0.595}\right] \qquad (۳)$$

$$X = \rho_0 f/\sigma \qquad (۴)$$

$$Z_s = -jZ_c\cot(kd) \qquad (۵)$$

$$R = \frac{Z_s-\rho_0 c_0}{Z_s+\rho_0 c_0} \qquad (۶)$$

$$\alpha = 1-|R|^2 \qquad (۷)$$

به طوریکه Z_cامپدانس مشخصه، K_c عدد موج مشخصه، c_0 سرعت صوت در محیط متخلخل، ρ_0 چگالی هوا، f فرکانس،σ مقاومت در برابر جریان هوا و و ω فرکانس زاویه‌ای، Z_s امپدانس سطح و d ضخامت ماده هستند. لازم به ذکر است که به کارگیری این مدل، تنها در محدودۀ $0.01<\frac{\rho_0 f}{\sigma}<1.0$ جایز است، و استفاده از آن در خارج از محدودۀ مورد نظر توصیه نمی‌شود.

مدل میکی: میکی یک مدل بهبود یافته از امپدانس و ثابت‌های انتشار ارائه نمود که پیشتر توسط دلانی-بازلی ارائه شده بود(۲۹). این مدل درمورد ویژگی ی حقیقی مثبت بودن بخش‌های حقیقی و موهومی این عبارات صادق است ؛ از این رو این مدل مقادیر منفی مربوط به بخش حقیقی امپدانس سطح را به نشان نمی‌دهد. ثابت‌های انتشار و امپدانس مشخصۀ بهبود یافته به صورت زیر بیان می شوند:

$$Z_c = \rho_0 c_0\left[1+5.05\left(10^3 f/\sigma\right)^{-0.632}-j8.43\left(10^3 f/\sigma\right)^{-0.632}\right] \qquad (۸)$$

$$K_c = \omega/c_0\left[1+7.81\left(10^3 f/\sigma\right)^{-0.618}-j11.41\left(10^3 f/\sigma\right)^{-0.618}\right] \qquad (۹)$$

همچنین مشخص شده است که مدل میکی در مقایسه

1 Empirical Models
2 -Porosity
3 - Tortuosity
4 - Air flow resistivity
5 - Delany-Bazley
6 - Miki

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

با مدل اصلی دلانی-بازلی، قابلیت پیش بینی بالاتری به ویژه در محدوده فرکانس f <۴۰۰۰ Hz دارد.

نتایج

- طراحی آزمایش، آنالیز آماری و بهینه سازی

تعداد آزمایش های مورد نیاز با توجه به سطح متغییرها، برای بهینه سازی سطوح بر اساس طرح فاکتوریلی کامل، تعیین شد. در جدول زیر (جدول شماره ۲) ماتریس مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است. آزمایش ها به صورت تصادفی انجام شدند تا خطاهای سیستماتیک به حداقل برسند . میانگین ضریب جذب صوتی هر آزمایش در جدول شماره ۲ آمده است. همچنین با استفاده از نرم افزار Design-Expert، مدل درجه دوم برای متغییر پاسخ (میانگین ضریب جذب صوتی) بدست آمد. مشخصات آماری مجموع مربعات، درجه آزادی، میانگین مربعات و مقادیر F و p برای مدل ارائه شده در جدول شماره ۳ آمده است.

که در فرمول ارائه شده، A نشان دهنده مقادیر واقعی غلظت سدیم هیدروکسید و B نشان دهنده مقادیر واقعی مربوط به زمان غوطه وری می باشد. ضرایب رگسیون مثبت حاصل از مدل نشان دهنده تاثیر مستقیم پارامترهاست . همچنین هرچه مقدار ضرایب در این مدل های ارائه شده، بیشتر باشد، نشان دهنده تاثیر بیشتر آن پارامتر تلقی می شود(۳۳). در شکل ۳ (الف) اختلاف بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده پاسخ ها و نحوه پراکندگی خطاها آورده شده است. تجمع نقاط در اطراف خط وسط نشان می دهد که نتایج آزمایشگاهی با نتایج به دست آمده از رابطه همخوانی خوبی دارد . ضمناهمبستگی رضایت بخش و قابل قبولی بین مقادیر پیش بینی شده و واقعی گزارش شد که قدرت مدل را تأیید می کند(با R^2 = ۰/۹۸). با توجه به نتایج آنالیز واریانس مشخص شد که تأثیر پارامترهای Aو B بر پاسخ میانگین ضریب جذب صوتی مورد انتظار واضح است. و با توجه به مقدار F (۱۰۸۸/۴۲ برای پاسخ میانگین ضریب جذب صوتی) مشخص می شود که مدل قابلیت تخمین نتایج را در محدوده مورد بررسی برای پاسخ مورد نظر به

