

The Biodeterioration Process of Cultural-Historical Textiles and the Effect of Nanomaterials in their Conservation

Somayeh Baseri¹ 

Type of Article: Research

Pp: 391-412

Received: 2023/10/26; Revised: 2023/12/22; Accepted: 2023/12/24

 <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.391>

Abstract

Many important materials throughout the world are composed of a variety of textiles, which are stored and presented in museum collections, galleries, and libraries. These textiles are one of the most important elements of cultural heritage and interpret essential objects that document the past human life, artistic creations, international trade, agricultural development, technological developments, and their cultural and social values. As a result, it is necessary to study and apply suitable methods to protect and conserve these kinds of unique heritage textiles for our future generations. The method of conservation of these cultural-historical textiles is one of the most versatile branches of conservation and depends on various parameters. A number of bio-deterioration of cultural-historical textiles and also the disadvantages of conservation methods on these objects, human health and the environment, show the need for evaluating the bio-degradation mechanism of different microorganisms on these kinds of textiles and the use of latest methods for their conservation. In this way, the present work aims to investigate how cultural-historical textiles have been degraded, as well as the latest conservation methods. To achieve the purpose of the research, the qualitative content analysis method was used. The main research questions are what is the mechanism of biodegradability process of textiles? What is the importance of nano technologies in the protection of historical textiles? The results showed that one of the newest and most effective methods of protecting cultural-historical textiles against erosion caused by biological factors is the use of nanomaterials. These panicles have been intensively studied for various textile applications and demonstrated to provide multi-functional performance such as self-cleaning, release of dirty, protection against ultraviolet rays, antimicrobial properties, long-lasting, and multi-functional performance without compromising the intrinsic properties of the textile, which can be utilized to protect the cultural-historical textiles and slow down their degradation processes.

Keywords: Museum, Cultural-Historical Textiles, Conservation, Microorganisms, Nanomaterials.

1. Associate Professor, Department of Art, Faculty of Textile Design and Printing, Semnan University, P. O. Box 35131-19111, Semnan, Iran. **Email:** Baseri@semnan.ac.ir

Citations: Baseri, S., (2025). "The Biodeterioration Process of Cultural-Historical Textiles and the Effect of Nanomaterials in their Conservation". *Parseh J. Archaeol Stud.*, 8(30): 391-412. <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.391>
Homepage of this Article: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-933-en.html>



Motaleat-e Bastanshenasi-e Parsch

Parseh Journal of Archaeological Studies (PJAS)
Journal of Archeology Department of Archeology Research Institute, Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICT), Tehran, Iran

Publisher: Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICT).

Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons.

© The Author(s)



Introduction

Since prehistoric times and in all cultures, textiles have played an important role in the traditions and life. They have been considered one of the most important elements of cultural heritage that in different periods of a country history have usually been a number of antique textiles, such as decorative and artistic fabrics, clothing, carpets, tapestries, ecclesiastical vestments, woman's belts, bags, and paintings. They are mainly obtained from tombs, archaeological excavations, mansions, crypts, sunken ships, and churches. Although, these valuable textile artefacts interpret essential objects that document the past human life, artistic creations, international trade, agricultural development, technological developments, and their cultural and social values but they are considered to be degradable materials due to a combination of various pollutions, biological, physical, environmental, and chemical parameters. The challenge has been to develop effective strategies for the conservation of these cultural-historical textiles, considering the strategies depend on several factors such as storage conditions, textile ages, the chemical types of their fibers and also their history period of use. There are different chemical and physical methods to protect from the historical textiles (Gutarowska 2017: 2388-2406; Karbowska 2011: 223; Sequeira 2012: 67; Valentin 1999: 85; Wirtanen 2003: 293). Nowadays, nanomaterials and technologies are becoming more important than the physical and chemical methods due to their multi-functional performance such as self-cleaning, release of dirty, protection against ultraviolet rays, antimicrobial properties, long-lasting, and also due to their multi-functional performance without compromising the intrinsic properties of the textile, which improves the conservation process of cultural-historical textiles and slow down their degradation processes (Lite et al., 2022: 610; Gutarowska 2014: 277; Lite et al., 2022: 609; Zambrano et al., 2020: 9817; Syafiuddin 2019: 794).

Following this tendency, there are several worldwide studies available on this regard but very limited studies have been done in Iran. These studies have been mainly investigated the effects of optimal environmental conditions, the atmospheric pollutants, and ultraviolet rays on the conservation process of textiles (Kianoush 2008; Samanian and Bahmani 2018; Hamzovi 2019). This is in while; the majority of Iranian studies have various drawbacks in terms of evaluating the bio-degradation mechanism of different microorganisms on the historical textiles and the use of latest methods for their conservation. In this regard, the present study attempts to disclose how cultural-historical textiles have been degraded, as well as the latest conservation methods by using descriptive and analytical method and also based on library information.

Discussion

The term biodegradation is defined as an irreversible process leading to a significant change of the material properties by the action of vital activities of microorganisms (through enzymatic or metabolic action) (Zambrano et al., 2020: 9789). This

biodegradation of organic compounds frequently causes the conversion of many of oxygen, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur components in the primary molecules to the inorganic products and also creates of new cell material. In general, stages of biodegradability of materials can be expressed in the following (Fig. 1) (Nofal 2022: 5-6):

A) Primary stage: Substance chemical structure alteration resulting in substance removal of a definite property.

B) Environmentally acceptable stage: The biodegrading process to the extent of elimination of specific unacceptable compounds properties. This process is similar to the primary biodegradation approach, and it depends on the environmental conditions.

C) Ultimate is full compound decomposition or breakdown into simple molecules fully reduced or oxidized (such as CO₂/methane, nitrate/NH₄⁺, and H₂O).

The textile biodegradation process depends on the composition of the findings and the storage conditions and can occur slowly or quickly in the three following stages: 1) bio-deterioration and bio-fragmentation, 2) assimilation, and 3) Mineralization. (Lite et al., 2022: 608). Microorganisms digest the organic products of plastic degradation under aerobic or anaerobic conditions (Zambrano et al., 2020: 9790). The process of decomposing organic matter in the existence of oxygen is called aerobic biodegradation. Anaerobic respiration is the practice of decomposing compounds by the action of microorganisms in oxygen absence and bacteria and fungi use the acceptor of an electron other than O₂ as a chemical entitle (Nofal 2022: 7).

Nanotechnology is revolutionizing materials science in a pervasive way, in a manner similar to polymer chemistry's revolution of materials science over the preceding century. The continuous development of novel nanoparticle-based materials and the study of physicochemical phenomena at the nanoscale are creating new approaches to conservation science, leading to new methodologies that can "revert" the degradation processes of the works of art, in most cases "restoring" them to their original magnificent appearance (Giorgi et al., 2010: 695). The most intensely studied nano-structures for textile artefact conservation are metal nano-particles (AgNPs), metal oxides (zinc oxide, magnesium oxide, and titanium dioxide), hydroxide nanoparticles (calcium hydroxide and barium hydroxide) and modified nano-clays due to their remarkable antimicrobial properties, UV-absorbers, water-repellents, and dirt repellents (Lite et al., 2022: 609; Giorgi et al., 2010: 702-703; Palladino et al., 2020: 3).

Conclusion

Our country, with its ancient history, is one of the most important centers with rich cultural-historical works in the world. A large part of these works are textiles which can be degraded using microorganisms due to their chemical structure. More and more studies are necessary for the field of historical textile conservation to preserve the memory of our predecessors, maintain up-to-date knowledge regarding new methods,

and for future generations. Most of the studies conducted in Iran, have been investigated the effects of optimal environmental conditions, atmospheric pollutants, and ultraviolet rays on the conservation process of textiles. This is in while; the majority of Iranian studies have various drawbacks in terms of evaluating the bio-degradation mechanism of different microorganisms on the historical textiles and the use of latest methods for their conservation. In this way, the present work attempts to take a step towards the existing gaps. According to the results of this research, it can be concluded that the term biodegradation is defined as an irreversible process leading to a significant change of the material properties by the action of vital activities of microorganisms. This process occurs in the three stages i. e. bio-deterioration and bio-fragmentation, assimilation, and mineralization. The mineralization catabolic pathway depends on the environment where the microorganisms can grow and they digest the organic products of plastic degradation under aerobic or anaerobic conditions. During both processes, aerobic or anaerobic, microorganisms need a carbon source for growth and reproduction.

In order to reduce the biodegradability of textiles, several physical and chemical conservation methods have been reported in the literature. The main method of preservation is maintaining the findings a microclimate to limit degradation by adjusting the brightness, humidity, and temperature of the area in which they are stored or exposed. Recently, special attention has been given to nanomaterials. Nanotechnology is revolutionizing materials science in a pervasive way, in a manner similar to polymer chemistry's revolution of materials science over the preceding century. The continuous development of novel nanoparticle-based materials and the study of physicochemical phenomena at the nanoscale are creating new approaches to conservation science, leading to new methodologies that can "revert" the degradation processes of the works of art, in most cases "restoring" them to their original magnificent appearance. The most intensely studied nano-structures for textile conservation are metals, metal oxides, hydroxide nanoparticles, and modified nano-clays due to their remarkable antimicrobial properties, UV-absorbers, water-repellents, and dirt repellents.

Acknowledgments

The author extend their sincere gratitude to the anonymous peer reviewers for their insightful critiques and constructive suggestions, which significantly enhanced the clarity and scholarly rigor of this manuscript.

Conflict of Interest

The Authors, while observing publication ethics in referencing, declare the absence of conflict of interest.

فرآیند زیست تخریب پذیری منسوجات فرهنگی-تاریخی و اثر نانومواد در حفاظت از آنها

سمیه باصری¹

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۴۱۲-۳۹۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

شناسه دیجیتال (DOI): <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.391>

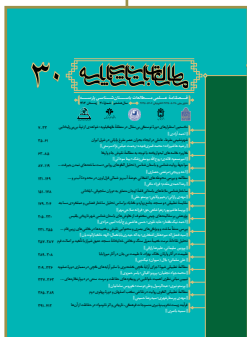
چکیده

در سراسر جهان مواد گران‌بهایی که از منسوجات مختلف تهیه شده‌اند، در موزه‌ها، گالری‌ها و کتابخانه‌ها نگهداری می‌شوند. این منسوجات، از جمله مهم‌ترین عناصر میراث فرهنگی در دوره‌های مختلف تاریخ یک کشور بوده و مبین زندگی بشر در گذشته، خلاقیت‌های هنری، تجارت بین‌الملل، توسعه کشاورزی، تحولات فناوری و ارزش‌های فرهنگی و اجتماعی آن‌ها بوده است؛ بنابراین مطالعه آن‌ها و استفاده از روش‌های مناسب برای حفاظت و نگهداری از این منسوجات که میراث منحصر به فرد برای نسل‌های آینده می‌باشند، ضروری است. نحوه حفاظت و نگهداری از این منسوجات فرهنگی-تاریخی که یکی از متنوع‌ترین شاخه‌های حفاظت محسوب می‌شود، به عوامل متعددی از قبیل: شرایط ذخیره‌سازی، سن منسوجات، نوع الیاف تشکیل دهنده آن‌ها و هم‌چنین دوره تاریخی استفاده از آن‌ها بستگی دارد. نمونه‌های متعدد منسوجات فرهنگی-تاریخی که تحت تخریب زیستی قرار گرفته‌اند و هم‌چنین اثرات مخرب انواع روش‌های حفاظت فیزیکی و شیمیایی بر روی این اشیاء، سلامتی انسان و محیط زیست، نشان می‌دهند که نیاز به مطالعه سازوکار تخریب انواع میکروارگانیسم‌ها روی این منسوجات و جدیدترین روش‌های حفاظت از آن‌ها وجود دارد. در این راستا، هدف پژوهش حاضر بررسی چگونگی زیست تخریب پذیری منسوجات فرهنگی-تاریخی و آخرین روش‌های حفاظت از آن‌ها می‌باشد. برای نیل به هدف پژوهش، از روش تحلیل محتوای کیفی استفاده شد. پرسش‌های پژوهش عبارتند از: فرآیند و سازوکار زیست تخریب پذیری منسوجات چیست؟ فناوری‌های نانو در محافظت از منسوجات تاریخی از چه جایگاهی برخوردار می‌باشند؟ نتایج نشان داد که یکی از جدیدترین و کارآمدترین روش‌های حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی در مقابل فرسایش ناشی از عوامل زیستی، استفاده از نانومواد می‌باشد. این ذرات دارای خواص چندگانه‌ای از قبیل: خود پاک‌کنندگی، آزادسازی چرک، حفاظت در برابر اشعه ماورای بنفش، ضد میکروبی و عملکرد طولانی مدت بدون به خطر انداختن خواص ذاتی منسوج می‌باشند، که می‌توانند در حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی و آهسته کردن فرآیندهای تخریب آن‌ها مفید باشند.

