ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

A Review of Biological Studies and their Relation with Environmental Sustainability

Habib Shahhoseini, PhD.*
Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Hooman Zamani
MSc Student, Digital Architecture, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Paniz Mousavi Samimi
PhD Candidate, Environmental Design, Faculty of Architecture, Planning and Landscape, University of Calgary, Calgary, Canada

Received: April 16, 2023
Accepted: October 10, 2023
(Pages: 69-84)

Shahhoseini, H., Zamani, H., and Mousavi, P., 2024. A Review of Biological Studies and their Relation with Environmental Sustainability. *Soffeh* 34 (2): 69-84.

DOI: 10.48308/sofeh.2024.104642

Keywords:
Bio, Bioscience, Contemporary architecture, Environmental sustainability, Springer Publishers.

Abstract:
Today, human activities are the leading cause of severe environmental damages, especially regarding shortage and instability of natural resources. The sustainability concept was developed in response, to limit these risks and facilitate living conditions for future generations. Life and nature have historically been considered as inspiring in architecture among others, prompting an environmental-oriented sense of direction towards resolving present-day issues. Despite the proliferation of

CC BY

*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

*. Corresponding Author Email Address: habib_shh@iaut.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/sofeh.2024.104642

nature-inspired sciences, hardly any attention is paid to classifications and interconnections between these sciences regardless of benefits associated with such studies. However, the availability of such a classification and its use in present-day architecture can significantly contribute to the advancement of environmental sustainability.

The current research has identified and presented a comprehensive framework of sciences inspired by life and nature (bio) and their relationship. The research method is qualitative-descriptive and focuses on articles containing the word 'bio', published in Springer publishers between 2020 and 2022. The review of the 1927 articles have led to a classification of biological studies into 11 groups (bionic, biomimetic, biomorphic, biofuel (biodiesel, bioalcohol, bioethanol, biohydrogen, and biogas), biomaterial, biohybrid, bioaerosol, biotechnology, bioalgorithm (biodesign intelligence and biomaterial intelligence), bioart (bio-inspired design and biodecoration), biophilia (biophilic design) and the relationship between them environmental sustainability. The outcome is a development of the theoretical knowledge about bio-inspired sciences and indicates that international bioscience studies mainly focus on biofuels and biotechnology, along the lines of reducing human activities' impact on the environment, efficient use of natural resources, protect biodiversity, and a harmonious relationship between humans and the natural environment.

مروری بر مطالعات علوم زیستی و تبیین رابطهٔ آنها با پایداری محیطی

حبیب شاه‌حسینی[۱]

استادیار دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

هومن زمانی[۲]

پانیذ موسوی صمیمی[۳]

دریافت: ۲۷ فروردین ۱۴۰۲

پذیرش: ۱۸ مهر ۱۴۰۲

(صفحهٔ ۶۹ – ۸۴)

شاه‌حسینی، ح.، هـ زمانی، و پ. موسوی صمیمی. ۱۴۰۳. مروری بر مطالعات علوم زیستی و تبیین رابطهٔ آنها با پایداری محیطی. فصلنامهٔ علمی معماری و شهرسازی صـفه. ۳۴ (۲): ۶۹–۸۴.

کلیدواژگان: بیو، پایداری محیطی، علوم زیستی، معماری عصر حاضر، نشریات اسپرینگر.

چکیده

امروزه فعالیت‌های انسان‌ها عامل اصلی آسیب‌های متعددی، به‌ویژه از نظر فرسودگی و بی‌ثباتی منابع طبیعی، است که برای محدود کردن این خطراتْ مفهوم پایداری توسعه داده شده است. در طول تاریخ، زیست و طبیعت در علوم گوناگون، ازجمله معماری، منبع الهام دانسته شده و به نوآوری‌های علوم سمت‌وسوی پایداری بخشیده و عاملی برای حل مشکلات موجود بوده‌اند، به گونه‌ای که راه حل‌های مبتنی بر علوم زیستیْ منجر به توسعهٔ شاخه‌هایی از علوم جدید گشته که مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی امروز را شامل می‌شوند. با وجود اهمیت فراوان علومی که با تقلید و یا الهام از طبیعت شکل گرفته‌اند، تا کنون به دسته‌بندی این علوم و بررسی رابطهٔ بین آنها پرداخته نشده است، حال‌آنکه در دسترس بودن چنین دسته‌بندی‌ای و استفاده از آن در معماری عصر حاضر می‌تواند به چرخهٔ پایداری محیطی تداوم بخشد. در پژوهش حاضر به شناسایی و عرضهٔ یک چارچوب کاربردی از علوم الهام‌گرفته از زیست و ارتباط بین آنها با پایداری محیطی پرداخته شده است. روش تحقیق در مقالهٔ پیش رو کیفی ـ توصیفی و مرور همهٔ مقالات منتشرشده در ۱۱ نشریهٔ اسپرینگر طی سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۲ با کلیدواژهٔ Bio (زیست) است. ارزیابی محوریت موضوعی ۱۹۲۷ مقالهٔ استخراج‌شده منجر به دسته‌بندی در ۱۱ گروه مطالعات زیستی شامل بیونیک، بیومیمیتیک، بیومورفیک، بیوسوخت (بیودیزل، بیوالکل، بیواتانول، بیوهیدروژن، و بیوگاز)، بیومتریال، بیوهیبرید، بیوآئروسل، بیوفناوری، بیوالگوریتم (هوش بیوطراحی و هوش بیو متریال)، بیوهنر (طراحی الهام زیستی و بیودکوراسیون)، بیوفیلیا (طراحی بیوفیلیک) و ارتباط بین آنها با پایداری محیطی شده است. برون‌داد پژوهش حاضر شامل مبحث توسعهٔ دانش نظری در باب علوم الهام‌گرفته از زیست است و نتایجْ حاکی از تمرکز مطالعات بین‌المللی علوم زیستی بر بیوسوخت و بیوفناوری در راستای کاهش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست، استفادهٔ حداقل و کارآمد از منابع طبیعی، محافظت از تنوع زیستی، تأمین منابع پایدار، و برقراری ارتباط سازگار بین انسان و محیط طبیعی است.

مقدمه

تحولات علمی و فناوری در قرن بیست و یکم منجر به تغییرات عمده‌ای در بسیاری از زمینه‌های پزشکی، مهندسی، و علوم پایه و ایجاد زمینه‌های تحقیقاتی جدید شده که ازجملهٔ آنها رجوع به علم

۱. نویسندهٔ مسئول

habib_shh@iaut.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دیجیتال، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

hoomanzamani@outlook.com

۳. دانشجوی دکتری طراحی محیطی، دانشکدهٔ معماری، برنامه‌ریزی و منظر، دانشگاه کلگری، کلگری، کانادا

panizmousavi@gmail.com

*. Corresponding Author Email Address: habib_shh@iaut.ac.ir

http://dx.doi.org/10.48308/sofeh.2024.104642

*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پرسش تحقیق

بسامد تکرار محوریت موضوعی علوم الهام‌گرفته از زیست (بیو) و ارتباط آنها با مباحث پایداری محیطی در نشریات اسپرینگر در بازهٔ زمانی سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۲ به چه صورت است؟

زیست‌شناسی است؛[۴] امروزه بشر برای حل بسیاری از مسائل خود به طبیعت مراجعه می‌کند و با الهام و یا تقلید از قوانین و ساختارهای مختلف طبیعت و ارگانیزم‌های زنده، و یا استفادهٔ مستقیم از آنها، به طراحی و ساخت تجهیزات مختلف و حل مشکلات آنها می‌پردازد.[۵] بررسی کارکردهای سیستم‌های بیولوژیکی پایهٔ اصلی تسهیل انتقال جنبه‌های سودمند از زیست‌شناسی به فناوری است.[۶]

امروزه فعالیت‌های بشری بسیار ناپایدار و عامل اصلی آسیب‌های شدیدی، به‌ویژه از نظر فرسودگی و بی‌ثباتی منابع طبیعی، است.[۷] برای محدود کردن این خطرات و تسهیل شرایط زندگی برای نسل‌های آینده، مفهوم پایداری محیط زیست و یا پایداری محیطی توسعه داده شده است که برقراری تعادل بین نیازهای انسانی و حفاظت از محیط زیست را تضمین می کند[۸] و شامل سطوح مختلفی مانند اقتصاد، جوامع انسانی، کشاورزی، صنعت، انرژی، و منابع طبیعی و محیط زیست است.[۹] در مبحث پایداری محیطی بر کاهش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست، حفظ منابع طبیعی، استفادهٔ کارآمد از منابع بومی، کاهش آلودگی و تغییرات آب‌وهوا، محافظت از تنوع زیستی و تأمین منابع پایدار ازجمله آب، هوا، و خاک تأکید می‌شود[۱۰]، هدف اصلی در این زمینه، ایجاد زندگی مناسب و حفظ منابع برای نسل‌های آینده است.

اگرچه طبیعت شامل مجموعه‌ای کاملاً قابل‌درک از الگوهای مبتنی بر پایداری محیطی نیست، اما بدون شک در طول تاریخ، از آن با عنوان منبع الهام در زمینه پایداری یاد می‌شود.[۱۱] پایداری محیطی یک مفهوم ساخت بشر و الهام گرفته‌شده از طبیعت است، ازاین‌رو مفاهیم زیست ـ الهام و پایداری با هم سازگار هستند[۱۲] و جنبه‌های مختلفی از کالبد معماری و شهرسازی تا مفاهیم و الگوهای اجتماعی و فرهنگی را در بر می‌گیرد.[۱۳]

در مطالعات معماری حال حاضر بر نشریات علمی ـ پژوهشی، بر عرصه‌های پایداری محیطی نسبت به سایر مباحث کمتر تمرکز و بررسی شده و این خود نیازمند مطالعات گسترده‌تری است که از طریق بررسی علوم زیستی انجام می‌پذیرد. مفهوم راه حل‌های مبتنی بر علم زیست‌شناسی، به معنای طراحی با ایده‌گیری از طبیعت، یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی امروز است، و با وجود اهمیت فراوان علومی که با تقلید و یا الهام از طبیعت و ارگانیزم‌های زنده

4. S.A. Selçuk and G. Mutlu Avinç, "On Strengthening the Interest of Architecture Students in Bio-inFormed Solutions: A Systematic Approach for Learning from Nature", *Sustainability*, 13 (2021): 2138.

