ISSN: 2538-2594; Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2021;11(4):44-59

Health and Post-Corona: Air Filtration through Building Skins as Biological Membranes

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors

Ghazaleh Shams
Mohammad Moshari*

How to cite this article

Shams Gh, Moshari M. Health and Post-Corona: Air Filtration through Building Skins as Biological Membranes. *Naqshejahan*. 2022 Jan 10; 11(4):44-59.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.4.3.2

1. Architecture Department, Faculty of Architecture and Urbanism, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
2. Assistant Professor of Environmental Planning, Management & Education Department, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

**Correspondence*

Address: Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Email: moshari@ut.ac.ir
Phone: 021 6111 3154

Article History
Received: 29 Sep 2021
Accepted: 10 Jan 2022
ePublished: 10 Jan 2022

ABSTRACT

Aims: Nowadays, air pollution and rising greenhouse gases are among the major problems in the world. This problem that affects not only human life and health, but also has devastating effects on global warming. Concerns about pandemic diseases have increased the importance of healthy air and the health of citizens. The purpose of this study is to introduce the capacities of biological membranes as a model for application in the fabrication of synthetic and environmentally friendly materials in building skins.

Materials & Methods: The research method is quasi-experimental, which is based on simulation of the effects of using the proposed shell of the research. The designed operational model represents the production of artificial shells, which have the ability to absorb air pollutant particles and can also warn if the amount of these pollutants increases with color change. The use of lipid-like peptoids - abnormal particles mimicked by peptides and proteins and similar to cell membrane phospholipids - to simulate the plasma membrane of cells and build this synthetic shell has been suggested in this study.

Findings: These molecules, like plasma membrane phospholipids, can attach to side chains and other molecules to absorb pollutant particles, turning them into harmless particles. Therefore, these shells can be produced with special features and functions such as self-repair, self-assembly and air filtration.

Conclusion: The research emphasizes on the necessity of preparation for the post-Pandemic age. Cheap and efficient production, the availability of amines needed to make peptide chains, more chemical stability and heat resistance of peptoids than phospholipids, make these molecules a good choice for building shells as environmentally friendly materials.

Keywords: Air filtration, Bio-inspired materials, Living Building Skins, Environmental-Friendly Materials, Citizen Health, Post-Pandemic Age

CITATIONLINKS

[1] Indirect impact of COVID-19 on environment … [2] Prioritizing for Healthy Urban Planning … [3] Contribution of city prosperity to decisions on healthy building … [4] Challenges and strategies for effective plastic waste management … [5] Challenges, opportunities, and innovations for effective … [6] Barium oxide as a modifier to stabilize … [7] Synthesize and Investigation … [8] Co-Ni Bimetallic Catalysts Coated on Cordierite … [9] Estimation of vibrational energy levels of diatomic molecules … [10] Environmental, health, and safety issues … [11] Criteria air pollutants and their impact … [12] Green electrospun nanofibers and their application … [13] A review of air filtration technologies for sustainable … [14] Significance and progress of bionics. [15] Bioarchitecture: bioinspired art and architecture … [16] Designerly Approach to Energy Efficiency … [17] Influence of permeability ratio on wind-driven … [18] A study on terraced apartments and their natural … [19] A novel design-based optimization framework … [20] Past and Future Trends on the Effects … [21] Evaluating the different boundary conditions … [22] Optimal placement of shadow … [23] Thermal and energy performance … [24] Bioware fog collectors: the Texas horned lizard as … [25] Probable cause of damage to the panel … [26] Highly stable and self-repairing membrane-mimetic … [27] Single-Stage Air Filtration of Particles … [28] Biomimetic building skins: An adaptive approach. [29] A methodology for the generation of biomimetic design concepts. [30] Bio-Inspired Materials: Contribution of Biology … [31] Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity … [32] Self-Healing Bilayer Lipid Membranes Formed … [33] Lipid self-assembly and lectin-induced reorganization … [34] Peptoid polymers: a highly designable bioinspired material. [35] Peptoids for biomaterials science. [36] Peptoid nanosheets exhibit a new … [37] Data mining and content analysis of the jury citations … [38] Dilemma of green and pseudo green … [39] Generating Synthetic Space … [40] Determination of occupant's thermal … [41] Folded double-skin façade … [42] Multi-objective optimization of building-integrated … [43] Bioinspired Azimuthally Varying Nanoscale … [44] The Impact Assessment … [45] Seasonal differences of subjective thermal … [46] Designerly optimization of devices … [47] Multi-objective optimisation framework … [48] The impact of Iwan as a traditional shading … [49] Determining the Most Efficient Window … [50] Effects of windward and leeward … [51] Traditional Architecture for Future … [52] Biological responses to physicochemical properties … [53] Introducing an Innovative Variable Building … [54] Antivirus-built environment: Lessons learned … [55] Indoor Air Quality: Rethinking rules of building design …

Copyright© 2021, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

سلامت و پساپاندمی: فیلتر هوا از طریق پوسته‌های ساختمان به عنوان غشاهای زیستی

غزاله شمس[۱]، محمد مشاری[۲*]

۱- کارشناسی ارشد معماری؛ دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد واحد قزوین، قزوین، ایران.
۲- استادیار گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

چکیده

اهداف: امروزه آلودگی هوا و افزایش گازهای گلخانه‌ای از جمله مشکلات عمده در جهان است؛ مشکلی که نه تنها زندگی و سلامت انسان تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه اثرات مخربی نیز بر گرمایش جهانی دارد. نگرانی از بیماری های حاصل از پاندمی، اهمیت هوای سالم و سلامت شهروندان را افزایش داده است. هدف از این پژوهش، معرفی ظرفیت‌های غشاهای زیستی به عنوان الگو برای کاربرد در ساخت متریال‌های مصنوعی و دوستدار محیط زیست در پوسته‌های ساختمانی است.

ابزار و روش ها: روش تحقیق این پژوهش شبه تجربی است که بر پایه شبیه‌سازی اثرات حاصل از بکارگیری پوسته پیشنهادی پژوهش به انجام می رسد. مدل عملیاتی طراحی شده، معرف تولید پوسته‌های مصنوعی برای ساختمان‌ها است، که قابلیت جذب ذرات آلاینده هوا را داشته و همچنین می‌تواند در صورت افزایش میزان این آلاینده‌ها با تغییر رنگ هشدار دهد. استفاده از پپتوئیدهای شبه لیپید – ذرات غیرطبیعی تقلید شده از پپتیدها و پروتئین‌ها و شبیه به فسفولیپیدهای غشای سلولی– برای شبیه‌سازی غشای پلاسمایی سلول‌ها و ساخت این پوسته مصنوعی در این پژوهش پیشنهاد شده است.

یافته ها: این مولکول‌ها مانند فسفولیپیدهای غشای پلاسمایی، می‌توانند به زنجیره‌های جانبی و مولکول‌های دیگری متصل شوند، تا ذرات آلاینده را جذب، و آن‌ها را به ذرات بی‌خطر تبدیل می‌کنند. بنابراین می‌توان این پوسته‌ها را با ویژگی‌ها و عملکردهای خاص مانند خود ترمیمی، خود مونتاژی و فیلتراسیون هوا تولید کرد.

نتیجه‌گیری: این تحقیق بر ضرورت آمادگی برای عصر پس از همه‌گیری تاکید دارد. تولید ارزان و کارآمد، در دسترس بودن آمین‌های مورد نیاز برای ساخت زنجیره‌های پپتوئید، پایداری شیمیایی و مقاومت حرارتی بیشتر پپتوئیدها از فسفولیپیدها، این مولکول‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای ساخت پوسته‌های ساختمانی به عنوان مصالح دوستدار محیط زیست، تبدیل می‌کنند.