کلیدواژگان: موزه، منسوجات فرهنگی-تاریخی، حفاظت، میکروارگانیسم‌ها، نانومواد.

۱. دانشیار گروه طراحی پارچه، دانشکده هنر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. [Email: Baseri@semnan.ac.ir](mailto:Baseri@semnan.ac.ir)

ارجاع به مقاله: باصری، سمیه، (۱۴۰۳). «فرآیند زیست تخریب پذیری منسوجات فرهنگی-تاریخی و اثر نانومواد در حفاظت از آن‌ها». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۸ (۳۰): ۳۹۱-۴۱۲. <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.391>
صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-933-fa.html>



فصلنامه علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
نشریه پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه
میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

© حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است
و نویسنده تحت مجوز Creative Commons
Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله
چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط
براین که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه
مقاله در این مجله اشاره شود.

The Author(s)



مقدمه

امروزه جایگاه موزه‌ها فراتر از محلی صرفاً برای حمل، نگه‌داری و یا نمایش آثار هنری بوده و حتی در بسیاری از موارد به شاخصه‌هایی منطقه‌ای، ملی و بعضاً مذهبی و سیاسی تبدیل گردیده است. جدا از نقش فرهنگی و اجتماعی موزه‌ها، می‌توان به نقش اقتصادی آن‌ها در جلب توریست و هم‌چنین نقش سیاسی موزه‌ها در تبلیغ و القای تفکراتی خاص اشاره نمود. در سراسر جهان، منسوجات مختلفی در موزه‌ها نگه‌داری می‌شوند. این منسوجات در مطالعات باستان‌شناسی، کاوش‌ها و آرامگاه‌ها به دست آمده‌اند. این یافته‌ها عمدتاً شامل منسوجات عتیقه از قبیل: پرده‌های منقوش، فرش‌ها و پارچه‌های زینتی، لباس‌های رسمی منسوب به کلیساها و تابلوهای نقاشی می‌باشند که صدها سال قبل در مکان‌هایی چون کاخ‌ها و کلیساها مورداستفاده قرار گرفته و امروزه در موزه‌ها نگه‌داری می‌شوند. این منسوجات در طول تاریخ براساس مواد اولیه طبیعی و با روش‌های متنوع بافته شده‌اند و نقش مهمی در فرهنگ و زندگی بشر برعهده داشته‌اند. تمام منسوجات فرهنگی-تاریخی به دلیل ساختار شیمیایی خود، مستعد تخریب‌زیستی می‌باشند. نمونه‌های متعدد منسوجات فرهنگی-تاریخی که تحت تخریب‌زیستی قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهند که نیاز به روش‌های تحلیلی جدید برای شناسایی و بررسی رفتار انواع میکروارگانیسم‌ها روی این منسوجات می‌باشد. امروزه به دلیل شناسایی اثرات مخرب مواد ضدعفونی‌کننده روی سلامتی انسان و هم‌چنین آلودگی محیط‌زیست، روش‌های جدید محافظت و ضدعفونی کردن منسوجات فرهنگی-تاریخی مورد مطالعه قرار گرفته و در حال توسعه می‌باشند. در این راستا، طی سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به استفاده از فناوری‌های نانو در حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی در مقابل فرسایش ناشی از عوامل زیستی شده است.

با توجه به این نکته که منسوجات بخش مهمی از میراث فرهنگی کشور ما بوده و باید به خوبی نگه‌داری شوند و از طرف دیگر، منسوجات با ارزش زمان ما نیز نیاز به روش‌های نگه‌داری مناسب دارند تا با گذشت زمان و در طی سال‌های متوالی سالم مانده و به آثار تاریخی برای نسل بعد تبدیل شوند؛ لذا انجام این پژوهش که از نوع توصیفی-تحلیلی است و با مطالعات کتابخانه‌ای با هدف بررسی جدیدترین روش‌های علمی موجود در خصوص نگه‌داری منسوجات تاریخی صورت پذیرفته، الزامی است. مسئله اصلی این است که فناوری‌های نانو در محافظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی از چه جایگاهی برخوردار می‌باشند؛ در این راستا پس از مطالعه فرآیند زیست‌تخریب‌پذیری منسوجات و انواع سازوکار تخریب‌زیستی آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها، به بررسی انواع روش‌های جدید محافظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی با تأکید بر استفاده از نانومواد پرداخته شده است. در مطالعات و پژوهش‌هایی که تاکنون انجام پذیرفته و در بخش پیشینه پژوهش به آن‌ها اشاره شده است؛ هیچ‌گونه پژوهشی در این زمینه انجام نگرفته است؛ لذا با توجه به ضرورت نگه‌داری و حفاظت از منسوجات تاریخی به عنوان بخش مهمی از میراث فرهنگی کشور، ضرورت انجام این پژوهش احساس می‌شود.

پرسش‌های پژوهش: پرسش‌های اصلی پژوهش آن است که فرآیند زیست‌تخریب‌پذیری منسوجات چیست و دارای چه سازوکاری می‌باشد؟ فناوری‌های نانو در محافظت از منسوجات تاریخی از چه جایگاهی برخوردار می‌باشند؟

روش پژوهش: پژوهش حاضر براساس نتایج مطالعات انجام شده در زمینه نگه‌داری و مرمت منسوجات باستانی در خارج و داخل ایران، تلاش می‌کند تا دانش نظری موجود در زمینه حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی را توسعه دهد؛ بنابراین تحقیق پیش‌رو از نظر هدف، کاربردی-توسعه‌ای و از نظر روش‌شناسی، تحلیلی می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز به روش کیفی انجام می‌پذیرد. بر این اساس، نخست فرآیند زیست‌تخریب‌پذیری منسوجات فرهنگی-

تاریخی تعریف شده و به منظور درک بهتر این فرآیند، انواع سازوکار آن توسط میکروارگانیسم‌ها مطالعه می‌شود؛ سپس با بررسی انواع روش‌های موجود در حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی، به تحلیل روش‌های جدید در این حوزه پرداخته و درنهایت با توجه به کنترل عالی روی فرآیند محافظت، کارآمدتر و سازگارتر بودن فناوری‌های نانو، استفاده از نانومواد در محافظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی بررسی می‌گردد.

پیشینه پژوهش

امروزه در خارج از کشور هزاران مقاله مرتبط با حفاظت از منسوجات و کتاب‌های مرجع بسیاری وجود دارد که برای علاقمندان در این حوزه ارزشمند است. در داخل کشور صرف نظر از مطالعاتی که با رویکردهای میان‌رشته‌ای به بررسی فن‌شناسانه پارچه‌ها و نقوش آن‌ها در دوره‌های مختلف تاریخی پرداخته‌اند، موارد محدودی وجود دارند که شرایط نگهداری از منسوجات تاریخی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این بخش به تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره خواهد شد؛ «عطار» (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با عنوان «مقابله با زیست‌تخریب‌پذیری منسوجات» بیان نموده است که میکروارگانیسم‌ها قادر به تخریب منسوج در تمامی مراحل پردازش و نگهداری بوده و کنترل شرایط فیزیکی محیطی و تیمار با میکروب‌کش‌ها دو راه مهم در حفاظت از منسوجات می‌باشند. «خضری» و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله‌ای با عنوان «بافته‌های موزه وزیری از دوره صفویه تا قاجاریه» منسوجات موزه وزیری را برای نخستین بار شناسایی، عکاسی، طبقه‌بندی، تجزیه و تحلیل و به صورت علمی مستندسازی نموده‌اند. «تأثیر نور بر مقاومت کششی قالی‌های موزه‌ای با الیاف طبیعی همجوار» به قلم «سامانیان» و «بهمنی» (۱۳۹۸) مطالعه دیگری است که در معرض نور قرار گرفتن قالی‌های موزه‌ای را عامل مهمی در راستای افزایش واکنش‌های شیمیایی، تغییر رنگ، تسریع فرسودگی و شکنندگی الیاف مورد استفاده در آن‌ها معرفی می‌کند؛ هم‌چنین سامانیان و بهمنی در مطالعه دیگری (۱۳۹۸) با عنوان «پایش آلاینده‌های جوی موزه فرش ایران جهت حفاظت پیشگیرانه قالی‌های موزه‌ای» راه نگهداری و محفوظ ماندن یافته‌های فرهنگی-تاریخی را در موزه‌ها دستیابی به شرایط محیطی استاندارد برای حفظ و نگهداری بهینه از آن‌ها دانسته‌اند. «حفاظت الیاف پشم فرش‌های دستبافت رنگرزی شده با رنگزای طبیعی روناس در برابر باکتری‌های مخرب محیطی توسط نانوذرات نقره کلوئیدی» به قلم «حسن جانی و اعطی» و همکاران (۱۳۹۲) پژوهش دیگری است که به حفاظت از الیاف پشمی به‌کار رفته در فرش‌های دستبافت در برابر باکتری‌های مخرب محیطی پرداخته است. مورد بعدی، مقاله «حمزوی» (۱۳۹۹) با عنوان «دانش بومی مداخله‌های حفاظتی دیوارنگاره‌های بوم پارچه در ایران» است؛ که با بررسی تجربه‌های حفاظت و مرمت در ایران و مطالعه نتیجه اقدامات حفاظتی بر روی نقاشی‌های روی کرباس و دیوارنگاره‌های بوم پارچه، رویکردهای حفاظتی را در دو بخش حفاظت مداخله‌ای و حفاظت پیشگیرانه ارائه نموده است. «کیاوش» (۱۳۸۷) در مقاله‌ای با عنوان «تأثیر نور بر منسوجات موزه‌ای پوشاک موجود در کاخ گلستان»، نور را به عنوان یکی از عوامل مخرب بر روی یافته‌ها معرفی نموده و به بررسی تأثیر نور بر تعدادی از منسوجات موجود در موزه کاخ گلستان پرداخته و راه‌کارهایی را ارائه نموده است. با مروری بر پژوهش‌هایی که تاکنون به زبان فارسی منتشر شده، این نتیجه حاصل می‌شود که عمدتاً به مواردی چون: معرفی شرایط محیطی بهینه در نگهداری منسوجات، تخریب‌های حاصل از آلاینده‌های جوی و پرتوهای فرابنفش بر یافته‌ها، پرداخته شده است؛ این درحالی است که در مورد مراحل و سازوکار زیست‌تخریب‌پذیری منسوجات و روش‌های حفاظت از آن‌ها با تأکید بر استفاده از نانومواد، تحقیق منسجمی منتشر نشده است؛ لذا با در نظر گرفتن مزایا و کاربرد وسیع نانومواد در دنیای امروز و ضرورت حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی، اهمیت و لزوم مطالعه در

این حوزه احساس می‌شود تا بتوان از خلال آن در راستای ارتقای کیفی شرایط موجود منطبق بر تازه‌ترین دستاوردهای علمی جهان، گام برداشت.