5. A. Baldussu, "A Problem Solving Methodology for the Development of Bio-inspired Products; Systematic Use of Natural Design Principles for Designers without Biological Knowledge", The PHD thesis from Politecnico di Milano Design Department Doctoral Programme in Design, 2014.

6. M. Dou, et al., "Bioinspired Materials and Technology for Advanced Cryopreservation", *Trends in Biotechnology*, 40(1) (2021): 93-106.

7. V. Dagar, et al., "Impact of Renewable Energy Consumption, Financial Development and Natural ReSources on Environmental Degradation in OECD Countries with Dynamic Panel Data", *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (2022): 18202-18212.

8. A. Jahanger, et al., "The Linkages between Natural ReSources, Human Capital, Globalization, Economic Growth, Financial Development, ←

توسعه یافته‌اند، تا کنون مطالعه‌ای در دسته‌بندی این علوم و بررسی رابطهٔ بین آنها و پایداری محیطی نشده است. ازاین‌رو هدف در پژوهش حاضرْ بررسی مطالعات جدید بین‌المللی به‌منظور عرضهٔ یک چارچوب کاربردی از علوم ملهم از زیست و ارتباط بین آنها با مباحث پایداری محیطی است. به‌طوری‌که پژوهشگران حوزهٔ علوم زیستی با مراجعه به این چارچوب بتوانند مطالعاتی در موضوع پایداری محیطی داشته باشند.

۱. روش تحقیق

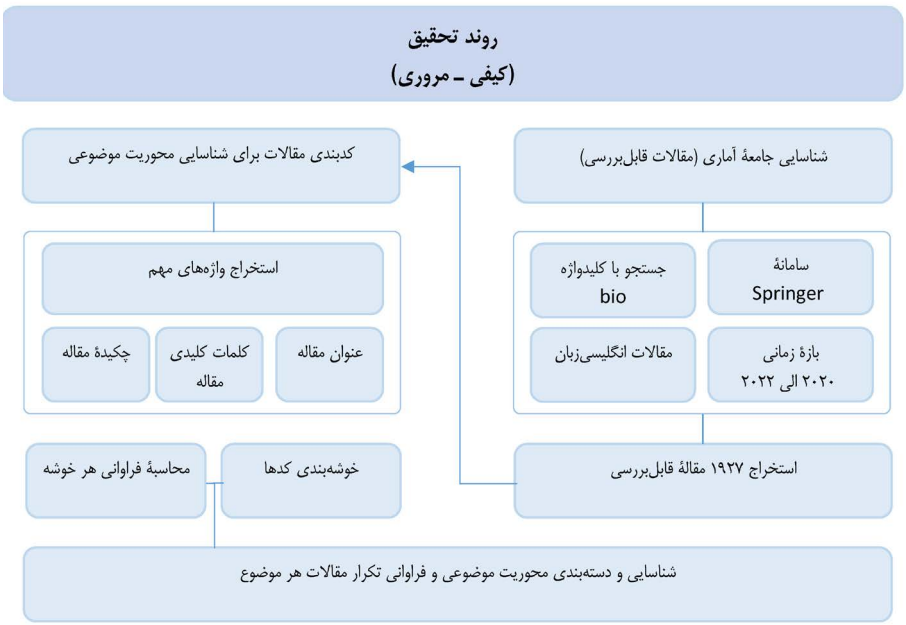
پژوهش حاضر به‌منظور رسیدن به یک چارچوب جامع از علوم الهام‌گرفته از زیست و ارگانیزم‌های زنده و رابطهٔ بین آنها و پایداری محیطی، به صورت کیفی ـ مروری انجام می‌شود و از نظر روش تحلیلْ کدگذاری و توصیفی و از لحاظ هدف مرور نظریه است. مطالعهٔ مروری به‌صورت جمع‌آوری اطلاعات از طریق جستجوی کلیدواژه در پایگاه داده‌هاست.[۱۴] از گذشته تا کنون نیز پژوهشگران در حوزه‌های فناوری داده‌ها[۱۵]، محیط زیست[۱۶]، و پایداری محیطی[۱۷] مطالعات گسترده‌ای انجام داده‌اند که گواهی بر اهمیت بالای این روش است. برای بررسی محوریت موضوعی از روش کدبندی که شامل شناسایی کلمات اصلی و دسته‌بندی آنهاست، استفاده شده است.[۱۸] کدگذاری در پژوهش کیفی یک عمل تفسیری و یک کد معمولاً یک کلمه با یک گزارهٔ کوتاه است که مشخصه‌ای بارز از یک دسته‌بندی دارد.[۱۹]

بدین‌صورت که در مطالعهٔ حاضر، در ابتدا در سامانهٔ اسپرینگر، با محدود کردن سال‌ها به بازهٔ زمانی ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۲ و محدود کردن زبان به انگلیسی، کلمهٔ Bio جستجو شد و ۱۹۲۷ مقاله جامعهٔ آماری پژوهش را تشکیل دادند و مقاله‌های قابل‌بررسی استخراج شدند. سپس نشریه‌های آن مقالات و تعداد مقالات چاپ‌شده در هرکدام مشخص گردید.

برای بررسی مقالات از نظر محوریت موضوعی، ابتدا عناوین، کلمات کلیدی، و چکیدهٔ مقالاتْ بررسی و تحلیل و واژه‌های مهم آنها استخراج و کدبندی شده‌اند. سپس کدهای مشابه و نزدیک به هم با یکدیگر ترکیب شده و در یک خوشه قرار گرفته‌اند. برای هر خوشه، با توجه به کدهای مندرج در آن خوشه، یک نام مناسب انتخاب شد و به‌این‌ترتیب محوریت موضوعی مقالات شناسایی و در ۱۱ گروه دسته‌بندی گردیدند. این رویکرد کدبندی و تجزیه‌وتحلیل مقالات به ارتقای دقت و سازماندهی بررسی‌های تحقیقاتی کمک می‌کند و امکان مطالعهٔ آسان‌تر و تفسیر بهتر مقالات موجود را فراهم می‌کند (ت ۱ و جدول‌های ۱ و ۲).

۲. مبانی نظری

مطالعات عرصهٔ علوم زیستی شامل ۱۱ دستهٔ بیونیک،



ت ۱. روند انجام پژوهش، تدوین: نگارندگان.

→ and Ecological Footprint: The Moderating Role of Technological Innovations", *Resources Policy*, vol. 76 (2022): 102569.

9. G.W. Misiaszek and C. Rodrigues, "Six Critical Questions for Teaching Justice-based Environmental Sustainability (JBES) in Higher Education", *Teaching in Higher Education*, 28 (2023): 211-219.

بیومیمیتیک، بیومورفیک، بیوسوخت، بیومتریال، بیوهیبرید، بیوآئروسل، بیو فناوری، بیوالگوریتم، بیوهنر، بیوفیلیا بوده که بیوسوخت شامل بیودیزل، بیوالکل، بیواتانول، بیوهیدروژن، و بیوگاز؛ و بیوالگوریتم شامل هوش بیوطراحی و هوش بیو متریال؛ بیوهنر شامل طراحی الهام زیستی و بیودکوراسیون؛ و بیوفیلیا شامل طراحی بیوفیلیک است. در ادامه به‌طور جداگانه هریک از اینها و ارتباطشان با پایداری محیطی تشریح شده است.

۲ . ۱. بیونیک[۲۰] (کاربرد و راه حل)

علم بیونیک را مطالعهٔ اصول و سیستم‌های ساخت‌وساز موجودات زنده و بررسی چگونگی کاربرد آن در شناخت راه حل‌های تکنولوژیکی تعریف می‌کنند.[۲۱] در راستای کاهش دخالت‌های انسانی در طبیعت و با الهام و یا تقلید از قوانین و ساختارهای مختلف طبیعت و یا استفادهٔ مستقیم از مواد موجود در آن، تعریف علم بیونیک طراحی و ساخت تجهیزات مختلف و حل مشکلات آنهاست.[۲۲] الهام از نوع راه رفتن حیوانات برای طراحی ربات‌ها (کاربرد بیونیک در علم رباتیک)[۲۳]، ایده از فرم اشک برای طراحی آیرودینامیک خودروی تویوتا پریوس (کاربرد بیونیک در علم آیرودینامیک)[۲۴]، الهام از بازتاب نور چشم گربه در طراحی چراغ‌های چشم گربه‌ای در جاده‌های برون‌شهری (کاربرد بیونیک

مقاله	کد استخراج‌شده (از عنوان، کلمات کلیدی، و چکیده)	شناسایی محور موضوعی: خوشه‌بندی اولیهٔ کدها	شناسایی محور موضوعی: خوشه‌بندی نهایی کدها
M. Aggarwal and N. Remya, "The State-of-the-Art Production of Biofuel from Microalgae with Simultaneous Wastewater Treatment: Influence of Process Variables on Biofuel Yield and Production Cost", Bioenergy Research, 1(15) (2022): 62-76.	Biofuel	بیوسوخت	بیوسوخت
O. Farobie, and E. Hartulistiyoso, "Palm Oil BioDiesel as a Renewable Energy ReSource in Indonesia: Current Status and Challenges", Bioenergy Research, 2022, 1-19.	Biodiesel	بیودیزل	بیوسوخت
G. Barbiero, et al., "Bracing Biophilia: When Biophilic Design Promotes Pupil's Attentional PerFormance, Perceived Restorativeness and Affiliation with Nature", Environment, Development and Sustainability, 2021, 1-15.	Biophilia Biophilic	طراحی بیوفیلیک	بیوفیلیا
W. Zhou, and Z. Fu, "Adoption of Bio-image Technology on Rehabilitation Intervention of Sports Injury of Golf", The Journal of Supercomputing, 77 (2021): 11310-11327.	Bio-image technology	بیوفناوری	بیوفناوری
J. Zhang, et al., "Bio-organic Adaptive Photonic Crystals Enable Supramolecular Solvatochromism", Nano Research, 1-6 (2022).	Bio-organic	بیومتریال	بیومتریال
M.R. Thomsen, "Correction: Computational Design Logics for Bio-based Design", Architectural Intelligence, 1(1) (2022).	Bio-based Design	طراحی الهام‌زیستی	بیوهنر
S. Zhang, et al., "Bioinspired Asymmetric Amphiphilic Surface for Triboelectric Enhanced Efficient Water Harvesting", Nature Communications, vol. 13, no. 1 (2022).	Bio-Ethanol	بیواتانول	بیوسوخت
V. Filippov, et al., "A Biomorphic Neuron Model and Principles of Designing a Neural Network with Memristor Synapses for a Biomorphic Neuroprocessor". Neural Computing and Applications, no. 32 (2020): 2471-2485.	Biomorphic	بیومورفیک	بیومورفیک
A.N. Melkozernov and V. Sorensen, "What Drives Bio-art in the Twenty-first Century? Sources of Innovations and Cultural Implications in Bio-art/Biodesign and Biotechnology", AI & SOCIETY, 36 (2021): 1313-1321.	Bio-art, BioDesign	بیوهنر	بیوهنر
S. Sonkaria and V. Khare, "Exploring the Landscape between Synthetic and Biosynthetic Materials Discovery: Important Considerations via Systems Connectivity, Cooperation and Scale-driven Convergence in Biomanufacturing", Biomanufacturing Reviews, 5 (2020): 1-23.	Biosynthetic Materials	بیومتریال	بیومتریال

جدول ۱. مثال برای کدگذاری مقالات استخراج‌شده، تدوین: نگارندگان.