کلمات کلیدی: فیلتراسیون هوا، متریال‌های الهام‌گرفته از طبیعت، پوسته‌های ساختمانی زنده، مصالح دوستدار محیط زیست، سلامت شهروندان، دوران پساکرونا

مقدمه

محیط زیست سالم، امروزه بیش از هر زمان دیگر اهمیت یافته است؛ موضوعی که اهمیت آن در دوران پساکرونا روز به روز افزایش خواهد یافت. در ادبیات تخصصی موضوع، مواردی چون ارزیابی اثرات زیست محیطی قرنطینه، مطالعه داده های مانیتورینگ در محل و شاخص کیفیت هوا و سایر راهبردهای مربوط، و اهمیت محیط زیست سالم، از مهمترین چالش های دوران پساکرونا معرفی شده است. نوآوری در محصولات و فناوری های موجود می تواند به دستیابی به پایداری کمک کند. [۱–۵] تحولات دوران پساکرونا اهمیت استفاده از مواد و مصالح نوین ساختمانی را بیش از پیش افزایش داده است. [۶–۱۰] به نظر می رسد که تنها راه برای مدیریت این دوران، تغییرات اساسی در نگاه به کیفیت هوا و سایر شاخص های زیست محیطی است. از این رو معماری و شهرسازی در دوران پساکرونا یکی از چالش برانگیزترین موضوعات در حوزه های مختلف مدیریت و برنامه ریزی به شمار می‌آید.

آلودگی هوا یکی از مسائل مهم در دنیای امروز هم در کشورهای در حال توسعه و هم توسعه یافته است. افزایش سریع جمعیت و تقاضا برای انرژی منجر به انتشار آلاینده‌های سمی در هوا شده است که بر روی آن محیط اطراف و نیز سلامت انسان تاثیر می‌گذارد. به گزارش سازمان بهداشت جهانی، سالانه حدود چهار میلیون مرگ و موارد متعددی از بیماری‌های تنفسی در کشورهای حال توسعه از آلودگی هوا ناشی می‌گردد [۱۱]. از سوی دیگر، توسعه صنعتی در اواسط قرن نوزدهم منجر به تولید این آلاینده‌ها شده و نتایج آن در اواسط قرن بیستم به تدریج در کشورهای مختلف نمایان گردید. آلودگی هوا، هم در محیط (خارج) و هم در خانه (داخل) به عنوان بزرگترین خطر زیست محیطی برای سلامتی محسوب می‌گردد که مسبب حدود یک مورد از هر نه مرگ سالانه است [۱۲]. سلامت انسان، پدیده‌های هواشناسی، عملکرد و بازده کشاورزی و متریال‌ها به شدت تحت تاثیر انواع مختلفی از آلاینده‌های هوا منتشر شده از بخش‌های مختلف قرار دارند. آلاینده‌های هوا همچنین به ساختمان‌ها، اکوسیستم‌ها و جمعیت حیات‌وحش آسیب می‌رسانند. فقدان

فن‌آوری‌ها و سیاست‌های کنترل‌کننده سبب بدتر شدن کیفیت هوا شده و منجر به افزایش غلظت آلاینده‌های هوا می‌گردد [۱۱]. بنابراین یافتن راهکارهایی برای کاهش این آلاینده‌ها در زمینه‌های مختلف از جمله معماری و ساخت و ساز، ضروری به نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای رسیدن به این هدف صورت گرفته است. یکی از این راه‌حل‌ها فناوری‌های تصفیه هستند. در حال حاضر فیلتراسیون پرکاربردترین روش تصفیه است. فیلتراسیون هوا به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین و موثرترین روش‌ها برای حذف ذرات معلق و کاهش آلودگی هوا، در طول سه دهه اخیر به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۲]. موثرترین و رایج‌ترین روش تصفیه برای گازهای مضر جذب سطحی است. انواع مختلفی از متریال‌های تصفیه هوا در صنعت ساختمان تولید شده است که از جمله آن‌ها [۱۳] می‌توان اشاره کرد به:

- متریال فیلتر هوای گلس فایبر
- فیبر کربن فعال (ACF)
- فیبر نانومتری
- فیلتر هوا با نفوذ بسیار کم یا فیلتر ULPA با الیاف شیشه ای فوق العاده ظریف
- متریال فیلتر فیلم ترکیبی
- متریال نانو تیتانیوم فوتوکاتالیستی دی اکسید (TiO_2)
- متریال فیلتر الکتریکی و غیره
- فناوری های دیگر مانند دیوار ترومب و غیره

فیلتراسیون هوای ساختمان یکی از اولویت های صنعت ساختمان به شمار می‌آید. غشاهای فیلتراسیون هوا مانند غشاهای نانوفیبری الکترواسپون دسته دیگری از فناوری‌های فیلتراسیون هستند که نقش بسیار مهمی در فرآیند فیلتراسیون دارند که بازده فیلتراسیون و نتیجه فیلتراسیون را دربرمی‌گیرد. [۱۲] علیرغم وجود این فناوری‌های فیلتراسیون در صنعت ساختمان، تحقیقات کمتری در زمینه معماری بیونیک برای یافتن راه حلی برای فیلتراسیون هوا انجام شده است. با گسترش علم بیونیک در زمینه‌های مختلف علمی مانند معماری، استفاده از راه‌حل‌های طبیعی برای حل مشکلات انسان‌ها و استفاده از مصالح هوشمند، می‌توان راه حل‌هایی برای کاهش آلاینده‌های هوا از طریق فناوری‌های مرتبط با صنعت ساختمان یافت. ادبیات موضوع اشاره می نماید که بیونیک یک علم فناورانه برای مطالعه ساختارها، خواص، عناصر، رفتار و تعامل سیستم‌های بیولوژیکی [۱۴]، توسط زیست‌شناسان، فیزیکدانان، شیمی‌دانان و دیگر دانشمندان [۱۵] به منظور تهیه ایده‌های جدید طراحی، اصول و قواعد کار و ساختار سیستم برای مهندسی است. [۱۴] مواد و مصالح بیولوژیکی از مقیاس مولکولی گرفته تا مقیاس نانو، میکرو و ماکرو، اغلب به شیوه‌ای سلسله مراتبی با نانومعماری پیچیده سازماندهی شده‌اند، که در نهایت تعداد بی‌شماری از عناصر کاربردی مختلفی را که به معنای تقلید از طبیعت زنده است، تشکیل می‌دهد. [۱۵] بر اساس رویکرد پژوهش، سلامت موضوعی طراحانه است [۱۶] و لازم است با نگاهی به حل مساله، به جنبه های مختلف آن پاسخ گفت. تغییرات سریع آلاینده های جوی و چشم انداز گرمتر شدن زمین [۱۷–۲۰] بر اهمیت و ضرورت پرداختن به موضوع می افزاید.

مواد و روش‌ها

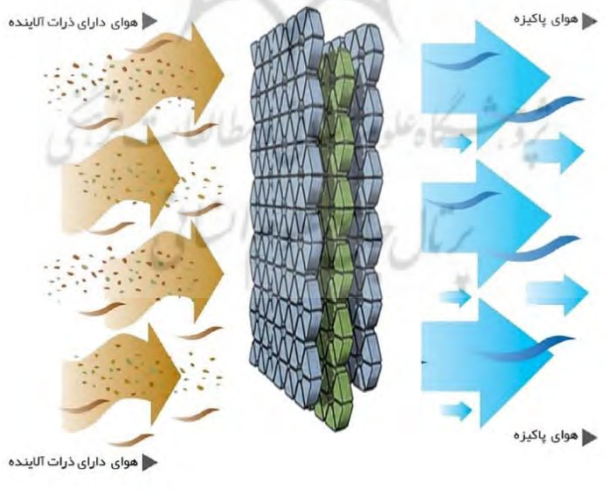
پژوهش از نظر نوع، یک پژوهش «توسعه ای» است و می کوشد تا کاربردهای عملیاتی مربوط به مفاهیمی آشنا در حوزه های دیگر را برای معماری و شهرسازی در دوران پساکرونا معرفی نماید. روش تحقیق، کیفی است. با استفاده از روش کیفی، اهداف پژوهش محقق می شود.

این تحقیق تجویزی با هدف نشان دادن چگونگی امکان مفید بودن پیتوئیدهای شبه لیپید برای فناوری و کاربرد ساختمان مفید و چگونگی کاربرد فناوری‌های مبتنی بر پیتوئیدهای شبه لیپید در معماری و صنعت ساختمان، انجام می‌شود. این تحقیق با تجزیه و تحلیل اسناد کتابخانه‌ای و سوابق مکتوب مختلف که در متن ذکر شده است و بررسی مطالعات موردی، به دنبال

نشان دادن امکان تولید پوسته‌های مصنوعی برای ساختمان‌ها است که قابلیت جذب آلاینده‌های هوا را دارند و دارای ویژگی‌هایی مانند خود ترمیمی، خود مونتاژی و فیلتر هوا هستند.