زیست‌تخریب‌پذیری منسوجات فرهنگی-تاریخی

فرآیند زیست‌تخریب‌پذیری - به هرگونه تغییر نامناسب و برگشت‌ناپذیر خواص ماده که در نتیجه فعالیت‌های حیاتی میکروارگانیسم‌ها (از طریق فعالیت آنزیمی یا متابولیسی) حاصل می‌شود - گفته می‌شود (Zambrano et al., 2020: 9789). این فعالیت‌های صورت‌گرفته توسط میکروارگانیسم‌هایی از قبیل: قارچ‌ها، باکتری‌ها، حشرات، کرم‌ها و بسیاری از موجودات کوچک دیگر سبب تأمین مواد مغذی، ارائه منابع انرژی و تولید قطعات جزئی مناسب برای ایجاد مواد سلولی جدید می‌گردد؛ لذا فرآیند زیست‌تخریب‌پذیری تحت تأثیر عواملی چون: ترکیب شیمیایی، خواص فیزیکی و اندازه ماده، قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، مراحل زیست‌تخریب‌پذیری مواد را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود (Nofal, 2022: 5-6).

الف) مرحله اولیه: تغییر ساختار شیمیایی ماده که منجر به حذف یک خصوصیت مشخص آن می‌شود.

ب) مرحله قابل قبول از نظر زیست‌محیطی: فرآیند تجزیه زیستی تا جایی ادامه می‌یابد که منجر به حذف خواص ترکیبات غیرقابل قبول خاص در ماده می‌گردد. این مرحله مشابه رویکرد تخریب‌زیستی اولیه بوده و به شرایط محیط‌زیست میکروارگانیسم بستگی دارد.

پ) مرحله نهایی: در این مرحله، ماده تحت تأثیر فرآیندهای اکسیداسیون و یا احیا قرار گرفته و به‌طور کامل تجزیه یا به مولکول‌های ساده از قبیل: آب، نیترات-آمونیاک، متان-دی‌اکسید کربن شکسته می‌شود؛ علاوه بر این، مواد حاصل از تجزیه زیستی می‌توانند برای مواد اولیه تخریب‌شده نیز خطرناک باشند.

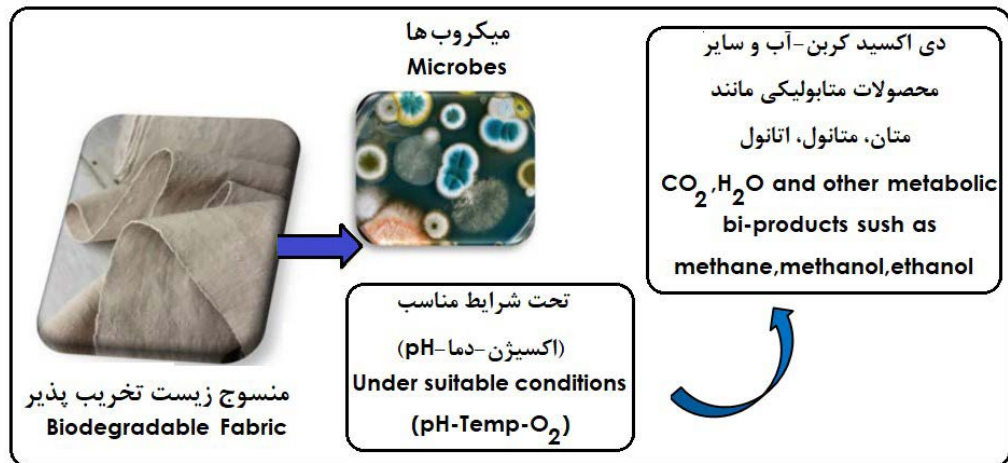
هنگام دفن یک منسوج در خاک، میکروارگانیسم‌های ساکن در خاک، سبب وقوع یک فرآیند زیستی کاهش کاتالیز شده با پیچیدگی‌های شیمیایی متعدد می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۱، نشان داده شده است، در نتیجه تجزیه زیستی ترکیبات آلی از قبیل: منسوجات، بسیاری از اجزای اکسیژن، کربن، نیتروژن، فسفر و گوگرد در مولکول‌های اولیه به محصولات معدنی تبدیل می‌گردند؛ در واقع، «تجزیه زیستی» روشی است که باعث تغییر ترکیب شیمیایی ماده شده و ساختار مواد آلاینده تولید شده از طریق فعالیت‌های زیستی منجر به تولید محصولات نهایی متابولیسی می‌شوند. میزان زیست‌تخریب‌پذیری را می‌توان با سه روش: آزمایش لجن فعال، آزمایش دفن در خاک و هیدرولیز توسط آنزیم‌ها مورد ارزیابی قرار داد؛ هم‌چنین با گذشت زمان می‌توان متوجه رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها در سطح الیاف شد (شکل ۱).

سازوکار زیست‌تخریب‌پذیری منسوجات

موجودات زنده از قبیل باکتری‌ها و قارچ‌ها، برای تأمین مواد غذایی خود به منسوجات حمله کرده و آن‌ها را تجزیه و تخریب می‌کنند. میکروارگانیسم‌ها برای دستیابی به مواد مغذی، باید محلول بوده و از اندازه کوچکی برخوردار باشند تا بتوانند به لایه بیرونی سلول و غشای سیتوپلاسمی نفوذ کرده و وارد سلول شوند؛ همان‌طور که در شکل ۲، نشان داده شده است؛ فرآیند تخریب زیستی منسوجات در سه مرحله تجزیه و تکه‌تکه شدن، ادغام و معدنی شدن اتفاق می‌افتد (Lite et al., 2022: 608).

۱) تفکیک و تکه‌تکه شدن درشت مولکول‌های پلیمری

درشت مولکول‌های پلیمری گزینه مناسبی برای نفوذ میکروارگانیسم‌ها بوده و سلول‌های آن‌ها



شکل ۱: نمایش شماتیک تخریب زیستی منسوجات (Nofal, 2022: 6).

Fig. 1: Biodegradation schematic diagram of the biodegradable textile (Nofal, 2022: 6).

می‌تواند به عنوان ماده غذایی مورد مصرف قرار گیرد. زنجیره‌های پلیمری با حجم بالا از قبیل پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها، ابتدا باید تجزیه یا شکسته شوند. تجزیه و تکه‌تکه شدن زنجیره‌های پلیمری در نتیجه ترکیب چندین عامل تخریب‌کننده از قبیل: تخریب مکانیکی، تخریب حرارتی و تخریب ناشی از وجود رطوبت، اکسیژن، اشعه ماوراء بنفش و آلاینده‌های زیست محیطی حاصل می‌شود؛ به همین دلیل، باکتری‌ها و قارچ‌های مختلفی که قادر به تولید آنزیم‌های خارج سلولی هستند، به پلیمرها حمله کرده، آن‌ها را هیدرولیز و تکه‌تکه می‌نمایند. تنها میکروب‌های اندکی در یک جامعه میکروبی قادر به تولید آنزیم‌های خارج سلولی مورد نیاز برای هیدرولیز پلیمرهای نامحلول در الیاف نساجی می‌باشند؛ اگرچه این میکروب‌ها نقش مهمی در زیست تخریب پذیری الیاف و منسوجات دارند، اما آن‌ها نقش انحصاری در تجزیه زیستی کامل محصولات هیدرولیز شده را ندارند (Blackburn 2005: 10-15).

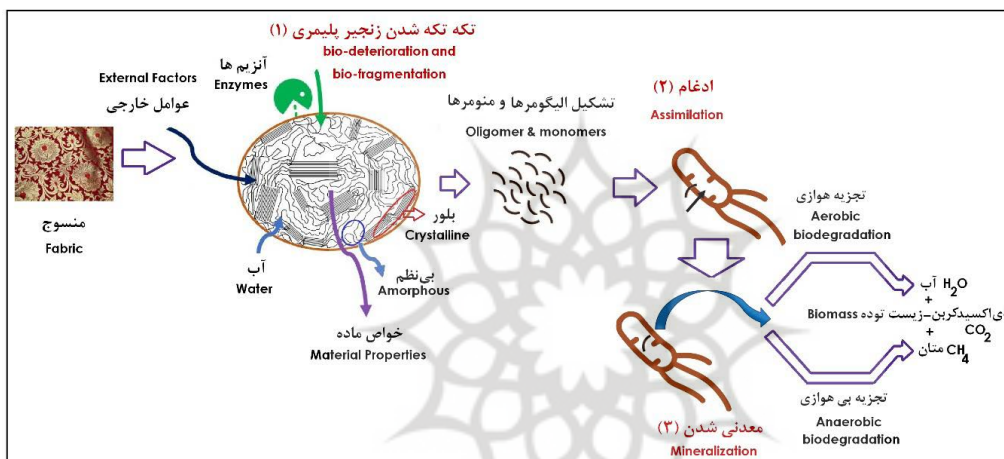
۲) ادغام

زمانی که زنجیر پلیمری به الیگومرها، دایمرها و مونومرهای کوچک‌تر شکسته می‌شود، سایر میکروارگانیسم‌های موجود در جامعه نیز می‌توانند این زیرواحدهای کوچک‌تر را به دیواره سلول‌های خود منتقل کرده و از آن‌ها به عنوان منابع مناسب انرژی و بسترهای رشد و تکثیر استفاده نمایند (Lite et al., 2022: 608).

۳) معدنی شدن

بعد از مرحله ادغام، تخریب کامل ماده در داخل سلول اتفاق می‌افتد که تحت عنوان «معدنی شدن» شناخته می‌شود. مسیر معدنی شدن بستگی به محیطی دارد که میکروارگانیسم‌ها در آن رشد می‌کنند. میکروارگانیسم‌ها، محصولات آلی ناشی از تخریب زیستی را تحت دو شرایط هوازی یا غیرهوازی هضم می‌کنند (Zambrano et al., 2020: 9790). تجزیه زیستی هوازی، فرآیند تجزیه مواد آلی در مجاورت اکسیژن موجود در هوا می‌باشد. در این فرآیند، اکسیژن در معرض کاهش قرار گرفته و مولکول‌های آب تولید می‌شوند؛ به عبارت دیگر، میکروارگانیسم‌ها، اکسیژن را به آب تبدیل می‌کنند تا از این طریق سایر ترکیبات را به محصولات ساده‌تر مبدل نمایند. در تنفس هوازی، میکروب‌ها با مصرف اکسیژن هوا، بخشی از کربن موجود در آلاینده، دی‌اکسید کربن را اکسید نموده

و کربن باقی‌مانده یک سلول جدید را تشکیل می‌دهد؛ بنابراین، مهم‌ترین محصولات جانبی فرآیند تجزیه هوازی، دی‌اکسیدکربن، آب و افزایش ساکنان باکتری‌ها، قارچ‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. تجزیه بی‌هوازی به صورت تجزیه ترکیبات، در نتیجه فعالیت میکروارگانیسم‌ها در غیاب اکسیژن، تعریف می‌شود. تنفس بی‌هوازی زمانی است که باکتری‌ها و قارچ‌ها از پذیرنده یک الکترون به غیر از اکسیژن به عنوان یک ماده شیمیایی استفاده می‌کنند؛ از جمله مهم‌ترین جایگزین‌های معمول اکسیژن می‌توان به نیترات، سولفات و آهن اشاره نمود. در تنفس بی‌هوازی، سولفات، نیترات، فلزاتی مانند آهن، منگنز و یا حتی اکسیژن موجود در دی‌اکسیدکربن، الکترون‌های حاصل از تخریب آلاینده را می‌پذیرند. بر این اساس، در تنفس بی‌هوازی از مواد غیرآلی به عنوان پذیرنده الکترون‌ها استفاده می‌شود؛ هم‌چنین محصول جانبی تنفس بی‌هوازی، بسته به پذیرنده الکترون‌ها، احتمالاً شامل: گاز نیتروژن، سولفید هیدروژن و یا متان می‌باشد (Nofal, 2022: 7). نمودار شماتیک زیست‌تخریب پذیری هوازی و بی‌هوازی در شکل ۲، نشان داده شده است.

