DOR: 20.1001.1.24234931.1402.10.1.8.6
DOI: 10.52547/jrenew.10.1.110

Research Article
Received: 03/08/22
Accepted: 08/21/22

Volume 10, Issue 1, Spring & Summer 2023, p. p. 110-121
Journal of Renewable and New Energy
jrenew.ir
Print ISSN 2423-4931 Online ISSN 2676-2994

A solution to improve the thermal efficiency of the exterior shell of a building using natural non-woven composite materials

Mahbube Pakdel[1], Babak Alemi[2*]

1- M.S in Architectural Technology, Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan, Kashan, Iran.
2- Assistant Professor, Architectural Technology Department, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan, Kashan, Iran.
* Tehran, Iran, alemi@kashanu.ac.ir

Received: 8 March 2022 Revised: 24 June 2022 Accepted: 21 August 2022

Abstract

Silkworm cocoons are a biological structure and a natural compound that develop over time and responds well to the environmental conditions for silkworms. Understanding the relationships of cocoon structure inspires the creation of composite structures such as low-weight, high-strength nonwoven bio composites. By means of a descriptive-analytical method and logical reasoning, in this study, in addition to introducing the cocoon structure, we try to offer materials as a non-woven bio composite, using sericin cocoon and natural fibers which for various reasons such as being light, non-polluted, abundant, and low-cost can be a suitable alternative to artificial fibers. These materials are recyclable and suitable in terms of stability and energy consumption; therefore, they can be used as thermal and moisture insulation. This function is simulated and analyzed for the hot and dry climate of Kashan city in the outer shell of the building using the Hani Bee energy analysis plugin in the Grasshopper environment. The results show that the proposed non-woven bio composite can help improve, by up to 12.7%, the thermal performance of the building and decrease the movement of heat between the inner and outer space compared to the same building without thermal insulation in its outer shell.

Keywords: Bio mimicry, Silkworm cocoon, Bio fiber composite with natural fibers, Bionic architectural materials

1. Introduction

The use of composites in architecture is in the early stages compared to their use in other industries. The reason for this is the lack of engineering standards in the building and the architects' lack of interest in using these materials. Structures that are made using natural composite materials are more compatible with the environment, which results in reducing energy consumption and carbon emissions during the production process, but the major drawback of composites with synthetic fibers is the lack of a solution for their recycling. [1] Research on eco-friendly composites made from natural fibers is important due to environmental compatibility and resource depletion concerns; Non-woven textiles are a part of these compounds that are connected without special makeup and texture and with the help of glue (matrix). One of these materials is the silkworm cocoon, which is a polymer of a single chain of silk fibers about 1,000 to 1,500 micrometers long, linked by sericin, which contains a protein that is about 75% of the weight of the cocoon and sericin, which is a water-soluble polymer. , constitutes 25% of its weight. [2-3]. Each layer of the silkworm cocoon has different mechanical behavior and proper performance against moisture, air flow, ultraviolet rays and impact. Considering the above, in this study, inspired by the two-component structure of the silkworm cocoon, a non-woven biocomposite composed of natural jute fibers and sericin is proposed due to its abundance and low thermal conductivity. The suggested materials can perform well in the building. Among other things, it can be used as thermal insulation in the outer shell of the building. In the continuation of this research, the performance of this thermal insulation in the outer shell of the building in hot and dry weather is analyzed by the Honeybee Grasshopper plugin and the results of this simulation are evaluated.

Research questions:

1. How does the study of the structure and materials of silk cocoons and natural fibres lead to a non-woven composite model?

2. How does the proposed natural fibre nonwoven composite model help to improve performance in buildings?

2. Non-Woven natural fiber composite model

In this paper, a non-woven composite model with natural fibers and sericin cocoon grafting is proposed and its structure will be described with a main process. The use of natural fibers is possible in many regions and countries due to their good thermal properties and favorable strength, lightness, recyclability and easy access. These fibers were used in building materials in the past, and today, with increasing environmental concerns, they have been used in several studies in the preparation of biocomposites. To choose natural fibers, you should first check them according to their design needs and compare their strengths and weaknesses. In

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Check for updates

this model, jute was considered as a natural fiber in the preparation of fibrous biocomposite due to its lower thermal conductivity than hemp and flax and the abundance of these fibers and the ability to grow in all regions. After choosing the fibers, the adhesive between the fibers is important, which leads to strength and strengthening of mechanical properties. Synthetic bonds have significant disadvantages, such as water absorption, which can reduce the useful life of composite materials, and due to the manufacturing process of composite materials, it consumes more energy. [4-6] In addition, as toxic substances, they cause side effects. [7] Therefore, sericin is a suitable alternative as a natural adhesive. In this research, sericin was considered as a binder between jute fibers to produce nonwoven biocomposites. The amount of sericin can be used up to 30 percent by volume, and the remaining 70 percent is made up of natural fibers. The manufacturing process starts with cutting the fibers to 1 cm length. Then the fibers are poured into a container and sericin solution is added to it and the solution is gently stirred to obtain a homogeneous dispersion of the fibers in the solution. After that, the prepared material is poured into a steel mold and the mixture is placed in a heat press to remove moisture and compress the fibers, to produce a compact composite panel.

3. Simulation of thermal behavior of nonwoven natural fibrous composite

To simulate the thermal behavior of a non-woven jute-sericin composite like moisture and heat insulation, a shell view of the building was first presented. This layer is located as a thermal insulation on the outside of the building wall and the outer wall of the building is considered to be on the south side of the building. Architectural details of the building shell were selected to calculate structures without load bearing and reinforcing elements. To allocate materials to the designed shell components of the building, a 22 cm solid brick was considered for the exterior wall of the building and a 3 cm plate brick was considered for the facade covering. The coefficient of thermal conductivity of brick materials is 0.9 and the coefficient of thermal conductivity of the air layer between the bio composite thermal insulation and the facade cover is 0.026, in accordance with the numbers in Section 19 of the National Building Regulations. The thermal conductivity of non-woven jute biocomposite, which is proposed as thermal insulation with a thickness of 5 cm, was calculated based on Maxwell's formula.

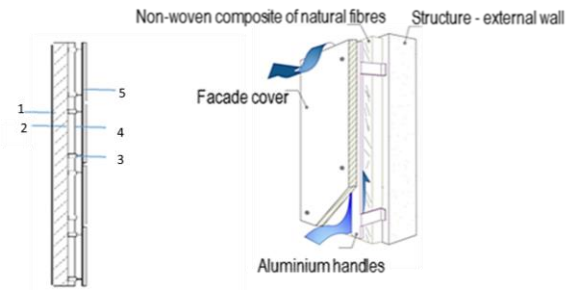


Figure 1. Left) Cross section, 1. Internal wall of 22 cm solid brick, 2. Non-woven composite of natural fibers, 3. Aluminum handles, connecting the facade covering to the inner wall, 4. Air layer, 5. Facade covering. Right) The proposed model of shell façade - Fiber composite panels with natural fibers are placed on the outer shell of the building façade as a moisture and heat retarder. There should be a space for air conditioning between the façade cover and the composite.

In this simulation, the hot and dry climatic conditions of Kashan city were considered.The climate of Kashan is hot for nine months of the year and cold only for three months of the year. For this reason, simulating and reviewing performance for the summer and warm months of the year is a priority. According to the statistics of Kashan meteorological station, August and July with an average temperature of 37 to 40 ° C are the warmest months of the year and January is the coldest month of the year with an average temperature of about -2 ° C .The average maximum temperature is 24.5 ° C and the average minimum temperature is 11 ° C .For this reason, the external temperature conditions of the building were considered in accordance with meteorological statistics and for its average temperature in the warm seasons of the year (+40) ° C. By determining the boundary conditions of indoor and outdoor environments, the hypothetical temperature inside 24 (equal to thermal comfort conditions) was determined.

Thermal simulation of the outer crust in Rhino and in the Grasshopper environment and its energy analysis was performed by the Honeybee plugin. Two modes were considered for the building shell. At first, the building shell was designed as a thermal insulator in the software environment without considering jute-sericin non-woven composite materials. In the second case, the proposed materials are placed in accordance with the architectural details of “figure 3”, such as insulation in the building shell and between the covering materials of the facade and the building wall. Based on the output data of this simulation process, the amount of temperature difference in materials on the outside and inside of the building as well as the amount of heat transferred along surfaces in watts per square meter in Kelvin can be obtained. By comparing the two shell states of the building, by considering the non-woven bio composite insulation of jute as thermal insulation between the inner and outer walls and without

considering that, the performance of the proposed materials in reducing heat transfer in the building can be obtained.

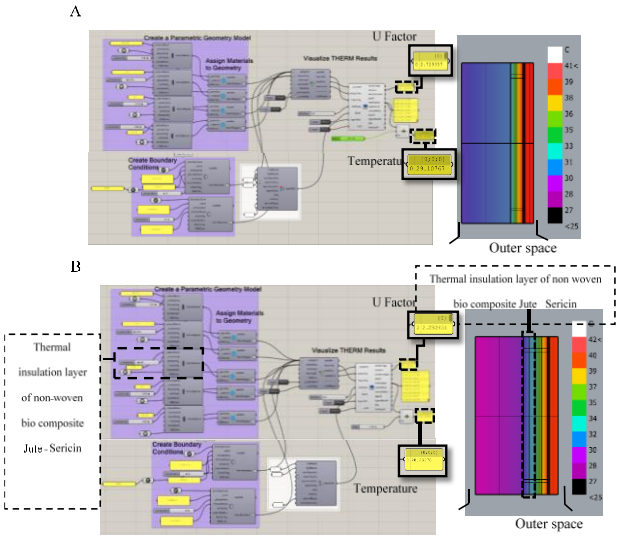


Figure 2. A) Simulation of the thermal behavior of the shell of the building without considering the thermal insulation layer of non-woven composite on the outside of the main wall of the building, left of the thermal analysis algorithm in Honeybee plugin in the hopper environment and right of the thermal analysis display, B) Simulation Thermal behavior of building shell facade by considering the layer of non-woven composite thermal insulation on the outside of the main wall of the building, the left side of the thermal analysis algorithm in the Honeybee plugin in the Grasshopper environment and the right side of the thermal analysis display.

The amount of temperature difference inside and outside the building and heat transfer of the wall surface in two modes of thermal simulation of the building shell, which was done in software, were obtained from the numerical outputs of the thermal analysis algorithm and can be seen in the table below.

Table 1. Investigation of numerical outputs from thermal simulation of building shell [Authors]

Building shell	Inner layer temperature (° C)	Outer layer temperature (° C)	Temperature difference between inside and outside layers (° C)	Heat transfer (w/ m^2. °K)
A*	29.2	38.6	2.72	9.4
B**	28.2	38.8	2.28	10.6
Percentage change of temperature difference between inside and outside layers (° C)				12.7%

* First case: Building shell - inner wall and exterior
**Second case: Building shell - inner wall and exterior and bio composite layer of jute-sericin as thermal insulation between them

As shown in “figure 2” and in the table above, the temperature difference between the outside and inside of the building will be greater when the non-woven composite insulation layer of natural jute-sericin fibers is placed between the facade shell and the building wall. This means that the proposed non-woven bio composite materials can be effective in improving the thermal performance up to 1.2 ° C and also by considering the numerical rate of heat transfer in watts from the wall surface per m2, the value is 2.72 for the case of non-woven composite insulation with natural fibers. Jute and 2.28 w/ m2. °K for the case where the shell has non-woven composite thermal insulation. Therefore, the presence of a thermal insulation layer of jute bio composite will help to increase the thermal efficiency up to 12.7% compared to when the building shell is considered without thermal insulation. According to the obtained thermal analysis and the study of numerical values in this analysis, the presence of non-woven composite with natural fibers as a thermal insulator in the outer shell has a good performance and reduces the penetration of heat into the building.

Another point about this bio-composite is its performance comparison with commonly used mineral insulations such as fiberglass, mineral wool and expanded polystyrene. The thermal conductivity of this fibrous biocomposite is slightly higher than the three thermal insulators mentioned above, and this material, as an insulator, has a slightly weaker performance than other insulators. Instead, it is made from natural ingredients. Jute can be cultivated in hot and humid climates, including Iran, and even in areas with low fertility and without pesticides and chemical fertilizers. Jute has global consumption, high production potential and diverse uses, and ranks second among plant fibers after flax. The binder of this biocomposite, i.e. silicone sericin, is also completely natural, and the use of sericin in the silkworm cocoon industry will bring economic and environmental benefits. Therefore, the biocomposite of jute-sericin non-woven fibers is a light material, resistant to moisture and heat, and has good strength against incoming loads. It is part of green materials and is economically suitable for production and use, and further study on these composites will be an important step in achieving environmental sustainability and reducing energy consumption due to their importance.

4. Conclusions

It is essential to use durable and light materials with suitable physical and mechanical properties and compatible with the environment in construction and architecture. The aim of this research is to present a proposed model for the production of fiber non-woven composite panels. Therefore, by using renewable natural raw materials such as natural fibers and using silkworm cocoons and sericin in it, the production of

non-woven biocomposite was achieved, which is environmentally friendly and cost-effective and has good performance against heat and humidity. One of the applications of this composite is thermal insulation, because the appropriate thermal performance of this composite is accompanied by favorable biological and economic benefits. After proposing the model of this composite, its thermal behavior in the external shell of the building was investigated. The results show that if this insulation is used between the external facade and the internal wall, the thermal behavior of the building will be 12.7% better than if it is not used. The behavior of this biocomposite against moisture and heat transfer makes it possible to use it as a new construction material in the direction of sustainable architecture.

5. References

[1] M. Bechthold, and J. C. Weaver, Materials science and architecture, *Nature Reviews Materials*, Vol. 12, No.2, pp. 1-19, 2017.

[2] F. Chen, D. Porter, and F. Vollrath, Silkworm cocoons inspire models for random fiber and particulate composites. The American Physical Society, *Physical Review*, Vol. 82, No.4, pp. 041911, 2010.

[3] D. Gupta, A. Agrawal, and A. Rangi, Extraction and characterization of silk sericin, *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, Vol. 39, No. 4, pp. 364-372, 2014.

[4] F. Chen, *Silk cocoons as composites Doctoral dissertation*, Oxford University, UK. , 2011.

[5] B. Blossman-Myer, and W. W. Burggren, The silk cocoon of the silkworm, Bombyx mori: Macro structure and its influence on Tran's mural diffusion of oxygen and water vapor, *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, Vol. 155, No. 2, pp.259-263, 2010.

[6] H. W. Kwak, J. Eom, S. Y. Cho, M. E. Lee, and H.-J. Jin, High-toughness natural polymer nonwoven preforms inspired by silkworm cocoon structure, *International journal of biological macromolecules*, Vol.127, pp. 146-152, 2019.

[7] A. Korjenic, J. Zach, and J. Hroudová, The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions, *Energy and Buildings*, Vol. 116, pp. 45-58, 2016.

سال دهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ص ۱۱۰-۱۲۱
فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۰۰/۱۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۵/۳۰

بهبود کارایی حرارتی پوسته خارجی ساختمان با استفاده از مصالح کامپوزیت بی بافت طبیعی

محبوبه پاکدل[۱]، بابک عالمی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری، گروه تکنولوژی معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲- استادیار، گروه تکنولوژی معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
* تهران، ایران، alemi@kashanu.ac.ir

چکیده

امروزه، ارتباط علم بیومیمیکری با رشته‌های مختلف ازجمله معماری گسترش‌یافته است. بررسی الگوها، سامانه‌ها و عناصر زیستی، راهکاری جهت ایجاد راه‌حل برای رفع مشکلات زندگی انسان‌هاست. پیله کرم ابریشم ساختاری زیستی دارد و کامپوزیتی طبیعی است که در طول زمان تکامل‌یافته و پاسخگوی مناسبی در برابر شرایط زیست‌محیطی برای کرم ابریشم است، خواص فیزیکی و مکانیکی بالایی در برابر تنش‌ها و عملکردی مناسب به‌عنوان عایق در برابر شرایط دمایی محیط دارد. درک روابط ساختار پیله‌ی کرم ابریشم، الهام‌بخش ایجاد ساختارهای کامپوزیتی ازجمله بیوکامپوزیت‌هایی بی‌بافت با وزن کم و مقاومت بالا است. در پژوهش حاضر، با روش تحلیلی–توصیفی و استدلال منطقی تلاش می‌شود ضمن معرفی ساختار پیله‌ی ابریشم، با بهره‌گیری از سریسین پیله ابریشم و الیاف طبیعی که به دلایل مختلف ازجمله سبکی، عدم آلودگی، فراوانی و کم‌هزینه بودن، می‌تواند جایگزینی مناسب برای الیاف مصنوع باشد، مصالحی به‌عنوان یک بیوکامپوزیت بی‌بافت، پیشنهاد گردد. این مصالح خاصیت بازیافت‌پذیری دارد و از منظر پایداری و مصرف انرژی مناسب است و می‌تواند به‌عنوان عایق رطوبتی و حرارتی مورداستفاده قرار گیرد. این عملکرد در پوسته‌ی خارجی ساختمان و با استفاده از پلاگین تحلیل انرژی هانی بی و در محیط گرس‌هاپر، برای اقلیم گرم و خشک شهر کاشان، شبیه‌سازی و تحلیل‌شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که کامپوزیت بی‌بافت از الیاف طبیعی پیشنهادشده می‌تواند تا ۱۲.۷ درصد به بهبود عملکرد حرارتی و کاهش انتقال حرارت بین فضای بیرون و درون ساختمان نسبت به زمانی که پوسته ساختمان بدون عایق حرارتی در نظر گرفته شود، کمک کند.

کلیدواژگان: بیومیمیکری، پیله کرم ابریشم، کامپوزیت بی‌بافت با الیاف طبیعی، مصالح معماری بایونیکی

A solution to improve the thermal efficiency of the exterior shell of a building using natural non-woven composite materials

Mahbube Pakdel[1], Babak Alemi[2*]

1- M.S in Architectural Technology, Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan, Kashan, Iran.
2- Assistant Professor, Architectural Technology Department, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan, Kashan, Iran.
* Tehran, Iran, alemi@kashanu.ac.ir

Received: 8 March 2022 Accepted: 21 August 2022

Abstract

Nowadays, the relationship between bio mimicry science and various fields including extended architecture and the study of patterns, systems, and biological elements, is a way to create solutions to the problems of human life. Silkworm cocoon is a biological structure and a natural composite that has evolved during the time and is a good response to environmental conditions for silkworm and has high physical and mechanical properties against stress and has a good function as an insulator against ambient temperature conditions. Understanding the structure relationships of silkworm cocoons inspires how to create composite structures, including non-woven, lightweight, and high-strength composites. In this study, the descriptive-analytical method and logical reasoning method attempt to introduce the structure of silk cocoon, using sericin cocoon and natural fibers, which for various reasons such as lightness, non-pollution, abundance, and low-cost, can be a suitable alternative to artificial fibers, offer materials as a non-woven bio composite. These materials, which have recyclable properties and are suitable in terms of energy consumption, can be used as moisture and heat insulation. This performance was simulated and analyzed in the outer shell of the building and using the Hani Bee energy analysis plugin in the Grasshopper for the hot and dry climate of Kashan. The results show that the proposed non-woven composite of natural fibers can help to improve the thermal performance and reduce the heat

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است

transfer between the outside and inside of the building by up to 12.7% compared to when the building shell is considered without thermal insulation.

Keywords: Bio mimicry, Silkworm cocoon, Bio fiber composite with natural fibers, Bionic architectural materials

۱- مقدمه

امروزه استفاده از کامپوزیت‌ها در معماری و ساختمان در مقایسه با کاربرد گسترده آن‌ها در صنایع خودروسازی، دریایی و هوافضا در مراحل ابتدایی است. این امر تا حد زیادی ناشی از کمبود استانداردهای عمومی مهندسی برای ساختمان‌ها یا مصالح ساخته‌شده از مواد مرکب و عدم توجه برخی از معماران به استفاده از مواد نوین در طراحی است. از منظر پایداری، ساختارهای ایجادشده با مصالح کامپوزیتی، برای دستیابی به عملکرد مناسب، به مواد کمی در مقایسه با ساختارهای مشابه خود نیاز دارند که منجر به کاهش هم‌زمان مصرف انرژی و انتشار کربن در طول فرآیند تولید می‌شود. پیشرفت در علم تهیه مواد کامپوزیت، بینش جدیدی در مورد خصوصیات و کاربرد آن‌ها درزمینه‌ی ساختمان ارائه می‌دهد. بزرگ‌ترین اشکال کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف مصنوعی، عدم وجود راه‌حل برای بازیافت آن‌ها است و از بین بردن آن‌ها صرفاً از طریق دفن کردن یا سوزاندن امکان‌پذیر است [۱].

ازآنجاکه علاقه به مواد سازگار بامحیط‌زیست و نگرانی‌های مربوط به کاهش منابع افزایش‌یافته‌است، تحقیقات در مورد بیوکامپوزیت‌های پایدار محیطی و ساخته‌شده از الیاف طبیعی اهمیت زیادی دارد و کامپوزیت‌های بی‌بافت[1] نیز جزئی از این بیوکامپوزیت‌ها هستند. کامپوزیت‌های بی‌بافت از الیاف‌های تشکیل‌شده‌اند که بدون نظم و بافت خاصی کنار یکدیگر قرار گرفتند و با استفاده از ماده‌ی اتصال‌دهنده (ماتریس) با روش‌های شیمیایی یا مکانیکی یا حرارتی به یکدیگر پیوندمی‌خورند. از مصادیق این دسته از کامپوزیت‌ها در طبیعت می‌توان به پیله کرم ابریشم اشاره کرد. پیله ابریشمی به‌عنوان یک کامپوزیت پلیمری از یک‌رشته الیاف ابریشم پیوسته، با طولی در حدود ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر، پیوند خورده توسط ماده سریسین و دارای ریزساختارهای متخلخل با سلسله مراتبی خاص و به‌صورت چندلایه است. پروتئین شکل‌دهنده الیاف، بانام فیبروئین[2] دارای ساختار نیمه کریستالی و در حدود ۷۵ درصد وزن پیله و سریسین[3] نیز یک پلیمر پروتئین آمورف و محلول در آب است که ۲۵ درصد وزنی را تشکیل می‌دهد [۲،۳]. هر یک از لایه‌های سازنده پیله کرم ابریشم، رفتار مکانیکی متفاوتی دارند و درنهایت منجر به ایجاد ساختار لایه‌ای غیرمنظمِ بی‌بافت پیله می‌شوند که عملکرد مناسبی در برابر رطوبت، جریان هوا، اشعه فرابنفش خورشید و ضربه دارند و دارای درجه خاصی از حائل حرارتی و قادر به ذخیره گرما است.

با در نظر گرفتن موارد بیان‌شده، در این پژوهش سعی شده، با الهام از ساختار دوجزئی و منحصربه‌فرد پیله کرم ابریشم، فرآیند تولید بیوکامپوزیتی بی‌بافت متشکل از الیاف طبیعی جوت[4] به دلیل فراوانی و ضریب هدایت حرارتی پایین و سریسین (ماده طبیعی و اتصال‌دهنده الیاف ابریشم در پیله)، پیشنهاد شود. مصالح پیشنهادی می‌تواند کارکردهای مناسبی در ساختمان داشته باشد. این کاربردها شامل تقویت سازه، ایجاد عایق رطوبتی، ایجاد دیواره سبک، سیستم‌های پوششی کف و سقف، پارتیشن‌بندی و عایق حرارتی در پوسته ساختمان است و استفاده از آن می‌تواند به کاهش مصرف انرژی در بنا کمک کند. سپس کارکرد آن به‌عنوان عایق حرارتی در پوسته‌ی خارجی ساختمان در اقلیم گرم و خشک توسط پلاگین هانی‌بی[5] در گرس‌هاپر[6]، مورد تحلیل قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از این شبیه‌سازی بررسی می‌شود.

سؤالات پژوهش:

۱. بررسی ساختار و مصالح پیله ابریشم و الیاف طبیعی چگونه منجر به مدل کامپوزیت بی‌بافت می‌شود؟

۲. مدل کامپوزیت بی بافت الیاف طبیعی پیشنهاد شده، چگونه به بهبود کارایی در ساختمان‌ها کمک می‌کند؟

۲- پیشینه تحقیق

در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰، دانشمندان مواد با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مثل اس ای ام[7]، دی ام تی ای[8] و غیره به استفاده از پیله کرم ابریشم به‌عنوان مدل‌هایی برای کامپوزیت‌های زیستی پرداختند. چن[9] در سال ۲۰۱۰ بامطالعه گستره‌ای از انواع پیله‌ها به بررسی جنبه‌های مهندسی آن‌ها به‌عنوان یک سیستم ترکیبی زیستی می‌پردازد و مدلی کمی را پیشنهاد می‌دهد که به‌طور مستقیم ساختار پیله را به خصوصیات مکانیکی آن پیوند می‌زند و می‌تواند برای سایر کامپوزیت‌ها در مقیاس‌های متفاوت نیز به‌کارگرفته‌شود [۴]. مایر[10] در سال ۲۰۱۰ نیز در مطالعات خود پیله کرم ابریشم را به‌عنوان یک ساختار ناهمگن فیبری ازنظر قطر و چگالی معرفی می‌کند و بر این باور است که پیله، باوجوداین ساختار پیچیده، سطح رطوبت و تبادل اکسیژن با محیط بیرون را حفظ می‌کند [۵]. در پژوهشی در سال ۲۰۱۹ مدل کامپوزیت بی‌بافت الیاف طبیعی با توجه به ساختار پیله کرم ابریشم، با استفاده از الیاف طبیعی جوت و سریسین پیله کرم ابریشم ساخته و پس‌ازآن، تأثیر محتوای اتصال‌دهنده سریسین بر مشخصات و خصوصیات فیزیکی کامپوزیت بی‌بافت مورد آزمایش قرارگرفته است [۶]. کورجنیک[11] و همکارانش، مواد بیوکامپوزیتی الیاف طبیعی را به‌عنوان عایق حرارتی در ترکیب با نمای گیاهی در ساختمان‌سازی موردبررسی قرار دادند و استفاده از این مصالح را محیط زیستی و مؤثر در کاهش انرژی و گرما می‌دانند [۷]. خداری[12] و همکاران نیز در پژوهش خود کامپوزیتی ساختمانی با کاربری دیوار و سقف، متشکل از الیاف طبیعی و سیمان و شن پیشنهاد می‌دهند که بسیار سبک است و ضریب هدایت کمی دارد [۸].

شناخت بیوکامپوزیت‌ها و خواص آن‌ها می‌تواند مسیری نو در طراحی معماری باشد، زیرا مصالح ساختمانی به‌عنوان عنصری سازنده بر شکل و نحوه عملکرد ساختمان‌ها به‌خصوص از منظر پایداری و انرژی تأثیر می‌گذارد و

1.Nonwoven
2.Fibroin
3.Sericin
4. Jute **جوت**، نوعی گیاه طویل، نرم و براّق است که می‌تواند به صورت نخی مستحکم درآید. این گیاه به صورت سالانه کاشت و برداشت می‌شود و در آب و هوای گرم و مرطوب رشد می‌یابد.

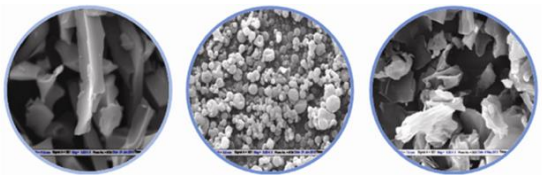
5.Honey bee
6.Grasshopper
7.SEM **(Scanning electron microscope)**
8.DMTA
9.Chen
10.Myer
11.Korjenic
12.Khedari

یکی از مهم‌ترین موضوعات بررسی‌شده در منابع که می‌تواند کاربرد این مصالح را در ساختمان مهیا کند، ساختار آن به‌عنوان کامپوزیتی بیولوژیکی است که عایق حرارتی و رطوبتی است.

۳- صنعت پرورش ابریشم (نوغداری) و پیله ابریشم

صنعت پرورش ابریشم، از گذشته به دلیل تجارت ابریشم با اروپا و چین از طریق مسیر جاده ابریشم، در بسیاری از شهرهای ایران رواج داشته و کشور ما ازجمله کشورهای دارای شهرت جهانی درزمینهی تولید پیله و ابریشم بوده است. از مراکز مهم پرورش ابریشم می‌توان به گیلان، مازندران، یزد، کرمان، اصفهان و کاشان اشاره نمود. امروزه نیز امکان پرورش پیله ابریشم، در کنار باغداری و کشاورزی در بسیاری از روستاهای ایران از جمله کاشان، صنعتی پرسود محسوب می‌شود. حداقل فضای موردنیاز برای پرورش پیله ابریشم، نیاز به سرمایه و امکانات اولیه کم، بازدهی سریع و بالا در تولید ازجمله مزیت‌های منحصربه‌فرد این صنعت به شمار می‌رود.

پیله ابریشم دارای ساختاری لایه‌لایه، بدون بافت و از دو جز سازنده پروتئینی، سریسین و الیاف ابریشم (فیبروئین) است. ماده‌ی سریسین یک‌چهارم وزن کل پیله را تشکیل می‌دهد و مقدارش از لایه‌های بیرونی به سمت لایه‌های درونی کاهش‌یافته و درنهایت منجر به شکل‌گیری یک شبکه بسیار پیوندیافته از الیاف می‌شود. ساختار متخلخل پیله و خاصیت آئرودینامیکی آن در سرعت جریان هوا تأثیر می‌گذارد. سرعت هوا در شکاف‌های کوچک‌تر دیواره‌ی پیله بیشتر و در نزدیکی سطح الیاف ابریشم، به دلیل خاصیت چسبندگی سریسین، بسیار کندتر است. علاوه‌براین، تعدادی از خطوط جریان هوا در دیواره پیله، به دلیل از دست دادن انرژی جنبشی ناشی از اصطکاک بین الیاف ابریشم و هوا و ایجاد آشفتگی هوا از طریق پیله پایان می‌یابد. پیله‌های کرم‌ابریشم در برابر تغییر دما در محیط مقاوم‌اند و نوسانات دما در داخل پیله، در صورت تغییر درجه حرارت در محیط اطراف، پایین است. پیله ابریشم لایه‌ی محافظ یووی[1] را برای شفیره کرم فراهم می‌کند که سریسین مسئول جذب آن است[۹-۱۲]. شکل ۱، نمونه‌های سریسین با بزرگنمایی پنج هزار برابر نشان داده شده است.



شکل ۱ تصاویر اس‌ای‌ام از نمونه‌های سریسین (بزرگنمایی × ۵ هزار برابر)، به ترتیب از چپ به راست: نمونه استاندارد، نمونه خشک‌شده با اسپری، نمونه خشک‌شده با یخ [۳].

سریسین هم‌چنین دارای ویژگی‌های بیولوژیکی مهمی مانند مقاومت در برابر خوردگی، ضد فعالیت میکروبی (آنتی‌بیوتیک)، جذب آسان رطوبت و غیره است و به‌عنوان ماده‌ای سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر شناخته می‌شود. در صنعت نساجی، سریسین از محصولات جانبی تولید الیاف ابریشم محسوب شده و همواره در کارهای تحقیقاتی زیادی، به دنبال کاربردهای جدیدی از این پروتئین هستند. به دلیل آمورف بودن، این ماده به‌راحتی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آب حل می‌شود و با خنک شدن دوباره به حالت ژل برمی‌گردد و در صورت بازیافت، مزیت‌های تجاری، اقتصادی و محیط زیستی قابل‌توجهی را به همراه خواهد داشت [۱۳-۱۵، ۳].

۴- مدل کامپوزیت فیبری طبیعی بی بافت

در این پژوهش، مدلی از یک کامپوزیت بی‌بافت با الیاف طبیعی و ماده اتصال‌دهنده سریسین پیله ابریشمی پیشنهاد می‌گردد که ساختار آن، بر اساس روندی پیشرو شرح داده خواهد شد. استفاده از الیاف طبیعی به دلیل خواص مناسب حرارتی و مقاومت مطلوب، سبکی، قابلیت بازیافت و دسترسی آسان به آن در بسیاری از مناطق و کشورها است. استفاده از این الیاف از گذشته در ساخت مصالح ساختمانی کاربرد داشته و امروزه نیز، با افزایش نگرانی‌های مربوط به زیست محیط، در پژوهش‌های بسیاری در تهیه بیوکامپوزیت‌ها به کار گرفته‌شده است. برای شناخت و انتخاب الیاف طبیعی لازم است ابتدا، بر اساس نیازهای طراحی آن‌ها را موردبررسی قرار داده و نقاط ضعف و قوتشان را با یکدیگر مقایسه کنیم. جدول ۱ ویژگی‌های برخی از فیبرهای طبیعی مورد استفاده در مصالح آورده شده است.

جدول ۱ مقایسه ویژگی‌های فیبرهای طبیعی با یکدیگر به‌عنوان فیبرهای مورداستفاده در کامپوزیت فیبری نبافته

الیاف	چگالی (گرم بر سانتی مترمربع)	مدول یانگ (گیگا پاسکال)	مقاومت کششی (مگا پاسکال)	جذب رطوبت (درصد)	ازدیاد طول در نقطه شکست (کرنش طولی)	هدایت حرارتی* (وات بر متر در کلوین)	ضخامت متوسط الیاف (میکرو میلی‌متر)
جوت[2] [۷،۱۶،۱۷]	۱.۳-۱.۴	۲۶.۵	۴۰۰-۸۰۰	۹۳	۱.۵-۱.۸	۰.۰۵۸۰	۹۴.۲
کتان [۷،۱۷]	۱.۵	۲۷.۶-۴۶.۹	۳۰۰-۱۰۰۰	-	۲.۷-۳.۲	۰.۰۶۵۰	۱۱۱.۱
کنف [۷،۱۸]	۱.۴	-	۵۵۰-۹۰۰	۱۳	-	۰.۰۶۲۰	۱۵۵.۲
سیزال[3] [۱۶،۱۷]	۱.۵	۹.۴-۲۲	۳۰۰-۶۰۰	۱۱۰	۲-۲.۵	-	-
کویر[4] [۷،۱۸]	۱.۱	۳-۶	۹۵-۱۰۰	۸	۴۷	-	-

(*)در شرایط دمایی ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد

با توجه به جدول بالا و مقایسه الیاف طبیعی ذکرشده در آن، می‌توان دریافت که الیاف جوت معمولاً در برابر پوسیدگی و گرما به‌خوبی مقاومت می‌کند و از مقاومت کششی بالایی بعد از الیاف کتان و کنف برخوردار است. الیاف کویر از تمامی الیاف‌ها چگالی و جذب رطوبت کمتری دارد و می‌تواند تا مدتی طولانی روی آب شناور بماند. از تمامی این الیاف امروزه به‌عنوان پرکننده یا تقویت‌کننده مواد کامپوزیتی استفاده می‌شود و می‌توانند جایگزینی مناسب برای الیاف مصنوعی باشند. در این مدل جوت به‌عنوان الیاف طبیعی به دلیل ضریب هدایت حرارتی کمتر نسبت به کنف و کتان و فراوانی این الیاف و قابلیت کشت در تمامی مناطق، در تهیه بیوکامپوزیت

1.UV

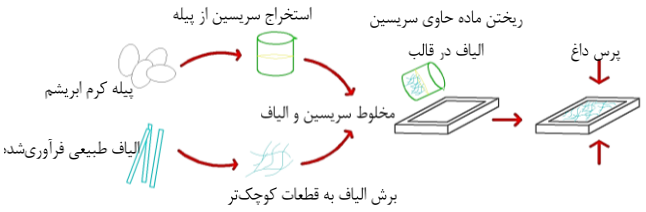
2.Jute
3.Sisal
4.Coir

فیبری در نظر گرفته شد. پس از انتخاب الیاف، باید ماده‌ای به‌عنوان اتصال‌دهنده بین الیاف در نظر گرفت، زیرا در کامپوزیت فیبری طبیعی با ساختار متخلخل بدون بافت، اتصال‌دهنده بین الیاف است که منجر به شکل‌گیری استحکام و تقویت ویژگی‌های مکانیکی خواهد شد.

طبق پژوهش‌ها، اتصال‌دهنده‌های مصنوعی مبتنی بر فرمالدئید معایب مهمی مانند جذب آب‌دارند که می‌تواند به‌شدت عمر ماده کامپوزیت را کاهش دهد و انرژی بیشتری به دلیل دمای فرآیند موردنیاز برای پلیمریزاسیون اتصال‌دهنده مصنوعی مصرف می‌شود [۱۹-۲۱]. علاوه بر این، اتصال‌دهنده‌های شیمیایی مبتنی بر فرمالدئید به‌عنوان مواد سمی، می‌توانند عوارض جانبی ایجاد کنند [۲۲].

با توجه به این موضوع و بر اساس تأثیر سریسین بر پیله کرم ابریشم به‌عنوان اتصال‌دهنده طبیعی، می‌توان از آن به‌عنوان جایگزین مناسب برای اتصال‌دهنده‌های مصنوعی در تولید کامپوزیت‌های الیاف طبیعی استفاده کرد.

در این پژوهش، سریسین به‌عنوان اتصال‌دهنده بین الیاف انتخابی جوت برای تولید مصالح بیوکامپوزیت بی‌بافت در نظر گرفته‌شد. مقدار سریسین با توجه به میزان آن در پیله کرم ابریشم، در ساخت بیوکامپوزیت فیبری طبیعی می‌تواند تا ۳۰ درصد حجمی به کار رود و مابقی آن را باید الیاف طبیعی تشکیل دهد. فرآیند تولید مصالح پیشنهادی که باید در کارگاه انجام گیرد و به‌صورت پیش‌ساخته امکان‌پذیر است، با برش الیاف جوت به طول‌های ۱ سانتی‌متر آغاز می‌شود. الیاف طبیعی در ظرفی ریخته شده و پس‌ازآن محلول سریسین به آن اضافه می‌شود. در ادامه باید محلول به‌آرامی هم زده شود تا پراکندگی همگن الیاف در محلول حاصل شود. پس‌ازآن ماده تهیه‌شده در قالب فلزی مطابق با اندازه‌های استاندارد موردنظر ریخته می‌شود. برای حذف رطوبت، ایجاد فشردگی بین الیاف و تولید محصول نهایی باید مخلوط داخل دستگاه پرس داغ قرار داده شود و پنل کامپوزیتی تحت‌فشار و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ده دقیقه تولید شود. شکل ۲، این فرآیند قابل مشاهده است.



شکل ۲ روش تولید کامپوزیت نبافته الیاف طبیعی و سریسین

۵-کاربردهای پیشنهادی برای ماده کامپوزیت بی‌بافت در معماری

قدرت جذب آب کم، حفظ مقاومت در محیط‌های مرطوب، استحکام و قدرت باربری، سبک بودن، دوستدار محیط‌زیست و عدم آلودگی محیطی، ازجمله مزایایی است که می‌توان برای کامپوزیت بی بافت الیاف طبیعی پیشنهادی نام برد. به همین منظور، در نظر گرفته می‌شود که این مصالح نوین بیونیکی برای استفاده در پوسته‌ی خارجی ساختمانی، سیستم‌های کف یا سقف، بام سبز، پارتیشن‌بندی، سقف کاذب، ایجاد دیواره‌هایی سبک و عایق در فضاهای مرطوب، سبک‌سازی، سیستم‌های تهویه و خنک‌سازی مناسب خواهد بود.

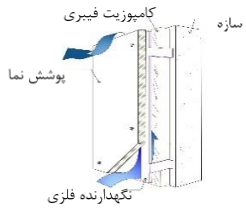
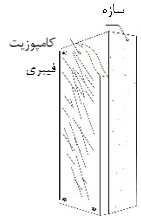
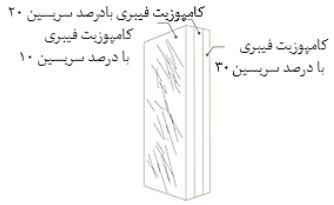
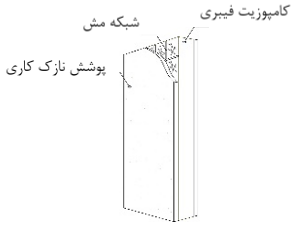
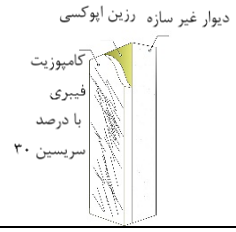
جدول ۲، برخی مزایای استفاده از بیوکامپوزیت‌های طبیعی آورده شده است.

جدول ۲ مزیت‌های استفاده از کامپوزیت‌های بی بافت فیبری

مزایای مصالح بیونیکی نوین (کامپوزیت بی بافت الیاف طبیعی)	
ایجاد کارایی بالا	پایداری در محیط‌های مرطوب
امکان بازیافت	سبک‌سازی سازه‌ای
پیوند مصالح و سازه	مقاومت فیزیکی مطلوب
انعطاف‌پذیری و امکان پیش ساختگی	عدم آسیب به محیط‌زیست
حل بخشی از عملکرد	اقتصادی بودن
(با توجه به نوع کاربرد)	(رسیدن به حداقل در مصالح و انرژی)

در جدول ۳، با توجه به ویژگی‌های مطرح‌شده برای مصالح فیبری کامپوزیتی بی‌بافت، شش طراحی پیشنهادی برای کاربرد استفاده از آن‌ها در ساختمان آورده شده است.

جدول ۳ کاربردهای پیشنهادی کامپوزیت بی‌بافت نوین در معماری

کاربردهای پیشنهادی ماده بیونیکی نوین در معماری	نمایش کاربرد پیشنهادی ماده بیوکاپوزیتی نوین در معماری
۱.نمای دوپوسته (به‌عنوان عایق رطوبت و حرارت)	
۲.پوشش تقویت رطوبتی سازه	
۳.مصالح نوین جایگزین چوب- پارتیشن‌بندی	–
۴. تولید کامپوزیت فیبری لایه‌ای	
۵. کامپوزیت به‌عنوان سازه دیوارهای سبک و عایق	
۶. پوشش تقویتی دیوار غیر باربر	

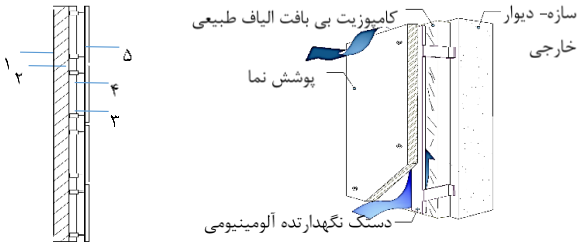
یکی از کاربردهای مطرح‌شده در این طراح‌ها، به‌کارگیری مصالح بی‌بافت کامپوزیتی به‌عنوان عایق حرارتی و رطوبتی در ایجاد نمای دوپوسته در ساختمان است. در ادامه این پژوهش با شبیه‌سازی این طرح، در نرم‌افزار انرژی به بررسی رفتار حرارتی کامپوزیت فیبری طبیعی بی‌بافت پیشنهادشده پرداخته می‌شود.

۶-شبیه‌سازی رفتار حرارتی کامپوزیت فیبری طبیعی بی بافت

برای شبیه‌سازی رفتار حرارتی کامپوزیت بی‌بافت جوت-سریسین، به‌عنوان یک عایق رطوبتی و حرارتی، ابتدا یک نمای پوسته‌ای ساختمان مطابق با جدول ۲ و در شکل ۲ ارائه شد. این لایه به‌عنوان عایق حرارتی در سمت بیرونی دیوار ساختمان قرارگرفته و دیواره خارجی ساختمان در جبهه جنوبی بنا فرض شده است. جزئیات معماری پوسته‌ی ساختمان بدون تحمل بار وارده و تقویت عناصر برای محاسبه سازه انتخاب‌شده است. برای اختصاص دادن مصالح به اجزای پوسته طراحی‌شده ساختمان، آجر توپر ۲۲ سانتی‌متری برای دیوار خارجی ساختمان و آجر پلاک سه سانتی‌متر برای پوشش نما در نظر گرفته شد. ضریب هدایت حرارتی مصالح آجر، ۰.۹ و ضریب هدایت حرارتی لایه هوا مابین عایق حرارتی بیوکامپوزیت بی‌بافت و پوشش نما، ۰.۰۲۶، مطابق با اعداد آورده شده در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان و ضریب هدایتی بیوکامپوزیت بی‌بافت جوت به‌عنوان مصالح پیشنهادی عایق به‌صورت تقریبی بر اساس مدل نظری ماکسول (۱) که در زیر آورده شده است، محاسبه گردید و ضخامت پیشنهادی برای آن ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

$$K_c = \frac{K_m(K_f + 2K_m - 2V_f(K_m - K_f))}{K_f + 2K_m + V_f(K_m - K_f)} \qquad (۱)$$

در این رابطه، Vf کسر حجمی فیبر است. Kc، Kf و Km به ترتیب ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت، الیاف و ماتریس است. بر اساس پژوهش‌های انجام‌گرفته، مشاهده‌شده است که در اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت فیبری، نتایج تجربی و نتایج حاصل از مدل نظری ماکسول در محتوای بالای فیبر با درصد خطای ۴.۸ به یکدیگر نزدیک هستند و ضریب هدایت حرارتی محاسبه‌شده و اندازه‌گیری شده کامپوزیت‌های الیاف جوت به‌عنوان تابعی از محتوای فیبر ارائه می‌شود [۲۳].



شکل ۳ از چپ به راست: مقطع، ۱. دیوار داخلی از آجر ۲۲ سانتی توپر، ۲. کامپوزیت بی بافت الیاف طبیعی، ۳. دستک آلومینیومی، اتصال‌دهنده پوشش نما به دیوار داخلی، ۴. لایه هوا، ۵. پوشش نما. ب) مدل پیشنهادی نمای پوسته‌ای – پنل‌های کامپوزیتی فیبری با الیاف طبیعی به‌عنوان حائل رطوبتی و حرارتی در سمت پوسته خارجی نما ساختمان قرار می‌گیرند، بین پوشش نما و کامپوزیت باید فضای خالی برای تهویه هوا در نظر گرفته شود.

در شکل ۳، شماتیک نمای دوپوسته پیشنهادی همراه با اجزای آن و در جدول ۴، مشخصات مصالح به‌کاررفته در طراحی این نما به ترتیب قرارگیری از جداره‌ی داخلی به بیرونی آورده شده است.

جدول ۴ مصالح به‌کاررفته در طراحی نمای دوپوسته

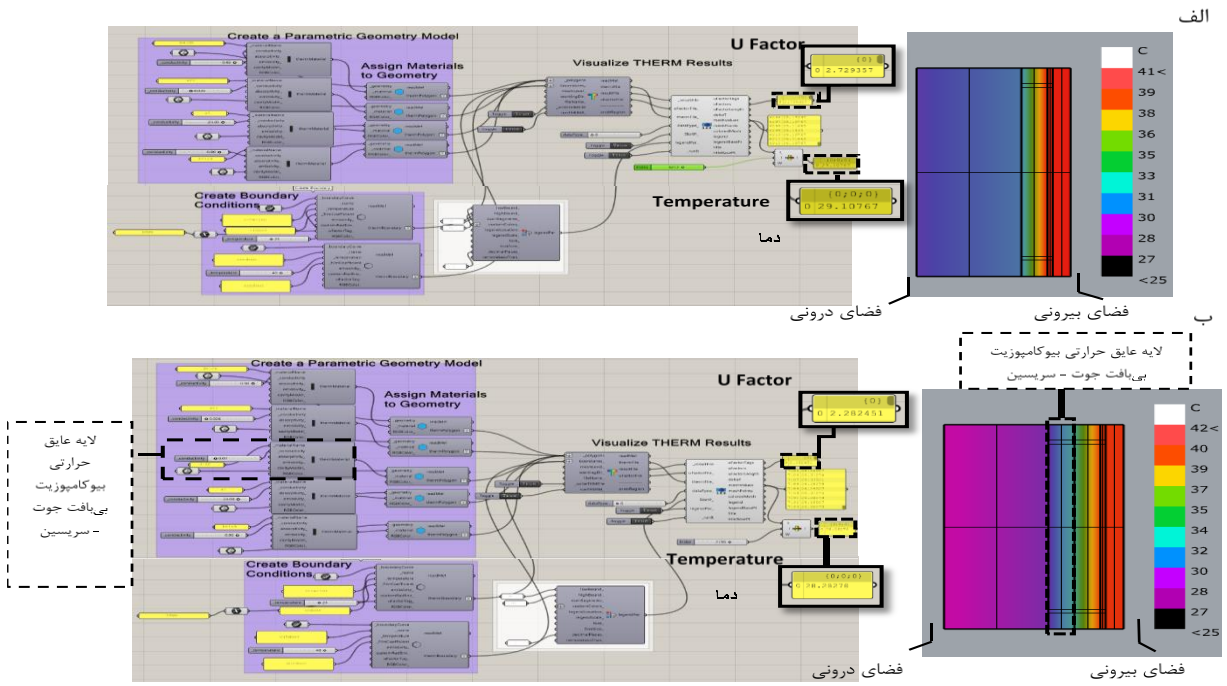
لایه از جداره داخلی به خارجی	مصالح	ضخامت (برحسب سانتی‌متر)	هدایت حرارتی (وات بر متر در کلوین) در شرایط دمایی ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد
۱	آجر	۲۲	۰.۹
۲	بیوکامپوزیت بی‌بافت جوت	۵	۰.۰۷
۳	آلومینیوم (دستک‌نگه‌دارنده)	–	۲۳.۰
۴	هوا	۵	۰.۰۲۶
۵	آجر	۳	۰.۹

در این شبیه‌سازی، شرایط اقلیمی گرم و خشکِ شهر کاشان در نظر گرفته‌شده است. آب و هوای شهر کاشان درنه ماه از سال گرم و فقط سه ماه از سال سرد است. به همین منظور، شبیه سازی و بررسی عملکرد برای فصول تابستان و ماه‌های گرم سال در اولویت قرار گرفته است. طبق آمار ایستگاه هواشناسی شهر کاشان، مرداد و تیرماه با متوسط دمای ۳۷ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین ماه‌های سال و دی‌ماه سردترین ماه سال با میانگین دمایی حدوداً ۲- درجه سانتی‌گراد است. میانگین حداکثر دمای هوا ۲۴.۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای آن ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. به همین دلیل شرایط دمایی خارجی بنا مطابق با آمار هواشناسی و برای متوسط دمایی آن در فصول گرم سال (+۴۰) درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته‌شده است. با تعیین شرایط مرزی محیط درون و بیرون مقدار دمای فرضی در داخل ۲۴ (برابر شرایط آسایش حرارتی) مشخص گردید.

شبیه‌سازی حرارتی پوسته‌ی خارجی در راینو و در محیط گرس‌هاپر بوده و تحلیل انرژی آن توسط پلاگین هانی‌بی انجام‌شده است. دو حالت برای پوسته ساختمانی در نظر گرفته شد، در ابتدا پوسته ساختمان بدون در نظر گرفتن مصالح کامپوزیتی بی‌بافت جوت-سریسین به‌عنوان عایق حرارتی در محیط نرم‌افزار طراحی شد.

در حالت دوم مصالح پیشنهادی مطابق با جزئیات معماری شکل ۳ به‌عنوان عایق در پوسته ساختمان و بین مصالح پوشش نما و دیوار بنا قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی پوسته‌های ذکر شده در شکل ۴ قابل مشاهده است.

بر اساس داده‌های خروجی از این فرآیند شبیه‌سازی می‌توان میزان تفاوت دما در مصالح در سمت خارجی و داخلی ساختمان و همچنین میزان انتقال حرارت از طریق سطوح برحسب وات بر مترمربع در کلوین را به دست آورد. با مقایسه بین دو حالت پوسته ساختمان با در نظر گرفتن عایق بیوکامپوزیت بی بافت جوت به‌عنوان عایق حرارتی بین جداره داخلی و خارجی و بدون در نظر گرفتن آن، می‌توان میزان عملکرد مصالح پیشنهادی در کاهش انتقال حرارت در ساختمان را به دست آورد.



شکل ۴ الف(شبیه‌سازی رفتار حرارتی نمای دوپوسته ساختمان بدون در نظر گرفتن لایه عایق حرارتی کامپوزیت بی‌بافت در سمت خارجی جداره دیوار اصلی ساختمان، سمت چپ الگوریتم آنالیز حرارتی در پلاگین هانی‌بی در محیط گرس‌هاپر و سمت راست نمایش آنالیز حرارتی، ب) شبیه‌سازی رفتار حرارتی نمای دوپوسته ساختمان با در نظر گرفتن لایه عایق حرارتی کامپوزیت بی‌بافت در سمت خارجی جداره دیوار اصلی ساختمان، سمت چپ الگوریتم آنالیز حرارتی در پلاگین هانی‌بی در محیط گرس‌هاپر و سمت راست نمایش آنالیز حرارتی.

میزان اختلاف دما در فضای داخل و بیرون بنا و انتقال حرارتی سطح دیوار، در دو حالت شبیه‌سازی حرارتی پوسته بنا که در نرم‌افزار انجام شد، از خروجی‌های عددی الگوریتم آنالیز حرارتی به دست آمد و در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵ بررسی خروجی‌های عددی از شبیه‌سازی حرارتی پوسته ساختمان

پوسته ساختمان	دمای داخلی‌ترین لایه (سانتی‌گراد)	دمای خارجی‌ترین لایه (سانتی‌گراد)	اختلاف دمای لایه‌های داخل و خارج (سانتی‌گراد)	انتقال حرارتی (وات بر مترمربع در کلوین)
الف	۲۹.۲	۳۸.۶	۲.۷۲	۹.۴
ب	۲۸.۲	۳۸.۸	۲.۲۸	۱۰.۶

همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده‌شده و در جدول بالا آورده شده است، تفاوت اختلاف دما بین فضای بیرون و درون ساختمان زمانی که لایه عایق کامپوزیت بی‌بافت الیاف طبیعی جوت-سریسین در مابین پوسته نما و دیوار ساختمان قرار داده شود، بیشتر خواهد بود. دما در سطح جداره‌ی داخلی در این حالت حدوداً ۲۸.۲ درجه سانتی‌گراد و زمانی که پوسته ساختمان بدون عایق در نظر گرفته شود ۲۹.۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. این بدین معنی است که مصالح بیوکامپوزیتی بی‌بافت پیشنهادی می‌تواند تا ۱.۲ درجه سانتی‌گراد در بهبود عملکرد گرمایی مؤثر باشد و هم‌چنین با بررسی میزان عددی انتقال حرارت برحسب وات از سطح جداره‌ها در هر مترمربع، مقدار ۲.۷۲ برای حالتی که پوسته بدون عایق کامپوزیت بی‌بافت با الیاف طبیعی جوت و ۲.۲۸ وات بر مترمکعب در کلوین برای حالتی که پوسته دارای عایق حرارتی کامپوزیت بی‌بافت است، حاصل می‌شود؛ بنابراین، وجود لایه عایق حرارتی بیوکامپوزیت جوت تا ۱۲.۷ درصد به افزایش کارایی حرارتی نسبت به زمانی که پوسته ساختمانی بدون عایق حرارتی در نظر گرفته‌شده است، کمک خواهد کرد.

طبق آنالیز حرارتی به‌دست‌آمده و بررسی مقادیر عددی در این تحلیل، وجود کامپوزیت بی‌بافت با الیاف طبیعی به‌عنوان عایق حرارتی در پوسته‌ی خارجی عملکرد مناسبی را به همراه دارد و نفوذ حرارت را به داخل ساختمان کاهش می‌دهد. نکته دیگر بررسی‌شده برای استفاده از این ماده بیوکامپوزیت در جایگاه عایق حرارتی در ساختمان، مقایسه آن ازنظر عملکردی با عایق‌های معدنی پرکاربردی چون پشم‌شیشه و پشم سنگ و عایق حرارتی پلیمری پلی استایرن منبسط‌شده است. جدول ۶ مشخصات عایق‌های معدنی پلی استایرین منبسط‌شده، پشم شیشه و پشم سنگ در مقایسه با بیوکامپوزیت بی‌بافت جوت-سریسین آورده شده است.

جدول ۶ مقایسه مصالح عایق حرارتی ازنظر ضریب هدایت حرارتی

مصالح	ضریب هدایت حرارتی (وات بر متر در کلوین) در شرایط دمایی ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد	
پلی استایرن منبسط	۰.۰۴۳	براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران
پشم سنگ	۰.۰۴۵	
پشم‌شیشه	۰.۰۴۰	
بیوکامپوزیت سریسین- جوت	۰.۰۶۷	محاسبه تقریبی بر اساس رابطه ماکسول (رابطه ۱)

مطابق جدول ۶، پشم سنگ و پشم‌شیشه به ترتیب به‌طور میانگین، دارای ضریب هدایت حرارتی ۰.۰۴۵ و ۰.۰۴۰(وات بر متر در کلوین) هستند.

این دو مصالح ازجمله مصالح معدنی به شمار می‌آیند که به دلیل مقدار ضریب هدایتی پایین خود، در ساختمان‌ها، به‌عنوان عایق حرارتی به کار می‌روند. این مصالح دارای الیاف و مواد اولیه غیرطبیعی هستند و قابلیت بازیافت و امکان استفاده مجدد را نخواهند داشت، الیاف به‌کاررفته در پشم‌شیشه برای سلامتی انسان مضر بوده و موجب بیماری پوستی و ریوی می‌شود و بهتر است در ساختمان کمتر مورداستفاده قرار گیرد.

مقدار میانگین ضریب هدایت حرارتی در پلی استایرن منبسط نیز ۰.۰۴۳(وات بر متر در کلوین) است و با کاربرد عایق حرارتی در ساختمان، عملکرد مناسبی در کاهش انتقال حرارت بنا خواهد داشت. ازجمله نقاط ضعف عایق پلی استایرن منبسط‌شده، قابلیت اشتعال و دارا بودن مواد اولیه غیرطبیعی و ناسازگار با محیط‌زیست است.

ضریب هدایت حرارتی مصالح بیوکامپوزیت جوت_سریسین با محاسبه‌ی تقریبی بر اساس رابطه ماکسول برابر با ۰.۰۶۷ است. این مقدار ضریب هدایت حرارتی برای ماده بیوکامپوزیت فیبری، نسبت به مقادیر ضریب هدایت حرارتی سه عایق حرارتی متداول ذکرشده در بالا، با اختلاف اندکی بیشتر است و این موضوع نشان‌دهنده آن است که ماده بیوکامپوزیت جوت سریسین به‌عنوان عایق، عملکرد قدری ضعیف‌تر نسبت به سایر عایق‌های حرارتی ذکرشده در بالا خواهد داشت. در عوض این ماده از موادی کاملاً طبیعی و دوستدار محیط‌زیست تشکیل‌شده است.

جدول ۷ بررسی امکان تولید بیوکامپوزیت جوت_سریسین در ایران

مرحله		توضیحات
تهیه دو جزء مواد اولیه بدون نیاز به واردات	الیاف طبیعی	۱. قابلیت کشت در آب‌وهوای گرم و خشک ایران و بخصوص شهر کاشان ۲. قابلیت کشت در زمین‌های کشاورزی حتی زمین‌های بایر و کم حاصلخیز ۳. قابلیت کشت بدون نیاز به سموم و آفات و کودشیمیایی
	سریسین از پیله	۱. امکان بازیافت از صنعت نخ و پارچه ابریشم ۲. امکان پرورش پیله ابریشم در کنار باغداری و کشاورزی در روستاها ۳. نیاز به سرمایه و امکانات کم اولیه برای پرورش پیله ابریشم ۴. سودهی و بازدهی سریع سرمایه در صنعت پرورش ابریشم (۴۵ تا ۵۰ روز برای تبدیل کرم به پیله ابریشم نیاز است.)
تولید بیوکامپوزیت		۱. تولید با مصرف کم انرژی نسبت به محصولات سنتی ۲. امکان تولید بیوکامپوزیت در آزمایشگاه و کارگاه‌های تخصصی ساخت مصالح ۳. کیفیت بالا و کنترل کیفی مداوم در حین ساخت محصول ۴. سرعت در تولید محصول

تهیه دو جزء اولیه تولید بیوکامپوزیت طبیعی جوت_سریسین، در ایران و بدون نیاز به واردات این مواد، امکان‌پذیر است. جوت الیاف گیاهی و پلیمری طبیعی است که می‌تواند در آب‌وهوای گرم و مرطوب ازجمله در کشور ایران به‌صورت سالانه کاشت و برداشت شود و حتی در زمین‌هایی با حاصلخیزی کم که دیگر برای سایر محصولات غلات مناسب نیست، قابلیت رشد دارد. علاوه بر این، جوت را می‌توان بدون سموم دفع آفات و کودهای شیمیایی به‌راحتی کشت کرد. الیاف جوت کاملاً قابل‌تجزیه بوده و به دلیل مزیت‌های گفته‌شده به الیاف طلایی نیز شهرت دارد. ازآنجایی‌که جوت دارای مصرف جهانی، امکان تولید بالا و موارد استفادهٔ متنوع هست، بعد از کتان، دومین رتبه را در میان الیاف گیاهی به خود اختصاص داده است. ماده اتصال‌دهنده این بیوکامپوزیت یعنی سریسین ابریشم، نیز کاملاً طبیعی است و امکان بازیافت و بهره‌برداری سریسین از صنعت تولید نخ و پارچه ابریشم مزیتی اقتصادی و زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت، زیرا که در فرآیند تولید ابریشم مقدار قابل‌توجهی از سریسین از پیله کرم ابریشم جداشده و بدون استفاده دور ریخته می‌شود. فرآیند تولید مصالح بیوکامپوزیتی از طریق فرآوری الیاف طبیعی و مخلوط با سریسین، در آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌های تولید مصالح زیر نظر افراد متخصص در حوزه بیومواد و بیوکامپوزیت، به‌آسانی انجام‌پذیر و با مصرف انرژی کمتر در مقایسه با تولید مصالح سنتی منجر به پایداری زیست محیطی و صرفه جویی اقتصادی خواهند شد. این مصالح به دلیل تولید در آزمایشگاه و کنترل کیفی و استانداردهای مطلوب کشش و فشار و حرارت از منظر کیفیت در سطح بالایی قرار خواهند داشت.

بیوکامپوزیت فیبری بی بافت جوت_سریسین، مصالحی سبک، مقاوم در برابر رطوبت و حرارت و دارای استحکامی خوب در برابر بارهای وارده است. جزء مصالحی سبز است و به دلیل مصالح اولیه مقرون‌به‌صرفه در تولید از منظر اقتصادی و استفاده مناسب خواهند بود. بیوکامپوزیت‌های بی‌بافت به دلیل داشتن رفتار مکانیکی و حرارتی مناسب خود، می‌تواند در موارد مختلف در ساختمان‌سازی مورداستفاده قرار گیرد. مطالعه‌های بیشتر بر روی این بیوکامپوزیت‌های بی‌بافت به دلیل اهمیت آن‌ها در علم مصالح، انجام آزمایش‌هایی مربوط به آن‌ها و تولیدشان، گامی مهم در تحقق پایداری زیست‌محیطی و کاهش مصرف انرژی خواهد بود.

۷- نتیجه‌گیری

با معرفی مواد مناسب از منابع خام طبیعی تجدید پذیر به‌عنوان الیاف طبیعی و با استفاده از سریسین پیله کرم ابریشم، تولید بیوکامپوزیتی بی‌بافت حاصل شد. با مقایسه ویژگی‌های فیزیکی برخی از الیاف‌های طبیعی پرکاربرد در تولید مصالح، جوت، به دلیل مقاومت کششی بالا، سبکی، فراوانی و قابلیت کشت در آب‌وهوای گرم و خشک ایران و شهر کاشان مورد توجه قرار گرفت. با بررسی پیله کرم ابریشم، در ساختار دوجزئی پیله ابریشم، الیاف ابریشمی در کنار سریسین پیوند خورده است و خواص سریسین، این ماده را برای استفاده در تولید مصالح و جایگزینی با اتصالدهنده‌های مصنوعی مناسب کرده است. مصالح بیوکامپوزیت بی‌بافت جوت-سریسین در فرآیندی استاندارد در آزمایشگاه می‌تواند به‌صورت پیش‌ساخته تولید گردد و الگوها و مفاهیم موجود در پیله کرم ابریشم از جمله عایق گرما و رطوبت، مقاومت و سبکی بر آن حاکم است.

با توجه به اینکه استفاده از مصالح پایدار و سبک با خاصیت مناسب فیزیکی و مکانیکی در ساختمان‌سازی و معماری، امروزه بیش‌ازپیش موردنیاز است، ارائه مدل پیشنهادی تولید پنل‌های کامپوزیت بی بافت فیبری در امر ساختمان، بسیار مؤثر خواهد بود. یکی از موارد استفاده برای این کامپوزیت‌ها، عایق حرارتی است، زیرا عملکرد حرارتی مناسب این مصالح، هم‌چون عایق‌های معدنی موجود امروزی، ولی با مزایای زیستی و اقتصادی مطلوب‌تر قابل‌توجه است و بدین منظور، رفتار حرارتی این مصالح نوین به‌عنوان عایق حرارتی در پوسته‌ی خارجی ساختمان توسط نرم‌افزار تحلیل انرژی موردبررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن نشان‌دهنده‌ی این است که در صورت استفاده از این عایق بین نمای بیرونی و جداره داخلی بنا تا ۱۲.۷ درصد نسبت به عدم استفاده عایق در پوسته نما عملکرد بهتری خواهیم داشت و این موضوع بیانگر رفتار مناسب بیوکامپوزیت فیبری طبیعی معرفی‌شده در مقابل انتقال رطوبت و حرارت است و با این امکان می‌تواند به‌عنوان یکی از مصالح ساختمانی نوین، پاسخگوی سبک‌سازی و نیازهای پایداری باشد.

۸- فهرست علائم

K_c	ضریب هدایت حرارتی کامپوزیت $(w/m.k)$
K_f	ضریب هدایت حرارتی فیبر $(w/m.k)$
K_m	ضریب هدایت حرارتی ماتریس $(w/m.k)$
V_f	کسر حجمی فیبر
U factor *U value*	ضریب تبادل حرارتی

۹- مراجع

[1] M. Bechthold, and J. C. Weaver, Materials science and architecture, *Nature Reviews Materials*, Vol. 12, No.2, pp. 1-19, 2017.

[2] F. Chen, D. Porter, and F. Vollrath, Silkworm cocoons inspire models for random fiber and particulate composites, *The American Physical Society, Physical Review*, Vol. 82, No. 4, pp. 041911, 2010.

[3] D. Gupta, A. Agrawal, and A. Rangi, Extraction and characterization of silk sericin, *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, Vol. 39, No. 4, pp. 364-372, 2014.

[4] F. Chen, *Silk cocoons as composites Doctoral dissertation*, Oxford University, UK. , 2011.

[5] B. Blossman-Myer, and W. W. Burggren, The silk cocoon of the silkworm, Bombyx mori: Macro structure and its influence on Tran's mural diffusion of oxygen and water vapor, *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, Vol. 155, No. 2, pp.259-263, 2010.

[6] H. W. Kwak, J. Eom, S. Y. Cho, M. E. Lee, and H. J. Jin, High-toughness natural polymer nonwoven preforms inspired by silkworm cocoon structure, *International journal of biological macromolecules*, Vol. 127, pp. 146-152, 2019.

[7] A. Korjenic, J. Zach, and J. Hroudová, The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions, *Energy and Buildings*, Vol. 116, pp. 45-58, 2016.

[8] J. Khedari, B. Suttisonk, N. Pratinthong, and J. Hirunlabh, New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 23, No. 1, pp. 65-70, 2001.

[9] X. Jin, J. Zhang, W. Gao, J. Li, and X. Wang, Interfacial heat transfer through a natural protective fibrous architecture: a wild silkworm cocoon wall, *Textile research journal*, Vol. 85, No. 10, pp. 1035-1044, 2015.

[10] J. Zhang, J. Li, X. Jin, S. Du, J. Kaur, and X. Wang, Natural and highly protective composite structures–wild silkworm cocoons, *Composites Communications*, Vol. 4, pp. 1-4, 2017.

[11] F. Chen, D. Porter, and F. Vollrath, Silk cocoon (Bombyx mori): multi-layer structure and mechanical properties, *Acta Biomaterialia*, Vol. 7, No. 8, pp. 2620-2627, 2012.

[12] A. De Lima, S. Farias Neto, and W. Silva, Heat and mass transfer in porous materials with complex geometry: fundamentals and applications, *In Heat and mass transfer in porous media* ,Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 161-185, 2012.

[13] D. C. C. Martínez, C. L. Zuluaga, A. Restrepo-Osorio, and C. Álvarez-López, Characterization of sericin obtained from cocoons and silk yarns, *Procedia engineering*, Vol.200, pp. 377-383, 2017.

[14] M. Mondal, K. Trivedy, and K. S. NIRMAL, The silk proteins, sericin and fibroin in silkworm, *Bombyx mori Linn,a review*, 2007.

[15] M. Padamwar, and A. Pawar, Silk sericin and its applications: A review, 2004.

[16] T. Sen, and H. J. Reddy, Application of sisal, bamboo, coir and jute natural composites in structural upgradation, *International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 3, No. 2 , pp.186,2011.

[17] D. Gon, K. Das, P. Paul, and S. Maity, Jute composites as wood substitute, *International Journal of Textile Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 84-93, 2012.

[18] P. V. Domke, and V. D. Mude, Natural fiber reinforced building materials, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 2320-2334, 2015.

[19]S. Rwawiire, B. Tomkova, J. Militky, L. Hes, and B. M. Kale, Acoustic and thermal properties of a cellulose nonwoven natural fabric (barkcloth), *Applied acoustics*, Vol. 116, pp. 177-183, 2017.

[20] E. Y. Nakanishi, M. R. Cabral, P. de Souza Gonçalves, V. dos Santos, and H. S. Junior, Formaldehyde-free particleboards using natural latex as the polymeric binder, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 195, pp. 1259-1269, 2018.

[21] D. A. L. Silva, F. A. R. Lahr, L. D. Varanda, A. L. Christoforo, and A. R. Ometto, Environmental performance assessment of the melamine-urea-formaldehyde (MUF) re-sin manufacture: a case study in Brazil, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 96, pp. 299-307, 2015.

[22] T. Salthammer, S. Mentese, and R. Marutzky, Formaldehyde in the indoor environment, *Chemical reviews*, Vol. 110, No. 4, pp. 2536-2572, 2010.

[23] S. Pujari, A. Ramakrishna, and K. T. Balaram Padal, Investigations on thermal conductivities of jute and banana fiber reinforced epoxy composites, *Journal of the Institution of Engineers (India): Series D*, Vol. 98, No. 1, pp. 79-83, 2017.