10. R. Horn, et al., "Bio-inspired Sustainability Assessment for Building Product Development—Concept and Case Study", *Sustainability*, 10(1) (2018): 130; M. Kamali, et al., "Biochar for Soil Applications-Sustainability Aspects, Challenges and Future Prospects", *Chemical Engineering Journal*, 428 (2022): 131189.

11. J. Reap, et al., "Holism, Biomimicry and Sustainable Engineering", in ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, vol. 42185, 2005, 423-431.

12. R. Horn, et al., "Bio-inspired Sustainability Assessment – A Conceptual Framework". in Biomimetic Research for Architecture and Building Construction, Chapter 18, 2016, 361-377.

۱۳. آتوسا اعظم کثیری و مریم آقازاده، «رمزگشایی نشانه‌ها در ساختار و تزیینات معماری کلیسای سنت استپان با رویکرد تداوم پایداری فرهنگی»، *نشریه معماری و شهرسازی پایدار*، دورهٔ ۱۰، ش. ۱ (۱۴۰۱): ۲۱–۳۸.

در طراحی)[۲۵]، و طرح اولیهٔ برج تورنینگ تورسو با الهام گرفتن از فرم ستون فقرات و بدن انسان در حال چرخش نود درجه (کاربرد بیونیک در معماری)[۲۶] از نمونه‌های کاربردی بیونیک هستند.

۲ . ۲. بیومیمیتیک[۲۷]

بیومیمیتیک یا زیست‌تقلید زیرمجموعه‌ای از علم گستردهٔ بیونیک محسوب می‌شود و شامل تقلید صرف (و نه الهام) از مدل‌ها، سیستم‌ها، و عناصر طبیعت به‌منظور حل مشکلات پیچیدهٔ انسان و هدف آن کاهش تأثیرات فعالیت‌های انسان‌ها در طبیعت است.[۲۸] ساختارها و مواد موجودات زنده با سازگاری مناسب در طول زمان از طریق انتخاب طبیعی تکامل می‌یابند و زیست‌تقلید در بسیاری از زمینه‌ها همچون معماری[۲۹]، مصالح[۳۰]، رباتیک[۳۱]، و علم کشارزی[۳۲] استفاده می‌شود. زیست‌تقلید در مراحل مختلف توسعه شامل فناوری‌هایی که قادر به تجاری شدن هستند تا مدل‌های پیش‌الگو و نمونه‌های اولیه کاربرد دارد.[۳۳]

۲ . ۳. بیومورفیک[۳۴] (طراحی مواد و غیره)

بیومورفیک، یا همان تجربهٔ غیرمستقیم طبیعت، به طرح‌هایی گفته می‌شود که، با تقلید و یا الهام از اشکال الگوها و فرم‌های طبیعی یا بیولوژیکی، انسان را به طبیعت متصل می‌کنند.[۳۵] اگرچه طرح‌های بیومورفیک را می‌توان زیرمجموعه‌ای از طرح‌های بیوفیلیک محسوب کرد، اما اساس بیومورفیک بر پایهٔ تقلید از اشکال و فرم‌های طبیعی است و هدف بیوفیلیک ترکیب عناصر طبیعی همچون گیاهان، نور طبیعی، و آب در طرح‌ها و تشویق به حفاظت و استفادهٔ حداقل از منابع است.[۳۶] بیومورفیک را می‌توان در دو بعد «تشابه و کاربرد» بررسی کرد؛ بُعد تشابهْ استفادهٔ عینی از فرم بدن حیوانات برای طراحی و بُعد کاربرد برای رسیدن به راهبردهای فنی و عملی طراحی با الهام از موجودات زنده است[۳۷] و استفاده از فرم بدن پرندگان برای ایرودینامیک بدنهٔ هواپیما و بال‌هایش، نمونهٔ بارزی از بعد کاربردی بیومورفیک است.[۳۸]

۲ . ۴. بیوسوخت[۳۹]

استفاده از سوخت‌های فسیلی ناپایدار است و باعث مسائل زیست‌محیطی می‌شود،[۴۰] ازاین‌رو، سوخت‌های فسیلی با منابع انرژی تجدیدپذیر و پایدار مانند بیوسوخت‌ها که سازگار با محیط زیست هستند جانشین سوخت‌های فسیلی می‌شوند.[۴۱] بیوسوخت‌ها، یا مواد شیمیایی که با انرژی غنی شده‌اند، از طریق فرایندهای بیولوژیکی تولیدشده یا از زیست تودهٔ موجودات زنده، مانند ریزجلبک‌ها، گیاهان، و باکتری‌ها، به‌دست می‌آیند.[۴۲]

۲ . ۴ . ۱. بیودیزل[۴۳]

اتیل استات یا متیل استر تولیدشده از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانیْ سوخت موتورهای دیزل یا سیستم‌های حرارتی هستند[۴۴] که علاوه بر روغن تازه، از روغن پسماند هم می‌توان برای تولید آن استفاده کرد.[۴۵] استفاده از بیودیزل

محوریت موضوع	نشریه
بیونیک	Bionic Engineering
بیومیمیتیک	Robotics and Biomimetics
بیومورفیک	Physics of the Solid State
بیوسوخت	Bioenergy Research
بیومتریال	Pattern Analysis and Applications
بیوهیبرید	Nano Convergence
بیوآئروسل	Tropical Diseases, Travel Medicine and Vaccines
بیوفناوری	Commercial BioTechnology
بیو الگوریتم	Ambient Intelligence and Humanized Computing
بیوهنر	Bio-Design and Manufacturing
بیوفیلیا	Environment, Development and Sustainability

جدول ۲. محوریت موضوعی شناسایی شده و نشریات مورد بررسی اسپرینگر، تدوین: نگارندگان.

14. J. Popay, et al., "Rationale and Standards for the Systematic Review of Qualitative Literature in Health Services Research", *Qualitative Health Research*, 8 (1998): 341-351.

15. C. Chen, "Science Mapping: a Systematic Review of the Literature", *Journal of Data and InFormation Science*, 2(2) (2017): 1-40.

16. G. Owen, "What Makes Climate Change Adaptation Effective? A Systematic Review of the Literature", *Global Environmental Change*, 62 (2020): 102071.

17. T. Yigitcanlar, et al., "Can Cities Become Smart without Being Sustainable? A Systematic Review of the Literature", *Sustainable Cities and Society*, 45 (2019): 348-365.

18. P. Vaughn, and C. Turner, "Decoding via Coding: Analyzing Qualitative Text Data through Thematic Coding and Survey Methodologies", *Journal of Library Administration*, 56 (2016): 41-51.

19. B.-M. Lindgren, et al., "Abstraction and Interpretation during the Qualitative Content ←

باعث کاهش اساسی در میزان CO، NOX ، SOX [۴۶] و ذرات ریز معلق PM می‌گردد.[۴۷] اخیراً توجه خاصی به بیودیزل به‌منزلهٔ سوختی با آلودگی کم و تجدیدپذیر شده که در بین منابع مختلف تولید آن، جلبک دارای جایگاه ویژه‌ای است.[۴۸] در این خصوص، سویا[۴۹]، پسماند روغن‌های گیاهی[۵۰]، پسماند روغن‌های پخت‌وپز[۵۱]، و روغن‌های گیاهی غیرخوراکی[۵۲] را می‌توان از منابع بالقوهٔ بیودیزل نام برد.

۲ . ۴ . ۲. بیوالکل[۵۳]

بیوالکل برای چندین دهه منبع سوخت بوده[۵۴] و امروزه یک جانشین غیرفسیلی برای سوخت وسیله‌های حمل‌ونقل است.[۵۵] منبع اصلی بیوالکل‌ها مواد گیاهی حاوی نشاسته و قندهای فراوان ازجمله محصولات غلات و نیشکر است.[۵۶] فرایندهای تخمیر و تقطیر در تولید بیوالکل نیاز به تبدیل زیست‌تودهٔ سلولزی به قند دارند و اتانول رایج‌ترین الکل زیستی است.[۵۷]

۲ . ۴ . ۳. بیواتانول[۵۸]

منابع مختلفی همچون ضایعات کشاورزی، زیست‌تودهٔ لیگنوسلولزی، و کاه برنج و نیشکر برای تولید بیواتانول وجود دارد.[۵۹] از مواد اولیه مانند ساکارز نیشکر، شکر، چغندر، نشاستهٔ ذرت، گندم، یا مواد لیگنوسلولزی از کاه، چوب، و باگاس (باقی‌ماندهٔ خمیری خشک ساقهٔ نیشکر پس از استخراج آب) معمولاً برای تولید بیواتانول استفاده می‌شود.[۶۰]

۲ . ۴ . ۴. بیوهیدروژن[۶۱]

هیدروژن تولیدشده به‌صورت بیولوژیکی و اغلب به‌وسیلهٔ جلبک‌ها و باکتری‌ها را اصطلاحاً بیوهیدروژن می‌نامند.[۶۲] بیوهیدروژن یک زیست‌سوخت بالقوه، از دو روش کشت و زباله‌های مواد آلی قابل‌حصول است و پالایشگاه‌ها تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان اصلی آن هستند.[۶۳]

۲ . ۴ . ۵. بیوگاز[۶۴]