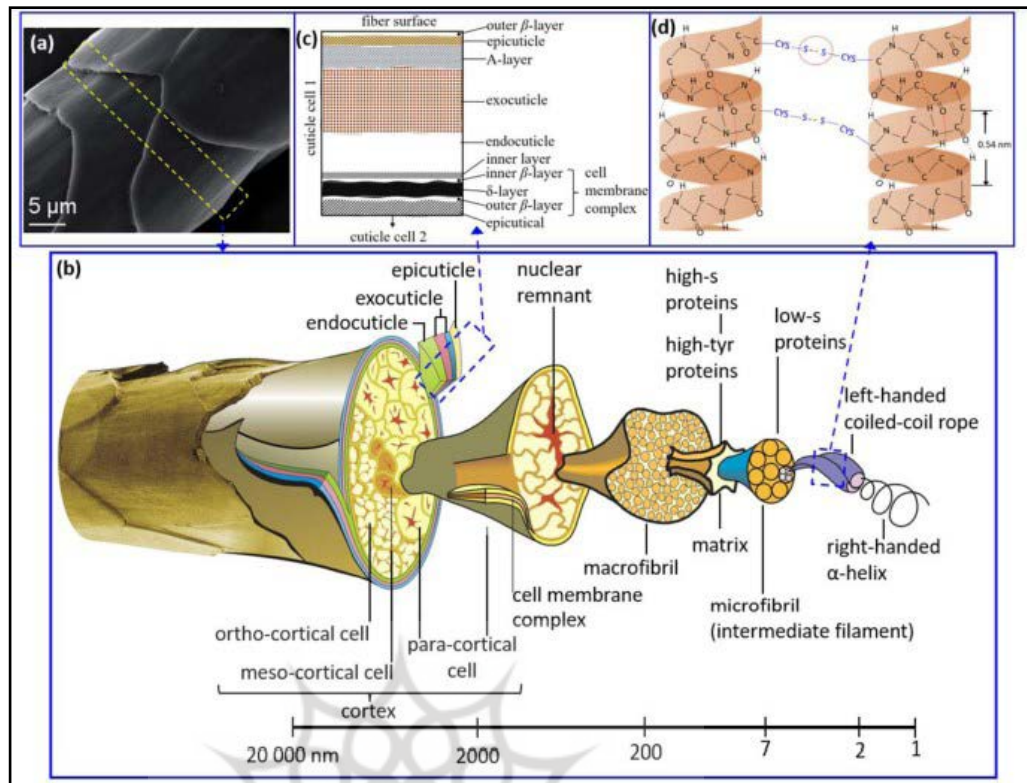


شکل ۲: سازوکار زیست‌تخریب پذیری هوازی و بی‌هوازی منسوجات (نگارنده، ۱۴۰۲).

Fig. 2: The schematic mechanism of aerobic and anaerobic bio-degradation process of textiles (Author, 2023).

بخش عمده‌ای از منسوجات فرهنگی-تاریخی را الیاف پروتئینی پشم و ابریشم تشکیل می‌دهند. فرآیند تخریب زیستی پشم و ابریشم تقریباً مشابه یک دیگر می‌باشد. پشم از پروتئینی به نام کراتین تشکیل شده است. کراتین با فرمول شیمیایی $(C_72H_{112}N_{18}O_{12}S)_n$ ، از حدود ۲۰ نوع اسیدهای آمینه مختلف تشکیل شده است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به: سیستین، گلیسین، آلانین، والین، لیوسین، پرولین، سرین، آرژینین، لیسین، گلوتامیک اسید و آمید اشاره نمود. اسیدهای آمینه در پلیمر از طریق پیوندهای پپتیدی به یک دیگر متصل می‌شوند؛ یعنی پپتیدها، آمین‌هایی هستند که از واکنش تراکمی میان گروه‌های کربوکسیل و آمینه حاصل می‌شوند. زنجیرهای پپتیدی پشم به دلیل برخورداری از اسید آمینه سیستین دارای پیوند کووالانسی قوی میان زنجیرهای خود می‌باشند (پیوند گوگردی یا دی‌سولفیدی)، (Giteru et al., 2023: 644-645). در شکل ۳، نمای شماتیک از ساختار داخلی لیف پشم نشان داده شده است.

بنابراین، فرآیند تخریب زیستی پشم از طریق شکسته شدن اتصالات گوگردی و هیدرولیز پیوندهای پپتیدی انجام می‌شود؛ لذا یک فرآیند دو مرحله‌ای برای تجزیه کراتین در نظر گرفته می‌شود (سولفیتولیز و پروتئولیز). در مرحله سولفیتولیز، شکسته شدن پیوندهای دی‌سولفیدی بین زنجیرهای پلی‌پپتیدی کراتین با استفاده از سولفیت‌های معدنی تولید شده توسط قارچ‌ها رخ می‌دهد و منجر به تقلیب پروتئین کراتین می‌شود. تصویر شماتیک از شکافتن سیستین توسط

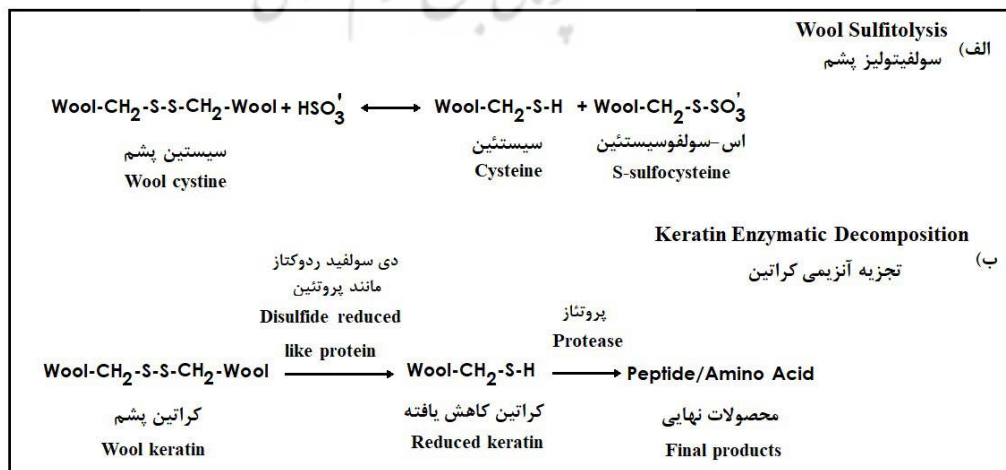


شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی و ساختار داخلی لیف پشم (Giteru et al., 2023: 265).

Fig. 3: Scanning electron microscope image of wool and schematic diagram of its internal structure (Giteru et al., 2023: 265)

سولفیتولیزها (سولفیتولیز) در شکل ۴: الف، نشان داده شده است (Kornilowicz-Kowalska & Bohacz, 2011: 1695).

در تخریب زیستی پشم پس از شکسته شدن اتصالات دی گوگردی میان زنجیرهای پلی پپتیدی، تجزیه آنزیمی کراتین به الیگوپپتیدها رخ می دهد. در مرحله بعد، آنزیم های پروتئولیتیک از طریق تجزیه پیوندهای پلی پپتیدی به اسیدهای آمینه مختلف، منجر به هیدرولیز کراتین می شوند (شکل ۴: ب)؛ در نهایت، این اسیدهای آمینه به راحتی به سلول های میکروبی منتقل شده و



شکل ۴: الف) سولفیتولیز پشم ب) تجزیه آنزیمی کراتین (نگارنده، ۱۴۰۲).

Fig. 4: a) Wool Sulfitolysis b) Keratin Enzymatic Decomposition (Author, 2023).

می‌توانند به منبع مناسبی از انرژی، سولفور، کربن و نیتروژن برای میکروارگانیسم‌ها تبدیل شوند (Kornilowicz-Kowalska & Bohacz 2011: 1696).

مواد سلولزی، یکی دیگر از موادی است که در طول تاریخ به طور گسترده برای اسناد، اقلام خانگی و همچنین برای اهداف هنری از قبیل: کاغذ، کارتن، بوم، یا منسوجات مورد استفاده قرار گرفته‌اند و به این ترتیب به موادی فراگیر تبدیل شده‌اند که حفاظت از آن‌ها بسیار حائز اهمیت است (Palladino *et al.*, 2020: 2). پلیمر نامحلول سلولز خود از الیگومرها و الیگومرهای سلوبیوز تشکیل شده‌اند. سلوبیوزها، در واقع مولکول‌های بدون شاخه گلوکزی هستند که با اتصالات بتا ۱ و ۴ دی‌گلیکوزیدی به یک‌دیگر متصل شده‌اند. آنزیم‌های سلولولیتیک با جدا کردن این پیوندهای گلیکوزیدی می‌توانند سلولز را تجزیه نمایند؛ در واقع، سلولزهای خارج سلولی می‌توانند اتصالات بتا ۱ و ۴ دی‌گلیکوزیدی را در الیاف سلولزی هیدرولیز کرده و در نهایت منومرهای گلوکز تولید نمایند. سلولزهای هیدرولیزکننده سلولز به سه دسته اندوگلوکانازها، اگزوگلیکانازها و گلوکوزیدازها طبقه‌بندی می‌شوند. اندوگلوکانازها به طور تصادفی پیوندهای بتا ۱-۴ و ۴ دی‌گلیکوزیدی داخلی در سلولز را هیدرولیز می‌کنند؛ در نتیجه، طول زنجیر پلیمر به سرعت کاهش یافته، اما غلظت قند احیاکننده به آرامی افزایش می‌یابد. اگزوگلوکانازها با از بین بردن واحد سلوبیوز از انتهای غیرکاهنده سلولز، منجر به هیدرولیز آن می‌شوند؛ لذا مقدار قندهای احیاکننده به سرعت افزایش یافته و طول پلیمر به مقدار کمی تغییر می‌کند. از طرف دیگر، گلوکوزیدازها سبب شکسته شدن سلوبیوز و الیگوساکاریدها به شکل گلوکز می‌شوند؛ بنابراین هر سه نوع سلولزها قادر به هیدرولیز بلور سلولز بوده و نهایتاً می‌توانند مولکول‌های کوچک‌تر گلوکز را ایجاد نمایند (Han *et al.*, 1995: 26012). گلوکز نیز همانند آمینواسیدها به راحتی می‌تواند به سلول‌های میکروبی منتقل شده و تبدیل به منبع کربن و انرژی برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها گردد. اسامی برخی از متداول‌ترین میکروارگانیسم‌هایی که سبب تخریب زیستی منسوجات فرهنگی-تاریخی می‌شوند و مکانیزم تخریب آن‌ها در جدول ۱، نشان داده شده است.