جدول ۲- شرایط انجام آزمایش بر اساس طرح فاکتوریلی کامل

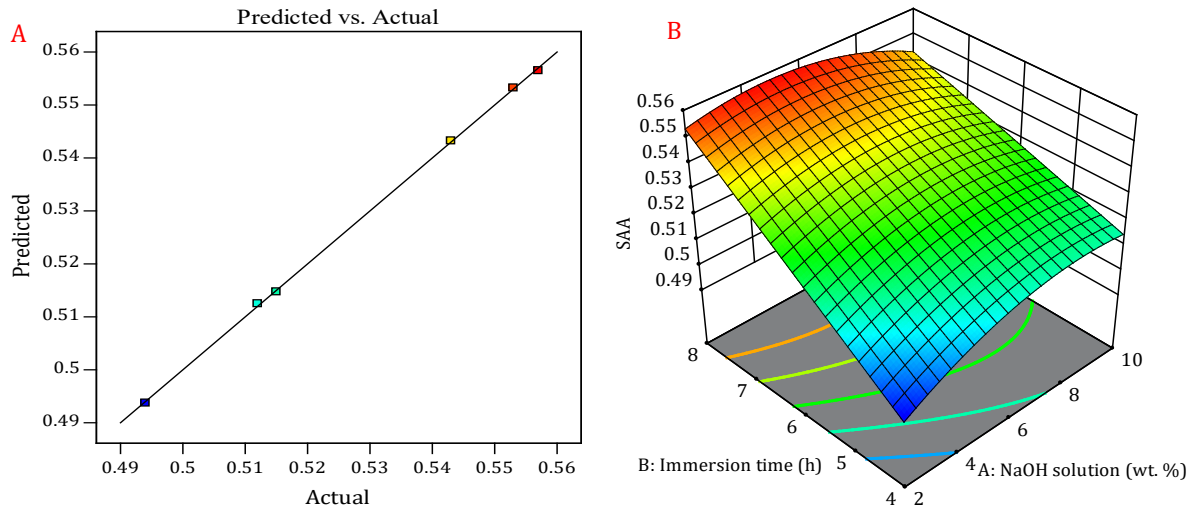
آزمایشات	متغییرهای مستقل (پارامترها)		پاسخ
	A: مقدار سدیم هیدروکسید	B: زمان غوطه وری	میانگین ضریب جذب صوتی
۰ (الیاف خام)	۰	۰	۰/۴۶۵
۱	۱۰	۸	۰/۵۳۴
۲	۲	۴	۰/۴۹۴
۳	۱۰	۴	۰/۵۱۵
۴	۶	۸	۰/۵۵۷
۵	۶	۴	۰/۵۱۲
۶	۲	۸	۰/۵۵۳

جدول ۳- آنالیز واریانس- مدل به دست آمده و مشخصات آن

پاسخ	مدل‌ارائه شده	آنالیز واریانس				
		مدل	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار p
SAA	مدل درجه دوم SAA= +۰/۴۱۰۹۴ + ۰/۰۱۲۶۸۷A+ ۰/۰۱۶۸۱۱۲B -۹/۶۸۸۷۵۰×۱۰$^{-۴}$AB – ۵/۵۱۶۳۲۵× ۱۰$^{-۴}$A^{۲}	Model	۳/۲۶×۱۰$^{-۳}$	۴	۸/۱۶×۱۰$^{-۴}$	۱۰۸۸/۴۲	۰/۰۲۲
		A	۳/۰۲×۱۰$^{-۵}$	۱	۳/۰۲×۱۰$^{-۵}$	۴۰/۳۳	۰/۰۴۸
		B	۲/۹۰×۱۰$^{-۳}$	۱	۲/۹۰×۱۰$^{-۳}$	۳۸۷۲	۰/۰۱۰
		AB	۲/۴۰×۱۰$^{-۴}$	۱	۲/۴۰×۱۰$^{-۴}$	۳۲۰/۳۳	۰/۰۵۵
		A^{۲}	۹/۰۷×۱۰$^{-۵}$	۱	۹/۰۷×۱۰$^{-۵}$	۱۲۱/۰۰	۰/۰۵۷
		باقی‌مانده	۷/۵۰×۱۰$^{-۷}$	۱	۷/۵۰×۱۰$^{-۷}$		
		کل	۳/۲۶×۱۰$^{-۳}$	۵			
	$(R^2 = ۰/۹۸, R^2_{adj} = ۰/۹۹)$						