از نظر روش شناختی، فیلتراسیون هوای ساختمان با کمک ساختار غشای پلاسمایی سلول، نوعی تعامل صنعت ساختمان با محیط زیست طبیعی به شمار می‌آید. توضیح چگونگی استفاده احتمالی از ساختار غشای پلاسمایی سلول با استفاده از بیومیمتیک، برای تولید پوسته ای برای ساختمان ها، مهمترین هدفِ عملیاتی پژوهش محسوب می‌شود. به عبارت دیگر هدف عملیاتی پژوهش تبیین این مهم است که ساختار غشای پلاسمایی سلول می تواند به عنوان فیلتر هوا عمل می‌کند. تجویز استفاده از روش های زیست دوست و فناوری های سازگار با محیط زیست، از مهمترین اهداف پژوهش به شمار می‌آید؛ پوسته‌ای که قادر به جذب آلاینده‌ها و تبدیل آن‌ها به ذرات بی‌خطر است. کاربرد فناوری های جدید در کنار مواد و مصالح ساختمانی [۲۱-۲۵] فرصت های فراوانی را برای توسعه صنعت ساختمان با کمک فناوری های سازگار با محیط زیست ایجاد کرده است.

روش شناسی پژوهش نشان می دهد که این پوسته را می‌توان با استفاده از پلیمرهایی به نام پپتوئید تولید کرد. پپتوئیدها پلیمرهای مصنوعی ساخته شده از آمین‌ها هستند که ساختاری مشابه پروتئین‌ها و پپتیدها دارند. این پلیمرهای شبه لیپید، می‌توانند مانند فسفولیپیدهای غشای پلاسمایی، لایه‌بندی شوند و عملکردهای مشابهی داشته باشند [۲۶]. این پوسته مصنوعی، مانند غشای پلاسمایی، می‌تواند دارای زنجیره‌های جانبی باشد که آلاینده‌ها را جذب، و بنابراین آن‌ها را از محیط خارج کرده و به ذرات بی‌خطر تبدیل کند. این پوسته به دلایل متعددی از جمله تولید ارزان و کارآمد، در دسترس بودن آمین‌های مورد نیاز برای ساخت زنجیره‌های پپتوئیدی، پایداری شیمیایی و مقاومت حرارتی بیشتر پپتوئیدها نسبت به فسفولیپیدها و غیره، یک فناوری کارآمد در صنعت ساختمان خواهد بود [۲۶]. این پوسته ساخته شده از پپتوئیدهای شبه لیپید، در واقع یک متریال الهام گرفته شده زیستی است که با توجه به تحقیقات انجام شده، توانایی خود مونتاژی و خود ترمیمی مانند غشای پلاسمایی را دارد. در آینده نزدیک پپتوئیدهای شبه لیپید ممکن است برای فناوری و کاربرد ساختمان مفید باشند.



شکل۱. چارچوب مفهومی پژوهش برای فیلتراسیون هوا از طریق غشای مصنوعی در پوسته ساختمان‌ها.

یافته‌ها

بحث کیفی در یافته های پژوهش، نشان از امکان پذیر بودن ایده مطرح شده در پژوهش دارد. همانطور که اورلاندو و همکاران بیان کردند، طیف وسیعی از فناوری‌های تصفیه هوا برای حذف انواع مختلف آلاینده‌ها به صورت تجاری در دسترس هستند. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، میزان اثرات نامطلوب و سوء آلودگی هوا بر سلامتی، حتی در

غلظت‌های کمتر آلاینده‌ها، رو به افزایش است. همانطور که اورلاندو و همکاران مطرح کردند، شش فناوری فیلتر هوا [۲۷] وجود دارد که عبارتند از: ۱. فیلترهای مکانیکی ۲. فیلترهای الکترواستاتیکی ۳. فیلترهای جاذب ۴. اکسیدان فوتوکاتالیستی (PCO) ۵. پلاسمای غیرحرارتی (NTP) و ۶. فیلترهای نانوفیبری الکترواسپون. این فناوری‌های فیلتراسیون توانایی‌های متفاوتی برای حذف ذرات معلق و ترکیبات گازی دارند.

فیلترهای جاذب در حذف آلاینده‌های گازی از طریق متریال‌هایی مانند کربن فعال یا زئولیت‌ها، بسیار کارآمد هستند.

شکل ۲. پوشش‌های تقلید شده از ساختارهای طبیعی

به گفته ال وی و همکاران، غشاهای فیلتراسیون هوا در دو دهه اخیر به دلیل نقش مهمی که در فرآیند فیلتراسیون دارند، بسیار مورد بررسی قرار گرفته‌اند و توسعه همزمان فناوری‌های فیلتراسیون و غشاهای فیلتراسیون با ظهور مواد جدید با خواص فیزیکی و شیمیایی بالا افزایش یافته است [۱۲]. این غشاهای تصفیه کننده هوا در صنعت معماری و ساخت و ساز کاربرد دارند. به عنوان مثال، پوسته‌های ساختمان می‌توانند به عنوان غشاهای فیلتر هوا عمل کنند. العبیدی و همکاران بیان کردند که بسیاری از انواع پوسته‌های ساختمانی هوشمند و پاسخگو به محیط ایجاد شده‌اند، اما بهبود ساختار و عملکرد آن‌ها برای دستیابی به سازگاری همچنان نامشخص باقی مانده است [۲۸]. یکی از راه‌های ساخت پوشش‌های ساختمانی با عملکرد و ساختار کارآمد، تقلید از نمونه‌های موجود در طبیعت و استفاده از فرم، عملکرد و ساختار آن‌ها است. مطابق اظهارات بادارنا و همکاران، بیومیمتیک یک روش طراحی در مهندسی و یک رشته نوظهور در معماری می‌باشد، که به سرعت در حال رشد است [۲۹]. العبیدی و همکاران در پژوهش‌های خود بیان کردند که زیست‌شناسی پارادایم جدیدی را در زمینه‌های مختلف، از جمله مهندسی، به‌عنوان پایه‌ای جدید برای تفکر فن‌آورانه ارائه می‌کند و از طریق بیومیمیکری، یا تقلید از طبیعت، با معماری ادغام شده است که طبیعت را به عنوان پایگاه عظیمی از داده‌های مربوط به مکانیسم‌ها و استراتژی‌ها، برای پیاده‌سازی در طرح‌ها، در بر می‌گیرد. [۲۸]

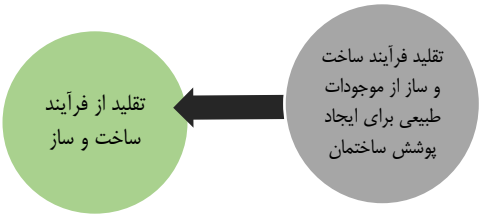
شکل ۳. پوشش‌های ساخته شده از موجودات طبیعی

همانطور که ایمانی و همکاران بیان کردند فناوری ساخت و ساز پیشرفت چشمگیری در استفاده از متریال‌های الهام گرفته از طبیعت تجربه داشته است. حدود ۰.۲۵٪ از همه موجودات طبیعی شناخته شده، امروزه در صنعت کاربرد دارند. تقلید از جنبه‌های ساختاری، رفتاری، عملکردی و مورفولوژیکی موجودات طبیعی می‌تواند منجر به تولید انواع متعددی از متریال‌های الهام گرفته از طبیعت شود که همه روش‌های جدیدی را برای طراحی سازه، عایق حرارتی، عایق رطوبتی و ... معرفی می‌کنند. [۳۰] یک گروه از این متریال‌ها، پوشش‌های ساختمانی الهام گرفته از طبیعت هستند که طبق تحقیقات ایمانی و همکاران، شامل انواع مختلفی است [۳۰] (شکل ۱) که در زیر دسته‌بندی می‌شود:

۱. تقلید از ساختارهای طبیعی

۲. استفاده مستقیم از موجودات طبیعی

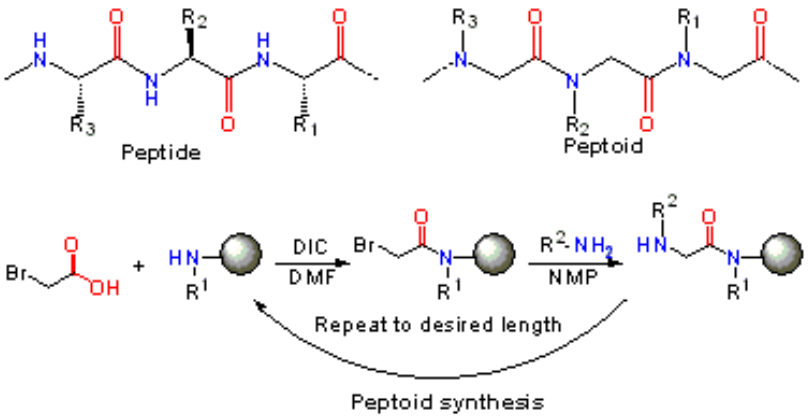
۳. تقلید از فرآیند ساخت و ساز



شکل ۴. پوشش‌های ساخته شده با استفاده از فرآیند ساخت و ساز موجودات طبیعی در انواع مختلف پوشش‌های ساختمانی الهام گرفته از طبیعت.