حفاظت و ضد عفونی نمودن منسوجات فرهنگی-تاریخی

هدف از هرگونه فرآیند حفاظتی که بر روی منسوجات فرهنگی-تاریخی انجام می‌شود، افزایش پایداری طولانی مدت این منسوجات در برابر عوامل زوال در هنگام نمایش یا نگه‌داری است. علم حفاظت از منسوجات تاریخی یک علم میان‌رشته‌ای است که شامل شاخه‌های مختلف علوم مانند: شیمی، زیست‌شناسی، فیزیک، علوم انسانی، تاریخ، هنرهای کاربردی و غیره می‌باشد. به منظور کسب موفقیت در حفاظت از این منسوجات، باید تمام تحولات این شاخه‌های علوم را دنبال کرد و از همه این پیشرفت‌ها در زمینه حفاظت از منسوجات استفاده نمود (Abdel- Kareem, 2021: 2).

در راستای حفاظت و ضد عفونی نمودن منسوجات فرهنگی-تاریخی دو دیدگاه مختلف وجود دارد؛ در دیدگاه اول، به دلیل اثرات زیان‌آور فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی روی یافته‌های تاریخی، هیچ‌گونه عملیاتی روی آن‌ها انجام نمی‌شود. در این دیدگاه، منسوجات تاریخی با استفاده از عملیات فیزیکی با دقت و به آهستگی تمیز شده، دمای محیط پیرامون آن‌ها کاهش یافته و یافته‌ها در اتمسفر گاز بی‌اثر و تحت شرایط بی‌هوازی انبارداری می‌شوند. در دیدگاه دوم، انواع متابولیت‌های بیولوژیکی فعال در منسوج، با استفاده از عملیات مختلف ضد عفونی نمودن حذف می‌شوند. انتخاب هر یک از این دیدگاه‌ها بستگی به نوع آلودگی، ناحیه سطحی و نوع منسوج دارد؛ همچنین شناخت تنوع کیفی و کمی میکروارگانیسم‌ها و متابولیت‌های موجود در یافته‌ها نیز تعیین‌کننده بهترین روش محافظت از آن‌ها می‌باشد.

جدول ۱: میکروارگانیسم‌ها و مکانیزم تخریب زیستی منسوجات توسط آن‌ها (Abdel-Kareem, 2010: 271; Blyskal, 2015: 32; Gutarowska, 2017: 2388-2406)

Tab. 1: Microorganisms and the mechanism of textiles biodegradation by them (Abdel-Kareem, 2010: 271; Blyskal, 2015: 32; Gutarowska, 2017: 2388-2406)

مکانیزم تخریب زیستی	میکروارگانیسم		جنس منسوج
	باکتری	قارچ	
تجزیه کراتین از طریق آمین زدایی (فرآیندهای متابولیک اکسایشی با آزادسازی آمونیاک)	<i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Proteus</i> , <i>Alcaligenes</i>	<i>Dematium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Ulocladium</i> , <i>Stachybotrys</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cephalothecium</i> , <i>Trichophyton</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Scolariopsis</i> , <i>Microsporium</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Chateomium</i>	پشم
تجزیه پروتولیتیک سرسیسین و فیبروئین	<i>Streptomyces</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Chytseomonas</i> , <i>Serratia</i> , <i>Variovorax</i>	<i>Aspergillus</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Chateomium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i> ,	ابریشم
تخریب سلولز به گلوکز از طریق آنزیم‌ها	<i>Cytophaga</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Sporocytophaga</i> <i>Streptomyces</i> , <i>Cellyvibrio</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Microbispora</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Clostridium</i>	<i>Trichoderma</i> , <i>Stachybotrys</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Myrothecium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Trichotecium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Chateomium</i> , <i>Mnemoniella</i> , <i>Aureobasidium</i> , <i>Verticillium</i>	پنبه، کتان، کنف

به طور کلی به منظور جلوگیری از زیست تخریب پذیری منسوجات روش‌های فیزیکی و شیمیایی متعددی وجود دارد؛ از جمله مهم‌ترین روش‌های فیزیکی می‌توان به روش‌های پیش‌رو اشاره نمود؛ روش‌هایی که سبب آبریز نمودن منسوج به منظور مهار رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شوند (از قبیل: استفاده از پلازما با دمای پایین)، (Zhou, 2012: 4411)، تابانیدن پرتوهای گاما با استفاده از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو و کبالت ۶۰ در محدوده ۳-۲۰ KGY (Machnowski, 2013: 44) تخلیه اکسیژن موجود در محیط با گازهای بی‌اثر مانند: آرگون، نیتروژن یا دی‌اکسیدکربن (Valentin, 1990: 222)، تابانیدن اشعه فرابنفش با طول موج ۲۶۵-۲۵۰ نانومتر (Gutarowska, 2014: 945)، افزایش فشار و دمای محیط به منظور کشته شدن شکل‌های گیاهی میکروارگانیسم‌ها و اسپوره‌های برانگیخته و تخم قارچ‌های کنیدیا، به خصوص میکروارگانیسم‌های گرماگرای، فریز کردن منسوج و یخ‌زدن غشاها و دیواره‌های سلول‌های میکروبی (Sequeira, 2012: 67).

منظور از روش‌های شیمیایی ضد عفونی نمودن منسوجات، استفاده از آفت‌کش‌هایی است که شامل ترکیبات مختلفی می‌شوند. آفت‌کش‌ها از مواد شیمیایی مختلف با فرمولاسیون‌های متفاوت و کاربری‌های گوناگون ساخته شده‌اند. آفت‌کش‌ها در مواجهه با میکروارگانیسم‌ها، با دو مکانیزم مختلف فعال‌سازی غشا و یا فعال‌سازی الکترون دوستی ماده وراثتی و پروتئین‌ها عمل می‌کنند؛ از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به نمک‌های آمونیوم مانند: دی‌متیل لوریل-بنزیل آمونیوم بروماید و لوریل دی-متیل-کربواتوکسی متیل آمونیوم بروماید (Karbowska, 2011: 223)، فنول‌ها از قبیل: پنتاکلروفنول، کرزول، گزینول، تیول، کلروگزینول و دی‌کلروفن (Valentin, 1999: 85)، انواع ترکیبات

آزول از قبیل: ایمیدازول‌ها، تری‌آزول‌ها و تیابندازول‌ها (Gutarowska, 2017: 2388-2406)، انواع الکل‌ها به خصوص اتانول (Sequeira, 2012: 67)، مواد آلیکل‌دار کننده از قبیل: فرمالدهید (Valentin, 1999: 85) و اتیلن‌اکساید (Gutarowska, 2017: 2388-2406)، تیتانیوم‌دی‌اکساید (Wirtanen, 2003: 293)، انواع اسیدها (Gutarowska, 2017: 2388-2406) و انواع اسانس‌های طبیعی حاصل از گیاهان آروماتیک مانند: گل میخک، اکالیپتوس، سنبل، دارچین، آویشن، درخت چایی، تخم درمنه و اسانس معطر برگ کاج خمره‌ای (Lavin, 2016: 628; Sequeira, 2012: 67)، اشاره نمود.

در عمل، هیچ‌کدام از روش‌های حفاظت اشاره شده پیشین، تمام شرایط لازم برای از بین بردن تمام میکروارگانیسم‌ها را نداشته و قادر نیستند که بدون وارد نمودن آسیب به افراد و مواد در طولانی مدت پایدار باشند؛ به همین دلیل، اغلب استفاده از مخلوطی از روش‌های مختلف توصیه می‌شود تا به این ترتیب آن‌ها اثر یک‌دیگر را تقویت نموده و منجر به افزایش راندمان حفاظت منسوجات گردند؛ از طرف دیگر، اگرچه استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی می‌تواند در کنترل میکروارگانیسم‌ها روی منسوجات فرهنگی-تاریخی مؤثر باشد، اما استفاده یا انتخاب نادرست هر یک از آن‌ها می‌تواند مشکلات و تبعاتی را به دنبال داشته باشد که در برخی موارد می‌تواند موجب خسارات و عواقب جبران‌ناپذیری گردد؛ به عنوان مثال، بعضی از روش‌های حفاظت و ضد عفونی نمودن منسوجات، منجر به رهاسازی فیلم‌های پودر شده یا چرب، تغییر pH یا رنگ، زردشدگی، تغییر درخشندگی، هیدرولیز، اکسیداسیون، کاهش درجه پلیمریزاسیون، اسیدکافت و پیرسازی تسریع شده منسوج می‌گردند. بعضی از این روش‌ها، مثل آفت‌کش‌هایی که دارای فنول، فرمالدهید و اکسید اتیلن می‌باشند، آلوده‌کننده محیط زیست بوده و به دلیل سرطان‌زا و مسمومیت‌زا بودن، برای انسان و محیط زیست خطرناک می‌باشند و لذا نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (Gutarowska, 2017: 2388-2406; Wirtanen, 2003: 293; Sequeira, 2012: 67; Valentin, 1999: 85).

استفاده از فناوری‌های نانو در حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی

فناوری نانو به عنوان یکی از مهم‌ترین فناوری‌های ارزشمند قرن حاضر، دارای کاربردهای متعددی در صنایع نساجی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین این کاربردها، حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی در مقابل فرسایش ناشی از عوامل زیستی است. همان‌طور که اشاره شد، روش‌های حفاظت فیزیکی و شیمیایی متداول اغلب نه تنها منجر به آلودگی محیط زیست می‌شوند، بلکه به منسوج نیز آسیب می‌زنند (Giorgi et al., 2010: 695). این درحالی است که ترکیبی از فناوری‌های مختلف نانو، این امکان را فراهم می‌سازد تا در هر مرحله بازسازی، مداخلاتی را با در نظر گرفتن خواص مواد مورد مطالعه، انجام دهند. مجموعه‌ای از روش‌های ارائه شده توسط علم نانو به طور پیوسته این زمینه را غنی‌تر ساخته و توسعه نانومواد جدید و مطالعه پدیده‌های فیزیکی-شیمیایی در مقیاس نانو سبب بهبود عملکرد فرمولاسیون حفاظت و شناخت ما از سازوکارهای تخریب‌زیستی منسوجات فرهنگی-تاریخی خواهد شد.