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]



شکل ۳- الف) مقادیر واقعی در مقابل مقدار پیش بینی شده مدل (ب) نمای سه بعدی تأثیر متغیرهای اصلی بر AAS در فرآیند اصلاح آلکالینی

جدول ٤- نتایج آزمایشات تاییدی و مقایسه آن با نتایج شرایط بهینه

پاسخ‌ها	واقعی			پیش‌بینی				
	مقدار ارائه‌شده در آزمایشات تاییدی	مقدار ارائه شده توسط مدل	خطای استاندارد میانگین	سطح اطمینان ۹۵ درصد (حدپایین)	سطح اطمینان ۹۵ درصد (حدبالا)	خطای استاندارد پیش‌بینی- شده	سطح اطمینان پیش‌بینی (حدپایین)	سطح اطمینان پیش‌بینی (حدبالا)
میانگین ضریب جذب صوتی	۰/۵۵۳	۰/۵۵۷	$۶/۹۱\times۱۰^{-۴}$	۰/۵۵	۰/۵۷	$۱/۱۰\times۱۰^{-۳}$	۰/۵۴	۰/۵۷

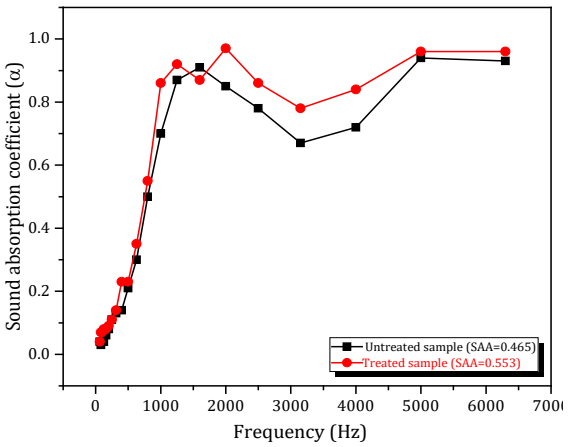
خوبی دارا می باشد. براساس نتایج حاصل از جدول آنالیز واریانس،مشخص شد که فاکتور زمان در مقایسه با فاکتور مقدارسدیم هیدروکسید، تاثیر جزئی بیشتری را در بروز پاسخ این مطالعه یعنی میانگین ضریب جذب صوتی نشان می دهد . به عبارتی سهم تاثیرگذاری زمان غوطه وری در پاسخ های مورد انتظار در این مطالعه بیشتر از مقدار سدیم هیدروکسید بود. شکل ۳ نحوه تاثیرگذاری این فاکتورها بر میانگین ضریب جذب صوتی و همچنین نحوه تاثیر متقابل پارامترها برهم راباز گو می کند. بنابراین شکل، در فرایند اصلاح الکالینی الیاف طبیعی یوکا در این مطالعه، شاخص SAA بیشینه زمانی اتفاق می افتد که مقدار سدیم هیدروکسید در محدوده میانی (حدود ۴ تا ۶ درصد) و زمان غوطه وری در محدوده ۷ تا ۸ ساعت انتخاب شود. براین اساس با افزایش مقدار سدیم هیدروکسید تا محدوده خاص و افزایش زمان غوطه وری پاسخ مورد انتظار یعنی مقدار میانگین ضریب جذب صوتی افزایش می یابد.