مدل پیشنهادی در پژوهش، از هماهنگی فرم و محتوا حکایت دارد. بر اساس جمع بندی مدل مفهومی پژوهش، می‌توان از میکروساختارها و نانوساختارهای طبیعی برای تولید محصولات بهتر و کاربردی‌تر در زمینه معماری و صنعت ساخت و ساز تقلید کرد [۳۰]. همانطور که بوشان و همکاران بیان کردند، طبیعت متریال‌ها، اشیا و فرآیندهایی را توسعه داده است که از مقیاس ماکرو تا مقیاس نانو کارایی داشته و تعداد زیادی از موجودات از جمله باکتری‌ها، گیاهان، جانوران خشکی و آبزی، و صدف‌های دریایی وجود دارد که خواص آن‌ها حتی از نظر تجاری نیز مورد توجه می‌باشد. حوزه نوظهور بیومیمتیک همچنین به فرد امکان تقلید از زیست یا طبیعت را برای توسعه نانومتریال‌ها، نانودستگاه‌ها و فرآیندهایی می‌دهد که خواص مطلوبی را ارائه می‌دهند [۳۱]. یکی از الگوهای ساخت غشاهای مصنوعی، ساختار غشای پلاسمایی سلول است. طبق پژوهش جین و همکاران، از آنجایی که غشاهای سلولی منابع بزرگ الهام، در بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی هستند، تلاش‌های زیادی برای ایجاد نانومتریال‌های دو بعدی مصنوعی شبه-غشا، که از لیپیدها مونتاژ شده‌اند، یا آنالوگ‌های مصنوعی لیپیدها به عنوان مثال، کوپلیمرهای بلوکی، پپتیدهای شبه لیپید انجام شده است. [۲۶] پوشش‌های ساختمانی الهام گرفته از طبیعت، به دلیل استفاده از فناوری های سازگار با محیط زیست؛ با نگاه جامع به توسعه پایدار اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی، و زیست محیطی نیز هماهنگی دارند.

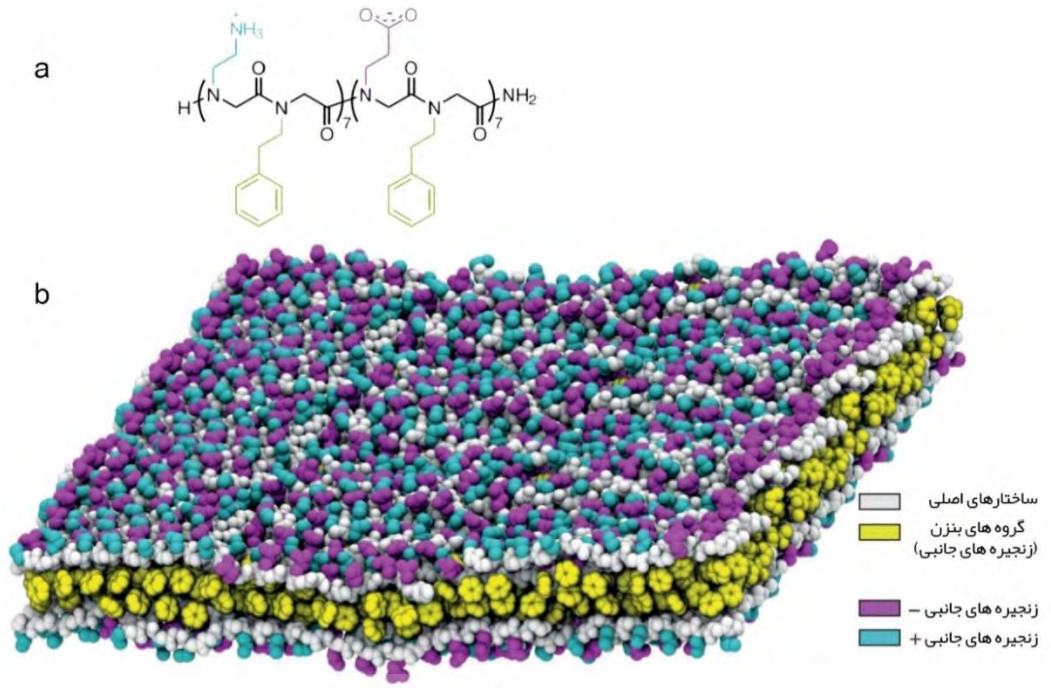
یافته های پژوهش نشان می دهد که مدل پیشنهادی، کاربردهای موثری نیز در حفظ سلامت ساکنان و مراجعه کنندگان به بنا در دوره پاندمی خواهد داشت. ساختار غشای پلاسمایی از دو لایه فسفولیپیدی ساخته شده است. مولکول های فسفولیپید از گلیسرول، یک گروه فسفات و دو زنجیره اسید چرب تشکیل شده‌اند. غشای پلاسمایی دارای ویژگی‌های مختلفی مانند خود مونتاژی و خود ترمیمی است. مطابق پژوهش‌های جین و همکاران، خود مونتاژی مولکولی کلید ایجاد ساختارهای عملکردی کارآمد و مشخصی در زیست‌شناسی می‌باشد. به عنوان مثال، خود مونتاژی مولکول‌های لیپید و پروتئین‌های غشا در تعریف ساختمان سلولی و فعال کردن عملکرد سلول بسیار مهم است. از منظر متریال، غشاهای سلولی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند زیرا آن‌ها دسته‌ای از نانومتریال‌های دو بعدی را ارائه می‌کنند که دارای خواص نسبتا غیرعادی مانند توانایی خود ترمیمی هستند [۲۶]. همانطور که کریسی و همکاران سیستم‌های بیولوژیکی بیان شده مانند غشای پلاسما، ترمیم خودکار آسیب را نشان می‌دهند و الهام‌بخشی برای توسعه مواد خود ترمیمی هستند که توانایی تشخیص یکپارچگی ساختاری و «خودترمیمی» را در هنگام بروز آسیب دارند و به طور بالقوه برای بسیاری از رشته‌های مهندسی مفید است [۳۲]. از سوی دیگر به بیان سیچ و همکاران، غشای پلاسمایی نمونه‌ای برجسته از خود-سازماندهی در زیست‌شناسی است. بلوک‌های ساختمانی اصلی آن پروتئین‌ها و لیپیدها هستند که با فرآیند خود مونتاژی، به صورت یک دولایه لیپیدی سیال که عمدتا توسط نیروهای آبگریز هدایت می‌شود، درمی‌آیند. [۳۳] مروری بر ظرفیت های مولکولی نشان از کارایی مدل پیشنهاد شده در این پژوهش دارد.