پوشش دادن سطح منسوجات با نانوذرات سبب ایجاد خواص چندگانه‌ای از قبیل: خودپاک‌کنندگی، آزادسازی چرک، حفاظت در برابر اشعه ماورای بنفش و ضد میکروبی می‌گردد. با توجه به این‌که اندازه باکتری‌ها در حدود چند میکرون است؛ لذا استفاده از نانومواد ضدباکتریایی به منظور ضدباکتری نمودن منسوجات فرهنگی-تاریخی بسیار حایز اهمیت است. به طور کلی سازوکار ضدباکتریایی این نانوذرات به وجود نواحی با احتمال برهم‌کنش بیشتر، ساختار بلوری غیرمعمول و هم‌چنین نسبت بالای سطح به حجم آن‌ها مرتبط بوده و سبب تجزیه یا شکسته شدن عوامل

مخرب‌زیستی می‌شوند. نانوساختارهای ضدباکتریایی معدنی به دو دسته نانوساختارهای معدنی، فلزی، نانوکامپوزیت‌ها و نانوساختارهای باردهی شده در حامل‌های آلی (از قبیل: مولکول‌هایی نظیر سیکلودکسترین‌ها و حامل‌های لیپیدی مانند نانولیپوزوم‌ها و میکرولیپوزوم‌ها) طبقه‌بندی می‌شوند (پورا احمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۶ و ۱۷). نانوساختارهای استفاده شده در حفاظت از میراث فرهنگی عمدتاً شامل: فلزات (نانوذرات نقره)، اکسیدهای فلزی (اکسیدروی، اکسیدمنیزیم و دی‌اکسیدتیتانیوم)، نانوذرات هیدروکسید (هیدروکسیدکلسیم و هیدروکسیدباریم) و نانورس‌های اصلاح‌شده (هیبریدهای مونت‌موریلونت می‌باشند) (Giorgi *et al.*, 2010: 609; Lite *et al.*, 2022: 9818; Palladino *et al.*, 2020: 3; Zambrano *et al.*, 2020: 702-703).

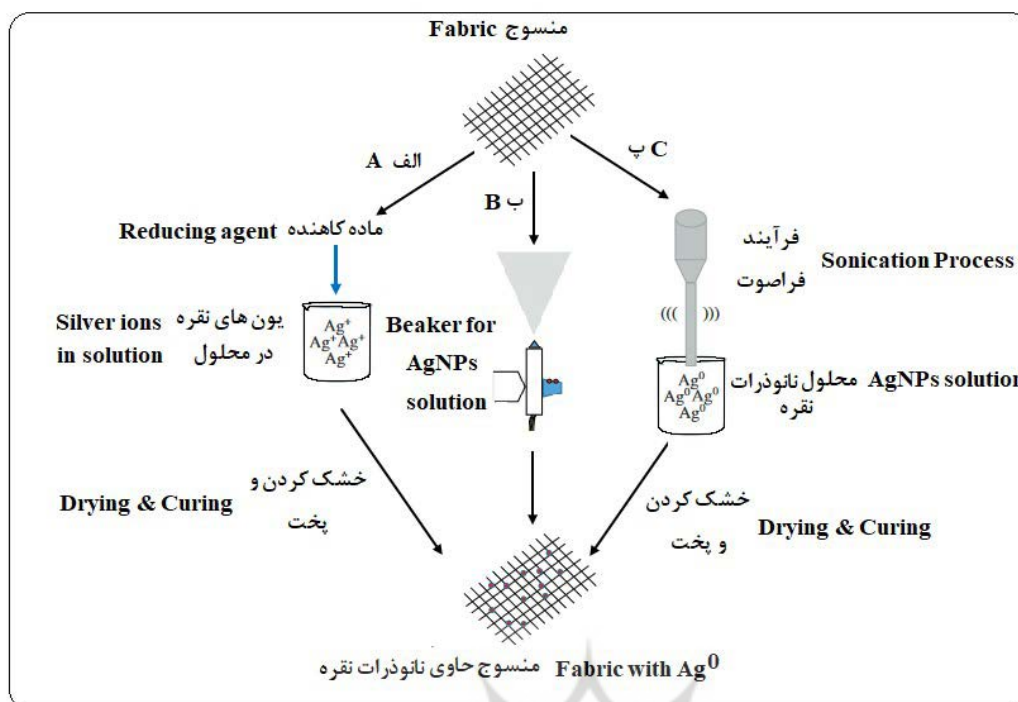
(۱) نانوذرات نقره

مطالعه منابع نشان می‌دهد که نانوذرات نقره، رایج‌ترین نانومواد مورد استفاده در حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی می‌باشند. این ذرات از خاصیت ضد میکروبی خوبی برخوردار بوده و برای ضد عفونی کردن یافته‌های باستان‌شناسی از قبیل: کاغذ، کاغذ پوستی، چرم، چوب و منسوجات (پنبه، کتان، پشم، ابریشم) مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gutarowska, 2014: 277). فعالیت ضد میکروبی این نانومواد به آزادسازی کاتیون‌های نقره توسط اکسیداسیون در حضور آب و اکسیژن از سطح الیاف بستگی دارد. هر دو شکل نقره (نانوذرات و کاتیون‌ها) با میکروارگانیسم‌ها واکنش داده و می‌توانند به دیواره سلولی نفوذ و منجر به سمی شدن بافت آن‌ها گردند. علاوه بر این، آن‌ها در داخل سلول نیز قادر به اتصال با گروه تیول آنزیم‌ها یا اسیدهای نوکلئیک بوده و با کنترل و مهار متابولیسم سلولی، در نهایت باعث مرگ میکروارگانیسم‌ها می‌شوند. سرعت و میزان تجزیه زیستی منسوجات به شکل شیمیایی و اندازه ذرات نقره بستگی دارد (Zambrano *et al.*, 2020: 9817). با این وجود، بررسی‌ها نشان می‌دهند که به دلیل کم بودن غلظت نانوذرات نقره در محفظه عملیات، در حین فرآیند و بعد از آن اشعه کمی در محیط ساطع شده، در نتیجه خطری افراد و محیط زیست را تهدید نمی‌کند (Pietrzak, 2016: 812)؛ هم‌چنین نانوذرات نقره اغلب به میزان قابل توجهی خواص مکانیکی و رنگ منسوجات را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند؛ تنها کاغذ و ابریشم از این قاعده مستثنی بوده و در حین عملیات ضد عفونی کردن در مجاورت نانوذرات نقره، اندکی تغییر رنگ می‌یابند (Gutarowska, 2014: 277). به طور کلی، نانوذرات نقره را می‌توان با سه روش غوطه‌وری در محلول کاهنده، رسوب‌گذاری لایه به لایه و استفاده از روش‌های فراصوت، در سطح منسوج رسوب داد (شکل ۵)، (Syafuddin, 2019: 794).

چالش موجود در زمینه استفاده از نانوذرات نقره، یافتن روش‌های اقتصادی جدید در تولید این مواد است که ضمن برخورداری از کارایی بالا، با محیط زیست نیز سازگار باشند. راه‌کارهایی که در این زمینه پیشنهاد شده است، شامل استفاده از: آنزیم‌ها، میکروارگانیسم‌ها، الیگوساکاریدها، پلی‌ساکاریدها، DNA، باکتری‌ها، مخمر، قارچ‌ها و عصاره‌های گیاهی برای سنتز این نانوذرات می‌باشد (Lite *et al.*, 2022: 610).

(۲) نانوذرات هیدروکسید

یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب سلولز، هیدرولیز اسیدی، پیوندهای گلیکوزیدی آن می‌باشد؛ در نتیجه این فرآیند، درجهٔ بسپارش سلولز کاهش یافته، زنجیرهای پلیمری سلولز تکه تکه شده و در نهایت ماده تخریب می‌گردد. به منظور خنثی‌سازی این فرآیند، روش‌های متعددی ارائه شده است؛ بیشتر این روش‌ها، پایداری لازم در طولانی مدت را نداشته و یا سبب تخریب آثار می‌گردند. در این میان با توجه به خاصیت آنتی‌اکسیدانی و اسیدزدایی کلسیم، استفاده از نانوذرات



شکل ۵: روش‌های رسوب نانوذرات نقره در سطح منسوج (Syafiuddin, 2019: 794).

Tab. 5: Various methods for AgNPs deposition on the surface of textile (Syafiuddin, 2019: 794).

هیدروکسید کلسیم، مفید بوده و مشکلات روش‌های قبلی را نیز ندارد. استفاده از این نانوذرات بر روی یافته‌های سلولزی، نه تنها باعث خنثی‌سازی اسید می‌شود، بلکه ذخیره‌قلیایی مناسبی نیز در آن ایجاد می‌کند که سبب خنثی‌سازی اسید تشکیل شده در یافته در آینده می‌گردد (صدقی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۴).

امروزه استفاده از دیسپرسیون قلیایی نانوذرات هیدروکسید کلسیم در ایزوپروپانول برای اسیدزدایی آثار تاریخی چوبی، کاغذی و پارچه‌ای نتایج قابل توجهی داشته است (واعظی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۱). استفاده از نانوذرات هیدروکسید (کلسیم و باریوم) در حفاظت از یافته‌های تاریخی سبب افزایش واکنش و خواص انتقالی متفاوتی در محیط متخلخل می‌گردد. با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات، تعداد اتم‌های سطحی افزایش یافته و سطح بالایی نانوذرات منجر به دسترس‌تر بودن آن‌ها برای واکنش با گروه‌های اسیدی شده و بر میزان واکنش‌پذیری شیمیایی آن‌ها نیز تأثیر می‌گذارد. به نحوی که تنها چندروز پس از استفاده از آن‌ها در سطح یافته موردنظر، به دلیل واکنش هیدروکسید با دی‌اکسید کربن موجود در هوا، بلورهای کربنات کلسیم (کلسیت) یا باریوم تولید می‌شود؛ هم‌چنین نانوذرات قدرت نفوذ بیشتری در داخل الیاف سلولزی داشته و در تمام سطح یافته پخش می‌شوند. این تأثیرات مثبت، به‌ویژه در یافته‌های باستان‌شناسی از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا این یافته‌ها اغلب به مداخله فوری و حفاظت در محل نیاز دارند. علاوه بر این، استفاده از نانوذرات هیدروکسید سبب کنترل pH در مواد سلولزی شده و از شکسته شدن پیوند گلیکوزیدی و یا واکنش فتون که اغلب در حضور یون‌های فلزات واسطه رخ می‌دهد، جلوگیری می‌کند؛ به این ترتیب، این نانو مواد می‌توانند دیدگاه جدیدی را در حفاظت از آثار تاریخی ایجاد نمایند (Giorgi et al., 2010: 702, 703).

۳) نانوذرات اکسیدهای فلزی

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، رطوبت بالا یا تماس مستقیم با آب سبب هیدرولیز اسیدی

و قلبیایی و شکسته شدن پیوندهای گلیکوزیدی مواد سلولزی و در نهایت تخریب زیستی آن‌ها می‌گردد؛ بنابراین یکی از راه‌کارهای حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی، استفاده از پوشش‌های هیدروفوب و آبگریز نمودن سطح منسوج می‌باشد (Mazzon *et al.*, 2017: 181)؛ در این راستا، نانوپوشش‌های هوشمند که از گروه‌های عاملی مناسب و نانوذرات فعال برخوردارند، می‌توانند عکس‌العمل‌های هوشمندانه دفعی، جذبی، ترمیمی، خودتمیز شونده، محافظتی و یا خنثی‌کننده در مقابل محرک‌های محیطی از خود نشان دهند (منافی و علی پور، ۱۳۹۳: ۲۸۰). خاصیت آبگریزی براساس ایجاد سطوح زبر نانوساختار و یا میکرو/نانوساختار ایجاد می‌شود. زبری سطح در نتیجه وجود ساختارهای دوگانه حاصل می‌شود. مولکول‌های آب در سطح منسوجی که آبگریز شده است، به صورت قطرات و دانه‌های متراکم درآمده و تلاش می‌کنند تا از سطح منسوج فرار کنند. آلودگی‌ها نیز مشابه آب قادر به چسبیدن به سطوح آبگریز نبوده و لذا آبگریزی سبب ایجاد خاصیت خودتمیزشوندگی نیز می‌شود (منافی و علیزاده، ۱۳۹۲: ۴۶)؛ هم‌چنین استفاده از نانوذرات اکسیدهای فلزی سبب کوتاه‌تر شدن مدت زمان عملیات شده و میزان کارایی آن‌ها به درجه پوشش منسوجات بستگی دارد (Palladino *et al.*, 2020: 3). در این زمینه، از جمله نانوذراتی که بسیار حائز اهمیت بوده و کاربرد زیادی دارند، می‌توان به انواع نانوذرات اکسیدهای فلزی از قبیل: آلومینا، اکسید آهن، دی‌اکسید تیتانیوم، سیلیکا و اکسیدروی اشاره نمود (منافی و علی پور، ۱۳۹۳: ۲۸۱).