در راستای بررسی سایر نتایج، در پاسخ مورد انتظار (میانگین ضریب جذب صوتی) نیز، تاثیر متقابل بین دو پارامتر مقدار سدیم هیدروکسید و زمان غوطه وری بارز نبود. در این مطالعه جهت بهینه سازی جاذب های صوتی ساخته شده از الیاف طبیعی با درنظر گرفتن میانگین ضریب جذب صوتی بیشینه از تحلیل آنالیز واریانس استفاده شد، براین اساس جهت طراحی و ساخت جاذب های صوتی ساخته شده از الیاف یوکا (رسیدن به شرایط بهینه پاسخ مورد انتظار) باید مقدار سدیم هیدروکسید و زمان غلطت غوطه وری به ترتیب ۵ درصد و ۸ ساعت انتخاب شود .(نتایج پیش بینی شده در شرایط بهینه با آزمایش تجربی شماره ۴ نزدیک است). همچنین پاسخ های پیش بینی شده در این حالت برای میانگین ضریب جذب صوتی مقدار ۰/۵۵۷ محاسبه شد که با پاسخ های آزمون های تاییدی (سه آزمون جهت تایید مدل در شرایط بهینه انجام شد) مطابقت دارد. (جدول ۴).

- ضریب جذب صوتی

مقایسه ضریب جذب صوتی الیاف اصلاح شده یوکا در

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

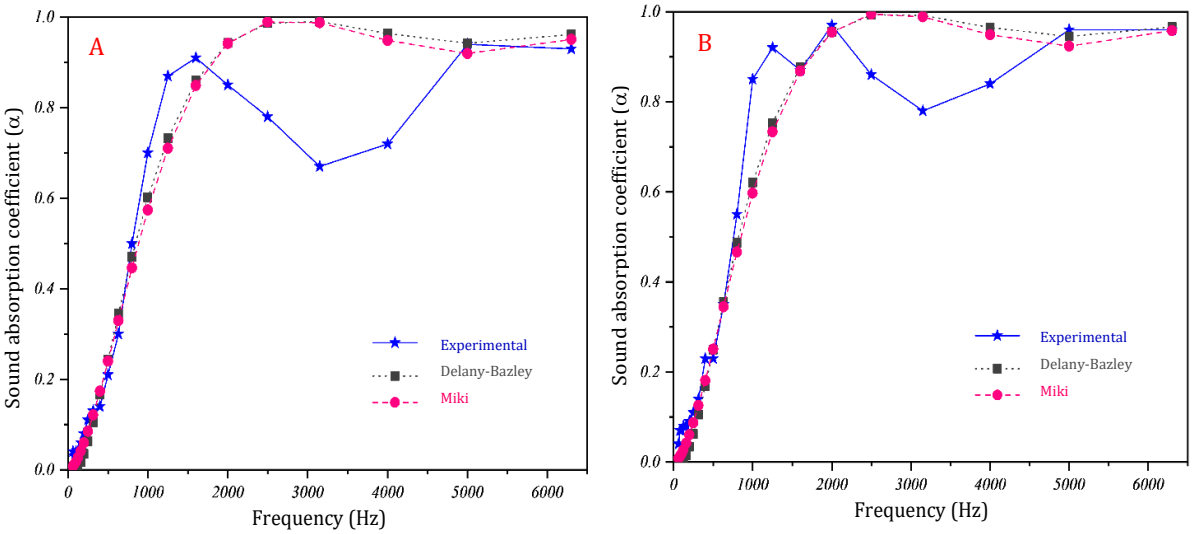


شکل ٤– مقایسه ضریب جذب صوتی الیاف اصلاح شده یوکا در شرایط بهینه و الیاف اصلاح نشده

شرایط بهینه و الیاف اصلاح نشده (خام) ارائه شده توسط لوله امپدانس درشکل ۴ آورده شده است. همان طور که در شکل مشخص است، به طورکلی در تمامی فرکانس های محدوده پایین، میانی و بالای یک سوم اکتاو باند، ضریب جذب صوتی در نمونه ی اصلاح شده در شرایط بهینه بیشتر از نمونه ی اصلاح نشده، بود. همانطور که مشخص است، انجام اصلاح آلکالینی سبب افزایش شاخص SAA نیز می شود به طوریکه این شاخص از مقدار اولیه خود (قبل از اصلاح الکالنی) یعنی ۰/۴۵۶ به مقدار ۰/۵۵۳ بعد از انجام اصلاح آلکالینی می رسد. به عبارتی انجام اصلاح آلکالینی در شرایط بهینه تعیین شده سبب افزایش ۱۸/۹۲ درصدی شاخص SAA می گردد.

