Housing and Rural Environment
Print ISSN: 2008 - 4994 Online ISSN: 2588 - 6215
Homepage: https://jhre.ir

Applications and properties of mycelium-based bio-composites for sustainable building materials in rural areas

Siamak Salami[1], Mostafa Gholipour Gashniani[2]✉

1. Master of Architecture, Department of Architecture, Art and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. E-mail: siamak.salami@gmail.com
2. Corresponding author, Assistant professor, Department of Architecture, Arts and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. E-mail: m.gholipour@umz.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 15 May 2023
Received in revised form 31 December 2025
Accepted 21 May 2025
Available online 30 June 2025

Keywords:
bio-composite,
mycelium,
sustainable material,
rural areas.

ABSTRACT

Objective: In recent decades, rural areas have faced challenges that threaten their survival, making them increasingly reliant on innovation and new methods. Consequently, rural development is now more closely tied to entrepreneurship and tourism. Combining these two activities to create sustainable products is a practical approach that can support rural growth, raise awareness of sustainability and reduce environmental impact. This paper introduces the production and application of mycelium bio-composites as a means of revitalizing rural areas.

Method: This paper is a review study based on open-access sources that examines the properties, production methods, advantages, and limitations of mycelium bio-composites. It also evaluates their potential to promote rural tourism and entrepreneurship, and highlights their applicability in sustainable development initiatives.

Results: Research into mycelium bio-composites is relatively new. While many of their potential applications remain unexplored and some challenges remain unresolved, existing studies have provided valuable data on material properties, production processes and commercial applications, such as in packaging, insulation panels, wall and floor tiles and furniture. Examining rural entrepreneurship, tourism and agriculture, timber and mushroom cultivation highlights the potential of using mycelium-based bio-composites for sustainable rural development.

Conclusions: Mycelium bio-composites are highly promising materials that possess properties similar to polystyrene foam, MDF boards and particle boards in their basic form. The main advantages are the use of renewable raw materials, low energy consumption during production and the absence of environmentally harmful substances such as plastics and synthetic adhesives. However, challenges such as consumer acceptance, variability in material properties due to their biological nature and the need for standardized production guidelines remain.

Cite this article: Salami, S, Golipour Gashniani, M. (2025). Applications and properties of mycelium-based bio-composites for sustainable building materials in rural areas. *Housing and Rural Environment*, 44 (190), 93-104. https://doi.org/10.22034/44.190.93

This article is derived from the Master's thesis of Siamak Salami, entitled " Feasibility Study of Using Organic Material Made of Mycelium and Lignocellulosic Wastes to Design Sustainable Housing in Chalus", conducted under the supervision of Dr. Mostafa Gholipour Gashniani at the University of Mazandaran.

© The Author(s).
Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).
DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

Introduction

Over the past few centuries, the industrialisation of materials has undergone three major revolutions: the steam engine in the 18^(th) century; the rise of electricity and mass production in the late 19^(th) century; and digital technologies in the mid-20^(th) century. A potential fourth industrial revolution, which reintegrates biological processes into industry, may be right ahead of us. The current linear resource-use model ('take, make, consume, dispose') is unsustainable and leads to issues such as resource depletion, climate change and desertification.

Growing environmental concerns have shifted material research towards renewable resources. One promising approach is to use waste from various industries to produce sustainable materials. The Cradle-to-Cradle design model promotes regenerative product development that considers the full life cycle and environmental impact of products. Similarly, the circular economy emphasizes restorative systems in which resources circulate through biological and technical processes.

Mycelium-based bio-composites are an emerging class of low-cost, eco-friendly materials that are gaining attention for their potential in sustainable construction. These composites are produced using low-energy biological growth processes involving fungal mycelium and lignocellulosic waste, such as agricultural residues. Despite being in the early stages of research, they show promise due to their thermal and insulating properties. There are ongoing efforts to improve their mechanical characteristics and standardize production.

This study explores ways of using available capacities in rural areas to produce sustainable mycelium-based composites, thereby aligning material innovation with rural entrepreneurship. Given their connection to agriculture and wood by-products, producing these composites could create jobs, reduce migration and promote rural development.

This research investigates the material properties and influencing factors of producing mycelium bio-composites, as well as providing measurable data on key performance indicators for practical applications.

Method

This review-based study was conducted over a period of approximately two years. Information was systematically gathered and analyzed from reputable open-access sources using the keyword 'mycelium composites'. The research provides a categorized overview of the definition, production methods, advantages, disadvantages, and physical properties of mycelium-based composites. The aim is to establish an initial scientific framework for individuals interested in bio-based materials. Additionally, the study explores the potential role of entrepreneurship and tourism in rural areas, examining the feasibility of mycelium composite production as a strategy for sustainable rural development. The study not only addresses the physical characteristics of mycelium composites, but also investigates their practical applications and the feasibility of implementing them in real-world settings.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

Results

Over the past decade, research on mycelium-based materials has accelerated significantly, resulting in the development of various materials that have been tested using different techniques. Mycelium composites are lighter than most wood products and can compete with synthetic foams in terms of weight. They have tensile and bending strengths similar to those of polystyrene foam, but are weaker than polyurethane and wood in their initial state. However, they offer a significant fire safety advantage over synthetic foams, establishing them as a viable alternative for insulation materials. They also perform well acoustically compared to untreated foams and woods. Their biodegradability enhances their potential to replace polystyrene in specific applications, thereby aligning with sustainable material strategies aimed at reducing environmental pollution. The production of natural polymers requires minimal energy, and the resulting bio-composites fully support these eco-friendly principles.

These composites offer comparable insulation properties and improved fire safety while having a minimal environmental impact compared to products such as polystyrene foam and certain types of industrial wood.

While mycelium-based composites have certain limitations, this study suggests that their potential in conjunction with rural entrepreneurship, tourism, and the agricultural, wood, and mushroom cultivation industries presents a promising outlook. Simple production methods allow waste materials and by-products to be transformed into valuable, biodegradable products through natural fungal growth. These materials decompose naturally in compost within months at the end of their life cycle. This process offers a positive vision for the use of mycelium-based bio-composites in sustainable rural development, where low-cost agricultural waste, such as wheat husks, can be used as feedstock to create an expanding value chain for affordable materials.

Conclusions

Research on mycelium-based bio-composites is still in its infancy, with many of their potential applications yet to be explored and many challenges still to be resolved. This highlights the importance of further production and accurate testing for a broader range of applications, particularly in the construction industry. Previous studies have provided valuable insights into the properties of these composites and the key steps in their production. They have also shown that these composites can be tailored by selecting appropriate substrates and fungal species and by controlling growth and post-growth conditions. This enables them to be used for specific purposes. However, the process is complex due to the numerous variables involved, including the characteristics of the raw materials, the fungal species and the growth parameters. Despite these issues, simpler methods for small-scale production exist, offering potential for sustainable development through bio-based products and the circular economy. In summary, mycelium-based bio-composites have great potential. They have properties similar to those of polystyrene foam and MDF, but the advantage of using renewable

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

materials, low energy consumption and no harmful additives. The main drawbacks are high water absorption, weak mechanical properties and instability in their initial form. Addressing these issues through tailored processing methods is essential for improving their performance and suitability for specific applications.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Not applicable

Acknowledgements

Not applicable

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

مسکن و محیط روستا
شاپا چاپی: ۴۹۹۴ - ۲۰۰۸ شاپا الکترونیکی: ۶۲۱۵ - ۲۵۸۸
Homepage: https://jhre.ir

کاربردها و خواص بیوکامپوزیت‌های میسلیومی در تولید مصالح پایدار برای مناطق روستایی

سیامک سلامی[۱]، مصطفی قلی‌پور گشنیانی[۲]✉

۱. کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: siamak.salami@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: m.gholipour@umz.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

کلیدواژه‌ها:
بیوکامپوزیت،
میسلیوم،
مصالح پایدار،
روستا.

چکیده

هدف: در دهه‌های گذشته روستاها دچار تحولاتی شده‌اند که تداوم حیات آن‌ها را به خطر انداخته و آن را به نوع‌آوری، ابداع، خلق محصولات، فرایندها و روش‌های جدید وابسته کرده است. ازاین‌رو، توسعه روستاها پیوند گسترده‌تری با کارآفرینی پیدا کرده است و آمیختن گردشگری و کارآفرینی در راستای تولید محصولات پایدار، راهکاری منطقی است که می‌تواند به رشد و توسعه مناطق روستایی، گسترش آگاهی نسبت به توسعه پایدار و کاهش ردپای ساخت در زمین کمک نماید. بنابراین، هدف این مقاله معرفی بیوکامپوزیت‌های میسلیومی به‌عنوان مصالح پایدار و نحوه تولید و استفاده از آن‌ها در بافت‌های روستایی و مجموعه‌های گردشگری روستایی است.