بیوگاز یک منبع انرژی طبیعی تجدیدپذیر است که از تجزیهٔ مواد آلی شامل کودهای حیوانی، ضایعات مواد غذایی، و فاضلاب تولیدشده، و ترکیبی از گازهای متان، دی‌اکسیدکربن، سولفید هیدروژن، نیتروژن، متیل مرکاپتان، و اکسیژن است.[۶۵] بیوگاز باصرفه‌ترین سوخت تجدیدپذیر محسوب می‌شود که در بسیاری از کشورها برای پخت‌وپز، سرمایش و گرمایش، تولید برق، متانول و بخار، مدیریت زباله، و تولید نیروی مکانیکی استفاده می‌شود.[۶۶]

۲ . ۵. بیومتریال[۶۷]

زیست‌ماده یا بیومتریال به ماده‌ای با منشأ مصنوعی یا طبیعی گفته می‌شود که به‌منظور بهبود، درمان، التیام، یا جانشینی بافت موجودات زنده به کار می‌رود.[۶۸] بیومتریال می‌تواند به‌صورت فلزی، پلیمری، سرامیکی، یا ترکیبی از این مواد باشد که تحت عنوان کامپوزیت شناخته می‌شود. با توجه به نوع بافت، هر دام از این مواد می‌توانند در طراحی پروتزها، دریچه‌ها، مفاصل، استنت‌ها، و صفحات استفاده شوند.[۶۹] سازگاری، خودترمیم‌شوندگی، خنثی بودن شیمیایی، استحکام مناسب، و استفادهٔ بهینه از مواد خام و بومی ازجمله مواردی است که در طراحی هر زیست‌ماده باید مورد توجه باشد. این علم شامل مباحثی از علوم پزشکی، زیست‌شناسی، شیمی، مهندسی بافت، و علم مواد می‌شود.[۷۰]

۲ . ۶. بیوهیبرید[۷۱]

بیوهیبریدها مواد حاوی یا مرکب از هردو عنصر بیولوژیکی و غیرزیستی هستند.[۷۲] بیشترین کاربرد بیوهیبرید در علم رباتیک[۷۳]، علم پزشکی[۷۴]، ساخت مصالح[۷۵]، و ادغام عناصر مصنوعی

→
Analysis Process", *International Journal of Nursing Studies*, 108 (2020): 103632.

20. Bionic

21. A. Sigov, et al., "Approach for Forming the Bionic Ontology", *Procedia Computer Science*, 103 (2017): 495-498.

22. W. Tian, et al., "Learning from Nature: Constructing a Smart Bionic Structure for High-Performance Glucose Sensing in Human Serums", *Advanced Functional Materials*, 32 (2022): 2106958.

23. J. Yu, et al., "Motion Control and Motion Coordination of Bionic Robotic Fish: A Review". *Journal of Bionic Engineering*, 15 (2018): 579-598.

24. N.A. Allgood, "Aerodynamic Optimization of a Solar–Bio-Diesel Hybrid Vehicle". American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2008.

25. R. Purwaningsih, et al., "The Bio-mimicry Method in Creative Process of New Product Design Inspired by Nature Solution". in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2217, no. 1, AIP Publishing, 2020.

26. Y. Zhu, et al., "Design, Analysis, and Neural Control of a Bionic Parallel Mechanism", *Frontiers of Mechanical Engineering*, 16 (2021): 468-486.

27. Biomimetics

با بافت انسانی در جهت حفظ و پایدار کردن تنوع زیستی (مانند عضلات، اعصاب یا استخوان)[۷۶] است.

۲ . ۷. بیوآئروسل[۷۷]

بیوآئروسل‌ها ذرات هوابرد شامل ارگانیسم‌های زنده یا آزادشده از ارگانیسم‌های زنده هستند و شامل ۲ نوع زنده و نیمه‌زنده می‌شوند؛ بیوآئروسل زندهٔ باکتری‌ها، قارچ‌ها، و کپک‌های قابل‌کشت؛ و نیمه‌زنده‌ها گرده‌ها، تکه‌های بدن حشرات، و ذرات گیاهی هستند که به تنوع زیستی کمک می‌کنند.[۷۸]

۲ . ۸. بیوفناوری[۷۹]

بیوفناوری یا زیست‌فناوری با هدف استفادهٔ بهینه از منابع، حاکی از به‌کارگیری موجودات زنده یا ترکیبات آنها به‌منظور ساخت یا بهبود محصولات و استفادهٔ کارآمد از منابع بومی و طبیعی است.[۸۰] زیست‌فناوری در زمینه‌های مختلف کشاورزی[۸۱]، پزشکی[۸۲]، و داروسازی[۸۳] کاربردهای متنوعی دارد و از آن برای توسعهٔ ابزارهای بسیار کوچک و بیولوژیکی در سطح سلولی استفاده می‌شود.[۸۴]

۲ . ۹. بیو الگوریتم[۸۵]

نام نوع جدیدی از روش محاسباتی هوشمند برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های هوش مصنوعی سنتی، الگوریتم هوشمند و الهام‌گرفته از زیست توسعه‌یافته است که نوعی روش محاسباتی هوشمند با مکانیسم بیولوژیکی واقعی‌تر به‌شمار می‌آید.[۸۶] این روش معمولاً کارایی بالاتری نسبت به روش‌های سنتی هوش مصنوعی دارد و محاسبات آن با الگوریتم‌های هوشمند با الهام از زیست تعریف می‌شود.[۸۷] الگوریتم هوشمند الهام‌گرفته از زیستْ پیشرفت قابل‌توجهی در درک علوم اعصاب، سیستم‌های بیولوژیکی، و به‌کارگیری آنها در زمینه‌های مختلف مانند کنترل ربات‌های متحرک داشته است[۸۸] و روشی برای کاهش اثرات منفی سکونتگاه‌های انسانی محسوب می‌شود.[۸۹]

۲ . ۹ . ۱. هوش بیوطراحی[۹۰]

هوش طراحی زیستی فراتر از رویکردهای الهام‌گرفته از زیست‌شناسی است و به ترکیب موجودات زنده به‌منزلهٔ جزئی ضروری از یک سیستم، و تغییر مرزهای محیط طبیعی و ساخته‌شده اشاره دارد.[۹۱] این رویکرد شامل استفاده از هوش طبیعی و ماشینی در روند طراحی و ساخت بنا و نتیجهٔ آن افزایش عملکرد محیطی است.[۹۲]

۲ . ۹ . ۲. هوش بیومتریال[۹۳]

ترکیب عناصر زنده در مصالح منجر به شکل‌گیری نوع جدیدی از مواد هوشمند (درنتیجهٔ طراحی با هوش ارگانیسم‌های زنده) می‌شود (به‌طور مثال، دارا بودن ویژگی روشنایی بدون استفاده از انرژی یا امکان خودترمیم‌شوندگی) که هدف آن نزدیک کردن انسان با محیط و کاهش اثرات منفی‌ساز و کارهای انسانی است.[۹۴]

۲ . ۱۰. بیوهنر[۹۵]

در بیوهنر از روش‌های آزمایشگاهی و بیوتکنولوژی برای مطالعهٔ سیستم‌های زنده برای موضوعات هنری استفاده می‌کنند.[۹۶] با ظهور بیوهنر، بیوتکنولوژی به‌منزلهٔ بخشی از دنیای هنر سبب بازتاب گسترده‌تر علم زیست‌شناسی شده است. در فرایندها و ساختارهای بیولوژیکی برای قرن‌ها از هنرمندان الهام گرفته شده، اما تنها در دو دههٔ اخیر است که هنرمندان همکاری خود را با زیست‌شناسان برای خلق آثار نو آغاز کرده‌اند.[۹۷] تأثیر زیست‌شناسی بر هنر به شکل

28. L. Ivanović, et al., "Biomimetics Design for *Tribological Applications*", Tribology in Industry, 40(3) (2018): 448-456.

29. Y. Uchiyama, et al., "Application of Biomimetics to Architectural and Urban Design: A Review across Scales". *Sustainability*, 12 (2020): 9813.

30. P. Gruber, et al., *Biomimetics-Materials, Structures and Processes: Examples, Ideas and Case Studies* (Springer Science & Business Media, 2011).

31. Z.J. Olsen, et al., "Developing Next Generation Ionic Polymer–metal Composite Materials: Perspectives for Enabling Robotics and Biomimetics", *Polymer International*, 70(1) (2021): 7-9.

32. N. Mori, et al., "Functional Elucidation of Biological Interactions in Agricultural Ecosystems and the Application of Biomimetics to Plant Protection", in *Biomimetics*, Jenny Stanford Publishing, 2023, 105-128.

33. Z. Dai, et al., "Researches and Developments of Biomimetics in Tribology", *Chinese Science Bulletin*, no. 51 (2006): 2681-2689.

34. Biomorphic

35. C. Shelley, "Biomorphism and Models in Design", in *Philosophy and Cognitive Science II: Western & Eastern Studies*, Springer, 2015, 209-221.

بیومورفیسم و زیست مرکزی ظاهر شده که می‌توان آن را در مطالعات طبیعت‌گرایان، کاشفان، و روشنفکران قرن نوزدهم جستجو کرد.[۹۸] بنابر نتایج تکامل طبیعت که منجر به تجربیات زیادی در حل مشکلات محیط زیست و ساکنان و پایدار کردن ارتباط بین آنها شده است، مطابق این رویکرد طبیعت بهترین، موثرترین، و مطمئن‌ترین منبع ابداع برای طراحان است.[۹۹]

۲ . ۱۰ . ۱. طراحی الهام زیستی[۱۰۰]

قرن‌هاست که طراحان و معماران طبیعت را منبع مهمی برای الهام می‌پندارند و پاسخ بسیاری از پرسش‌های پیچیده دربارهٔ انواع سازه‌ها و نحوهٔ کارایی آنها را از طبیعت می‌گیرند و از اشکال متنوع آن برای ساختن سازه‌های موثرتر برای پروسه‌های مختلف معماری تقلید می‌کنند.[۱۰۱] طراحی الهام زیستی را جانین بنیوس به‌صورت «طبیعت به‌مثابهٔ الگو، معیار، و مربی» بیان کرده است.[۱۰۲] در آثار هنرمندان و معماران، از لئوناردو داوینچی تا کالاتراوا، مدارک بی‌شماری از حاکم بودن این موضوع وجود دارد.[۱۰۳]

۲ . ۱۰ . ۲. بیودکوراسیون[۱۰۴]

هر عنصر بدون کاربرد و الهام گرفته‌شدهٔ از زیست که صرفاً دارای هدف تزیینی در هنر است، بیودکوراسیون نامیده می‌شود که در این خصوص، از باسیلیکای La sagrada familia اثر آنتونی گائودی، با عنوان نماد میراث جهانی بیودکوراسیون یاد می‌شود.[۱۰۵]