-پیش بینی جذب صوتی کامپوزیت بهینه براساس مدل های ریاضی حاکم بر مواد متخلخل

براساس نتایج، تطابق هردو مدل پیش بینی کننده ضریب جذب صوتی در کامپوزیت طبیعی اصلاح نشده (خام) و کامپوزیت طبیعی اصلاح شده الیاف یوکا، در محدوده فرکانسی پایین (۵۰۰-۵۰ Hz) و میانی (Hz ۱۶۰۰-۵۰۰) یک سوم اکتاوباند مشهود است. به عبارتی این دو مدل تحلیلی بررسی شده در این مطالعه، در فرکانس های پایین و میانی توانایی پیش بینی خوبی رادر ضریب جذب صوتی کامپوزیت های طبیعی ساخته شده از الیاف یوکا (اصلاح شده و خام) را دارند. اما در کامپوزیت اصلاح نشده با افزایش فرکانس و حرکت به سمت محدوده فرکانسی بالا (بیش از ۱۶۰۰ Hz) نتایج مدل ها با نتایج تجربی اختلاف پیدا کرده است که در محدوده فرکانسی بیش از ۱۶۰۰ هرتز این اختلاف بارز به خوبی قابل مشاهده است. گرچه نتایج حاصله از مدل های تحلیلی با نتایج تجربی در محدوده فرکانسی بالا در هر دو کامپوزیت تفاوت نداشت ولی به صورت کلی می توان بیان داشت که نزدیکی نتایج تجربی در کامپوزیت اصلاح شده در مقایسه با کامپوزیت اصلاح نشده، با نتایج مدل های تحلیلی دلانی-بازلی و میکی بیشتر بود (شکل ۵).



شکل ٥– مقایسه ضرایب جذب نمونه‌های الیاف طبیعی یوکا (A: نمونه خام– B: نمونه اصلاح شده) با خروجی های مدل تجربی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

بحث و نتیجه گیری

همانطور که در این مطالعه مشخص شد که انجام اصلاح شیمیایی (اصلاح آلکالینی) توسط سدیم هیدروکسید سبب افزایش ضریب جذب کامپوزیت طبیعی ساخته شده از الیاف یوکا در محدوده فرکانسی یک سوم اکتاو باند می شود. بطوریکه کامپوزیت ساخته شده از این الیاف در شرایط بهینه بدست امده در مورد اصلاح الکالینی، شاخص SAA را ۱۸/۹۲ درصد افزایش را نشان می دهدداد. محققان قبل از تولید کامپوزیت های طبیعی در تلاش اند تا کیفیت الیاف طبیعی را بهبود بخشند. براساس مطالعات، گزارش شده است که اصلاح قلیایی توسط سدیم هیدروکسید قطر الیاف را کاهش داده و با بهبود وضعیت چسبندگی و مقاومت در برابر قارچ، کیفیت آن را ارتقا می بخشد (۱۵).

کاهش قطر الیاف با فراهم کردن سطح تماس بیشتر و مسیر پر پیچ بالاتر، به نوبه خود مقاومت جریان هوای عبوری از کامپوزیت های ساخته شده از الیاف طبیعی را نیز افزایش داده که این موضوع سبب افزایش جذب صوتی در محدوده فرکانسی پایین می شود. افزایش مقاومت در برابر جریان هوا باعث از بین رفتن انرژی صوتی از طریق اصطکاک امواج صوتی با مولکول های هوا و در نتیجه جذب صدا با فرکانس پایین را بهبود می بخشد(۷). کاهش قطر الیاف به عنوان مهمترین پارامتر هندسی-فیزیکی جهت تقویت عملکرد جذب صدا در کامپوزیت های طبیعی ساخته شده از الیاف منجر به افزایش ارزش ضریب جذب صدا خواهد شد. در این حالت در ساخت ضخامت های برابر از کامپوزیت های طبیعی، جهت رسیدن به مقدار چگالی مساوی با توجه به کاهش قطر الیاف، مقدار بیشتری از الیاف کنار هم قرار می گیرند که این حالت سبب ایجاد مسیری پرپیچ و خم برای عبور هوا از بستر کامپوزیت و افزایش جلوگیری کامپوزیت و مقاومت بیشتر آن در برابر جریان هوا می شود در نتیجه، عملکرد آکوستیک جاذب های متخلخل طبیعی به دلیل اصطکاک ویسکوز از طریق لرزش هوا افزایش می یابد(۸)