روش پژوهش: این پژوهش مروری است و در آن اطلاعات مرتبط با بیوکامپوزیت‌های میسلیومی در منابع با دسترسی آزاد بررسی شده و به شناخت، روش تولید، مزایا و معایب، ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها پرداخته شده است. همچنین پتانسیل تولید این مواد به‌عنوان راهکاری برای توسعه کارآفرینی و گردشگری روستایی به‌عنوان راهکاری برای به‌کارگیری این مواد نیز موردبررسی قرار گرفته است.

یافته‌ها: تحقیق بر کامپوزیت‌های میسلیومی موضوعی است که بسیاری از پتانسیل‌های آن ناشناخته و معایب آن حل‌نشده باقی مانده است، اما بااین‌وجود در پژوهش‌هایی که تاکنون صورت گرفته اطلاعات مفیدی در خصوص ویژگی‌های این مواد به دست آمده و تجربیات مناسبی در خصوص گام‌ها و عوامل مهم در تولید این مواد و همچنین قابلیت استفاده تجاری در برخی کاربری‌ها مانند بسته‌بندی، پنل‌های عایق، پوشش‌های دیوار و کف و تولید مبلمان در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است که می‌تواند زمینه‌ای مناسب در تحقیق و به‌کارگیری این مواد باشد. همچنین بررسی کارآفرینی روستایی، گردشگری و پتانسیل‌های کشاورزی، چوب‌بری و پرورش قارچ، فرصت استفاده از بیوکامپوزیت‌های میسلیومی برای توسعه پایدار در مناطق روستایی را برجسته می‌سازد.

نتیجه‌گیری: کامپوزیت‌های میسلیومی موادی با پتانسیل بالا هستند که در حالت اولیه، خصوصیاتی مانند فوم پلی‌استایرن، تخته‌های MDF و نئوپان دارند و مزیت اصلی آن نسبت به این مواد استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر، انرژی کم در پروسه تولید و عدم استفاده از مواد زیان‌بخش برای محیط‌زیست مانند پلاستیک و چسب‌های مصنوعی است، همچنین چالش‌هایی مانند پذیرش مصرف‌کننده، تنوع ذاتی خواص این مواد باتوجه‌به ماهیت زیستی و نیاز به دستورالعمل‌های استاندارد تولید وجود دارد. بااین‌حال، روش‌های ساده‌تری برای تولید کامپوزیت‌های میسلیومی در مقیاس کارگاهی وجود دارد که می‌توانند در راستای توسعه پایدار و اقتصاد دورانی استفاده شوند.

استناد: سلامی، سیامک؛ قلی‌پور گشنیانی، مصطفی. (۱۴۰۴). کاربردها و خواص بیوکامپوزیت‌های میسلیومی در تولید مصالح پایدار برای مناطق روستایی. *مسکن و محیط روستا*، ۴۴ (۱۹۰)، ۱۰۴-۹۳. https://doi.org/10.22034/44.190.93

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد سیامک سلامی با عنوان «امکان‌سنجی بهره‌گیری از مصالح ارگانیک ساخته‌شده از میسلیوم و پسماندهای لیگنوسلولزی جهت طراحی مسکن پایدار در شهر چالوس» است که با راهنمایی دکتر مصطفی قلی‌پور گشنیانی در دانشگاه مازندران انجام شده است.

CC BY NC

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی. © نویسندگان.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

مقدمه

در چند قرن اخیر، صنعتی شدن مصالح سه تحول بنیادین را رقم زده است: تحول نخست اختراع موتور بخار در قرن هجدهم بود که امکان ماشینی کردن تولیدات را فراهم کرد، دومین تحول به‌کارگیری موتورهای الکتریکی در تولید انبوه در قرن نوزدهم بود و درنهایت ظهور رایانه و فناوری دیجیتال در قرن بیستم، انقلاب صنعتی چهارم می‌تواند درست پیش روی ما باشد و دوباره جنبه‌های بیولوژیکی را به جهان صنعتی و ماشینی وارد کند (Hebel & Heisel, 2017). مدیریت منابع در سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی کنونی غالباً مبتنی بر مدل «برداشت، تولید، مصرف و دور انداختن» است و این مدل، منابع فراوان و دفع زباله نامحدود را بدون هیچ عارضه جانبی منفی در نظر می‌گیرد (Jurgilevich et al., 2016).

باتوجه‌به نگرانی‌های روزافزون تخریب محیط‌زیست، جهت‌گیری تحقیقات مرتبط با مواد نیز به سمت استفاده از مواد پلیمری حاصل از منابع تجدیدپذیر سوق گرفته است و استفاده از ضایعات صنایع مختلف جهت تولید مصالح پایدار یکی از رویکردهایی است که به‌کارگیری آن در حال گسترش بوده و نشانه‌ای از آگاهی به شرایط محیط‌زیست است. مدل طراحی محصولات به شیوه احیایی و در چرخه طبیعی[1] (شکل ۱)، روشی برای طراحی هوشمند محصولات، فرایندها و سیستم‌ها با در نظر گرفتن کل چرخه عمر محصول است که بهینه‌سازی سلامت مواد، قابلیت بازیافت، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری، مصرف آب و مسئولیت اجتماعی را در نظر می‌گیرد و هدف از آن، بازیابی چرخه‌های دائمی مواد بیولوژیکی با تأثیرات مثبت طولانی‌مدت بر سودآوری، محیط‌زیست و سلامت انسان است (Wikipedia, 2021).

عامل دیگر، اقتصاد دورانی به شکل یک سیستم ترمیمی است که در آن منابع به‌صورت چرخه‌ای، توسط جامعه و یا فرایندهای بیوشیمیایی پردازش می‌شوند (Greyson, 2007). این روش، فرایندهای طبیعی مانند تولید از پسماند، انعطاف‌پذیری ازطریق تنوع و استفاده از منابع انرژی تجدید و تجزیه بیولوژیکی را اعمال می‌کند (Appels & Wösten, 2021) که بیوکامپوزیت‌های بر پایه میسلیوم نیز در این تعریف جای می‌گیرند. در عصر حاضر روستاها دچار تحولات گسترده‌ای شده‌اند که تداوم حیات آن‌ها را به خطر انداخته است و آن را به نوع آوری، ابداع، خلق محصولات، فرایندها و روش‌های جدید وابسته کرده است، ازاین‌جهت توسعه روستاها پیوند گسترده‌تری با مفهوم کارآفرینی پیدا کرده است (Azizi, 2012). یکی از بزرگ‌ترین ظرفیت‌های مناطق روستایی کشاورزی است و استفاده درست از این ظرفیت به همراه شناسایی فرصت‌های کارآفرینی می‌تواند راهکاری برای اشتغال‌زایی و کاهش روند مهاجرت روستائیان باشد (Anbari, 2008) و زمینه ایجاد بسیاری از مشاغل جدید نیز باشند. کارآفرینی می‌تواند به‌عنوان «کاتالیزور» یا «حلقه مفقود» بین اقتصاد و رشد اقتصادی عمل کند و در جذب سرمایه‌گذاری خارجی نیز تأثیرگذار باشد (Alhorr et al., 2008). به‌طورکلی فعالیت‌هایی که در روستاها صورت می‌گیرد باید به دو مشکل اساسی بیکاری و فقر پاسخ پاسخ‌گو باشند و گردشگری فعالیتی است که پتانسیل بالایی برای اشتغال‌زایی داشته و آمیختن آن با کارآفرینی به‌عنوان فرایندی پویا، می‌تواند مسیر توسعه پایدار روستایی را هموار سازد (Ghanian et al., 2011). بیوکامپوزیت‌های میسلیومی به‌عنوان موادی نوظهور، ارزان‌قیمت و زیست‌سازگار، موردتوجه فزاینده پژوهش و تجاری‌سازی قرار گرفته‌اند. این مواد با بهره‌گیری از رشد طبیعی میسلیوم قارچ در بسترهای لیگنوسلولزی، مانند پسماندهای کشاورزی، ازطریق فرایندی کم‌انرژی تولید می‌شوند و جایگزینی پایدار برای مصالح مصنوعی محسوب می‌گردند. اگرچه پژوهش‌ها در این حوزه در مراحل اولیه قرار دارد، نتایج اولیه نشان‌دهنده عملکرد مطلوب حرارتی و عایقی این مواد است و انتظار می‌رود با گسترش دانش، ویژگی‌های مکانیکی و فرایند تولید آن‌ها نیز بهبود یابد (Girometta .et al., 2019).