نانوذرات سیلیکا دارای ابعاد بسیار کوچک و سطح تماس زیادی می‌باشند. سطح این مواد از سه گروه شیمیایی گروه‌های سیلوکسان، هیدروکسی و هیدروژن متصل به گروه‌های هیدروکسی تشکیل شده است؛ بنابراین سطح آن آبدوست است. امکان آبگریز کردن سطح ذرات سیلیکا با استفاده از مواد آبگریز مانند هگزامتیل دی‌سیلان، دی‌متیل دی‌کلروسیلان و پلی‌دی‌متیل سیلوکسان وجود دارد (پروین زاده‌گشتی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۴)؛ هم‌چنین نانوذرات سیلیکا می‌توانند در سطح منسوج متراکم شده و باعث تقویت استحکام و سفتی آن گردند (Palladino *et al.*, 2020: 3). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم دارای قابلیت جذب فوتون‌های فرابنفش بوده و می‌توان آن‌را فوتوکاتالیست ارزان قیمت و غیرسمی در نظر گرفت که کاربردهای فراوانی در صنعت پیدا کرده است. اشعه فرابنفش از انرژی زیادی برخوردار است و به راحتی سبب تخریب منسوجات می‌گردد. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم قادر به جذب اشعه فرابنفش بوده و به دلیل برخورداری از خواص فوتوکاتالیستی، قادر به تولید پوششی خودتمیز شونده، ضد اشعه فرابنفش و ضد باکتری در سطح منسوجات است (منافی و علی پور، ۱۳۹۳: ۲۸۱). علاوه بر این نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌توانند ترکیب و تنوع باکتری‌ها را تغییر دهند؛ هم‌چنین آن‌ها قادر به افزایش خاصیت آبگریزی پارچه‌های پنبه‌ای می‌باشند که این خود یکی از عوامل بازدارنده مهم در تخریب زیستی منسوجات می‌باشد (Zambrano *et al.*, 2020: 9818).

نتیجه‌گیری

ایران با برخورداری از تمدنی درخشان و تاریخی کهن، از جمله مهم‌ترین مراکز با غنای آثار فرهنگی و تاریخی جهان است. بخش بزرگی از این آثار فرهنگی-تاریخی، منسوجاتی هستند که به دلیل ساختار شیمیایی آن‌ها که اغلب سلولزی یا پروتئینی می‌باشد، تحت رطوبت بالای محیط مستعد آسیب و تخریب میکروبی بوده و نیازمند حفاظت، مرمت و نگه‌داری همیشگی هستند. به همین دلیل در سال‌های اخیر دانشمندان و محققان توجه زیادی به حفاظت و نگه‌داری از منسوجات فرهنگی-تاریخی، معطوف کرده‌اند. اگرچه اطلاعات زیادی در مورد تجزیه زیستی منسوجات فرهنگی-تاریخی وجود دارد و در این راستا پارامترهای کنترل‌کننده متعددی شناسایی شده است، اما هنوز چالش‌های

تحقیقاتی زیادی وجود دارد. بیشتر مطالعات انجام شده در ایران بر روی معرفی شرایط محیطی بهینه در نگه‌داری منسوجات، تخریب‌های حاصل از آلاینده‌های جوی و پرتوهای فرابنفش بر بافته‌ها، متمرکز شده‌اند؛ این در حالی است که در اغلب مطالعات انجام شده تجزیه زیستی بدون بررسی مراحل زیست تخریب‌پذیری منسوجات و سازوکار آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفته و در مورد روش‌های حفاظت از این آثار با تأکید بر استفاده از نانومواد، نیز تحقیق منسجمی گزارش نشده است. بر این اساس، در مطالعه حاضر تلاش شد تا در جهت خلأهای موجود گامی برداشته شود. طبق نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت که به هرگونه تغییر نامناسب و برگشت‌ناپذیر خواص ماده که در نتیجه فعالیت‌های حیاتی میکروارگانیسم‌ها حاصل شود، زیست تخریب‌پذیری منسوجات گفته می‌شود. به طور کلی، فرآیند تخریب زیستی منسوجات در سه مرحله تجزیه و تکه‌تکه شدن، ادغام و معدنی شدن اتفاق می‌افتد که در نهایت سبب تأمین مواد مغذی، ارائه منابع انرژی و تولید قطعات جزئی مناسب برای ایجاد مواد سلولی جدید می‌گردد.

در این راستا، به منظور کاهش زیست تخریب‌پذیری منسوجات، روش‌های متعدد فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه قرار گرفت. در عمل، هیچ‌کدام از این روش‌ها تمام شرایط لازم برای از بین بردن تمام میکروارگانیسم‌ها را نداشته و قادر نیستند که بدون وارد نمودن آسیب به افراد و مواد در طولانی مدت پایدار باشند؛ هم‌چنین بعضی از این روش‌ها منجر به تغییر و آسیب به منسوج شده و در عین حال برای انسان و محیط زیست خطرناک می‌باشند و لذا نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به استفاده از نانومواد در حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی شده است. این سیستم‌های نوآورانه نسبت به روش‌های سنتی اغلب کارآمدتر و سازگارتر با مصنوعات اصلی هستند و کاربرد وسیع‌تری داشته و کنترل عالی روی فرآیند دارند. نتایج نشان داد که طبق آخرین پیشرفت‌ها، استفاده از نانوذرات فلزی، نانوذرات هیدروکسید و نانوذرات اکسیدهای فلزی، جایگزین‌های مناسبی برای روش‌های مرسوم در حفاظت از منسوجات فرهنگی-تاریخی می‌باشند. با وجود این که نانومواد فرصت‌های جدیدی برای حفاظت از میراث فرهنگی ارائه می‌کنند، اما نگرانی‌های زیست محیطی و بهداشتی پیرامون استفاده از آن‌ها باید به طور انتقادی مورد توجه قرار گیرد. این مواد از سمیت بالقوه‌ای برخوردار بوده و استفاده بیش از حد از آن‌ها سبب ایجاد صدمات جبران‌ناپذیری به فلور میکروبی خاک، قارچ‌ها، ماهیان، جلبک‌ها، گیاهان و محیط زیست و در نتیجه سلامت انسان می‌گردد؛ هم‌چنین مطالعه منابع نشان می‌دهد که پیرسازی آثار هنری نیز سبب انتشار نانوذرات در محیط می‌شود. از طرف دیگر، اگرچه استفاده بهینه و مناسب از نانومواد توسعه یافته قادر به حفظ میراث فرهنگی موجود می‌باشد، اما کاربردهای جدید و توسعه نوآورانه آن‌ها برای حفظ ایمن آثار هنری مدرن و معاصر برای نسل‌های آینده باید مورد بررسی قرار گیرد تا چالش‌های موجود در نگه‌داری این آثار در دهه‌های آینده کاهش یابد.

سپاسگزاری

در پایان نویسنده برخورد لازم می‌داند که از داوران ناشناس نشریه با نظرات ارزشمند خود به غنای متن مقاله افزودند، قدردانی نماید.

تضاد منافع

نویسنده ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارد.

کتابنامه

- پروین زاده‌گشتی، مازیار؛ مرادیان، سیامک؛ رشیدی، ابوسعید؛ و یزدانشناس، محمد اسماعیل،

(۱۳۹۱). «مطالعه مورفولوژی و خواص گرمایی نانوکامپوزیت پلی اتیلن ترفتالات حاوی نانوسیلیس‌های آبدوست و آبگریز». مواد پیشرفته در مهندسی، (۳۱): ۲۳-۳۷. DOR: 20.1001.1.2251600.1391.31.2.3.7

- پوراحمدی، الهام؛ خمسه، هایده؛ و یوزباشی، امیرعلی، (۱۴۰۰). «بررسی خاصیت ضدباکتریایی نانوکلوئیدی-اکسیدتیتانیوم روی سطح پارچه‌های پنبه‌ای تاریخی». مواد و فناوری‌های پیشرفته، ۳: ۲۴-۱۵. <https://doi.org/10.30501/jamt.2021.249037.1123>

- حمزوی، یاسر، (۱۳۹۹). «دانش بومی مداخله‌های حفاظتی دیوارنگاره‌های بوم پارچه در ایران». دانش‌های بومی ایران، (۱۴): ۳۳۳-۳۶۷. <https://doi.org/10.22054/qjrik.2021.57653.1244>

- خضری، سیداحمدرضا؛ فات، فریبا؛ و ضرابی‌زاده، فاطمه، (۱۴۰۰). «بافته‌های موزه وزیری از دوره صفویه تا قاجاریه». هنرهای زیبا-هنرهای تجسمی، ۳: ۲۵-۱۷. <https://doi.org/10.22059/JFAVA.2019.275337.666143>

- سامانیان، ساسان؛ و بهمنی، ساره، (۱۳۹۸). «تأثیر نور بر مقاومت کششی قالی‌های موزه‌ای با الیاف طبیعی هم‌جوار (نمونه موردی موزه فرش ایران و موزه فرش آستان قدس رضوی)». گلجام، ۳۶: ۲۶۳-۲۴۷. DOR: 20.1001.1.20082738.1398.15.36.23.5

- سامانیان، ساسان؛ و بهمنی، ساره، (۱۳۹۸). «پایش آلاینده‌های جوی موزه فرش ایران جهت حفاظت پیشگیرانه قالی‌های موزه‌ای». گلجام، ۳۵: ۲۵۶-۲۳۹. DOR: 20.1001.1.20082738.13.98.15.35.4.4

- صدقی، مهرداد؛ سراییان، احمدرضا؛ افرا، الیاس؛ امینیان، هدایت‌الله؛ و افشارپور، مریم، (۱۳۹۷). «تأثیر اسیدزدایی کاغذ با نانوهیدروکسید کلسیم و نانوهیدروکسی آباتیت همراه با نانوسولوز و نانوکیتوزان بر خواص ضدقارچی آن». صنایع چوب و کاغذ ایران، (۱): ۶۳-۵۳. DOR: 20.1001.1.20089066.1397.9.1.5.5

- عطار، فرنوش، (۱۳۹۲). «مقابله با زیست تخریب پذیری منسوجات». اولین همایش ملی تحقیقات کاربردی و استانداردسازی در توسعه صنایع نساجی و چرم، پژوهشگاه استاندارد. - کیاوش، فرشته، (۱۳۸۷). «تأثیر نور بر منسوجات موزه‌ای پوشاک موجود در کاخ گلستان». کتاب ماه هنر، ۱۱۹: ۸۳-۷۸.