علاوه بر این، عبور امواج صوتی در بین کامپوزیت های ساخته شده از الیاف نازک (در مقایسه با الیاف ضخیم) راحت تر صورت می گیرد . که این موضوع به دلیل ارتعاش بیشتر مولکول های هوا باعث افزایش ویسکوزیته محیط شده و سبب افزایش جذب صوتی توسط کاهش سرعت صدای عبوری می شود(۳۴).

نتایج این مطالعه و مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان دهنده تاثیر قطر الیاف طبیعی به عنوان یک پارامتر مهم در تقویت جذب آکوستیکی در کامپوزیت های ساخته شده از الیاف طبیعی است. همراستا با نتایج حاضر، افزایش قابل توجهی در جذب صوتی کامپوزیت طبیعی در محدوده فرکانسی پایین و میانی به دلیل کاهش قطر الیاف نارگیل در شبیه سازی عددی صورت گرفته توسط نور و همکاران یافت شد(۷).

در این مطالعه افزایش و تغییر تدریجی پیک ضریب جذب صدا با کاهش قطر الیاف یوکا به سمت ناحیه فرکانس پایین و میانی گزارش شده است. براین اساس فرآیند اصلاح آلکالینی باعث کاهش قطر الیاف، حذف رطوبت، ضایعات، ناخالصی های، همی سلولز و واکس از سطح الیاف طبیعی می شود و به این ترتیب کیفیت چسبندگی و خاصیت ضد قارچی (آنتی باکتریال) کامپوزیت را بهبود می بخشد(۸).

گرچه در این مطالعه استفاده از اصلاح آلکالینی، سبب افزایش جذب صوتی در کامپوزیت های ساخته شده از الیاف طبیعی شد، با این حال ، تحقیقات محدودی در مورد تأثیر عملکرد جذب صدا به دلیل درمان قلیایی گزارش شده است. تحقیقات بیشتری در مورد تأثیر اصلاح قلیایی و تاثیر انواع روش های اصلاح شیمیایی بر عملکرد جذب صوتی کامپوزیت های آکوستیکی طبیعی و هیبریدی مورد نیاز است. براساس نتایج، مدل های تحلیلی استفاده شده در این مطالعه، در فرکانس های پایین و میانی کامپوزیت های طبیعی اصلاح شده تطابق خوبی با نتایج تجربی گزارش گردیده ، اما با افزایش فرکانس و حرکت به سمت محدوده فرکانسی بالا تطابق مدل ها با نتایج تجربی تطابق مناسبی ندارد. راندمان مناسب جذب انرژی صوتی در مواد متخلل از طریق مکانیسم حرارتی وابسته به متغییرهای غیرآکوستیکی تاثیرگذاری ی مهمی از جمله مقاومت دربرابر جریان هوا، تورتوسیته و تخلخل است .در صورتی که مدل های پیش بینی کننده در این مطالعه بر پارامتر مقاومت جریان هوا تاکید دارند . به همین دلیل تفاوت ناشی از نتایج تحلیلی و تجربی در محدوده فرکانس های میانی به بالا را می توان به عدم درنظر گرفتن سایر پارامترهای غیرآکوستیکی حاکم بر جاذب های صوتی ی ساخته شده از الیاف طبیعی مانند تورتوسیته و تخلل نسبت داد.

اگرچه مطالعاتی در زمینه بررسی جذب صوتی در کامپوزیت های طبیعی انجام شده است، اما بکارگیری مدل های تحلیلی در مطالعات با توجه به اعتبار و دقت بیشتر،نشان می دهدکه تطابق مطلوب نتایج تجربی و تحلیلی دارای محدودیت است .در این راستا، امروزه، روند توسعه و به کارگیری مدل‌های پیش بینی کننده