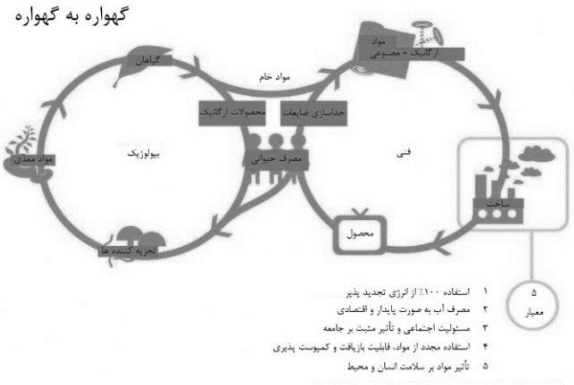
این مجموعه به دنبال یافتن پاسخ به این سؤال است که «چگونه می‌توان از بستر موجود در مناطق روستایی برای تولید مصالح پایدار میسلیومی استفاده کرد؟». به‌طورکلی در این تحقیق طبق شکل ۲، به شناخت بیوکامپوزیت‌های میسلیومی و پتانسیل‌های کاربردی آن پرداخته شده است و در این راستا خواص و ویژگی‌های مختلف، عوامل تأثیرگذار بر آن و همچنین راهکارهایی جهت آماده‌سازی و به‌کارگیری این مواد معرفی شده است. علاوه بر موارد فوق، از اطلاعاتی به‌صورت داده‌های

1. Cradle-to-cradle design

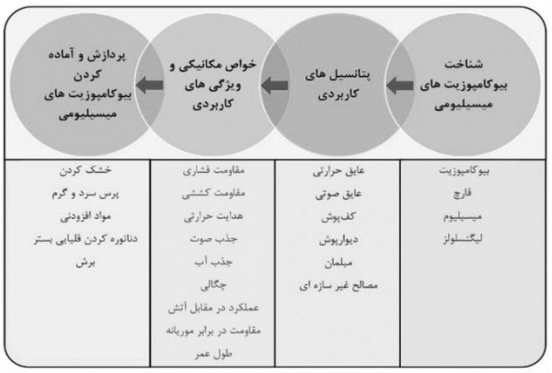
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

قابل‌اندازه‌گیری جهت درک بهتر خصوصیات این مواد نیز استفاده شده است.



شکل ۱. جنبه‌های بیولوژیکی و فنی در چهارچوب طراحی گهواره تا گهواره



شکل ۲. موضوعات بررسی‌شده در این پژوهش (Girometta et al., 2019).

پیشینه پژوهش

مبانی نظری شناخت بیوکامپوزیت‌های میسلیومی

دیکر[2] و همکاران (۲۰۱۴) **بیوکامپوزیت‌ها** را به‌عنوان موادی معرفی می‌کنند که در آن‌ها، یک پلیمر زیستی یا پلیمر مشتق‌شده زیستی توسط الیاف طبیعی تقویت شود (Dicker et al., 2014)، چنین تعریفی وجود اجزای مصنوعی دیگر در این کامپوزیت‌ها را نیز مستثنا نمی‌کند (Lu et al., 2014). سه مزیت اصلی در به‌کارگیری ارگانیسم‌های زنده و ساخت مواد بیولوژیکی وجود دارد؛ استفاده از مواد بومی و عدم نیاز به حمل‌ونقل و درنتیجه کاهش آلودگی ناشی از آن، فرایندهای ساخت طبیعی که از اتلاف انرژی جلوگیری می‌نماید و درنهایت بازگشت مواد ساخته‌شده به چرخه اکولوژیکی مواد پس از پایان دوره مصرف (Zolotovsky, 2017).

قارچ‌ها موجوداتی یوکاریوتی[3] هستند که تنوع زیادی در ریخت‌شناسی و سبک زندگی دارند که توانایی تشکیل کلنی در مناطق وسیع را دارند (Ibrar et al., 2020) و یک منبع طبیعی و تجدیدپذیر از پلیمرهای ساختاری باارزش مانند کیتین و کیتوزان هستند که مانند سلولز، در دیواره سلولی گیاهان هستند (Zolotovsky, 2017) که ماده‌ای نانوالیافی با مقاومت کششی بالا (۱/۶-۰/۳ گیگاپاسکال است (Bamba et al., 2017) (شکل ۳).

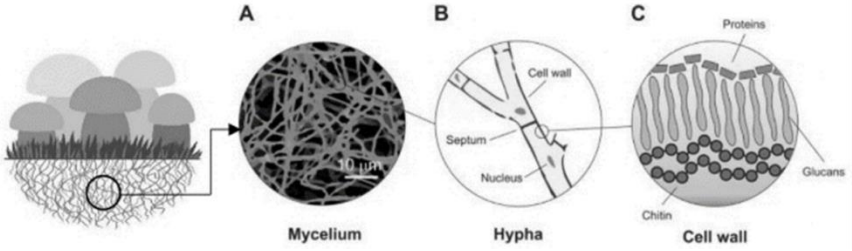
میسلیوم قسمت رویشی قارچ‌ها است که از توده نَخینه (Hypha) ساخته شده است و به‌عنوان عامل رشد قارچ‌ها عمل می‌کند. نخینه، رشته‌ای لوله‌ای شکل است که واحد ساختمانی همه قارچ‌ها به‌جز مخمرها و آکتینوباکتری‌ها است. دیواره‌های سلولی قارچ‌ها، در نخینه وجود دارد که میسلیوم (اسم جمعی رشته‌های نخینه) را شکل می‌دهند و شامل یک شبکه فیبر ضخیم و پیچیده از کیتین و پلی‌ساکاریدهای دیگر، مانند گلوکان‌ها، پروتئین‌های مانو، کیتوزان، اسید پلی گلوکورونیک یا سلولز و مقادیر کمتری پروتئین و گلیکوپروتئین‌ها است (Bartnicki Garcia, 1968). این مواد باعث می‌شوند که میسلیوم دارای خواص مکانیکی معمول مشابه مواد لیگنوسلولزی، مانند چوب و چوب‌پنبه باشد (Appels et al., 2018). میسلیوم به‌وسیله ترشح آنزیم، بسترهای تغذیه مختلف را به اجزای ساده‌تری تبدیل می‌کند که می‌توانند به‌عنوان مواد مغذی برای قارچ‌ها مورداستفاده قرار گیرند و قارچ‌ها با استفاده از این مواد، زیست‌توده خود را با رشد بر روی سطح بستر و نفوذ به درون آن افزایش می‌دهند (Vidal-Diez de Ulzurrun et al., 2017). یکی دیگر از قابلیت‌های میسلیوم، آناستموز است که توانایی دو نخینه مختلف هنگام رسیدن به هم و آمیخته شدن برای رشد سریع میسلیوم است که امکان ایجاد شبکه‌های بزرگ را فراهم می‌کند، شبکه‌های بزرگ‌تر باعث می‌شود که مواد مغذی بتوانند بین مناطق مختلف منتقل شوند و این امر رشد همگن کلنی را تسهیل می‌بخشد، دیگر مزیت آناستوموز این است که میسلیوم قوی‌تری ایجاد می‌کند و ازآنجاکه همه نخینه‌ها به هم پیوسته‌اند، ماده متراکم‌تری

2. Dicker

۳. موجوداتی‌اند که سلول‌هایشان دارای هسته بوده، به‌طوری‌که این هسته خود دارای پوشش هسته‌ای است.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

به وجود می‌آید (Ghosh, 2019 as cited in Carlile et al., 2001).



شکل ۳. نمایش شماتیک میسلیوم در مقیاس‌های مختلف (Haneef et al., 2017)

لیگنوسلولزها از در دسترس‌ترین منابع زیستی بر روی زمین هستند و شامل گیاهان طبیعی و پسماندهای کم‌ارزش کشاورزی و صنعتی نظیر ضایعات ذرت، تفاله نیشکر و دورریزهای نجاری می‌شوند. این مواد به‌عنوان بستر تغذیه و پرکننده در بیوکامپوزیت‌های میسلیومی به کار می‌روند و نقش آن‌ها، عمدتاً به میزان مغذی بودنشان بستگی دارد که موجب افزایش رشد و پیوند میسلیومی می‌شود. ازآنجاکه شکست، اغلب در پیوند میسلیومی رخ می‌دهد، نه در خود بستر، مواد خام ارزان‌قیمت عمدتاً برای ساخت محصولات فوم‌مانند مناسب هستند. برای کاربردهای دیگر، به‌کارگیری روش‌هایی نظیر پرس حرارتی یا سرد، تزریق رزین و افزودنی‌های تقویتی جهت بهبود خواص مکانیکی ضروری است (Jones et al., 2019).