شکل ۵. مقایسه ساختار پپتیدها و پپتوئیدها و نحوه تبدیل پپتید به پپتوئید. [۳۴]

رویکرد تحلیلی به ساختار اتمی نشان می دهد که این لایه ها با کمک فرآیندهای بیوشیمیایی می توانند تصفیه کننده هوا باشند. همانطور که آرونالائو و همکاران بیان نمودند، متریال‌هایی که می‌توانند به راحتی با انجام تنظیماتی ویژگی‌های بیوشیمیایی، مورفولوژیکی و مکانیکی سیستم‌های بیولوژیکی طبیعی را ارائه دهند، مورد توجه ویژه علم بیومتریال‌ها هستند. پپتوئیدها یا گلایسین‌های جایگزین شده با پلیN، دسته‌ای از ماکرومولکول‌های پپتیدومیمتیک کاملا قابل تنظیم، می‌توانند به طور بالقوه پیشرفت قابل توجهی را در علم بیومتریال‌ها ایجاد کنند. [۳۵] طبق پژوهش‌های جین و همکاران، پپتوئیدها می‌توانند برای ساخت غشاهای مصنوعی مورد استفاده قرار گیرند. پپتوئیدها ذرات تقلید شده غیرطبیعی پپتیدها و پروتئین‌ها هستند که مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند، زیرا می‌توانند به صورت ارزان و کارآمد سنتز شده و می‌توان از چند صد آمین تجاری موجود برای دستیابی به تنوع در زنجیره جانبی بزرگ استفاده کرد و همچنین از نظر شیمیایی و حرارتی پایدار هستند. همه این ویژگی‌ها پپتوئیدها را به عنوان آنالوگ‌های مصنوعی لیپیدها، برای خود مونتاژی متریال‌های دوبعدی تقلید شده از غشا بسیار جذاب می‌کند. [۳۶] جین و همکاران همچنین متریال‌هایی را نشان دادند که با تقلید از غشا و با استفاده از پپتوئیدها ساخته شده و تعدادی از خواص مرتبط با غشای سلولی از جمله خود مونتاژی و توانایی خود ترمیم را نشان می‌دهند. آن‌ها همچنین بیان می‌کنند که ساختار غشا به دلایلی از جمله تحمل افزوده شدن اجسام کاربردی مانند زنجیره‌های جانبی پپتوئید در بخش‌های مختلف، ایجاد پیچیدگی چند جزئی و ارائه عملکردی شبیه پروتئین، [۳۶] مستحکم است. این زنجیره‌های جانبی می‌توانند گازهای آلاینده هوا را جذب کرده و آن‌ها را به مولکول‌های بی‌خطر تبدیل کنند.

در روش شناسی تحلیل آثار معماری و شهرسازی معاصر ایران و جهان [۳۷-۴۰] چیزی که بسیار خودنمایی می کند، جایگاه مواد و مصالح نوین ساختمانی است. در این میان، رویکرد جامع به توسعه پایدار اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی، و زیست محیطی [۴۱-۵۱] موضوعی بسیار مهم در ساختار یافته های پژوهش محسوب می‌شود. بر اساس فرضیات تحقیق، نگاه پایدار نوعی نگاه جامع، همراه با عنایت و توجه به بخش های مختلف موضوع است. مواد و مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست به نحوی تاثیر قابل ملاحظه ای بر کنترل پاندمی و آلودگی های ناشی از آن دارند. [۵۲-۵۵] بر اساس یافته های پژوهش، تحلیل کیفی اثر غشاهای زیستی، در دوران پساکرونا اولویت یافته است، به نحوی که مدل فیلتر هوا از طریق پوسته‌های ساختمان با الگوبرداری از غشاهای زیستی را به عنوان نمونه ای قابل ارایه در صنعت ساختمان پیشنهاد می‌نماید. الگوی مورد نظر در هماهنگی با محیط زیست و سلامت ساکنان و مراجعه کنندگان، به خصوص در دوره پاندمی و دوران پساکرونا از اهمیت به سزایی برخوردار است.



شکل ۶. یک نانوصفحه پپتوئیدی به دست آمده از شبیه سازی دینامیک مولکولی.

a. یک پپتوئید ۲۸ بخشی آمفیفیلیک که به نانو صفحات گسترده ای با ضخامت تنها دو مولکول شکل گرفته است.

b. عکس از یک ساختار دولایه که از شبیه سازی دینامیک های مولکولی به دست آمده است. [۳۶]

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه پیشینه پژوهش نشان داد که آلودگی هوا یکی از معضلات بزرگ دنیای امروزی است که مشکلات زیادی را برای محیط زیست، ساختمان‌ها و سلامت انسان به همراه داشته است. امروزه یافتن راهکارهایی برای کاهش آلودگی هوا ضروری به نظر می‌رسد. از مسائل بسیار مهم در دنیای امروز کمک به کاهش ذرات آلاینده هوا و در نتیجه حفاظت از محیط زیست است که با بهره‌گیری از این پوسته می‌توان در این جهت گام برداشت. از سویی استفاده از پوسته مصنوعی ساخته شده از پپتوئیدها، به دلیل در دسترس بودن آمین‌های مورد نیاز برای ساخت آن‌ها و هزینه کم برای ساخت این پلی‌مرها، گزینه‌ای مناسب خواهد بود. عملکرد این پوسته به این صورت خواهد بود که ذرات آلاینده با برقراری پیوند شیمیایی با زنجیره‌های موجود در پوسته، که در پژوهش‌های آینده به طور کامل طراحی و آزمایش خواهد شد، جذب آن شده و پس از واکنش‌های شیمیایی مربوطه به شکل ذرات بی‌خطر به هوا آزاد می‌گردند. از جمله ذراتی که در پژوهش‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت، منواکسید کربن و دی اکسید کربن خواهد بود. منواکسید کربن به عنوان یکی از عمده‌ترین مقادیر گازهای گلخانه‌ای و مضرر برای محیط زیست، از اصلی‌ترین ذرات آلاینده هدف در این پژوهش می‌باشد.

رویکرد تحلیلی به مطالعات صورت گرفته نشان داد که یکی از این راه‌حل‌ها، فناوری‌های فیلتراسیون و در آن میان استفاده از غشاهای فیلترکننده هوا در پوسته ساختمان است. این پوسته‌ها می‌توانند ساختارهای متفاوتی داشته باشند و از متریال‌های متفاوتی ساخته شوند. این پژوهش امکان استفاده از ساختار غشای پلاسمایی را به عنوان الگو با استفاده از بیومیمتیک برای تولید پوسته‌ای برای ساختمان‌ها که به عنوان فیلتر هوا عمل می‌کند و مانند غشا دارای ویژگی‌های خودمونتاژی و خودترمیمی هستند، معرفی می‌کند. با این حال، این پژوهش شکافی را در خصوص فیلترهای هوای ساختمان نشان می‌دهد که در آن استفاده از متریال‌های الهام‌گرفته از طبیعت در فناوری‌های فیلتر هوا بسیار کم و کشف نشده است. موجودات طبیعی به دلیل سال‌های متمادی حضور در طبیعت، تغییر و تحول یافته و با شرایط محیطی بهترین سازگاری را یافته‌اند. متریال‌های الهام گرفته از طبیعت مانند غشاهای

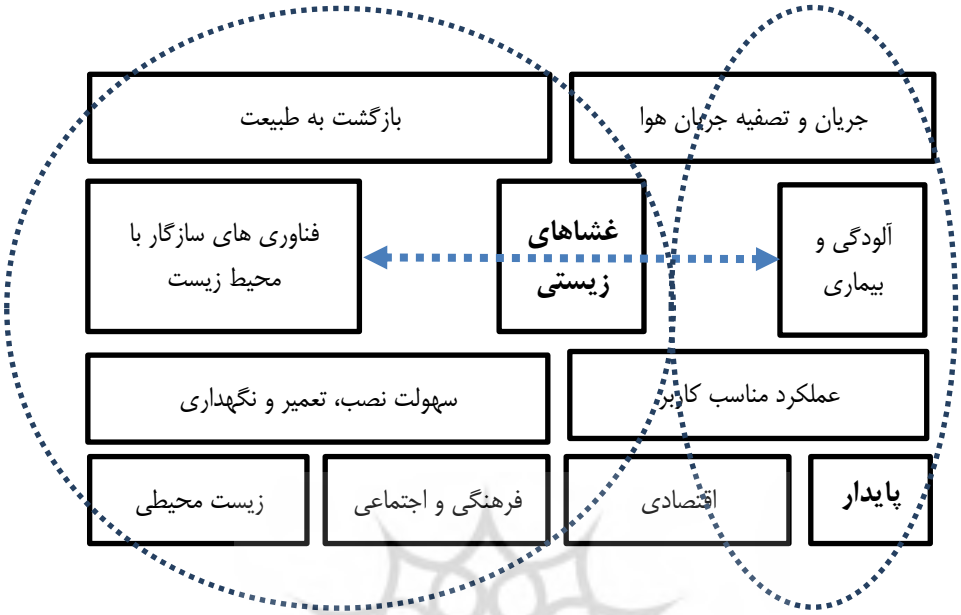
مصنوعی ساخته شده از پپتوئیدهای شبه لیپید می‌توانند به عنوان پوسته‌های ساختمان برای جذب آلاینده‌های هوا و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های بی‌خطر استفاده شوند. توسعه یک چارچوب نظری که به مسائل و مشکلات جاری [۳۰] استفاده از مواد و مصالح ساختمانی الهام گرفته از طبیعت و به طور خاص غشاهای مصنوعی ساخته شده از پپتوئیدهای شبه لیپید به عنوان غشای فیلتر هوا در صنعت ساختمان می‌پردازد، مورد نیاز است. با استفاده از این چارچوب، نحوه ساخت و استفاده از غشاهای مصنوعی ساخته شده از پپتوئیدهای شبه لیپید و نحوه افزودن زنجیره‌های جانبی به ساختار غشای مصنوعی برای جذب ذرات آلودگی هوا، مشخص می‌شود. از مزایای بهره‌گیری از این فناوری، نوآوری در طراحی‌ها، حل مشکلات و مسائل انسان‌ها با ارائه راه‌حل‌های اثبات شده، ایجاد فرم‌ها و ساختارهای کارآمدتر، بهره‌گیری از استراتژی‌های سازگاری مختلف موجود در طبیعت و غیره می‌باشد.