۲ . ۱۱. بیوفیلیا[۱۰۶]

واژهٔ بیوفیلیا از دو کلمهٔ Bio و Philia تشکیل شده است؛ در خصوص واژه Bio را گفتیم به موجودات زنده یا زندگی انسان‌ها اطلاق می‌شود و واژهٔ Philia هم به معنی جذابیت و احساسات مثبت انسان‌هاست و تأکیدی است بر اهمیت ارتباط سازگار بین انسان و محیط طبیعی.[۱۰۷] درنتیجه Biophilia همان احساسات مثبتی است که انسان‌ها نسبت به موجودات زندهٔ اطراف خود دارند. بیوفیلیا در زبان یونانی به معنای عشق و علاقه به جان‌داران است که بعدها ادوارد ویلسون، زیست‌شناس معروف امریکایی، بیوفیلی را تمایل انسان به طبیعت تعریف کرد.[۱۰۸]

۲ . ۱۱ . ۱. طراحی بیوفیلیک[۱۰۹]

فرضیهٔ زیست‌گرایی یا بیوفیلیک چنین است: پیوندی غریزی و فطری بین انسان‌ها و دیگر سیستم‌های حیات وجود دارد.[۱۱۰] طراحی بیوفیلیک به‌منظور از بین بردن شکاف بین معماری مدرن و نیاز انسان‌ها به برقراری ارتباط با جهان طبیعی به‌وجود آمده است.[۱۱۱] این نوع طراحی در یک نگاه، تشخیص نیاز فطری انسان برای برقراری ارتباط پایدار با طبیعت و ایجاد استراتژی‌های طراحی برای خلق محیط‌هایی است که بتوانند کیفیت زندگی را افزایش دهند.[۱۱۲]

۳. بررسی و تحلیل

نتایج به‌دست‌آمده منجر به عرضهٔ یک دسته‌بندی جامع شامل ۱۱ گروه علوم زیستی (بیومیمیتیک، بیونیک، بیومتریال، بیو فناوری، بیوالگوریتم، بیومورفیک، بیوهنر، بیوفیلیا، بیوهیبرید، بیوآئروسل، بیوسوخت) و ۱۰ زیرگروه مربوط به آنها (هوش بیومتریال، هوش بیوطراحی، بیو دکوراسیون، طراحی الهام زیستی، طراحی بیوفیلیک، بیودیزل، بیوگاز، بیوالکل، بیواتانول، بیوهیدروژن) و ارتباط بین آنها با پایداری محیطی گشته است (ت ۲).

بررسی مطالعات علوم زیستی در دسته‌بندی یادشده و رابطهٔ آنها با پایداری محیطی حاکی از تمرکز علوم بیونیک،

36. D.S. Kumar, et al., "The Indirect Experience of Nature: Biomorphic Design Forms in Servicescapes", *Journal of Services Marketing*, 34(6) (2020): 847-867.

37. A. Golyeva. "Biomorphic Analysis as a Part of Soil Morphological Investigations", *Catena*, 43 (2011), 217-230.

38. Shelley, "Biomorphism and Models in Design", 2015, 209-221.

39 . Biofuel

40. S.A. Razzak, et al., "Integrated CO2 Capture, Wastewater Treatment and Biofuel Production by Microalgae Culturing—a Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27 (2013): 622-653; N.M. Bocken and S.W Short, "Unsustainable Business Models–Recognising and Resolving Institutionalised Social and Environmental Harm", *Journal of Cleaner Production*, 312 (2021): 127828.

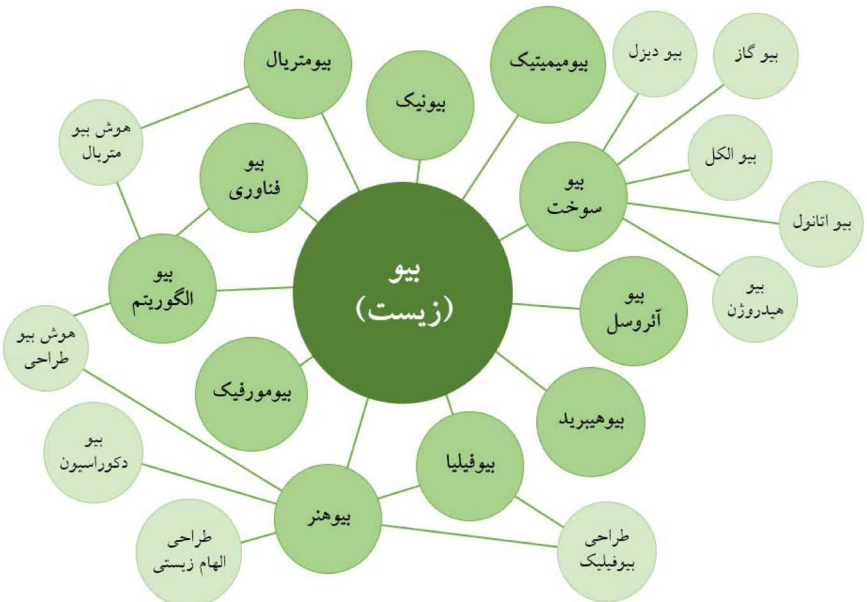
41. T. Balamurugan, et al., "Biodiesel Derived from Corn Oil–A Fuel Substitute for Diesel", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94 (2018): 772-778.

42. L. Zhu, et al., "Microalgal Cultivation with Biogas Slurry for Biofuel Production", *BioReSource Technology*, 220 (2016): 629-636.

43. Biodiesel

بیومیمیتیک، و بیوالگوریتم بر حل مشکلات پیچیدهٔ انسان و طبیعت با هدف کاهش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست و نیز کاهش اثرات منفی سکونتگاه‌های انسانی است. علوم بیوآئروسل و بیوهیبرید نیز با هدف محافظت از تنوع زیستی و علوم بیوسوخت با هدف تأمین منابع پایدار و سوخت تجدیدپذیر توسعه یافته‌اند. از طرفی، تمرکز بیومورفیک، بیوفناوری، و بیومتریال بر ساخت یا بهبود محصولات در راستای استفادهٔ کارآمد از منابع و حفاظت از منابع طبیعی برای رفع نیازهای افراد است. همچنین، علوم بیوهنر و بیوفیلیا با هدف جلوگیری از تخریب طبیعت و بر قراری ارتباط سازگار بین انسان و محیط طبیعی توسعه یافته‌اند (جدول ۳).

بررسی فراوانی مقالات شناسایی‌شده نشان داد مطالعات بیوسوخت (بیودیزل، بیوگاز، بیوالکل، بیو اتانول، بیوهیدروژن) با ۳۲٫۳۳٪ دارای بیشترین تعداد مقالات بوده‌اند که حاکی از تمرکز مطالعات برگرفته از بیو هستند. بیوسوخت شامل مواد سوختی‌ای که از منابع زیستی مانند گیاهان، جلبک‌ها، باکتری‌ها، و حیوانات به‌دست می‌آید جانشینی است برای سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال‌سنگ؛ این بیو در دنیا اهمیت بسیاری و ارتباط مستقیمی با پایداری محیط زیست دارد. بیوفناوری دومین رتبه را در تمرکز مطالعات زیستی (۲۳٫۴۰٪



ت ۲ (چپ، بالا). محوریت‌های موضوعی شناسایی‌شده و ارتباطات آنها، تدوین: نگارندگان.
جدول ۳ (پایین). جمع بندی ارتباط بین علوم زیستی و پایداری محیطی، تدوین: نگارندگان.

محوریت موضوع	زمینهٔ پایداری محیطی
بیونیک	الگوگیری از ساختارها و سازوکارهای طبیعت و جان‌داران برای ابداع و اختراع فناوری و حل مسائل فنی ـ مهندسی با نگاهی احترام‌آمیز به طبیعت و با هدف کاهش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست
بیومیمیتیک	تقلید از الگوها، سامانه‌ها و عناصر طبیعت برای حل مشکلات پیچیدهٔ انسان و طبیعت با هدف کاهش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست
بیومورفیک	طراحی بر مبنای بازنمایی واقعیت‌های موجودات ارگانیک و زنده در طبیعت، و درنتیجه حفاظت و استفادهٔ حداقل از منابع طبیعی برای رفع نیازهای افراد
بیوسوخت	سوخت‌های جامد، مایع و گاز به‌دست‌آمده از زیست توده و منابع پایدار و تجدیدپذیر سوخت با هدف تأمین منابع پایدار
بیومتریال	ماده‌ای با منشأ مصنوعی یا طبیعی و کاربرد در جهت بهبود، درمان، التیام، یا جایگزینی بافت موجودات زنده با هدف استفادهٔ کارآمد از منابع
بیوهیبرید	ایجاد عناصر ترکیبی حاوی یا مرکب از هر دو عنصر بیولوژیکی و غیرزیستی با هدف محافظت از تنوع زیستی
بیوآئروسل	ایجاد ذرات هوابرد شامل ارگانیسم‌های زنده یا آزادشده از ارگانیسم‌های زنده با هدف محافظت از تنوع زیستی
بیوفناوری	به‌کارگیری موجودات زنده یا ترکیبات آنها در راستای ساخت یا بهبود محصولات برای استفادهٔ کارآمد از منابع
بیو الگوریتم	روش محاسباتی هوشمند الهام‌گرفته از زیست برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های هوش مصنوعی سنتی به‌منظورکاهش اثرات منفی سکونتگاه‌های انسانی
بیوهنر	مطالعهٔ سیستم‌های زنده و ارگانیزم‌ها به‌منزلهٔ موضوعات هنری با هدف بر قراری ارتباط سازگار بین انسان و محیط طبیعی
بیوفیلیا	گرایش روانی نسبت به همهٔ عناصر زنده و زندگی‌بخش و تلاش در جلوگیری از تخریب طبیعت و بر قراری ارتباط سازگار بین انسان و محیط طبیعی

44. S. Padmanabhan, et al., "Energy Recovery of Waste Plastics into Diesel Fuel with Ethanol and Ethoxy Ethyl acetate Additives on Circular Economy Strategy", *Scientific Reports*, 12 (2022): 1-13.

از مطالعات) دارد که حاکی از پراهمیت بودن آن است؛ یک زمینهٔ گسترده در علم زیست‌شناسی و فناوری دارد که کاربرد آن در راستای توسعه و بهبود محصولات برای استفادهٔ کارآمد از منابع است. در مقابل، مطالعات مربوط به بیوهیبرید نیز با با ۰٫۸۸٪ شامل کمترین تعداد مقالات در بازهٔ زمانی ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۲ در مقایسه با سایر علوم شناسایی‌شده است. این شاخهٔ علمی شامل ترکیب عناصر مصنوعی با بافت انسانی برای حفظ و پایدار کردن تنوع زیستی است (ت ۳ و جدول ۴).

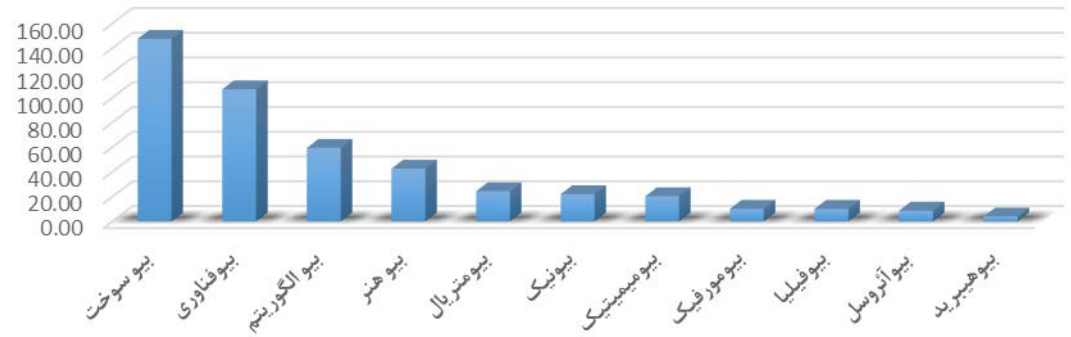
۴. جمع‌بندی

مطالعهٔ حاضر به شناسایی علوم الهام گرفته‌شده از زیست، که در نشریات اسپرینگر در طول سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۲ به چاپ رسیده‌اند، اختصاص دارد. با در نظر داشتن تمرکز مطالعات بین‌المللی علوم زیستی به عرصهٔ بیوسوخت و بیوفناوری، محققان داخلی می‌توانند با ارتباط برقرار کردن بین تحقیقات خود در حوزهٔ پایداری محیطی با مطالعات بیوسوخت و بیوفناوری در جهت کاهش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست، استفادهٔ حداقل و کارآمد از منابع طبیعی، محافظت از تنوع زیستی، تأمین منابع پایدار و برقراری ارتباط سازگار بین انسان و محیط طبیعی، به چرخهٔ پایداری کمک کنند. علوم زیستی ابزاری قدرتمند برای درک و مدیریت بهینهٔ منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها به‌منظور حفظ پایداری و تداوم منابع طبیعی و محیط زیست برای نسل‌های آینده هستند و حرکتی در راستای پایداری محسوب می‌شود. دستاورد پژوهش حاضر و مطالعهٔ ارتباط بین این علوم به درک بهتر روش‌های رسیدن به پایداری محیطی، توسعهٔ دانش نظری در باب علوم الهام‌گرفته از زیست و گسترش مفاهیم پایداری محیطی کمک می‌کند. پژوهشگران می‌توانند در مطالعات آتی خود با بررسی دقیق‌تر هریک از علوم زیستی بیان‌شده در مطالعهٔ حاضر، به گسترده‌تر و وسیع‌تر کردن چارچوب پیشنهادی بپردازند.

محوریت موضوع	تعداد	درصد
بیونیک	۹۳	۴٫۸۳
بیومیمیتیک	۸۶	۴٫۴۶
بیومورفیک	۴۳	۲٫۲۳
بیوسوخت	۶۲۳	۳۲٫۳۳
بیومتریال	۱۰۳	۵٫۳۵
بیوهیبرید	۱۷	۰٫۸۸
بیوآئروسل	۳۷	۱٫۹۲
بیوفناوری	۴۵۱	۲۳٫۴۰
بیو الگوریتم	۲۵۱	۱۳٫۰۳
بیوهنر	۱۸۰	۹٫۳۴
بیوفیلیا	۴۳	۲٫۲۳
کل مقالات	۱۹۲۷	۱۰۰

ت ۳ (پایین). مقایسهٔ مقالات علوم زیستی در محورهای موضوعی شناسایی‌شده، تدوین: نگارندگان.

جدول ۴ (چپ، بالا). فراوانی مقالات علوم زیستی در محورهای موضوعی شناسایی‌شده، تدوین: نگارندگان.



45. S. Chuepeng and C. Komintarachat, "Interesterification Optimization of Waste Cooking Oil and ethyl acetate over Homogeneous Catalyst for BioFuel Production with Engine Validation", *Applied Energy*, 232 (2018): 728-739.

46. S. Madiwale, et al., "Properties Investigation and PerFormance Analysis of a Diesel Engine Fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed BioDiesel Using Ethanol as an Additive", *Materials Today: Proceedings*, 5 (2018): 657-664.

47. M.N. Nabi, et al., "Reductions in Diesel Emissions Including PM and PN Emissions with Diesel-BioDiesel Blends", *Journal of cleaner Production*, 166 (2017): 860-868.

48. M.M. Ismail, et al., "Potential Assessment of Some Micro- and Macroalgal Species for BioEthanol and BioDiesel Production", in *Energy Sources, part a: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020, 1-17.

References

A'zam Kasiri, A. and M. Aghazadeh. "Deciphering Signs in the Structure and Architectural Decorations of St. Stephen's Church with the Approach of Continuity of Cultural Sustainability". *Journal of Architecture and Sustainable Urban Development*, vol. 10, no. 1 (2021): 21-38. (in Persian)

Aggarwal, M. and N. Remya. "The State-of-the-Art Production of BioFuel from Microalgae with Simultaneous Wastewater Treatment: Influence of Process Variables on BioFuel Yield and Production Cost". *Bioenergy Research*, 1(15) (2022): 62-76.

Allgood, N.A. "Aerodynamic Optimization of a Solar–Bio-Diesel Hybrid Vehicle". American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2008.

Andreucci, M.B., et al. "Exploring Challenges and Opportunities of Biophilic Urban Design: Evidence from Research and Experimentation". *Sustainability*, 13(8) (2021): 4323.

Balamurugan, T., A. Arun, and G. Sathishkumar. "Biodiesel Derived from Corn Oil–A Fuel Substitute for Diesel". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94 (2018): 772-778.

Baldussu, A. "A Problem Solving Methodology for the Development of Bio-inspired Products; Systematic Use of Natural Design Principles for Designers without Biological Knowledge". The PHD thesis from Politecnico di Milano Design Department Doctoral Programme in Design, 2014.

Barbiero, G., et al. "Bracing Biophilia: When Biophilic Design Promotes Pupil's Attentional PerFormance, Perceived Restorativeness and Affiliation with Nature". *Environment, Development and Sustainability*, 2021, 1-15.

Benyus, J.M. Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. New York: Morrow, 1997.

Bocken, N.M. and S.W. Short. "Unsustainable Business Models–Recognising and Resolving Institutionalised Social and Environmental Harm". *Journal of Cleaner Production*, 312 (2021): 127828.

Carlsen, R.W. and M. Sitti. "Biohybrid Cell-based Actuators for Microsystems". *Small*, 10(9) (2014): 3831-3851.

Chen, C. "Science Mapping: a Systematic Review of the Literature". *Journal of Data and InFormation Science*, 2(2) (2017): 1-40.

Chester, J. et al. "A Review on Recent Advancement on Age-related Hearing Loss: the Applications of NanoTechnology, drug Pharmacology, and BioTechnology". *Pharmaceutics*, 13(7) (2021): 1041.

Chowdhury, R. et al. "Hybridization of Sugar-carboxylate-syngas PlatForms for the Production of Bio-alcohols from Lignocellulosic Biomass (LCB)–A State-of-the-Art Review and Recommendations". *Energy Conversion and Management*, 200 (2019): 112111.

Chuepeng, S. and C. Komintarachat. "Interesterification Optimization of Waste Cooking Oil and ethyl acetate over Homogeneous Catalyst for BioFuel Production with Engine Validation". *Applied Energy*, 232 (2018): 728-739.

Crawford, A., et al. "Clay 3D Printing as a Bio-Design Research Tool: Development of Photosynthetic Living Building Components". *Architectural Science Review*, vol. 65, issue 3 (2022): 185-195.

Dagar, V. et al. "Impact of Renewable Energy Consumption, Financial Development and Natural ReSources on Environmental Degradation in OECD Countries with Dynamic Panel Data". *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (2022): 18202-18212.

Dai, Z., et al. "Researches and Developments of Biomimetics in Tribology". *Chinese Science Bulletin*, no. 51 (2006): 2681-2689.

Dias, M.O. et al. "Production of BioEthanol and other Bio-based Materials from Sugarcane Bagasse: Integration to Conventional BioEthanol Production Process". *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 87 (2009): 1206-1216.

Domke, M.-L. and H.H. Farzaneh. "Research in Bio-inspired Design-What Is its Current Focus?". in *Proceedings of the DS 89: Proceedings of the Fifth International Conference on Design Creativity (ICDC 2018)*, University of Bath, Bath, UK, 31 January–2 February 2018, 314-321.

Dou, M., et al. "Bioinspired Materials and Technology for Advanced Cryopreservation". *Trends in Biotechnology*, 40(1) (2021): 93-106.

Farobie, O. and E. Hartulistiyoso. "Palm Oil BioDiesel as a Renewable Energy ReSource in Indonesia: Current Status and Challenges". *Bioenergy Research*, 2022, 1-19.

Fayemi, P-E., et al. "Bio-inspired Design Characterisation and its Links with Problem Solving Tools". in *DS 77: Proceedings of the DESIGN 2014 13th International Design Conference*, 2014, 173-182.

Filippov, V., et al. "A Biomorphic Neuron Model and Principles of Designing a Neural Network with Memristor Synapses for a Biomorphic Neuroprocessor". *Neural Computing and Applications*, no. 32 (2020): 2471-2485.

Golyeva, A. "Biomorphic Analysis as a Part of Soil Morphological Investigations". *Catena*, 43 (2011), 217-230.

Gruber, P. et al. Biomimetics-Materials, Structures and Processes: Examples, Ideas and Case Studies. Springer Science & Business Media, 2011.

Han, G.B., et al. "Recent Application of Bio-Alcohol: Bio-Jet Fuel". *Alcohol Fuels-Current Technologies and Future Prospect*, 2019.

Hergueta, C. et al. "Impact of Bio-alcohol Fuels Combustion on Particulate Matter Morphology from Efficient Gasoline

49. B. Vieira, et al., "The Effect of the Addition of Castor Oil to Residual Soybean Oil to Obtain Biodiesel in Brazil: Energy Matrix Diversification", *Renewable Energy*, 165 (2021): 657-667.

50. S. Simsek and S. Uslu, "Comparative Evaluation of the Influence of Waste Vegetable Oil and Waste Animal Oil-based Biodiesel on Diesel Engine Performance and Emissions". *Fuel*, 280 (2020): 118613.

51. S. Joshi, et al., "Techno-economical and Experimental Analysis of BioDiesel Production from Used Cooking Oil", *Biophysical Economics and ReSource Quality*, vol. 4, no. 1 (2019): 1-6.

52. M. Romero, et al., "Deoxygenation of Waste Cooking Oil and Non-edible Oil for the Production of Liquid Hydrocarbon Biofuels", *Waste Management*, vol. 47 (2016):62-68.

53. Bioalcohol

54. C. Hergueta, et al., "Impact of Bio-alcohol Fuels Combustion on Particulate Matter Morphology from Efficient Gasoline Direct Injection Engines", *Applied Energy*, 230 (2018): 794-802.

55. G.B. Han, et al., "Recent Application of Bio-Alcohol: Bio-Jet Fuel", *Alcohol Fuels-Current Technologies and Future Prospect*, 2019.

Direct Injection Engines". *Applied Energy*, 230 (2018): 794-802.

Horn, R., et al. "Bio-inspired Sustainability Assessment – A Conceptual Framework". in *Biomimetic Research for Architecture and Building Construction*, Chapter 18, 2016, 361-377.

Horn, R., et al. "Bio-inspired Sustainability Assessment for Building Product Development—Concept and Case Study". *Sustainability*, 10(1) (2018): 130.)

Ismail, M.M., et al. "Potential Assessment of Some Micro-and Macroalgal Species for BioEthanol and BioDiesel Production". *Energy Sources, part a: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020, 1-17.

Ivanović, L., et al. "Biomimetics Design for Tribological Applications". *Tribology in Industry*, 40(3) (2018): 448-456.

Jahanger, A., et al. "The Linkages between Natural ReSources, Human Capital, Globalization, Economic Growth, Financial Development, and Ecological Footprint: The Moderating Role of Technological Innovations". *Resources Policy*, vol. 76 (2022): 102569.

Joshi, S., et al. "Techno-economical and Experimental Analysis of BioDiesel Production from Used Cooking Oil". *Biophysical Economics and ReSource Quality*, vol. 4, no. 1 (2019): 1-6.

Kamali, M. et al. "Biochar for Soil Applications-Sustainability Aspects, Challenges and Future Prospects". *Chemical Engineering Journal*, 428 (2022): 131189.

Kaur, G. et al. "Mechanical Properties of Bioactive Glasses, Ceramics, Glass-ceramics and Composites: State-of-the-Art Review and Future Challenges". *Materials Science and Engineering: C*, vol. 104 (2019): 109895.

Kellert, S.R. and E.Q. Wilson. *The Biophilia Hypothesis*. Island Press, 1993.

Kellett, H. "'Skin Portraiture' in the Age of Bio Art: Bodily Boundaries, Technology and Difference in Contemporary Visual Culture". *Body & Society*, 24(1-2) (2018): 137-165.

Kumar, D.S., et al. "The Indirect Experience of Nature: Biomorphic Design Forms in Servicescapes". *Journal of Services Marketing*, 34(6) (2020): 847-867.

Lam, M.K., et al. "Biohydrogen Production from Algae". *Biohydrogen*, (2019): 219–245. Elsevier. doi:10.1016/b978-0-444-64203-5.00009-5

Lindgren, B.-M., et al. "Abstraction and Interpretation during the Qualitative Content Analysis Process". *International Journal of Nursing Studies*, 108 (2020): 103632.

Liu, K. and L. Jiang. "Bio-inspired Design of Multiscale Structures for Function Integration". *Nano Today*, 6(2) (2011): 155-175.

Madiwale, S., et al. "Properties Investigation and PerFormance Analysis of a Diesel Engine Fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed BioDiesel Using Ethanol as an Additive". *Materials Today: Proceedings*, 5 (2018): 657-664.

Mazzolai, B. and C. Laschi. "A Vision for Future Bioinspired and Biohybrid Robots". *Science Robotics*, 5(38) (2020): eaba6893.

Melkozernov, A.N. and V. Sorensen. "What Drives Bio-art in the Twenty-first Century? Sources of Innovations and Cultural Implications in Bio-art/Biodesign and Biotechnology". *AI & SOCIETY*, 36 (2021): 1313-1321.

Memon, M.A., et al. "Selective Harmonic Elimination in Inverters Using Bio-inspired Intelligent Algorithms for Renewable Energy Conversion Applications: A Review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82 (2018): 2235-2253.

Misiaszek, G.W. and C. Rodrigues. "Six Critical Questions for Teaching Justice-based Environmental Sustainability (JBES) in Higher Education". *Teaching in Higher Education*, 28 (2023): 211-219.

Mori, N., et al. "Functional Elucidation of Biological Interactions in Agricultural Ecosystems and the Application of Biomimetics to Plant Protection". in *Biomimetics*, Jenny Stanford Publishing, 2023, 105-128.

Nabi, M.N., et al. "Reductions in Diesel Emissions Including PM and PN Emissions with Diesel-BioDiesel Blends". *Journal of cleaner Production*, 166 (2017): 860-868.

Olsen, Z.J., et al. "Developing Next Generation Ionic Polymer–metal Composite Materials: Perspectives for Enabling Robotics and Biomimetics". *Polymer International*, 70(1) (2021): 7-9.

Owen, G. "What Makes Climate Change Adaptation Effective? A Systematic Review of the Literature". *Global Environmental Change*, 62 (2020): 102071.

Padmanabhan, S. et al. "Energy Recovery of Waste Plastics into Diesel Fuel with Ethanol and Ethoxy Ethyl acetate Additives on Circular Economy Strategy". *Scientific Reports*, 12 (2022): 1-13.

Panahi, H.K.S. et al. "BioEthanol Production from Food Wastes Rich in Carbohydrates". *Current Opinion in Food Science*, 43 (2022): 71-81.

Park, J. and R.S. Lakes. *Biomaterials: An Introduction*. Springer Science & Business Media, 2007.

Popay, J., et al. "Rationale and Standards for the Systematic Review of Qualitative Literature in Health Services Research". *Qualitative Health Research*, 8 (1998): 341-351.

Prasad, R.K., et al. "Bioethanol Production from Waste Lignocelluloses: A Review on Microbial Degradation Potential". *Chemosphere*, vol. 231 (2019): 588-606.

Purwaningsih, R., et al. "The Bio-mimicry Method in Creative Process of New Product Design Inspired by Nature Solution". in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2217, no. 1, AIP Publishing, 2020.

Rajan, S., et al. "Biotechnology in Medicine: Advances-II". in *Fundamentals and Advances in Medical Biotechnology*, Springer, 2022, 93-128.

56. H.K.S. Panahi, et al., "BioEthanol Production from Food Wastes Rich in Carbohydrates", *Current Opinion in Food Science*, 43 (2022): 71-81; R. Chowdhury, et al., "Hybridization of Sugar-carboxylate-syngas PlatForms for the Production of Bio-alcohols from Lignocellulosic Biomass (LCB)–A State-of-the-Art Review and Recommendations", *Energy Conversion and Management*, 200 (2019): 112111.

57. Y.R. Shah and D.J. Sen, "Bioalcohol as Green Energy-A Review", *Int J Cur Sci Res*., 1 (2011): 57-62.

58. Bioethanol

59. R.K. Prasad, et al., "Bioethanol Production from Waste Lignocelluloses: A Review on Microbial Degradation Potential", *Chemosphere*, vol. 231 (2019): 588-606.

60. M.O. Dias, et al., "Production of BioEthanol and other Bio-based Materials from Sugarcane Bagasse: Integration to Conventional BioEthanol Production Process", *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 87 (2009): 1206-1216.

61. Biohydrogen

62. M.K. Lam, et al., Lam, M.K., et al. "Biohydrogen Production from Algae". *Biohydrogen*, (2019): 219–245.

63. P. Sampath, et al., "Biohydrogen Production from Organic Waste–a Review", *Chemical Engineering & Technology*, 43 (2020): 1240-1248.

64. Biogas

65. P. Weiland, "Biogas Production: Current State and Perspectives", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85 (2010): 849-860.

66. N. Scarlat, et al., "Biogas: Developments and Perspectives in Europe", *Renewable Energy*, 129 (2018): 457-472.

67. Biomaterial

68. J. Park and R.S. Lakes, *Biomaterials: An Introduction* (Springer Science & Business Media, 2007).

69. G. Kaur, et al., "Mechanical Properties of Bioactive Glasses, Ceramics, Glass-ceramics and Composites: State-of-the-Art Review and Future Challenges". *Materials Science and Engineering: C*, vol. 104 (2019): 109895.

70. A. Tathe, et al., "A Brief Review: Biomaterials and Their Application", *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2 (2010): 19-23.

71. Biohybrid

Razzak, S.A., et al. "Integrated CO2 Capture, Wastewater Treatment and Biofuel Production by Microalgae Culturing—a Review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27 (2013): 622-653.

Reap, J., et al. "Holism, Biomimicry and Sustainable Engineering". in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, vol. 42185, 2005, 423-431.

Rischer, H., et al. "Cellular Agriculture—Industrial Biotechnology for Food and Materials". *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 61 (2020): 128-134.

Rochford, A.E., et al. "When Biomeets Technology: Biohybrid Neural Interfaces". *Advanced Materials*, vol. 32 (2020): 1903182.

Romero, M. et al. "Deoxygenation of Waste Cooking Oil and Non-edible Oil for the Production of Liquid Hydrocarbon Biofuels". *Waste Management*, vol. 47 (2016): 62-68.

Ruiz-Hitzky, E., et al. "Clay-based Biohybrid Materials for Biomedical and Pharmaceutical Applications". *Clays and Clay Minerals*, vol. 67 (2019): 44-58.

Sampath, P. et al. "Biohydrogen Production from Organic Waste–a Review". *Chemical Engineering & Technology*, 43 (2020): 1240-1248.

Scarlat, N., et al. "Biogas: Developments and Perspectives in Europe". *Renewable Energy*, 129 (2018): 457-472.