مراحل تولید بیوکامپوزیت‌های میسلیومی در شکل ۴ نشان داده شده است و نکته حائز اهمیت این است که هر بخش از این مراحل با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف قابل انجام است. السکر[۴] و همکاران طبق تحقیقاتی که انجام داده‌اند روش کلی ساخت موجود در منابع در دسترس را طی مراحل زیر خلاصه نموده‌اند:

میسلیوم در شرایط محیطی پاک و بستر تغذیه مناسب، مانند ظرف‌های آزمایشگاهی حاوی مواد مغذی، شیشه‌های پرشده از دانه‌های مغذی، محلول‌های مایع مغذی، و یا در یک بستر همگن از قبل رشدیافته، آماده می‌شود. برای از بین بردن میکروارگانیسم‌های مخرب، بستر لیگنوسلولزی که نقش پرکننده و منبع تغذیه میسلیوم را دارد با استفاده از روش‌های گوناگون از قبیل اتوکلاو، استریل می‌شود تا از آلودگی در طی روند رشد جلوگیری شود. مقدار معینی از بافت میسلیوم که در مرحله اول آماده شده، به بستر لیگنوسلولزی استریل شده اضافه می‌گردد، اگر بستر قبل از استریل کردن به‌وسیله اتوکلاو، مرطوب نشده باشد، به مقدار لازم، آب استریل به آن اضافه می‌شود. برای بهبود رشد، در این مرحله نیز می‌توان مواد مغذی به بستر افزود، بستر تلقیح‌شده در یک قالب استریل پر می‌شود، تا شکل موردنظر را بگیرد و سپس با یک پوشش قابل‌نفوذ، در هوای فیلترشده و در محیط پاک قرار می‌گیرد. میسلیوم درون بستر در محیط کنترل‌شده رشد می‌کند. این ماده را می‌توان در دو مرحله رشد داد، ابتدا درون قالب برای اتصال الیاف، و سپس طی یک دوره خارج از قالب، برای محکم‌تر شدن پوسته بیرونی. مواد رشدیافته برای چند ساعت در دمای معین، پردازش حرارتی می‌شوند تا فرایند رشد پایان یابد و میزان آب آن کم شود. برای بهبود خصوصیات کامپوزیت‌ها، می‌توان از لایه‌های پوششی و یا انواع پردازش‌ها با مواد افزودنی نیز استفاده کرد (Elsacker et al., 2020). البته لازم به ذکر است که شرایط رشد مطلوب قارچ‌ها، از گونه‌ای به گونه دیگر، متفاوت است و بین ۲۱ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد متفاوت است. به همین ترتیب، سطح PH متوسط برای رشد بهینه قارچ‌های مختلف از ۵ تا ۸ متغیر است، درحالی‌که سطح رطوبت بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد است (Appels et al., 2019; Haneef et al., 2017).

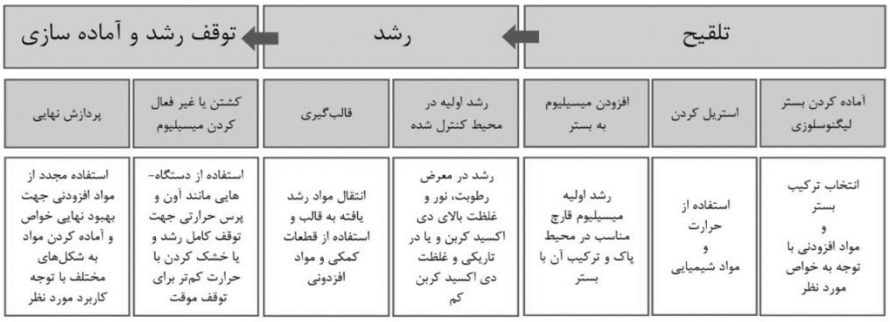
شرایط رشد و تولید آزمایشگاه‌های تولید مقیاس کوچک، دارای مساحت حدود ۲۰ مترمربع برای تولید، و ۵۰ مترمربع برای نگهداری، رشد، خشک کردن و فرایندهای پس از تولید هستند. برای تولید مواد مبتنی بر میسلیوم تقریباً ۵ درصد میسلیوم، ۳۰ درصد فیبر و ۶۵ درصد آب در طول فرایند موردنیاز است (Bruin, 2018).

در خصوص کاربرد بیوکامپوزیت‌های میسلیومی در حال حاضر عمدتاً در تولید فوم‌های بسته‌بندی کاربرد دارند و توسط شرکت‌هایی مانند Dell و Ikea مورداستفاده قرار گرفته‌اند. این کامپوزیت‌ها به دلیل ویژگی‌هایی مانند رسانایی حرارتی پایین،

4. Elsacker

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

جذب صوت مناسب و ایمنی بالا در برابر آتش، قابلیت جایگزینی با فوم، چوب و پلاستیک را در برخی کاربردهای ساختمانی غیرسازه‌ای دارند. بااین‌حال، محدودیت‌هایی نظیر مقاومت مکانیکی پایین، جذب رطوبت بالا و کمبود تحقیقات جامع، کاربرد آن‌ها را به استفاده‌های مکمل و غیرسازه‌ای مانند عایق‌ها، پانل‌ها و مبلمان محدود می‌سازد. باتوجه‌به مزایایی همچون پایداری زیستی، هزینه پایین و امکان تولید ساده، این مواد پتانسیل بالایی برای نقش‌آفرینی در آینده ساختمان‌سازی پایدار دارند (Jones et al., 2020).



شکل ٤. مراحل اصلی تولید بیوکامپوزیت‌های میسلیومی

بررسی خواص و ویژگی‌های کامپوزیت‌های میسلیومی

باتوجه‌به اینکه بیشتر کامپوزیت‌های میسلیومی در محصولات جانبی و ضایعات لیگنوسلولزی کشاورزی رشد می‌کنند، و این مواد عموماً فاقد مواد مغذی مطلوب برای قارچ‌ها ازجمله قندهای ساده مانند فروکتوز، گلوکز و ساکارز هستند، ازاین‌رو در ساخت آن‌ها به‌طورمعمول از قارچ‌های پوسیدگی سفید که سلولز و لیگنین را تخریب می‌کنند، استفاده می‌شود (Elsacker et al., 2019; Haneef et al., 2017). نکته مهم در خصوص تأثیر میسلیوم بر خصوصیات مکانیکی کامپوزیت‌ها، ساختار تشکیل‌دهنده آن است، شبکه‌های نخینه‌ای قارچ‌های چتری[5] می‌توانند شامل سه نوع متمایز از انواع نخینه که مولد[6]، اتصال‌دهنده[7] و اسکلتی[8] نامیده می‌شوند و دارای تفاوت‌های اساسی در ضخامت دیواره سلولی، ساختار داخلی و ویژگی‌های رشد و منشعب شدن هستند، باشند (Jones et al., 2017)، که می‌توانند فقط از نخینه‌های مولد و یا هر سه نوع آن‌ها تشکیل شده باشند. نخینه‌های مولد به‌تنهایی، توخالی و حاوی سیتوپلاسم هستند و دارای عملکرد مکانیکی محدودی هستند، نخینه‌های اتصال‌دهنده عهده‌دار مقاومت ماده هستند (Bayer & Gavin, 2016; Jones et al., 2017). در خصوص میزان رشد میسلیوم، باید بیان کرد که رشد بیشتر آن، منجر به افزایش مقاومت مواد و کاهش فضای خالی بین الیاف شده و درنتیجه پیوند آن‌ها قوی‌تر و چگالی افزایش می‌یابد اما رشد بیش‌ازحد منجر به تخریب کامل بستر که نقش تقویت‌کننده داشته و به بهبود سختی الاستیکی و کاهش رفتار برشی کمک می‌کند، خواهد شد (Yang et al., 2017).

همان‌طور که اشاره شد، تأثیر بستر لیگنوسلولزی بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها بر خصوصیات این مواد در مغذی بودن آن برای رشد است، عواملی مانند شکل هندسی ذرات، تأثیری بر مقاومت خمشی کامپوزیت‌های میسلیومی ندارد، گرچه هندسه‌های الیافی در صورت همسو شدن در جهت بارگذاری باید خصوصیات کششی سطح و درنتیجه خصوصیات خمشی را بهبود می‌بخشند (Parikh & Gohil, 2015)، اما رشد زیاد در سطوح در معرض هوا، منجر به آسیب و تخریب آنزیمی فیبرها می‌شود که آثار مفید الیاف موجود را به خطر می‌اندازد (Jones et al., 2020 as cited in A.K. Roy, 2017).