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

در حوزه ی آکوستیک و جذب صدا روز به روز در حال پیشرفت بوده و نیاز مبرمی برای ایجاد مدل‌های تجربی کاربردی، دقیق و آسان بیش از پیش احساس می شود.انجام مدلسازی ریاضی توسط مدل های تحلیلی مختلف جهت دستیابی به درک جامعی از مدل‌های موجود و امکان انتخاب بهترین مدل برای پیش بینی مقادیر ضریب جذب در مطالعات آتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.در نتیجه، انجام مطالعات در زمینه ی توسعه ی مدل‌های تجربی مبتنی برعملکرد جاذب های صوتی با منشأ طبیعی بسیار سودمند خواهد بود .زیرا مدل‌های تجربی مزیت هایی همچون صرفه جویی در زمان و هزینه و نیز ساده سازی فرآیند تعیین ضریب جذب را به همراه دارد. بنابراین نیاز به توسعه مدل های تجربی با قابلیت اندازه گیری دقیق ضریب جذب صوت در کامپوزیت های الیاف طبیعی به طور فزاینده وجود دارد.

به عنوان نتیجه گیری در این مطالعه،باید اعلام کنیم که بهینه سازی فرآیند اصلاح الکالینی الیاف طبیعی به منظور دستیابی به SAA بیشینه کامپوزیت های ساخته شده از الیاف طبیعی یوکا زمانی اتفاق می افتد که مقدار سدیم هیدروکسید در محدوده میانی (حدود ۴ تا ۶ درصد) و زمان غوطه وری در محدوده ۷ تا ۸ ساعت انتخاب شود. براین اساس افزایش مقدار سدیم هیدروکسید و افزایش زمان غوطه وری تا محدوده شرایط بهینه، سبب افزایش پاسخ مورد انتظار یعنی مقدار SAA می شود. همچنین بسیاری از مدل‌های تحلیلی جذب صوتی مواد متخلخل، در محدودهٔ فرکانسی مربوط به خود (برخی در فرکانس های پایین و برخی در فرکانس های بالا) عملکرد بهتری دارند. از این رو، می‌توان از مدل‌ها و رویکردهای ترکیبی در پیش بینی ضریب جذب صوت برای تمامی فرکانس ها استفاده نمود. درنهایت می توان بیان داشت که اصلاح آلکالینی توسط سدیم هیدروکسید، جهت بهبود خواص آکوستیکی کامپوزیت های ساخته شده از الیاف طبیعی کنف موثر واقع شده است و با توجه به مزایای برجسته الیاف طبیعی (مزایای اقتصادی و محیط زیستی) و افزایش استفاده از این دسته از الیاف به عنوان فیلر و تقویت کننده خواص مکانیکی در کامپوزیت های هیبریدی چندمنظوره ساخته شده از ماتریس پلیمری ،فرآیند اصلاح آلکالینی بهینه شده، روش مناسبی برای بهبود سازگاری بین الیاف طبیعی و ماتریس پلیمری و همچنین بهبود خواص کلی کامپوزیت های هیبریدی تلقی می شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله لازم می دانند مراتب قدردانی و تشکر خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که شرایط لازم برای انجام این تحقیق را فراهم آوردند اعلام نمایند.

منابع

1. 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.
2. Arenas JP, Crocker MJ. Recent trends in porous sound-absorbing materials. Sound & vibration. 2010;44(7):12-8.
3. Ekici B, Kentli A, Küçük H. Improving sound absorption property of polyurethane foams by adding tea-leaf fibers. Archives of Acoustics. 2012;37(4):515-20.
4. Asdrubali F, D'Alessandro F, Schiavoni S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. Sustainable Materials and Technologies. 2015;4:1-17.
5. Samaei SE, Asilian Mahabadi H, Mousavi SM, Khavanin A, Faridan M. Effect of Alkali Treatment on Diameter and Tensile Properties of Yucca Gloriosa Fiber Using Response Surface Methodology. Journal of Natural Fibers. 2020:1-14.
6. Sullins T, Pillay S, Komus A, Ning H. Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. Composites Part B: Engineering. 2017;114:15-22.
7. Nor MJM, Ayub M, Zulkifli R, Amin N, Fouladi MH. Effect of different factors on the acoustic absorption of coir fiber. Journal of Applied Sciences. 2010;10(22):2887-92.
8. Mamtaz H, Fouladi MH, Al-Atabi M, Narayana Namasivayam S. Acoustic absorption of natural fiber composites. Journal of Engineering. 2016;2016.
9. Cao L, Fu Q, Si Y, Ding B, Yu J. Porous materials for sound absorption. Composites Communications. 2018;10:25-35.
10. 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.
11. Jayamani E, Hamdan S, editors. Sound absorption coefficients natural fibre reinforced composites. Advanced Materials Research; 2013: Trans Tech Publ.
12. Rahimabady M, Statharas EC, Yao K, Sharifzadeh