این فناوری در انواع ساختمان ها با کاربری‌ها و ابعاد مختلف کاربرد دارد و به عنوان پوسته ای برای فیلتر کردن هوا و کاهش ذرات آلاینده درون و بیرون ساختمان عمل کرده و احتمال آسیب های بعدی مانند بیماری های تنفسی در افراد را کاهش می دهد. از این طریق، این پوسته در جهت رعایت یکی از موارد اصلی استانداردهای «ساختمان سالم» عمل می کند؛ یک سیستم مبتنی بر عملکرد چندگانه که ویژگی های محیط های ساخته شده را که بر سلامت و رفاه انسان‌ها تاثیر می‌گذارد، بررسی وکنترل می‌کند. نتیجه چنین راهکاری، به معنی کمتر قرار گرفتن ساکنین در معرض آلاینده ها خواهد بود. همچنین این فناوری، طرحی هوشمندانه و نوآورانه برای مقابله با آلودگی هوا و مبارزه با اثرات گازهای گلخانه ای که به دلیل وجود ذراتی مانند کربن مونواکسید و غیره ایجاد گردیده است، ارائه می‌دهد. بنابراین، کاهش ذرات آلاینده سبب کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای، و در نتیجه کاهش دمای کره زمین خواهد بود. مدیریت آلاینده ها، عامل کاهش تغییرات آب و هوایی، و در صورت استمرار آن، بهبود شرایط زیست محیطی می شود. این پوسته می تواند در کنار سایر فناوری های فیلتراسیون عمل نماید، فناوری هایی مانند: ۱- غشاهای فیلترکننده ۲- فیلترهای مکانیکی ۳- فیلترهای الکترواستاتیکی ۴- فیلترهای جاذب ۵- فیلترهای نانوفیبری الکترواسپون و غیره. هماهنگی کامل با فناوری‌های سازگار با محیط زیست و فناوری های تولید نانومتریال ها مانند مجموعه ای هماهنگ عمل می کند. از جمله موارد قابل توجه در به‌کارگیری این فناوری، کاهش هزینه های مربوط به ترمیم، تعمیر و نگهداری از این فناوری، به دلیل داشتن ویژگی های خودترمیمی، خودمونتاژی این پوسته است.

فناوری غشاهای زیستی در محدوده معماری بیونیک مطرح است که خود نوعی معماری زیست سازگار و دوستدار طبیعت تداعی می کند. از سوی دیگر سازگاری این فناوری با معماری پایدار و معماری سبز است. معماری پایدار به دنبال اثرات مخرب حداقلی به محیط زیست است که از سوی ساختمان ها و صنعت ساخت و ساز وارد می‌گردد. این مهم از طریق استفاده بهینه از منابع، انرژی و به طور کل نگاه داشتن بهینه اکوسیستم محقق خواهد شد. کاربرد این فناوری در جهت کاهش آلودگی هوا و درنتیجه آسیب کمتر به محیط زیست، در راستای اهداف معماری پایدار بوده، با آن همگام است. از طرفی در معماری سبز، هدف ایجاد زیرساخت هایی با انرژی کارآمد و حداقل آسیب و تاثیرگذاری بر طبیعت است، که در فناوری پیشنهادی پژوهش نیز این اهداف دنبال می شود. در طراحی فناوری حاضر و همچنین در تمامی این گرایشات اهداف اساسی توسعه پایدار تامین می شود؛ اهدافی از جمله: ۱- حداقل آسیب به محیط زیست، ۲- فراهم کردن شرایط زیستن برای نسل‌های آینده ۳. استفاده بهینه از منابع و انرژی ۴- کاهش هزینه‌های مربوط به جبران تخریب های زیست محیطی، ۵- باقی گذاردن منابع برای نسل‌های آینده و غیره.

فناوری های سازگار با محیط زیست به خوبی می توانند با غشاهای زیستی شبه لیپید ترکیب شوند. یافته های پژوهش نشان داد که این مولکول‌ها مانند فسفولیپیدهای غشای پلاسمایی، می‌توانند به زنجیره‌های جانبی و مولکول‌های دیگری متصل شوند، تا ذرات آلاینده را جذب، و آن‌ها را به

ذرات بی‌خطر تبدیل می‌کنند. بنابراین می‌توان این پوسته‌ها را با ویژگی‌ها و عملکردهای خاص مانند خود ترمیمی، خود مونتاژی و فیلتراسیون هوا تولید کرد.



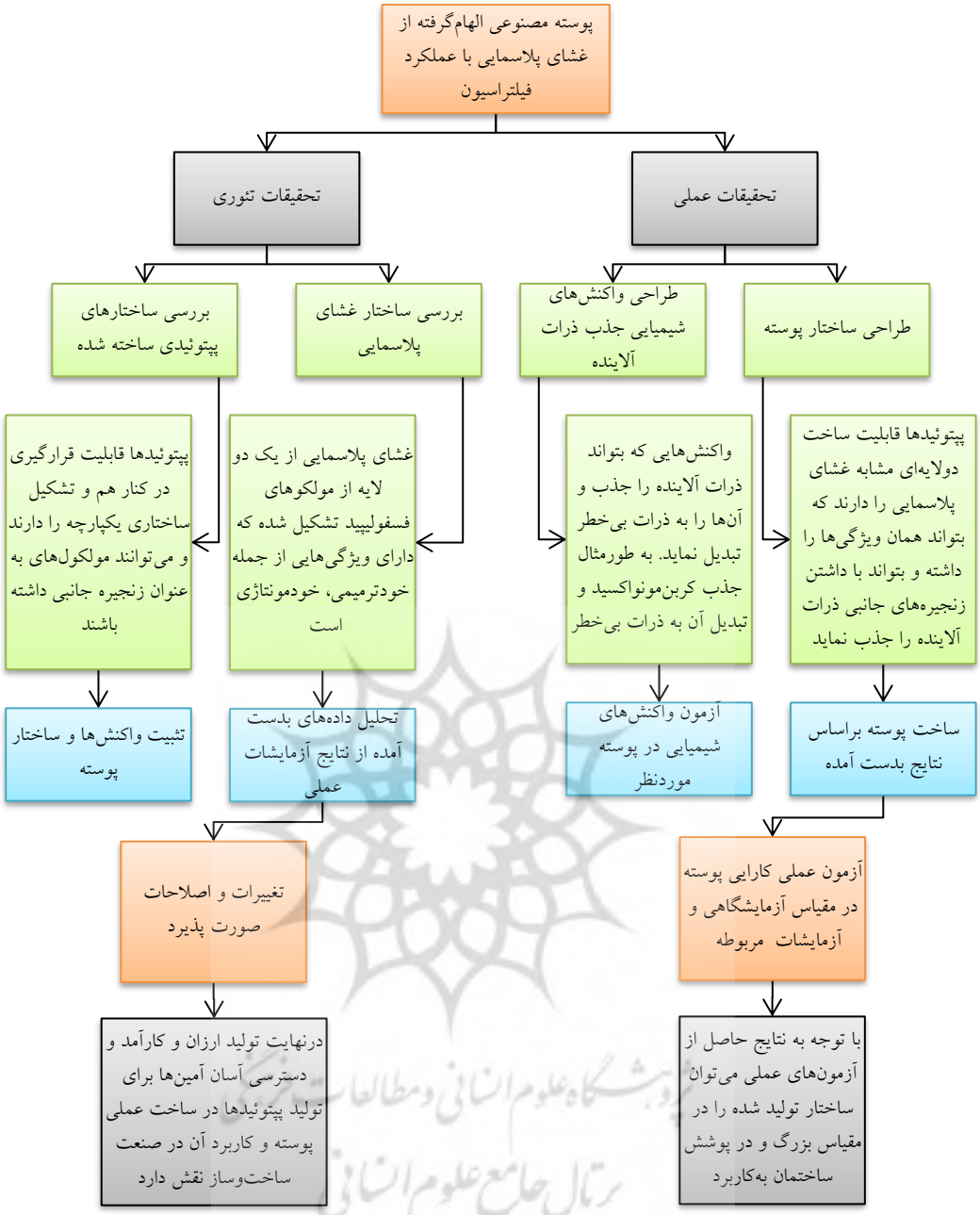
شکل۷. مدل عملیاتی برای استفاده تجاری از غشاهای زیستی در صنعت ساختمان