- منافی، صاحبعلی؛ و علیپور، احمد، (۱۳۹۳). «تأثیر غلظت نانوذرات سیلیکا و نانوذرات دیاکسیدتیتانیوم بر خواص آبگریزی بتن». نانومواد، (۲۰): ۲۷۹-۲۸۹. DOR: 20.1001.1.20086156.1393.6.20.6.9

- منافی، صاحبعلی؛ و حاج‌علیزاده، بردیا، (۱۳۹۲). «تأثیر غلظت نانوذرات اکسیدروی بر خواص آبگریزی پلی پروپیلن». نانومواد، (۱۳): ۵۴-۴۵. DOR: 20.1001.1.20086156.1393.6.20.6.9
- واعظی، محمدرضا؛ اشرفی اسلامی، ملکه؛ اکبری، سمیه؛ و حسنجانی‌روشن، امیر، (۱۳۹۲). «حفاظت الیاف پشم فرش‌های دستبافت رنگرزی شده بارنگزای طبیعی روناس در برابر باکتری‌های مخرب محیطی توسط نانو ذرات نقره کلئیدی». مواد و فناوری‌های پیشرفته، ۲: ۵۷-۵۳. <https://doi.org/10.30501/jamt.2010.70203>

- واعظی، محمدرضا؛ ناظمی‌اشنی، راضیه؛ و کیانمهر، قباد، (۱۳۹۳). «اسیدزدایی آثار چئبی تاریخی با استفاده از نانوذرات هیدروکسید کلسیم سنتز شده به روش شیمیایی». مواد و فناوری‌های پیشرفته ۱ (۳): ۷۹-۷۱. <https://doi.org/10.30501/jamt.2635.70254>

- Abdel-Kareem, O., (2010). "Evaluating the combined efficacy of polymers with fungicides for protection of museum textiles against fungal deterioration in Egypt". *Polish Journal of Microbiology*, 59(4): 271-280. <https://doi.org/10.33073/pjm-2010-041>

- Abdel-Kareem, O., (2021). "Textile Conservation Past, Present and Future". *Advanced Research in Conservation Science*, 2(2): 1-15. <https://doi.org/10.21608/arcs.2021.81259.1015>
- Afzali, N. & Watan Došt, R., (2017). "Pathology, pathology and wear analysis of oil paintings on canvas by Kamal al-Mulk in Golestan Palace". *The scientific quarterly of the work*, 38(76): 3-18. <http://journal.richt.ir/athar/article-1-696-fa.html>
- Attar, F., (2013). "Dealing with the biodegradability of textiles". First National Conference of Applied Research and Standardization in Industrial Development.
- Blackburn, R., (2005). *Biodegradable and sustainable fibers*. Woodhead publishing series in textiles. 1st Edition
- Błyskal, B., (2015). "Fungal deterioration of a woollen textile dyed with cochineal". *Journal of Cultural Heritage*, 16: 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.01.008>
- Giorgi, R., Baglioni, M., Berti, D. & Baglioni, P., (2010). "New Methodologies for the Conservation of Cultural Heritage: Micellar Solutions, Microemulsions, and Hydroxide Nanoparticles". *Accounts of Chemical Research*, 43(6): 695-704. <https://doi.org/10.1021/ar900193h>
- Giteru, S. G., Ramsey, D. H., Hou, Y., Cong, L., Mohan, A. & Bekhit, A. E. A., (2023). "Wool keratin as a novel alternative protein: A comprehensive review of extraction, purification, nutrition, safety, and food applications". *Compr Rev Food Sci Food Saf.*, 22: 643-687. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13087>
- Gutarowska, B., Pietrzak, K., Machnowski, W. & Mileczarek, J. M., (2017). "Historical textiles -a review of microbial deterioration analysis and disinfection methods". *Textile Research Journal*, 87: 2388-2406. <https://doi.org/10.1177/0040517516669076>
- Gutarowska, B., Pietrzak, K., Machnowski, W. *et al.*, (2014). "Application of silver nanoparticles for disinfection of historical materials". *Current Nanoscience*, 10(2): 277-286. <https://doi.org/10.2174/15734137113096660121>
- Gutarowska, B., Pietrzak, K. & Skora, J., (2014). "Disinfection as a factor reducing microbial threat at workposts in museum and library-a comparison of the effectiveness of photocatalytic ionization, UV irradiation and chemical misting". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(3): 945-959.
- Hamzavi, Y., (2019). "Indigenous knowledge of conservation interventions of canvas wall paintings in Iran". *Native knowledge of Iran*, 14: 333-367. <https://doi.org/10.22054/qjik.2021.57653.1244>
- Han, S. J., Yoo, Y. J. & Kang, H. S., (1995). "Characterization of a Bifunctional Cellulase and Its Structural Gene: The Gene of Bacillus SP. D04 Has Exo- and Endogilucanase Activity". *Journal of Biological Chemistry*, 270(43): 26012-26019. <https://doi.org/10.1074/jbc.270.43.26012>
- Kianoush, F., (2008). "The effect of light on the textiles of the Clothing Museum in Golestan Palace". *Month of art*, 78-83.
- Kornilłowicz-Kowalska, T. & Bohaczm J., (2011). "Biodegradation of Keratin

Waste: Theory and Practical Aspects”. *Waste Management*, 31(8): 1689–1701. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.024>

- Lavin, P., de Saravia, SG. & Guiamet, P., (2016). “Scopulariopsis sp. and Fusarium sp. in the Documentary Heritage: Evaluation of Their Biodeterioration Ability and Antifungal Effect of Two Essential Oils”. *Microbial Ecology*, 71(3): 628-33. <https://doi.org/10.1007/s00248-015-0688-2>

- Lite, M. C., Constaninescu, R. R., Tanasescu, E. C. & Iordache, O. G., (2022). “Textile artefacts conservation using nanomaterials–Review”. *Industria Textila*, 73(6): 607-613. <https://doi.org/10.35530/IT.073.06.202263>

- Machnowski, W., Gutarowska, B., Perkowski, J. *et al.*, (2013). “Effects of gamma radiation on the mechanical properties of and susceptibility to biodegradation of natural fibers”. *Textile Research Journal*, 83: 44-55. <https://doi.org/10.1177/0040517512449045>

- Manafi, S. A. & Alipour, A., (2015). “Investigation on the Effects of Nano-Silica and Titanium Oxide Composite Content and Processing Temperature on the Hydrophobic Properties of Concrete”. *Journal of Nano-materials*, 6(20): 279-289. DOR: 20.1001.1.20086156.1393.6.20.6.9

- Manafi, S. A. & Hajalizadeh, B., (2014). “The effects of nanozinc oxide content on the hydrophobic properties of polypropylene”. *Journal of Nano-materials*, 5(13): 45-54. DOR: 20.1001.1.20086156.1393.6.20.6.9

- Mazzon, G., Zanocco, I., Zahid, M., Bayer, I., Athanassiou, A., Falchi, L., Balliana, E. & Zendri, E., (2017). “Nanostructured coatings for the protection of textiles and paper”. *Ge-Conservation*, 11: 180-188. <https://doi.org/10.37558/gec.v11i0.474>

- Nofal, R. M., (2022). “Biodegradable Textiles, Recycling, and Sustainability Achievement”. *Handbook of Biodegradable Materials* (Pp:1-37) Publisher: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83783-9_54-1

- Palladino, N., Hacke, M., Poggi, G., Nechyporchuk, O., Kolman, K., Xu, Q., Persson, M., Giorgi, R., Holmberg, K., Baglioni, P. & Bordes, R., (2020). “Nanomaterials for Combined Stabilisation and Deacidification of Cellulosic Materials-The Case of Iron-Tannate Dyed Cotton”. *Nanomaterials*, 10(900): 1-17. <https://doi.org/10.3390/nano10050900>

- Parvinsade, M.; Moradian, S.; Rashidi, A. & Yazdanshenas, M. A., (2013). “A study on morphological and thermal properties of polyethylene terephthalate nanocomposites containing hydrophilic and hydrophobic nanosilica”. *Advanced materials in engineering*, 31(2):23-37. <https://doi.org/20.1001.1.2251600.1391.31.2.3.7>

- Pietrzak, K., Gutarowska, B., Machnowski, W. *et al.*, (2016). “Antimicrobial properties of silver nanoparticles misting on cotton fabrics”. *Textile Research Journal*, 86(8): 812-822. <https://doi.org/10.1177/0040517515596933>

- Poorahmadi, E., Khamseh, H. & Youzbashi, A., (2021). “Investigation of Antibacterial Properties of Titanium Dioxide Nano Colloids on the Surface of Historical

Cotton Fabrics”. *Journal of advanced materials and technologies*, 3:15-24. <https://doi.org/10.30501/jamt.2021.249037.1123>

- Roshan, A. H., Akbari, S., Ashrafi, M. & Vaezi, M. R., (2013). “Examination of the effect of colloidal silver nanoparticles on the fibers of handmade carpets dyed by madder dye against biological and natural factor”. *Journal of advanced materials and technologies*, 2(2):53-57. <https://doi.org/10.30501/jamt.2010.70203>

- Samanian, S. & Bahmani, S., (2018). “Influence of light on tensile strength of museum carpets with adjacent natural fibers (Case study of Iran Carpet Museum and Astan Quds Razavi Carpet Museum)”. *Goljaam*, 15 (36): 247-263. <http://goljaam.icsa.ir/article-1-646-fa.html>

- Samanian, S. & Bahmani, S., (2018). “Monitoring of atmospheric pollutants Carpet Museum of Iran for proactive protection carpet museum”. *Goljaam*, 15 (35): 239-256. <http://goljaam.icsa.ir/article-1-327-fa.html>

- Sedghi, M.; Ahmadrza, S.; Elias, A.; Aminian, H. & Afsharpour, M., (2017). “The effect of deacidification of paper with nano calcium hydroxide and nano hydroxyapatite along with nano cellulose and nano chitosan on its antifungal properties”. *Iran Wood and Paper Industries*, 9(1): 53-63.

- Sequeira, S., Cabrita, E.J., Macedo, M.F., (2012). “Antifungals on paper conservation: an overview”. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 74: 67-86. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.011>

- Syafuddin, A., (2019). “Toward a comprehensive understanding of textiles functionalized with silver nanoparticles”. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 66(8): 793–814. <https://doi.org/10.1002/jccs.201800474>

- Vaezi, M. R., Nazemi, R. & Kianmehr, Gh., (2014). “Acidification of historical wood works by using calcium hydroxide nanoparticles synthesized via chemical processing”. *Journal of advanced materials and technologies*, 3(1): 71-79. <https://doi.org/10.30501/jamt.2635.70254>

- Valentin, N. & Garcia, R., (1999). “Biodeterioroel museo. Arbor: Ciencia”. *Pensamiento Cultura*, 645: 85-108. <https://doi.org/10.3989/arbor.1999.i645.1598>

- Valentin, N., Lidstrom, M., Preusser, F., (1990). “Microbial control by low oxygen and low relative humidity environment”. *Studies in Conservation*, 35: 222-230. <https://doi.org/10.1179/sic.1990.35.4.222>

- Wirtanen, G., Salo, S., (2003). “Disinfection in food processing—efficacy testing of disinfectants”. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2: 293-306. <https://doi.org/10.1023/B:RESB.0000040471.15700.03>

- Zambrano, M. C., Pawlak, J. J. & Venditti, R. A., (2020). “Effects of chemical and morphological structure on biodegradability of fibers, fabrics, and other polymeric materials”. *BioRes.*, 15(4): 9786-9833. <https://doi.org/10.15376/BIORES.15.4>

- Zhou, Z., Wang, J., Huang, X. *et al.*, (2012). “Influence of absorbed moisture on surface hydrophobization of ethanol pretreated and plasma treated ramie fibers”. *Applied Surface Science*, 258: 4411-4416. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.12.126>