خواص فشاری مواد متخلخل، با میزان تخلخل و اندازه منافذ ارتباط قوی دارد، به صورتی که افزایش تخلخل، خواص مکانیکی را کاهش می‌دهد (Ashby et al., 2018) و عملکرد فشاری کامپوزیت‌های رشدیافته نیز به خصوصیات فشاری و تخلخل مواد پرکننده بستر، درجه تخریب بستر توسط قارچ، و افزایش تخلخل آن در طی فرایند بستگی دارد (Jones et al.,

5. Basidiomycetes
6. Generative
7. Binding
8. Skeletal

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

2020).

خواص کششی کامپوزیت‌های میسلیومی رشدیافته در خاک‌اره با خواص خود بستر ارتباطی ندارند بلکه بیشتر تحت تأثیر ناتوانی میسلیوم در ایجاد پیوستگی است تا مقاومت ماده پرکننده، بر این اساس برای ایجاد یک شبکه میسلیومی متراکم و به حداکثر رساندن خواص کششی، بستر پرکننده باید حاوی مواد مغذی برای قارچ‌ها باشد، برخی از مواد درجه پایین، مانند محصولات جانبی و ضایعات کشاورزی، که به دلیل کم‌هزینه بودن جذاب هستند، معمولاً فاقد مواد مغذی بهینه قارچ‌ها (فروکتوز، گلوکز، ساکارز) هستند و در عوض بیشتر حاوی منابع پیچیده کربن (سلولز و لیگنین) هستند (Faruk et al., 2012).

در خصوص خواص حرارتی، نیاز اصلی مواد عایق حرارتی، رسانایی حرارتی کم است زیرا گرما در مواد ازطریق رسانایی منتقل می‌شود، به‌عنوان‌مثال رسانایی حرارتی پشم سنگ و الیاف شیشه به ترتیب ۰/۰۴۷ و ۰/۰۳۸ W/mK است و این ویژگی در درجه اول تحت تأثیر چگالی مواد و به مقدار کمتر، میزان رطوبت آن است (Jones et al., 2020 as cited in Collet & Pretot, 2014). ارتباط قوی بین تراکم مواد و رسانایی حرارتی به دلیل وجود مقادیر زیادی از هوای خشک است که هدایت حرارتی بسیار پایینی دارد (Kadoya et al., 1985). خصوصیات حرارتی مطلوب کامپوزیت‌های میسلیوم اجازه می‌دهد تا این مواد برای اهداف عایق‌بندی حرارتی استفاده شوند (Elsacker et al., 2019). مواد رشدیافته به مدت طولانی‌تر، ازنظر حرارتی پایدارتر و دارای تخلخل کمتری هستند و ازاین‌رو عایق مناسبی نیستند (Yang et al., 2017).

خواص جذب صوت عالی کامپوزیت‌های میسلیومی را نیز می‌توان به ماهیت متخلخل و فیبری آن‌ها نسبت داد. طبق یک مطالعه، کامپوزیت‌های میسلیومی حاوی پسماندهای کشاورزی می‌توانند بیش از ۷۰–۷۵ درصد جذب صوتی در فرکانس‌های تا ۱۰۰۰ هرتز داشته باشند (Pelletier et al., 2013). در این نوع مواد، نکته مهم این است که فشرده نمودن، باعث کاهش جذب صوتی می‌شود و دلیل آن، کاهش ضخامت است (Castagnède et al., 2000). به‌این‌ترتیب کامپوزیت‌هایی که به‌عنوان جاذب صوتی استفاده می‌شوند، نباید تحت پرس قرار گیرند (Jones et al., 2020).

چگالی کامپوزیت‌های رشدیافته باتوجه‌به نوع بستر استفاده‌شده معمولاً دارای تراکم بین ۶۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در مترمکعب هستند، نمونه‌هایی که حاوی بستر پرکننده از محصولات جانبی کشاورزی مانند کاه هستند، دارای تراکم کمتری (۶۰–۱۳۰ کیلوگرم در مترمکعب) نسبت به انواع حاوی محصولات جانبی چوبی مانند خاک‌اره (۸۷–۳۰۰ کیلوگرم در مترمکعب) هستند (Jones et al., 2020) و یکی از نکات مهم در تولید فوم‌های میسلیومی، غلبه بر چالش حفظ چگالی مشخص در این ماده زیستی است (Abhijith et al., 2018).

کامپوزیت‌های میسلیومی مانند محصولات چوبی عمل‌آوری‌نشده، مقاومت برابر موریانه را ندارند، و این احتمال وجود دارد که در مناطق دارای موریانه، مشکل‌ساز شود. بااین‌حال، باید توجه داشت که فوم‌های مصنوعی، مانند پلی‌استایرن نیز در برابر آسیب موریانه و لانه‌هایی که درون فوم ایجاد می‌کنند، آسیب‌پذیر هستند و در صورت نیاز می‌توان ازطریق انتخاب بستر پرکننده مقاوم و استفاده از مواد کشنده موریانه طبیعی یا تجاری برای رفع این مشکل اقدام نمود، بهترین نتایج برای مقابله با موریانه با استفاده از روغن طبیعی وتیور و رزین Guayule به دست آمد (Bajwa et al., 2017).

در خصوص طول عمر این مواد، وقتی این مواد در معرض محیط خارج و بر روی زمین قرار می‌گیرند، ظرف مدت تقریبی شش هفته، مشابه چوب‌های نرم پردازش‌نشده، تبدیل به کمپوست می‌شوند (Karimjee, 2014) و به‌عنوان مواد مغذی برای گیاهان به اکوسیستم برمی‌گردند. در تحقیقی که به‌منظور بررسی زیست‌تخریب‌پذیری کامپوزیت‌های میسلیومی انجام شد، نمونه‌های ساخته‌شده از میسلیوم قارچ گانودرما و بستر الیاف شاهدانه صنعتی، پس از دفن شدن به مدت ۱۶ هفته درون خاک، کاهش وزنی به مقدار ۴۳ درصد داشتند که نشان‌دهنده زیست‌تخریب‌پذیری این مواد است، البته میزان تخریب به پارامترهایی از قبیل نوع مواد تشکیل‌دهنده، روش تولید و نوع محیطی که این کامپوزیت‌ها در آن تجزیه می‌شوند نیز بستگی دارد (Van Wylick et al., 2022). برای رفع مشکل از بین روندگی و موقتی بودن این کامپوزیت‌ها، باید از انواع روش‌های بهبود خواص، ازجمله بهره‌گیری از مواد افزودنی استفاده نمود تا بتوان با تغییر خصوصیات، به افزایش دوام آن‌ها کمک کرد (Bruin, 2018).

در خصوص عملکرد کامپوزیت‌های میسلیومی در برابر آتش، نرخ آزادسازی حرارت باتوجه‌به نقش آن در گسترش آتش مهم‌ترین

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

خاصیت واکنش در مقابل آتش در نظر گرفته می‌شود (Babrauskas & Peacock, 1992). بیشترین تلفات ناشی از آتش‌سوزی به دلیل گازهای سمی، سوختگی، آسیب‌های عمومی یا سایر عوامل مربوط به آن‌ها است (Jones et al., 2020 as cited in Babrauskas et al., 1992). مونوکسید کربن ماده‌ای است که در مقادیر بسیار کم باعث خفگی و مرگ (۱۵۰۰ ppm باعث مرگ در یک ساعت می‌شود) می‌گردد و بزرگ‌ترین خطر در مواقع آتش‌سوزی محسوب می‌شود (Hirschler, 1987). انتشار مونوکسید کربن (CO) در کامپوزیت‌های میسلیومی حاوی پوسته برنج (۰/۰۲ گرم) است که نسبت به تخته خرده چوب (۰/۴۷ گرم) و پلی‌استایرن اکسترود شده (۰/۴۸ گرم) انتشار CO بسیار کمتری دارد (Jones et al., 2018). خود میسلیوم هیچ خاصیت بازدارنده قابل‌توجهی در برابر آتش ندارد و به‌طورمعمول دارای یک فرایند تخریب حرارتی سه مرحله‌ای مشابه واکنش معمول مواد سلولزی و سایر مصالح زیستی در مقابل آتش است.

یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی که استفاده از کامپوزیت‌های میسلیومی را محدود می‌کند، تمایل آن‌ها به جذب آب زیاد است. این مواد معمولاً جذب آب بالایی دارند و در تماس با آب به مدت ۴۸–۱۹۲ ساعت، وزن آن‌ها ۴۰–۵۸۰ درصد افزایش می‌یابد (Appels et al., 2019; Asdrubali et al., 2015; Elsacker et al., 2019; Holt et al., 2012; López Nava et al., 2016). گرچه ممکن است چنین جذب آب بالایی یک مشکل اساسی به نظر برسد، اما بعضی از کاربردهای ساختمانی برای کامپوزیت‌های میسلیومی، مانند عایق صوتی یا حرارتی برای مکان‌های داخلی یا خشک که در معرض هوا نیستند، مناسب است. نمونه‌های حاوی بستر پرکننده خاک‌اره راش، با افزایش وزن ۲۳ درصد وزنی در ۳ ساعت تماس با آب، که به‌آرامی به ۴۳ درصد وزنی در ۱۹۲ ساعت افزایش می‌یابد، دارای جذب آب کمتری است (Appels et al., 2019) و دلیل آن آب‌گریز بودن خاک‌اره راش است که حاوی ۴۸ درصد وزنی سلولز و ۲۶ درصد وزنی لینگین است (Bodîrlău et al., 2008).

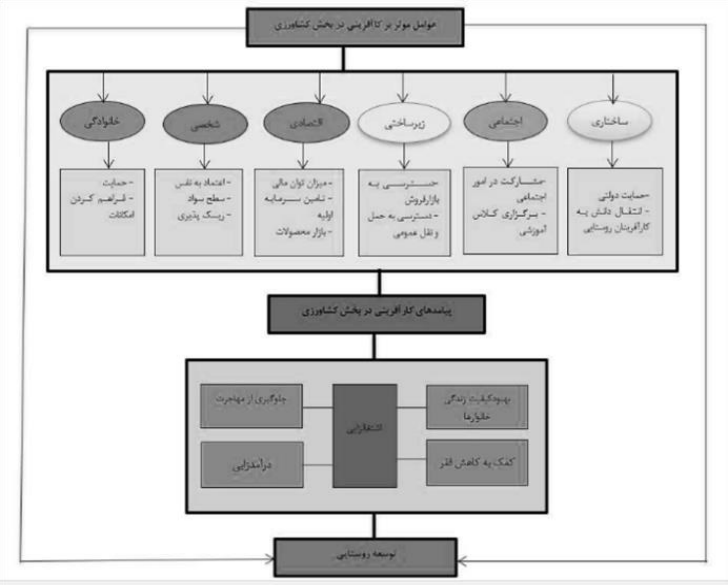
پتانسیل کامپوزیت‌های میسلیومی بر کارآفرینی و گردشگری روستایی

عباسی و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با عنوان «تبیین عوامل مؤثر بر توسعه کارآفرینی گردشگری روستایی در ایران» به سه گام مهم اشاره می‌کنند که می‌تواند به درک ظرفیت تولید و استفاده از این نوع مواد در مناطق روستایی کمک نماید: گام اول توجه به عوامل محیطی–انسانی بسترساز و زمینه‌ساز که نقش عناصر پایه در مدل را داشته و متشکل از دو بعد شرایط محیطی و ویژگی‌های فردی و جمعی کارآفرینانه انسانی است (Abbasi et al., 2020, as cited in Isenberg, 2011; Stevenson & Lundstorm, 2005). گام دوم توجه به ساختار قانونی و نهادی (Ziaei et al., 2017) گام سوم برآیند فعالیت کارآفرینانه گردشگری روستایی است که نشان‌دهنده کسب‌وکارها، استارتاپ و خدمات شکل‌گرفته ناشی از کارآفرینی است و در این مرحله پیامد توسعه کارآفرینی گردشگری در محصولات و خدمات؛ نمود عینی پیدا می‌کند (Abbasi et al., 2020, as cited in Ahmad & Hoffman., 2007) و می‌توان در چهار شکل پیامدهای آن را موردتوجه قرار داد (Abbasi et al., 2020): ۱– نوآوری‌ها و خلاقیت‌های شکل‌گرفته در زمینه گردشگری روستایی؛ ۲– فرصت شکل‌گرفته و رشد و توسعه صورت‌گرفته ازطریق گردشگری در سطح محلی و منطقه‌ای که اشاره به تغییرات نسبت به گذشته دارد؛ ۳– سازگاری محیط‌زیستی کسب‌وکارهای شکل‌گرفته که می‌توان ازطریق شاخص‌هایی مانند مصرف انرژی پایین، کاهش حجم مواد خام مصرفی، استفاده از مواد تجدیدپذیر، قابلیت برگشت‌پذیری تولیدات، حفاظت و رعایت اخلاق محیط‌زیستی، مدیریت پسماندها، استفاده از فناوری‌های سبز و زیرساخت‌های سازگار با محیط‌زیست آن را مورد ارزیابی قرار داد؛ ۴– ارزش‌آفرینی اقتصادی و اجتماعی در زمینه گردشگری روستایی.

طبق شکل ۵، در خصوص عوامل مؤثر بر کارآفرینی کشاورزی، تولید بیوکامپوزیت‌های میسلیومی می‌تواند راهکاری منطقی با هدف رشد مناطق روستایی، گسترش آگاهی نسبت به توسعه پایدار و کاهش ردپای ساخت در زمین باشد، ارتباط این کامپوزیت‌ها با بخش کشاورزی و همچنین گسترش پرورش قارچ در کارگاه‌های کوچک در مناطقی مانند استان مازندران که دارای صنعت چوب‌بری فعال و گونه‌های قارچی مناسب به‌صورت بومی هستند، بستر اولیه مناسبی جهت تولید بیوکامپوزیت‌های میسلیومی به وجود آورده است که دسترسی به مواد اولیه را آسان نموده و می‌تواند عامل مهمی در ایجاد یک چرخه اقتصادی دورانی باشد. در ادامه نیز به تشریح ۲ نمونه از روش‌های ساده تولید محصولات میسیلیومی پرداخته می‌شود.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

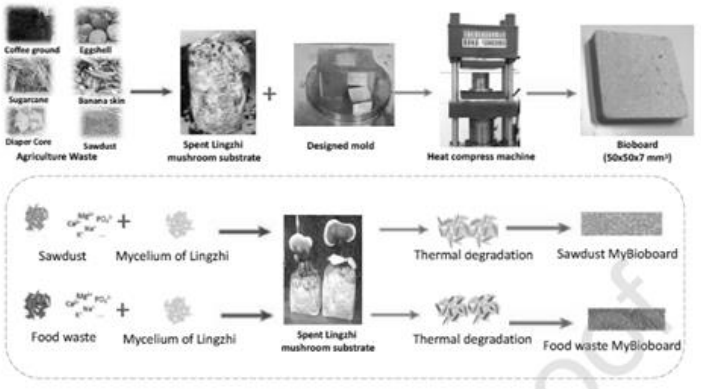
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]



شکل ۵. عوامل مؤثر بر کارآفرینی کشاورزی (Izadi & Ghanbari, 2021)

در یک پژوهش با هدف ساخت تخته‌های زیستی جایگزین MDF و نئوپان، از میسلیوم طبیعی باقی‌مانده در بستر کشت قارچ به‌عنوان چسب طبیعی استفاده شد. این تخته‌ها با بهره‌گیری از بستر قارچ گانودرما و ترکیب آن با ضایعاتی مانند پوست تخم‌مرغ، قهوه، موز، پوشک، نیشکر و خاک‌اره ساخته شدند. به‌این‌ترتیب که پس از خشک کردن و پودر کردن ضایعات، این مواد به همراه بستر باقی‌ماند از تولید قارچ، در قالب تحت فشار ۱۰ مگاپاسکال و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد پرس شده و پس از خنک شدن از قالب خارج شدند و نتیجه آن تخته‌هایی با ساختار متراکم، مقاوم در برابر آب و آتش و استحکام پیوند داخلی ۲/۵۱ مگاپاسکال بود که فراتر از استانداردهای آمریکا و چین است. این روش ساده (شکل ۶) و کم‌هزینه، امکان استفاده پایدار از ضایعات مزارع قارچ را فراهم می‌کند (Khoo et al., 2020).

در تحقیقی دیگر، آجرهایی با ترکیب سرم میسلیومی و موادی چون خاک رس، سبوس برنج، خاک‌اره و پوسته نارگیل ساخته شد. برای تهیه این سرم، قارچ‌های محلی را با سبوس و الیاف نارگیل در کیسه‌هایی زیر خاک دفن و رشد داده و آن را با ملاس نیشکر ترکیب کردند. سپس آجرهایی با ترکیب‌های مختلف از مواد در ابعاد ۶×۹×۲۰ سانتی‌متر، در دو نوع دارای سرم و بدون سرم، قالب‌گیری و پس از ۲۵ روز، به‌وسیله حرارت در دماهای ۱۱۰–۱۱۵ برای نمونه‌ها با بستر مواد طبیعی و۹۰۰–۱۱۱۰ برای آجرهای حاوی خاک رس خشک شدند و به مدت ۴ روز دیگر نگهداری شدند. کل فرایند ساخت ۳۴ روز طول کشید. نتایج نشان داد مقاومت فشاری آجرهای دارای سرم، نسبت به نمونه‌های بدون سرم و همچنین حداقل مقاومت طبق استاندارد IS1077 هند (۳/۵ مگاپاسکال) بیشتر است. علاوه بر آن، افزودن سرم باعث انعطاف‌پذیری بیشتر و کاهش ترک‌خوردگی نیز شد (Ongpeng et al., 2020).



شکل ٦. مراحل تولید تخته زیستی (Khoo et al., 2020)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]
[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نوع مروری است که در آن اطلاعات جمع‌آوری‌شده طی مدت تقریبی دو سال، ازطریق جستجو کلیدواژه کامپوزیت‌های میسلیومی در منابع معتبر با دسترسی آزاد جمع‌آوری، تجزیه‌وتحلیل گردیده و به‌صورت یک مجموعه دسته‌بندی شده، به شناخت، روش تولید، مزایا و معایب، ویژگی‌های فیزیکی این کامپوزیت‌ها پرداخته شده است تا چهارچوب علمی اولیه در اختیار علاقه‌مندان به حوزه مواد زیستی قرار گیرد. همچنین مؤلفه‌های کارآفرینی و گردشگری در مناطق روستایی و پتانسیل تولید این مواد به‌عنوان راهکاری برای توسعه پایدار مناطق روستایی نیز موردبررسی قرار گرفته است تا علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی، راهکارهای عملی به‌کارگیری در محیط‌های واقعی و پتانسیل‌های کاربردی آن‌ها نیز موردتوجه قرار گیرد.

یافته‌های پژوهش

در دهه اخیر، تحقیقات بر روی مواد میسلیومی با شتاب قابل‌توجهی گسترش یافته و انواع مختلفی از این مواد با روش‌های متنوع تولید و آزمایش شده‌اند. کامپوزیت‌های میسلیومی ازنظر وزنی سبک‌تر از تمامی محصولات چوبی بوده و با فوم‌های مصنوعی رقابت‌پذیر هستند. مقاومت کششی و خمشی آن‌ها مشابه فوم پلی‌استایرن است، هرچند در مقایسه با پلی‌اورتان و چوب در حالت اولیه ضعیف‌ترند. ازنظر ایمنی در برابر آتش، عملکرد بهتری نسبت به فوم‌های مصنوعی دارند و در کاربردهای عایق، جایگزین مناسبی محسوب می‌شوند. همچنین، ازلحاظ عملکرد صوتی نیز در مقایسه با فوم‌ها و چوب‌های عمل‌آوری‌نشده، نتایج مطلوبی نشان داده‌اند (Jones et al., 2020). علاوه بر این ویژگی‌ها، زیست‌تخریب‌پذیری این مواد نقش مهمی در جایگزینی آن‌ها با موادی مانند پلی‌استایرن ایفا می‌کند، زیرا استفاده از مواد پایدار راهکاری مؤثر برای کاهش آلودگی محیط‌زیست است.

در پاسخ به سؤال مطرح‌شده در این پژوهش، باید بیان داشت گرچه کامپوزیت‌های بر پایه میسلیوم در حال حاضر دارای عیب‌هایی هستند که کاربرد آن‌ها را محدود و دشوار می‌کند، اما باتوجه‌به بررسی مؤلفه‌های کارآفرینی و گردشگری، ظرفیت موجود در بخش کشاورزی، چوب‌بری و پرورش قارچ در مناطق روستایی و همچنین وجود برخی روش‌های ساده در تولید این مواد، با در نظر گرفتن مزایای زیست‌محیطی آن‌ها، می‌توان چشم‌اندازی مثبت جهت استفاده از پتانسیل این مواد در راستای توسعه پایدار مناطق روستایی ترسیم نمود، به‌این‌ترتیب که در فرایند تولید، مواد بازیافتی و محصولات جانبی با بهره‌گیری از رشد طبیعی قارچ، به مواد باارزش‌تر و زیست‌تخریب‌پذیر تبدیل می‌شوند و در پایان عمر طبیعی خود در طی چند ماه به‌راحتی در باغ کمپوست شده و می‌تواند جبران‌کننده نقص‌های این مواد باشد (Jones et al., 2020).

نتیجه‌گیری

پژوهش بر روی کامپوزیت‌های میسلیومی به دلیل ناشناخته بودن بسیاری از ظرفیت‌ها و چالش‌های فناورانه، همچنان درحال‌توسعه است. مطالعاتی که تاکنون انجام شده اطلاعات ارزشمندی درباره ویژگی‌های این مواد و عوامل مؤثر در فرایند تولید آن‌ها ارائه کرده‌اند و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که خواص این نوع مواد را می‌توان ازطریق انتخاب بستر مناسب، گونه قارچی، شرایط رشد و نوع پردازش پس از رشد، متناسب با کاربردهای مختلف، تنظیم کرد. گرچه تنوع زیاد پارامترها، تولید این مواد را پیچیده می‌سازد؛ اما روش‌های ساده‌تری نیز برای تولید کارگاهی و در راستای توسعه پایدار و اقتصاد چرخشی پیشنهاد شده است. این کامپوزیت‌ها با ویژگی‌هایی مشابه فوم پلی‌استایرن و تخته‌های MDF، از مزایایی از قبیل استفاده از منابع تجدیدپذیر، مصرف انرژی پایین و حذف مواد مضر برخوردارند و در مقابل، جذب آب بالا، ضعف مکانیکی و ناپایداری اولیه محدودیت‌هایی است که نیازمند تحقیق و بهبود یافتن هستند.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

References

A.K. Roy. (2017). *Principles of Textile Finishing*. Woodhead Publishing, Cambridge, U.K.

Abbasi, M. J., Sajadi, Zh., Abdollahi, A., & Razavian, M. T. (2020). Explaining the factors affecting the development of rural tourism entrepreneurship in Iran. *Tourism Management Studies*, 15(52), 1–26. (in Persian)

Abhijith, R., Ashok, A., & Rejeesh, C. R. (2018). Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: A review. *Materials Today: Proceedings*, *5*(1), 2139–2145. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.211

Ahmad, N., & Hoffman, H. (2007). *A Framework Addressing and Measuring Entrepreneurship*. Paris: OECD Entrepreneurship Indicarors Steering Group

Alhorr, H. S., Moore, C. B., & Payne, G. T. (2008). The impact of economic integration on cross–border venture capital investments: evidence from the European Union. *Entrepreneurship Theory and Practice*, *32*(5), 897-917.

Anbari, M. (2008). Analysis of new issues and shortcomings in the sociology of rural development in Iran. *Village and Development*, 11(1), 1–33. (in Persian)

Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials and Design*, *161*, 64–71. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027

Appels, F. V. W., Dijksterhuis, J., Lukasiewicz, C. E., Jansen, K. M. B., Wösten, H. A. B., & Krijgsheld, P. (2018). Hydrophobin gene deletion and environmental growth conditions impact mechanical properties of mycelium by affecting the density of the material. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–8. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23171-2

Appels, F. V. W., & Wösten, H. A. B. (2021). Mycelium Materials. *Encyclopedia of Mycology*, *January*, 710–718. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809633-8.21131-x

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, *4*, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002

Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon, D. (2018). *Materials Engineering, Science, Processing and Design* (4th ed.). Elsevier Science.

Azizi Damircheloo, A. (2012). Modern rural management: A strategy for achieving rural entrepreneurship. *National Conference on Rural Development*. (in Persian)

Babrauskas, V., Levin, B. C., Gann, R. G., Paabo, M., Harris, R. H., Peacock, R. D., & Yusa, S. (1992). Toxic potency measurement for fire hazard analysis. *Fire Technology*, *28*(2), 163–167. https://doi.org/10.1007/BF01857942

Babrauskas, V., & Peacock, D. R. (1992). Heat release rate: the single most important parameter in fire hazard. *Fire Safety Journal*, *18*, 255–272.

Bajwa, D. S., Holt, G. A., Bajwa, S. G., Duke, S. E., & McIntyre, G. (2017). Enhancement of termite (Reticulitermes flavipes L.) resistance in mycelium reinforced biofiber-composites. *Industrial Crops and Products*, *107*(June), 420–426. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.032

Bamba, Y., Ogawa, Y., Saito, T., Berglund, L. A., & Isogai, A. (2017). Estimating the Strength of Single Chitin Nanofibrils via Sonication-Induced Fragmentation. *Biomacromolecules*, *18*(12), 4405–4410. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.7b01467

Bartnicki Garcia, S. (1968). Cell Wall Chemistry , Morphogenesis ,. *Annual Review of Microbiology*, 87–108.

Bayer, E., & Gavin, R. (2016). *Method for growing mycological materials* (Patent No. US20150247115A1). https://patents.google.com/patent/US20150247115A1/en

Bodîrlău, R., Teacă, C. A., & Spiridon, I. (2008). Chemical modification of beech wood: Effect on thermal stability. *BioResources*, *3*(3), 789–800. https://doi.org/10.15376/biores.3.3.789-800

Bruin, S. De. (2018). *Faculty of Architecture & the Built Environment , Delft University of Technology, Netherlands*. *2008*, 1–30.

Carlile, M. J., Watkinson, S. C., & Gooday, G. W. (2001). *The Fungi* (2nd ed). Academic.

Castagnède, B., Aknine, A., Brouard, B., & Tarnow, V. (2000). Effects of compression on the sound

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

absorption of fibrous materials. *Applied Acoustics*, *61*(2), 173–182. https://doi.org/10.1016/S0003-682X(00)00003-7

Collet, F., & Pretot, S. (2014). Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content. *Construction and Building Materials*, *65*, 612–619. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.039

Dicker, M. P. M., Duckworth, P. F., Baker, A. B., Francois, G., Hazzard, M. K., & Weaver, P. M. (2014). Green composites: A review of material attributes and complementary applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *56*, 280–289. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.10.014

Elsacker, E., Brussel, V. U., Vandelook, S., Brussel, V. U., Brussel, V. U., Ruytinx, J., & Brussel, V. U. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment*, *725*(4). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138431

Elsacker, E., Vandelook, S., Brancart, J., Peeters, E., & De Laet, L. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS ONE*, *14*(7), 1–20. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, *37*(11), 1552–1596. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003

Ghanian, M., Khani, F., & Baghaei, L. (2011). Evaluating the entrepreneurial environment in rural tourism (Case study: Uraman region). *Rural Research Quarterly*, 2(3) (Issue 7), 99–123. (in Persian)

Ghosh, T. (2019). *Developing a composite mycelium-glass brick unit. University of Oklahoma, United States*.

Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(2). https://doi.org/10.3390/su11010281

Greyson, J. (2007). An economic instrument for zero waste, economic growth and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *15*(13–14), 1382–1390. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.019

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*, *7*(December 2016), 1–11. https://doi.org/10.1038/srep41292

Hebel, D. E., & Heisel, F. (2017). CULTIVATED BUILDING MATERIALS Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699. https://doi.org/10.1515/9783035608922-CITATIONS

Hirschler, M. M. (1987). Fire Hazard and Toxic Potency of the Smoke from Burning Materials. *Journal of Fire Sciences*, *5*(5), 289–307. https://doi.org/10.1177/073490418700500501

Holt, G. A., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., & Pelletier, M. G. (2012). Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material: Evaluation study of select blends of cotton byproducts. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, *6*(4), 431–439. https://doi.org/10.1166/jbmb.2012.1241

Ibrar, M., Ullah, M. W., Manan, S., Farooq, U., Rafiq, M., & Hasan, F. (2020). Fungi from the extremes of life: an untapped treasure for bioactive compounds. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *104*(7), 2777–2801. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10399-0

Isenberg, D. (2011).The entrepreneurship ecosystem Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: A review of four sandwich-structure biocomposites: Resin transfer molding (RTM) process, flexural properties, and simulation. *Journal of Cleaner Production*, *207*, 123–135. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.255

Izadi, A., & Ghanbari, S. (2021). Agricultural entrepreneurship and rural development (Case study: Rashtkhar rural district). *Village and Space Sustainable Development*, 2(1) (Issue 5), 19–38. (in Persian)

Jones, M., Bhat, T., Huynh, T., Kandare, E., Yuen, R., Wang, C. H., & John, S. (2018). Waste-derived low-cost mycelium composite construction materials with improved fire safety. *Fire and Materials*,

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]

42(7), 816–825. https://doi.org/10.1002/fam.2637

Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F., & John, S. (2017). Mycelium composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics. *Journal of Bionanoscience*, *11*(4), 241–257. https://doi.org/10.1166/jbns.2017.1440

Jones, Mitchell Peter. (2019). Waste-derived Mycelium Materials for Non-structural and Semi-structural Applications. RMIT University.

Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials and Design*, *187*(December). https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397

Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., & Schösler, H. (2016). Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability (Switzerland)*, *8*(1), 1–14. https://doi.org/10.3390/su8010069

Kadoya, K., Matsunaga, N., & Nagashima, A. (1985). Viscosity and Thermal Conductivity of Dry Air in the Gaseous Phase. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, *14*(4), 947–970. https://doi.org/10.1063/1.555744

Karimjee, M. Z. (2014). *Biodegradable Architecture. Carleton University, Canada*.

Khoo, S. C., Peng, W. X., Yang, Y., Ge, S. B., Soon, C. F., Sonne, C., Ma, N. L., & Sonne, C. (2020). Development of formaldehyde-free bio-board produced from mushroom mycelium and substrate waste. *Journal of Hazardous Materials*, *April*, 123296. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123296

López Nava, J. A., Méndez González, J., Ruelas Chacón, X., & Nájera Luna, J. A. (2016). Assessment of Edible Fungi and Films Bio-Based Material Simulating Expanded Polystyrene. *Materials and Manufacturing Processes*, *31*(8), 1085–1090. https://doi.org/10.1080/10426914.2015.1070420

Lu, T., Liu, S., Jiang, M., Xu, X., Wang, Y., Wang, Z., Gou, J., Hui, D., & Zhou, Z. (2014). Effects of modifications of bamboo cellulose fibers on the improved mechanical properties of cellulose reinforced poly(lactic acid) composites. *Composites Part B: Engineering*, *62*, 191–197. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.02.030

Ongpeng, J. M. C., Inciong, E., Sendo, V., Soliman, C., & Siggaoat, A. (2020). Using waste in producing bio-composite mycelium bricks. *Applied Sciences*

Parikh, H. H., & Gohil, P. P. (2015). Tribology of fiber reinforced polymer matrix composites - A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *34*(16), 1340–1346. https://doi.org/10.1177/0731684415591199

Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Bayer, E., & McIntyre, G. (2013). An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates. *Industrial Crops and Products*, *51*, 480–485. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.008

Stevenson, L., & Lundstorm, A. (2005).Entrepreneurship policy, Theory and practice", International studies in Entrepreneurship series,9, New YORK: Springer.

Van Wylick, A., Elsacker, E., Yap, L. L., Peeters, E., & de Laet, L. (2022). Mycelium Composites and their Biodegradability: An Exploration on the Disintegration of Mycelium-Based Materials in Soil. *Bio-Based Building Materials*, *1*(November 2021), 652–659. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/cta.1.652

Vidal-Diez de Ulzurrun, G., Baetens, J. M., Van den Bulcke, J., & De Baets, B. (2017). Modelling three-dimensional fungal growth in response to environmental stimuli. *Journal of Theoretical Biology*, *414*, 35–49. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2016.11.020

Wikipedia. (2021). *Cradle-to-cradle design*. https://en.wikipedia.org/wiki/Cradle-to-cradle_design

Yang, Z. (Joey), Zhang, F., Still, B., White, M., & Amstislavski, P. (2017). Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *29*(7), 04017030. https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001866

Ziaei, M., Mahmoudzadeh, S. M., & Shahi, T. (2017). Prioritizing factors influencing the implementation of green supply chain management in the tourism industry. *Geography and Development*, 15(46), 19–34. (in Persian)

Zolotovsky, K. (2017). *Guided Growth: Design and Computation of Biologically Active Materials*. 135. http://insights.ovid.com/crossref?an=01241398-201709001-00008.

DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

[DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.93]