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]

Mirshekarloo M, Chen S, Tay FEH. Hybrid local piezoelectric and conductive functions for high performance airborne sound absorption. Applied Physics Letters. 2017;111(24):241601.
13. Lim Z, Putra A, Nor MJM, Yaakob M. Sound absorption performance of natural kenaf fibres. Applied Acoustics. 2018;130:107-14.
14. Yahaya R, Sapuan S, Jawaid M, Leman Z, Zainudin E. Effect of layering sequence and chemical treatment on the mechanical properties of woven kenaf–aramid hybrid laminated composites. Materials & Design. 2015;67:173-9.
15. Kalia S, Kaith B, Kaur I. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—a review. Polymer Engineering & Science. 2009;49(7):1253-72.
16. Li X, Tabil LG, Panigrahi S. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review. Journal of Polymers and the Environment. 2007;15(1):25-33.
17. Othmani C, Taktak M, Zein A, Hentati T, Elnady T, Fakhfakh T, et al. Experimental and theoretical investigation of the acoustic performance of sugarcane wastes based material. Applied Acoustics. 2016;109:90-6.
18. Berardi U, Iannace G. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. Building and Environment. 2015;94:840-52.
19. 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.
20. Taban E, Khavanin A, Ohadi A, Putra A, Jafari AJ, Faridan M, et al. Study on the acoustic characteristics of natural date palm fibres: Experimental and theoretical approaches. Building and Environment. 2019;161:106274.
21. Balbaşı M. Application of full factorial design method to silicalite synthesis. Materials Research Bulletin. 2013;48(8):2908-14.
22. Hashim MY, Amin AM, Marwah OMF, Othman MH, Yunus MRM, Huat NC, editors. The effect of alkali treatment under various conditions on physical properties of kenaf fiber. Journal of Physics: Conference Series; 2017: IOP Publishing.
23. Alavudeen A, Rajini N, Karthikeyan S, Thiruchitrambalam M, Venkateshwaren N. Mechanical properties of banana/kenaf fiber-reinforced hybrid polyester composites: Effect of woven fabric and random orientation. Materials & Design (1980-2015). 2015;66:246-57.
24. Akhtar MN, Sulong AB, Radzi MF, Ismail N, Raza M, Muhamad N, et al. Influence of alkaline treatment and fiber loading on the physical and mechanical properties of kenaf/polypropylene composites for variety of applications. Progress in Natural Science: Materials International. 2016;26(6):657-64.
25. Mahjoub R, Yatim JM, Sam ARM, Hashemi SH. Tensile properties of kenaf fiber due to various conditions of chemical fiber surface modifications. Construction and Building Materials. 2014;55:103-13.
26. Fiore V, Di Bella G, Valenza A. The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. Composites Part B: Engineering. 2015;68:14-21.
27. Taban E, Khavanin A, Ohadi A. Experimental study and modelling of date palm fibre composite acoustic behaviour using differential evolution algorithm. Iran Occupational Health. 2019;16(2):94-108.
28. Standard B. Acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes—part 2: Transfer-function method. BS EN ISO. 2001:10534-2.
29. Miki Y. Acoustical properties of porous materials-Modifications of Delany-Bazley models. Journal of the Acoustical Society of Japan (E). 1990;11(1):19-24.
30. Garai M, Pompoli F. A simple empirical model of polyester fibre materials for acoustical applications. Applied Acoustics. 2005;66(12):1383-98.
31. Oliva D, Hongisto V. Sound absorption of porous materials–Accuracy of prediction methods. Applied Acoustics. 2013;74(12):1473-9.
32. Delany M, Bazley E. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. Applied acoustics. 1970;3(2):105-16.
33. Chen X, Du W, Liu D. Response surface optimization of biocatalytic biodiesel production with acid oil. Biochemical Engineering Journal. 2008;40(3):423-9.
34. Cox T, d'Antonio P. Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application: Crc Press; 2016.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.1]