Selçuk, S.A. and G. Mutlu Avinç. "On Strengthening the Interest of Architecture Students in Bio-inFormed Solutions: A Systematic Approach for Learning from Nature". *Sustainability*, 13 (2021): 2138.

Selvaraj, C., et al. "A Survey on Application of Bio-inspired Algorithms". *International Journal of Computer Science and InFormation Technologies*, 5 (2014): 366-370.

Shah, Y.R. and D.J. Sen. "Bioalcohol as Green Energy-A Review". *Int J Cur Sci Res*., 1 (2011): 57-62.

Shelley, C. "Biomorphism and Models in Design". in *Philosophy and Cognitive Science II: Western & Eastern Studies*, Springer, 2015, 209-221.

Shin, J., et al. "Bio Art as a Trading Zone: A Creolized Art Form of Biology and Art". Editorial Coordinators: Rufus Adebayo, Ismail Farouk, Steve Jones, Maleshoane Rapeane-Mathonsi 38, 2018.

Shoeb, E., et al. "Frontiers in Bioengineering and Biotechnology: Plant Nanoparticles for Anti-Cancer Therapy". *Vaccines*, vol. 9, no. 8 (2021): 830.

Sigov, A., et al. "Approach for Forming the Bionic Ontology". *Procedia Computer Science*, 103 (2017): 495-498.

Simsek, S. and S. Uslu. "Comparative Evaluation of the Influence of Waste Vegetable Oil and Waste Animal Oil-based Biodiesel on Diesel Engine Performance and Emissions". *Fuel*, 280 (2020): 118613.

Sonkaria, S. & V. Khare. "Exploring the Landscape between Synthetic and Biosynthetic Materials Discovery: Important Considerations via Systems Connectivity, Cooperation and Scale-driven Convergence in Biomanufacturing". *Biomanufacturing Reviews*, 5 (2020): 1-23.

Tathe, A., et al. "A Brief Review: Biomaterials and Their Application". *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2 (2010): 19-23.

Thomsen, M.R. "Correction: Computational Design Logics for Bio-based Design". *Architectural Intelligence*, 1(1) (2022).

Tian, W. et al. "Learning from Nature: Constructing a Smart Bionic Structure for High-Performance Glucose Sensing in Human Serums". *Advanced Functional Materials*, 32 (2022): 2106958.

Uchiyama, Y., et al. "Application of Biomimetics to Architectural and Urban Design: A Review across Scales". *Sustainability*, 12 (2020): 9813.

Ulrich, R.S. "Biophilia, Biophobia, and Natural landscapes". *The Biophilia Hypothesis*, 7 (1993): 73-137.

Vaughn, P. and C. Turner. "Decoding via Coding: Analyzing Qualitative Text Data through Thematic Coding and Survey Methodologies". *Journal of Library Administration*, 56 (2016): 41-51.

Vieira, B., et al. "The Effect of the Addition of Castor Oil to Residual Soybean Oil to Obtain Biodiesel in Brazil: Energy Matrix Diversification". *Renewable Energy*, 165 (2021): 657-667.

Weiland, P. "Biogas Production: Current State and Perspectives". *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85 (2010): 849-860.

Wijesooriya, N. and A, Brambilla. "Bridging Biophilic Design and Environmentally Sustainable Design: A Critical Review". *Journal of Cleaner Production*, 283 (2021): 124591.

Wilson, E.O. *Biophilia*. Harvard university press, 2021.

Woodworth, A.V. "Biophilia and Human Health". in *Programming for Health and Wellbeing in Architecture*, 2021, 25-30.

Xie, W. et al. "The Source and Transport of Bioaerosols in the Air: A Review". *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 15 (2021): 1-19.

Xu, W. et al. "Biohybrid Micro/Nanomotors for Biomedical Applications". *Applied Materials Today*, 27 (2022): 101482.

Yadav, A.N., et al. Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture. Springer, 2021.

Yetisen, A.K., et al. "Bioart". *Trends in Biotechnology*, 33(12) (2015): 724-734.

Yigitcanlar, T. et al. "Can Cities Become Smart without Being Sustainable? A Systematic Review of the Literature". *Sustainable Cities and Society*, 45 (2019): 348-365.

Yu, J., et al. "Motion Control and Motion Coordination of Bionic Robotic Fish: A Review". *Journal of Bionic Engineering*,

15 (2018): 579-598.

Zhang, J. et al. "Bio-organic Adaptive Photonic Crystals Enable Supramolecular Solvatochromism". *Nano Research*, 1-6 (2022).

Zhang, S., et al. "Bioinspired Asymmetric Amphiphilic Surface for Triboelectric Enhanced Efficient Water Harvesting". *Nature Communications*, vol. 13, no. 1 (2022).

Zhou, W. and Z. Fu. "Adoption of Bio-image Technology on Rehabilitation Intervention of Sports Injury of Golf". *The Journal of Supercomputing*, 77 (2021): 11310-11327.

Zhu, L., et al. "Microalgal Cultivation with Biogas Slurry for Biofuel Production". *BioReSource Technology*, 220 (2016): 629-636.

Zhu, Y., et al. "Design, Analysis, and Neural Control of a Bionic Parallel Mechanism". *Frontiers of Mechanical Engineering*, 16 (2021): 468-486.

Zimbarg, A. "Bio-Design Intelligence". in Proceedings of the 2021 Digital FUTURES: The 3rd International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2021) 3, Springer Singapore, 2022, 92-101.

Fifth International Conference on Design Creativity (ICDC 2018), University of Bath, Bath, UK, 31 January–2 February 2018, 314-321.

104. Bio-decoration

105. Zimbarg, "Bio-Design Intelligence", 92-101.

106. Biophilia

107. S.R. Kellert and E.O. Wilson, *The Biophilia Hypothesis* (Island Press, 1993).

108. E.O. Wilson, *Biophilia* (Harvard university press, 2021).

109. Biophilic design

110. R.S. Ulrich, . "Biophilia, Biophobia, and Natural landscapes", *The Biophilia Hypothesis*, 7 (1993): 73-137.

111. N. Wijesooriya and A. Brambilla, Bridging Biophilic Design and Environmentally Sustainable Design: A Critical Review", *Journal of Cleaner Production*, 283 (2021): 124591.

112. M.B. Andreucci, et al., "Exploring Challenges and Opportunities of Biophilic Urban Design: Evidence from Research and Experimentation", *Sustainability*, 13(8) (2021): 4323.

Trading Zone: A Creolized Art Form of Biology and Art", Editorial Coordinators: Rufus Adebayo, Ismail Farouk, Steve Jones, Maleshoane Rapeane-Mathonsi 38, 2018.

98. H. Kellett, "'Skin Portraiture' in the Age of Bio Art: Bodily Boundaries, Technology and Difference in Contemporary Visual Culture", *Body & Society*, 24(1-2) (2018): 137-165.

99. P.-E. Fayemi, et al., "Bio-inspired Design Characterisation and its Links with Problem Solving Tools", in *DS 77: Proceedings of the DESIGN 2014 13th International Design Conference*, 2014, 173-182.

100. Bio-inspired design

101. K. Liu and L. Jiang, "Bio-inspired Design of Multiscale Structures for Function Integration", *Nano Today*, 6(2) (2011): 155-175.

102. J.M. Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (New York: Morrow, 1997).

103. M.-L. Domke and H.H. Farzaneh, "Research in Bio-inspired Design-What Is its Current Focus?", in *Proceedings of the DS 89: Proceedings of the*

87. Ibid.

88. C. Selvaraj, et al., "A Survey on Application of Bio-inspired Algorithms", *International Journal of Computer Science and InFormation Technologies*, 5 (2014): 366-370.

89. A. Zimbarg, "Bio-Design Intelligence", in *Proceedings of the 2021 Digital FUTURES: The 3rd International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2021) 3*, Springer Singapore, 2022, 92-101.

90. Biodesign Intelligence

91. Ibid.

92. A. Crawford, et al., "Clay 3D Printing as a Bio-Design Research Tool: Development of Photosynthetic Living Building Components", *Architectural Science Review*, vol. 65, issue 3 (2022): 185-195.

93. Biomaterial intelligence

94. Zimbarg, "Bio-Design Intelligence", 92-101.

95. Bioart

96. A.K. Yetisen, et al., "Bioart", *Trends in Biotechnology*, 33(12) (2015): 724-734.

97. J. Shin, et al., . "Bio Art as a

81. A.N. Yadav, et al., *Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture* (Springer, 2021).

82. S. Rajan, et al., "Biotechnology in Medicine: Advances-II", in *Fundamentals and Advances in Medical Biotechnology* (Springer, 2022), 93-128.

83. J. Chester, et al., "A Review on Recent Advancement on Age-related Hearing Loss: the Applications of NanoTechnology, drug Pharmacology, and BioTechnology", *Pharmaceutics*, 13(7) (2021): 1041.

84. E. Shoeb, et al., "Frontiers in Bioengineering and Biotechnology: Plant Nanoparticles for Anti-Cancer Therapy", *Vaccines*, vol. 9, no. 8 (2021): 830.

85. Bioalgorithm

86. M.A. Memon, et al., "Selective Harmonic Elimination in Inverters Using Bio-inspired Intelligent Algorithms for Renewable Energy Conversion Applications: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82 (2018): 2235-2253.

72. R.W. Carlsen and M. Sitti, "Biohybrid Cell-based Actuators for Microsystems", *Small*, 10(9) (2014): 3831-3851.

73. B. Mazzolai and C. Laschi, "A Vision for Future Bioinspired and Biohybrid Robots", *Science Robotics*, 5(38) (2020): eaba6893.

74. W. Xu, et al., "Biohybrid Micro/Nanomotors for Biomedical Applications", *Applied Materials Today*, 27 (2022): 101482.

75. E. Ruiz-Hitzky, et al., "Clay-based Biohybrid Materials for Biomedical and Pharmaceutical Applications", *Clays and Clay Minerals*, vol. 67 (2019): 44-58.

76. A.E. Rochford, et al., "When Biomeets Technology: Biohybrid Neural Interfaces", *Advanced Materials*, vol. 32 (2020): 1903182.

77. Bioaerosol

78. W. Xie, et al., "The Source and Transport of Bioaerosols in the Air: A Review", *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 15 (2021): 1-19.

79. Biotechnology

80. H. Rischer, et al., "Cellular Agriculture—Industrial Biotechnology for Food and Materials", *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 61 (2020): 128-134.