نتایج این پژوهش با معرفی پپتوئیدهای شبه لیپید، پلیمرهای مصنوعی تقلید شده از پپتیدها و پروتئین‌ها، راهی برای ساخت مصنوعی غشای پلاسمایی به عنوان ساختار پایه پوسته ساختمان ارائه و در واقع استفاده احتمالی از پپتوئیدهای شبه لیپید در صنعت ساختمان را توضیح می‌دهد. وجود چنین پوسته‌ای به کاهش ذرات آلاینده درون و بیرون ساختمان کمک کرده و احتمال آسیب‌های بعدی مانند بیماری‌های تنفسی در افراد را کاهش می‌دهد.

نتایج حاصل از این تحقیق بر ضرورت آمادگی برای عصر پس از همه‌گیری تاکید دارد. تولید ارزان و کارآمد، در دسترس بودن آمین‌های مورد نیاز برای ساخت زنجیره‌های پپتوئید، پایداری شیمیایی و مقاومت حرارتی بیشتر پپتوئیدها از فسفولیپیدها، این مولکول‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای ساخت پوسته‌های ساختمانی به عنوان مصالح دوستدار محیط زیست، تبدیل می‌کنند. مهمترین دستاوردهای حاصل از پیاده سازی مدل پیشنهادی در صنعت ساختمان عبارتند از:

- نقش موثر در کاهش میزان آلاینده‌های هوا و اثرگذاری در تصفیه هوای داخل و خارج ساختمان
- تولید و استفاده از مواد و مصالح ساختمانی که به محیط زیست آسیب کمتری می رسانند
- توسعه به کارگیری مواد کم خطرتر و هماهنگ با حفظ منابع طبیعی به دلیل بازیافت سریعتر، بهتر و بیشتر
- تاکید بر اهمیت بهداشت در داخل ساختمان برای ساکنان
- مواد و مصالح ساختمانی سالم، بی خطر و مفید با هدف سلامت افراد درون ساختمان

تحلیل نتایج بر پایه شبیه سازی اثرات حاصل از بکارگیری پوسته پیشنهادی پژوهش نتایج قابل توجهی را نشان می دهد. جذب ذرات آلاینده هوا، همراه با استفاده از قابلیت تغییر رنگ هشدار در صورت افزایش میزان این



شکل۸. تجاری سازی مواد و مصالح ساختمانی زیست سازگار و دوست دار محیط زیست با تاکید بر دوره بازگشت به طبیعت و سلامت ساکنان

آلاینده‌ها، به نحوی معرف عملکرد ذرات غیرطبیعی تقلید شده از پپتیدها و پروتئین‌ها و شبیه به فسفولیپیدهای غشای سلولی خواهد بود. این پوسته مصن وعی بر اساس شبیه سازی غشای پلاسمایی سلول ها، قابلیت های قابل ملاحظه ای را به ساختمان می افزاید.

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه های اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان در مقاله: نویسنده اول: نگارنده اصلی مقاله، پژوهشگر اصلی، ایده پردازی و توسعه ایده پژوهش و ساختار تحقیق، مدلسازی و ترسیم اجزا (۵۰٪) نویسنده دوم: پژوهشگر اصلی مقاله، کنترل فرآیند، ایده پردازی و ساختار تحقیق (۵۰ ٪)

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1- Lokhandwala S, Gautam P. Indirect impact of COVID-19 on environment: A brief study in Indian context. Environmental research. 2020 Sep 1;188:109807. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109807

2- Rasoolzadeh M, Moshari M. Prioritizing for Healthy Urban Planning: Interaction of Modern Chemistry and Green Material-based Computation. Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2021 May 10;11(1):94-105. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.1.7.0

3- Mohtashami N, Mahdavinejad M, Bemanian M. Contribution of city prosperity to decisions on healthy building design: A case study of Tehran. Frontiers of Architectural Research. 2016 Sep 1;5(3):319-31. https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.06.001

4- Vanapalli KR, Sharma HB, Ranjan VP, Samal B, Bhattacharya J, Dubey BK, Goel S. Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. Science of The Total Environment. 2021 Jan 1;750:141514. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141514

5- Sharma HB, Vanapalli KR, Cheela VS, Ranjan VP, Jaglan AK, Dubey B, Goel S, Bhattacharya J. Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. Resources, Conservation and Recycling. 2020 Nov 1;162:105052. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105052

6- Pakdehi, S. G., Rasoolzadeh, M., & Moghadam, A. S. (2016). Barium oxide as a modifier to stabilize the γ-Al2O3 structure. Polish Journal of Chemical Technology, 18(4), 1-4. https://doi.org/10.1515/pjct-2016-0062

7- Pakdehi, S. G., Rasoolzadeh, M., & Zolfaghari, R. (2014a). Synthesize and Investigation of the Catalytic Behavior of Ir/γ-Al2O3 Nanocatalyst. Advanced Materials Research (Vol. 829, pp. 163-167). https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.829.163

perspective. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2016 Aug 6;374(2073):20160192. http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0192

16- Mahdavinejad M. Designerly Approach to Energy Efficiency in High-Performance Architecture Theory. Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2020 Sep 10;10(2):75-83. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.2.7.5

17- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zhang G, Vali K. Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation and cooling load of mid-rise buildings. Sustainable Cities and Society. 2021 Jul 1;70:102894. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102894

18- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zhang G. A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. Building Simulation. 2018 Apr 1;11(2):359-372. Tsinghua University Press. https://doi.org/10.1007/s12273-017-0407-7

19- Javanroodi K, Nik VM, Mahdavinejad M. A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas. Sustainable Cities and Society. 2019; 49:101597. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101597

20- Torabi M, Mahdavinejad M. Past and Future Trends on the Effects of Occupant Behaviour on Building Energy Consumption. J. Sustain. Archit. Civ. Eng. 2021 Oct 27;29(2) 83-101. https://doi.org/10.5755/j01.sace.29.2.28576

21- Ahmadi J, Mahdavinejad M, Larsen OK, Zhang C, Zarkesh A, Asadi S. Evaluating the different boundary conditions to simulate airflow and heat transfer in Double-Skin Facade. Building Simulation. 2021 Sep 16:1-17. Tsinghua University Press. https://doi.org/10.1007/s12273-021-0824-5

22- Hood SD, Mahmoodi Zarandi M, Kamyabi S. Optimal placement of shadow tools of double-skin facade with the aim of achieving thermal comfort in hot climate. Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2018 Dec 10;8(3):171-7. [Persian]

8- Pakdehi, S. G., Salimi, M., & Rasoolzadeh, M. (2014c). Co-Ni Bimetallic Catalysts Coated on Cordierite Monoliths for Hydrazine Decomposition. Advanced Materials Research (Vol. 936, pp. 981-985). https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.936.981

9- Rasoolzadeh, M., & Islampour, R. (2011). Estimation of vibrational energy levels of diatomic molecules (CN, CO and CS) using Numerov algorithm and comparison with the empirical values. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), 2041-2047. Available from: https://www.researchgate.net/profile/R_Islampour/publication/266350087_Estimation_of_Vibrational_Energy_Levels_of_Diatomic_Molecules_CN_CO_and_CS_Using_Numerov_Algorithm_and_Comparison_with_the_Empirical_Values/links/55014f090cf2aee14b59199b.pdf

10- Short DB, Sirinterlikci A, Badger P, Artieri B. Environmental, health, and safety issues in rapid prototyping. Rapid Prototyping Journal. 2015 Jan 19. https://doi.org/10.1108/RPJ-11-2012-0111

11- Saxena P, Sonwan i S. Criteria air pollutants and their impact on environmental health. Springer; 2019 Nov 14. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9992-3

12- Lv D, Zhu M, Jiang Z, Jiang S, Zhang Q, Xiong R, Huang C. Green electrospun nanofibers and their application in air filtration. Macromolecular Materials and Engineering. 2018 Dec;303(12):1800336. https://doi.org/10.1002/mame.201800336

13- Liu G, Xiao M, Zhang X, Gal C, Chen X, Liu L, Pan S, Wu J, Tang L, Clements-Croome D. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation. Sustainable cities and society. 2017 Jul 1;32:375-96. http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.scs.2017.04.011

14- Yongxiang LU. Significance and progress of bionics. Journal of Bionic Engineering. 2004 Mar;1(1):1-3. https://doi.org/10.1007/BF03399448

15- Ripley RL, Bhushan B. Bioarchitecture: bioinspired art and architecture—a

https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_136-1

31- Bhushan B, Jung YC. Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. Progress in Materials Science. 2011 Jan 1;56(1):1-08. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2010.04.003

32- Creasy MA, Leo DJ. Self-Healing Bilayer Lipid Membranes Formed Over Synthetic Substrates. InSmart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems 2008 Jan 1 (Vol. 43321, pp. 601-606). https://doi.org/10.1115/SMASIS2008-460

33- Sych T, Mély Y, Römer W. Lipid self-assembly and lectin-induced reorganization of the plasma membrane. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2018 May 26;373(1747):20170117. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2017.0117

34- Sun J, Zuckermann RN. Peptoid polymers: a highly designable bioinspired material. ACS nano. 2013 Jun 25;7(6):4715-32. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peptoid_struc_synth.png

35- 15. AaronáLau KH. Peptoids for biomaterials science. Biomaterials science. 2014;2(5):627-33. https://doi.org/10.1039/C3BM60269A

36- Mannige RV, Haxton TK, Proulx C, Robertson EJ, Battigelli A, Butterfoss GL, Zuckermann RN, Whitelam S. Peptoid nanosheets exhibit a new secondary-structure motif. Nature. 2015 Oct;526(7573):415-20. https://doi.org/10.1038/nature15363

37- Mahdavinejad M, Hosseini SA. Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker Architecture prize (1977–2017). Journal of Architecture and Urbanism. 2019 Feb 1;43(1):71-90. https://doi.org/10.3846/jau.2019.5209

38- Mahdavinejad M, Zia A, Larki AN, Ghanavati S, Elmi N. Dilemma of green and pseudo green architecture based on LEED norms in case of developing countries. International journal of sustainable built environment, 2014 Dec 1;3(2):235-46. https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.06.003

39- Rahbar M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Davaie Markazi AH, Hovestadt L. Generating https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1397.8.3.4.0

23- Talaei M, Mahdavinejad M, Azari R. Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review. Journal of Building Engineering. 2020 Mar 1;28:101011. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101011

24- Aliabadi M, Zarkesh A, Mahdavinejad M. Bioware fog collectors: the Texas horned lizard as a model for a biomimetic fog-harvesting. Materials Research Express. 2018 Sep 5;5(11):115502. https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadab4

25- Talaei M, Mahdavinejad M. Probable cause of damage to the panel of microalgae bioreactor building façade: Hypothetical evaluation. Engineering Failure Analysis. 2019 Jul 1;101:9-21. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.060

26- Jin H, Jiao F, Daily MD, Chen Y, Yan F, Ding YH, Zhang X, Robertson EJ, Baer MD, Chen CL. Highly stable and self-repairing membrane-mimetic 2D nanomaterials assembled from lipid-like peptoids. Nature Communications. 2016 Jul 12;7(1):1-8. https://doi.org/10.1038/ncomms12252

27- Orlando R, Fojan P, Mo J, Bergsøe NC, Afshari A. Single-Stage Air Filtration of Particles and Gaseous Contaminants in Buildings: A Literature Study. InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020 Nov 1 (Vol. 588, No. 3, p. 032073). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032073

28- Al-Obaidi KM, Ismail MA, Hussein H, Rahman AM. Biomimetic building skins: An adaptive approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017 Nov 1;79:1472-91. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.028

29- Badarnah L, Kadri U. A methodology for the generation of biomimetic design concepts. Architectural Science Review. 2015 Apr 3;58(2):120-33. http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2014.922458

30- Imani N, Donn M, Balador Z. Bio-Inspired Materials: Contribution of Biology to Energy Efficiency of Buildings. Handbook of Ecomaterials. 2018:2213-36.

46- Goharian A, Mahdavinejad M, Bemanian M, Daneshjoo K. Designerly optimization of devices (as reflectors) to improve daylight and scrutiny of the light-well's configuration. Building Simulation. 2021 Oct 9 (pp. 1-24). Tsinghua University Press. https://doi.org/10.1007/s12273-021-0839-y

47- Pilechiha P, Mahdavinejad M, Rahimian FP, Carnemolla P, Seyedzadeh S. Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. Applied Energy. 2020 Mar 1; 261: 114356. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356

48- Eskandari H, Saedvandi M, Mahdavinejad M. The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption. Buildings. 2018; 8(1):3. https://doi.org/10.3390/buildings8010003

49- Fallah H. Determining the Most Efficient Window-to-Wall Ratio in Southern Façade of Educational Buildings in Kerman. Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2019 Sep 10;9(2):105-115. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1398.9.2.3.4

50- Hadianpour M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Haghshenas M, Kordjamshidi M. Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran, Building and Environment. 2019 Mar 1;150:164-180. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053

51- Bolouhari S, Barbera L, Etessam I. Learning Traditional Architecture for Future Energy-Efficient Architecture in the Country; Case Study: Yazd City. Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning, 2020 Sep 10;10(2):85-93. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.2.3.1

52- Rahmati M, Silva EA, Reseland JE, Heyward CA, Haugen HJ. Biological responses to physicochemical properties of biomaterial surface. Chemical Society Reviews. 2020;49(15):5178-224. https://doi.org/10.1039/D0CS00103A

Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. Applied Artificial Intelligence. 2019 Jul 3;33(8):689-705. https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1592919

40- Ansarimanesh M, Nasrollahi, N. Determination of occupant's thermal comfort zone to maximize the quality of indoor environment in office buildings of Kermanshah. Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 2014;4(2):11-21. [Persian] Available from: http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-29326-fa.html

41- Ahmadi J, Mahdavinejad M, Asadi S. Folded double-skin façade (DSF): in-depth evaluation of fold influence on the thermal and flow performance in naturally ventilated channels. International Journal of Sustainable Energy. 2021 Jun 16:1-30. https://doi.org/10.1080/14786451.2021.1941019

42- Talaei M, Mahdavinejad M, Azari R, Prieto A, Sangin H. Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. Journal of Building Engineering. 2021 Jun 5:102832. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102832

43- Aliabadi M, Zarkesh A, Siampour H, Abbasian S, Mahdavinejad M, Moshaii A. Bioinspired Azimuthally Varying Nanoscale Cu Columns on Acupuncture Needles for Fog Collection. ACS Applied Nano Materials. 2021 Sep 15. https://doi.org/10.1021/acsanm.1c01288

44- Bazazzadeh H, Pilechiha P, Nadolny A, Mahdavinejad M, Hashemi Safaei SS. The Impact Assessment of Climate Change on Building Energy Consumption in Poland. Energies 2021 July 06;14(14):4084. http://dx.doi.org/10.3390/en14144084

45- Hadianpour M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Nasrollahi F. Seasonal differences of subjective thermal sensation and neutral temperature in an outdoor shaded space in Tehran, Iran. Sustainable Cities and Society, 2018 May 1; 39: 751-64. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.003

53- Abasi M, Tahbaz M, Vafaee R. Introducing an Innovative Variable Building Layers System (V.B.L.S). Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2015 Jun 10;5(2):43-54. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1394.5.2.1.4

54- Megahed NA, Ghoneim EM. Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic. Sustainable cities and society. 2020 Oct 1;61:102350. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102350

55- Megahed NA, Ghoneim EM. Indoor Air Quality: Rethinking rules of building design strategies in post-pandemic architecture. Environmental Research. 2021 Feb 1;193:110471. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110471

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی