



Review Article

A Narrative Review on the Role of Green Ergonomics and Ecological Ergonomics in Achieving Zero Waste; No to Chemical Waste

Ayoub Ghanbary Sartang¹ , Negar Safarpour Khotbesara² , Zahra Rahimi³ , Mahbobeh Abedi⁴ ,
Hojatollah Hossainian^{5*} , Mohsen Poursadeghiyan^{6,7*} 

¹ Department of Occupational Health Engineering, Health Deputy, Abadan University of Medical Sciences, Abadan, Iran

² Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Student Research Committee, School of Medicine, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

⁴ Department of Environmental Engineering-Air Pollution, Islamic Azad University West Tehran Branch, Tehran, Iran

⁵ Applied Chemistry Department, Faculty of Gas and Petroleum, Yasouj University, Gachsaran, Iran

⁶ Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

⁷ Social Determinants of Health Research Center, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

Abstract

Article History:

Received: 03 March 2026

Revised: 10 May 2026

Accepted: 15 May 2026

ePublished: 21 June 2026

*Corresponding author:

Hojatollah Hossainian, Applied Chemistry Department, Faculty of Gas and Petroleum, Yasouj University, Gachsaran, Iran

Mohsen Poursadeghiyan, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran; Social Determinants of Health Research Center, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

Email:

HojatollahHossainian@gmail.com,

poursadeghiyan@gmail.com

Objectives: Improper waste management, as one of the main factors in environmental degradation, requires new approaches such as zero waste, green ergonomics, and Ergoecology, as well as substitution chemists' attempts and investigations related to their chemical waste and pollutant products. This study, based on the DIN 91436 standard framework, examines the role of new approaches in realizing sustainable waste management systems and reducing negative environmental impacts.

Methods: This review study was conducted through a systematic search of international (PubMed, Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, and Web of Science) and Persian databases (SID, Magiran, IranMedex, and IranDoc) for articles published from 1990 to 2025. The search strategy included a combination of keywords, and articles were selected based on inclusion and exclusion criteria; the extracted data were then categorized and clarified through thematic analysis.

Results: According to studies, green ergonomics is effective through sustainable product and process design, reducing waste at source, and increasing recycling, and aligns with the prevention stage within the framework of the DIN 91436 standard. Moreover, by analyzing human-environment interactions, Ergoecology provides a systematic framework for achieving zero waste with an emphasis on the technical, social, and environmental dimensions. By combining these two approaches within the framework of the aforementioned standard, an effective path towards a circular economy and sustainable waste management is mapped out, while chemists' investigations often focus on materials or methods that can be degraded and damage the environment overall, which is in contrast with zero waste.

Conclusion: A variety of experimental sciences, research, and technologies ultimately cause various environmental damages, as some of them are discussed in this study. Achieving zero waste requires the integration of the three main pillars of green ergonomics, ergo-ecology, and the implementation framework of the DIN 91436 standard. This integration not only reduces waste and conserves resources but also promotes human health and environmental sustainability. To institutionalize this approach, it is necessary to expand interdisciplinary research, incorporate its principles into policymaking, and invest in education and culture among all stakeholders.

Keywords: Chemical waste, Ergoecology, Green ergonomics, Recycling, Zero waste



Extended Abstract

Background and Objective

Environmental degradation and increased waste production are among the most important contemporary challenges, leading to consequences, such as climate change, reduced quality of natural resources, and threats to human health. Rapid urbanization, industrial development, and the spread of consumerism, especially in the chemical, industrial, and electronic sectors, have increased waste volumes and the complexity of their management. Improper management of this waste is one of the main factors exacerbating environmental crises, including increased greenhouse gas emissions, water and soil pollution, and the spread of various diseases. In the meantime, the concept of "zero waste" has been proposed as a new approach, emphasizing waste reduction, reuse, and recycling to move towards a circular economy. To achieve this goal, it is necessary to utilize interdisciplinary approaches. Green ergonomics, focusing on designing environmentally friendly products, processes, and work environments, seeks to reduce the negative effects of human activities. In contrast, ecological ergonomics analyses the complex relationships among humans, technology, and the environment from a systemic perspective and emphasizes creating a sustainable balance. In this study, while examining the role of these two approaches in sustainable waste management, an analysis was made of new technologies such as nanochemistry and nano-delivery drug in achieving zero waste. Finally, this article was conducted with a narrative review approach on the role of green ergonomics and ecological ergonomics in achieving zero waste. Zero waste requires the necessity of a review study for the realization of a circular economy and sustainability, and the role of green ergonomics and ecological ergonomics in achieving zero waste is the objective of this narrative review.

Materials and Methods

This research was conducted as a narrative review and focused on the analysis of studies published between 1990 and 2025. Scientific resources were collected from reputable international and domestic databases, and after eliminating duplicates and applying inclusion and exclusion criteria, 10 key studies were selected for review. Inclusion criteria were direct relevance to the concepts of zero waste, green ergonomics, and ecological ergonomics, as well as addressing practical or analytical applications of these approaches. Data were categorized using thematic analysis, and the main concepts were extracted in the form of specific axes, including the role of green ergonomics, the role of ecological ergonomics, and the application of new technologies. Finally, the results were analyzed descriptively, and an attempt was made to explain the relationship between these approaches in the form of an integrated framework.

Results

The findings of this narrative review demonstrated that achieving the "zero waste" approach requires synergy among green ergonomics, ecological ergonomics, and the DIN 91436 standard. Green ergonomics, focusing on the sustainable design of products, processes, and work environments, plays an important role in reducing waste generation, increasing product lifespan, and improving recyclability. By optimizing resource use, reducing energy consumption, and preventing waste generation at the design stage, this approach aligns with the principle of prevention in the zero waste model and supports the circular economy. Moreover, applying its principles in the design of work environments, using sustainable materials, adopting repairable design, and providing employee training reduces human error and waste generation. In contrast, Ergoecology, with a holistic approach, analyses the interactions among humans, technology, and the environment and provides a systemic framework for achieving zero waste. With an emphasis on eco-efficiency and eco-productivity, it pursues reduced resource consumption, optimized material and energy flows, and waste minimization. Promoting environmental awareness and institutionalizing culture both contribute to waste reduction, as achieving zero waste requires attention to the PESTE dimensions. In the meantime, the DIN 91436 standard provides a framework for designing repairable, recyclable, and lifecycle-based products. The integration of nanotechnology, especially nanochemistry and nano-drug delivery, can help achieve zero-waste goals. In nanochemistry, green synthesis, the use of environmentally friendly solvents, reduced energy consumption, and the production of biodegradable nanomaterials reduce chemical waste. In nano-drug delivery, the design of biocompatible nanocarriers reduces drug consumption, side effects, and drug waste. Ecological ergonomics, by analyzing the life cycles of nanomaterials, helps manage risks and develop nanotechnologies safely. In summary, green ergonomics plays the role of "designer", ecological ergonomics plays the role of "system analyst", and nanotechnology plays the role of "technological enabler"; their combination facilitates the transition from a linear to a circular economy and achieving zero waste.

Discussion

The results of the present study demonstrate that green ergonomics and ecological ergonomics, as two complementary approaches, can play an effective role in sustainable waste management. Green ergonomics is more solution-oriented, focusing on designing and implementing practical measures to reduce environmental impacts, while ecological ergonomics is analytical and systems-oriented, examining complex interactions at a macro level. Combining these two perspectives can yield comprehensive,



multidimensional solutions for waste reduction. For instance, while green ergonomics deals with the design of sustainable products, such as equipment made from recycled materials or nanomaterials, ecological ergonomics examines the impact of these products throughout their entire life cycle and in their interaction with the environment. This synergy can prevent unintended consequences and increase the effectiveness of solutions. However, there are also limitations in this field, including the lack of direct empirical studies and the reliance on narrative analyses. Furthermore, the practical implementation of these approaches requires appropriate policymaking, technological infrastructure, and increased public awareness.

Conclusion

In conclusion, achieving zero waste requires an integrated, multidimensional approach that considers

sustainable design, systems analysis, and technological innovation simultaneously. Green ergonomics, with its emphasis on designing practical solutions to reduce resource consumption and waste generation, and ecological ergonomics, with its holistic view of human-environment interactions, are two essential pillars in this direction. Integrating these approaches with new technologies such as nanochemistry and nano-delivery can lead to the development of sustainable systems, reduce pollution, and improve efficiency. However, achieving these objectives requires interdisciplinary research, the formulation of supportive policies, the updating of standards, and the promotion of education and culture in society. Ultimately, moving towards zero waste is not only an environmental imperative but also a key strategy for achieving sustainable development and improving the quality of human life.

Please cite this article as follows: Ghanbary Sartang A, Safarpour Khotbesara N, Rahimi Z, Abedi M, Hossainian H, Poursadeghiyan M. A Narrative Review on the Role of Green Ergonomics and Ecological Ergonomics in Achieving Zero Waste; No to Chemical Waste. *Iran J Ergon.* 2026; 14(1): 71-84. DOI:10.53208/IJE.14.1.84.

مروری روایتی بر نقش ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی در تحقق پسماند صفر؛ نه به پسماند شیمیایی

ایوب قنبری سرتنگ^۱ ID، نگار صفریور خطبه‌سرا^۲ ID، زهرا رحیمی^۳ ID، محبوبه عابدی^۴ ID، حجت‌اله حسینیان^۵ ID*، محسن پورصادقیان^۶ ID*۷

^۱ گروه سلامت کار، معاونت بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی آبادان، آبادان، ایران
^۲ گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
^۳ کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران
^۴ گروه مهندسی محیط‌زیست - آلودگی هوا، دانشگاه آزاد اسلامی تهران غرب، تهران، ایران
^۵ گروه شیمی کاربردی، دانشکده نفت و گاز گچساران، دانشگاه یاسوج، گچساران، ایران
^۶ گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران
^۷ مرکز تحقیقات تعیین‌کننده‌های اجتماعی سلامت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

چکیده

اهداف: مدیریت نادرست پسماند به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب محیط‌زیست، نیازمند رویکردهای نوینی مانند پسماند صفر، ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی است. این مطالعه با تکیه بر چهارچوب استاندارد DIN 91436 (Deutsches Institut für Normung 91436)، نقش رویکردهای نوین را در تحقق سیستم‌های مدیریت پسماند پایدار و کاهش آثار منفی محیط‌زیستی بررسی می‌کند.

روش کار: این مطالعه مروری روایتی از طریق جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های اطلاعاتی بین‌المللی (PubMed، Scopus، Google Scholar، ScienceDirect و Web of Science) و پایگاه‌های اطلاعاتی فارسی (SID، IranMedex Magiran و IranDoc)، برای مقالات منتشرشده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ انجام شد. استراتژی جستجو شامل ترکیبی از کلمات کلیدی بود و مقالات براساس معیارهای ورود و خروج انتخاب شدند. سپس داده‌های استخراج‌شده از طریق تحلیل موضوعی طبقه‌بندی و شفاف‌سازی شدند.

یافته‌ها: براساس مطالعات انجام‌شده، ارگونومی سبز از طریق طراحی پایدار محصولات و فرایندها بر کاهش پسماند در مبدأ و افزایش بازیافت مؤثر است و با مرحله پیشگیری در چهارچوب استاندارد DIN 91436 همسو است. همچنین، ارگونومی بوم‌شناسی با تحلیل تعاملات انسان و محیط‌زیست، بستری سیستمی برای تحقق پسماند صفر با تأکید بر ابعاد فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی فراهم می‌کند، به‌طوری که با تلفیق این دو رویکرد در قالب استاندارد مذکور، مسیری مؤثر به سوی اقتصاد چرخه‌ای و مدیریت پایدار پسماند ترسیم می‌شود.

نتیجه‌گیری: تحقق پسماند صفر مستلزم یکپارچه‌سازی سه رکن اصلی ارگونومی سبز، ارگونومی بوم‌شناسی و چهارچوب اجرایی استاندارد DIN 91436 است. این ادغام نه تنها کاهش پسماند و حفظ منابع را به‌همراه دارد، بلکه سلامت انسان و پایداری محیطی را نیز ارتقا می‌دهد. برای نهادینه‌کردن این رویکرد، گسترش پژوهش‌های بین‌رشته‌ای، گنجاندن اصول آن در سیاست‌گذاری‌ها و سرمایه‌گذاری بر آموزش و فرهنگ‌سازی میان تمام ذی‌نفعان ضروری است.

کلید واژه‌ها: ارگونومی سبز، ارگونومی بوم‌شناسی، پسماند صفر، بازیافت، پسماند شیمیایی

استناد: قنبری سرتنگ، ایوب؛ صفریور خطبه‌سرا، نگار؛ رحیمی، زهرا؛ عابدی، محبوبه؛ حسینیان، حجت‌اله؛ پورصادقیان، محسن. مروری روایتی بر نقش ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی در تحقق پسماند صفر؛ نه به پسماند شیمیایی. مجله ارگونومی، بهار ۱۴۰۵، ۱(۱): ۷۱-۸۴.

مقدمه

امروزه یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بشر مقابله با تخریب محیط‌زیست است. تخریب محیط‌زیست سبب افزایش سطح کربن

دی اکسید و گرم شدن هوا می شود و می تواند با افزایش فرکانس موج های گرما و رویدادهای رکود جوی، که ذرات ریز را به دام می اندازند، آثار ذرات ریز در سلامت را تشدید کند [۱]. تخریب محیط زیست با کاهش تاب آوری اکوسیستم ها، نوسانات و تغییرپذیری آن ها را تشدید می کند و این موضوع احتمال وقوع حوادث جدی مانند سیل و خشک سالی را به طور چشمگیری افزایش می دهد؛ این تغییرات نه تنها الگوهای طبیعی را بر هم می زند، بلکه می تواند به کاهش کمی و کیفی تولید مواد غذایی و همچنین افت کیفیت منابع آبی منجر شود [۲، ۳].

تخریب محیط زیست علاوه بر آثار منفی بر اکوسیستم، با آثار منفی جدی در سلامت و رفاه انسان، از جمله افزایش مشکلات تنفسی، سرطان ها، نقص سیستم ایمنی، نقایص مادرزادی، اختلالات روانی و حتی مشکلات مرتبط با رشد در انسان همراه است [۴، ۵]. نتایج حاصل از مطالعات مختلف حاکی از آن است که تخریب محیط زیست احتمال بیماری های قابل انتقال از طریق آب، مانند مالاریا و تب دنگی را افزایش می دهد. Majeed و Ozturk مطالعه ای با عنوان «تخریب محیط زیست و پیامدهای سلامت جمعیت: تجزیه و تحلیل داده های پانل جهانی» انجام دادند و نتایج نشان داد که کشورهایی با سطح تخریب بالاتری از محیط زیست، مرگ و میر نوزادان بیشتری را تجربه می کنند [۶]. تخریب محیط زیست در کلمبیا (۲۰۰۴) بار اقتصادی ناشی از آسیب های محیط زیستی را سالانه به طور میانگین به حدود ۹/۸ هزار میلیارد پزو می رساند که معادل ۵/۲ درصد از تولید ناخالص داخلی کشور است [۷]. تخریب محیط زیست به انقراض گونه ها و از دست دادن خدمات اکوسیستمی، از جمله گرده افشانی، تصفیه آب و کنترل سیل با ارزش سالانه ۱۲۵ تریلیون دلار منجر می شود [۸]. بین سرمایه طبیعی، اقتصاد و رفاه انسان ارتباط قوی وجود دارد و حفظ تنوع زیستی و محیط زیست برای ثبات اقتصادی ضروری است [۹، ۱۰].

یکی از منابع اصلی تخریب محیط زیست زباله ها و فاضلاب ها هستند. این آلاینده ها از انواع شیمیایی، الکترونیکی، بیولوژیکی و هسته ای، همگی آثار آلودگی جدی دارند و ممکن است آثار مخربی در محیط زیست و انسان ها داشته باشند [۱۱، ۱۲]. برای روشن شدن نقش این تخریبگرهای محیط زیست، اهمیت بخشیدن به نگرانی فراوان از میزان و تنوع زیاد آلاینده ها در تخریب محیط زیست روی کره زمین و برای آگاهی بخشی بیشتر، در ادامه مواردی از تحقیقات دانشمندان حوزه شیمی را در زمینه آلاینده ها و حذف یا تخریب آن ها مرور می کنیم.

آلودگی با فلزات سنگین، نظیر کروم، سرب، مس، روی، کادمیم، جیوه، نیکل، منگنز، آهن و غیره از زمان رویش صنایع تهدیدی جهانی تشخیص داده شده است. آلودگی فلزات سنگین به دلیل طبیعت سمی خود، مخاطرات زیستی و سلامتی جدی ایجاد می کند. جمع آوری و بازگردانی فلزات سنگین با روش های متداول غیراقتصادی است و مقادیر بزرگی از فاضلاب های نوع دوم را تولید می کند. در حالی که عوامل زیستی نظیر گیاهان، میکروارگانیسم ها و غیره روش های

بوم دوستی برای حذف فلزات پیشنهاد می کنند. بنابراین، ابزاری متناسب و کارا برای حذف فلزات هستند. بازگردانی زیستی شامل جذب سطحی، کاهش یا حذف آلاینده ها از محیط زیست به واسطه منابع زیستی (هم میکروارگانیسم ها و هم گیاهان) است. خصوصیات بازیافت کنندگی فلزات سنگین میکروارگانیسم ها در مکانیزم دفاعی آن ها نظیر ترشح آنزیم، تغییرات مورفولوژی سلولی و غیره ریشه دارد. این مکانیزم دفاعی در بردارنده درگیری فعال آنزیم های میکروساختار نظیر اکسیدوریداکتازها، اکسیژنایزها و غیره است که سرعت بازیابی زیستی را متأثر می کنند [۱۳].

دانشمندان فراوانی درباره تسویه فاضلاب های محتوی غلظت های بالای فلزات سنگین با استفاده از گونه های زیستی طی فرایند حذف فیزیکی، تحقیق کرده اند و تلاش زیادی می شود با کمک زنجیره های باکتریایی و نیز ضایعات گیاهی و ملاس، ضایعاتی با بهینه سازی شرایط و پارامترهای مهم جذبی یون های فلزی نظیر روی (II)، کادمیم (II) و کروم (VI) را بازیابی و فاضلاب را تصفیه کرد [۱۴]. فلزات سنگین نظیر Cr(III)/Cr(VI)، Cd(II)، Hg(II)، Pb(II)، As(III)/As(V) و عناصر سنگین با هسته های پرتوزا نظیر U(VI)، Se(IV)/Se(VI) و Cs(I) درون آب نوعی موضوع محیط زیستی جهانی است که در تمام کشورها نگرانی های زیادی را به خود اختصاص داده است. برای حذف این آلاینده ها، نظیر محققان، دست به دامن استفاده از گونه های زیستی و قابل بازیابی شده اند [۱۵-۱۷].

فرایند تولید سیمان پرتلند در بحث شدت انرژی مشکلات مختلف و مخاطراتی نظیر آلودگی و نشر کربن دی اکسید برای محیط زیست دارد. مطالعات جدید نشان می دهد می توان با به کارگیری ضایعات جامد، ضایعات زیستی، ضایعات صنایع، نانومواد و کشاورزی، مصرف سیمان را در بخش ساختمانی کاهش داد [۱۸]. فاضلاب پتروشیمی ها یکی از منابع صنعتی عمده آلودگی هستند که تنوعی از آلاینده های آلی سمی و مقاوم را تولید می کنند و برای حیوانات و گیاهان مضر هستند. همچنین، درون آب های طبیعی به طور ویژه برای سیستم های عملکرد بیولوژی مضر هستند [۱۹]. آب برای ادامه زندگی و حفظ حیات نیاز اساسی است. به هر حال، بشر با بحران کمبود جهانی آب روبه رو است. انواع گونه های میکروارگانیسم ها، گازها و دیگر سموم مسئول آلوده کردن آب وجود دارند. انواع گوناگونی از نانومواد وجود دارند که پتانسیل فراوانی در آلوده کردن آب دارند (آب در بردارنده سموم فلزی یا ناخالصی های آلی و غیر آلی ویژه)، به خاطر خواص بی نظیری نظیر مساحت سطح بالا و توانایی اثرگذاری، حتی در غلظت های کم عملکرد دارند [۲۰].

آلودگی هوا مانعی اصلی برای توسعه شهری است. آلودگی ترافیکی معضلی در برابر توسعه شهری کلان شهرهای آینده شده است. محققان در حال پایش دیتاهای فراوانی در زمینه میزان آلاینده های مختلف هوا هستند و زندگی در کلان شهرها در آینده، مانند کلاف درهم پیچیده خواهد شد [۲۱]. در کلان شهر تهران، پایتخت ایران، تحقیقات خوبی در زمینه اثر آلودگی هوای ناشی از غلظت های مختلف PM₁₀ و گازهای آلاینده NO₂، SO₂ بر سرطان کودکان ایرانی یک تا پانزده ساله انجام

91436 است [۳۵، ۳۶]. این استاندارد، که مؤسسه استاندارد آلمان (DIN: Deutsches Institut für Normung) ارائه کرده است، ابزاری ساختاریافته برای سازمان‌ها، شهرداری‌ها و شرکت‌ها فراهم می‌کند تا سیستم مدیریت پسماند خود را براساس اصول چرخه‌ای و پایدار بازطراحی کنند [۳۷]. برای تحقق رویکرد پسماند صفر وجود ابزارها، روش‌ها و نگرش‌های سیستمی لازم است و می‌توان با دو مفهوم ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی آن را محقق کرد [۳۸]. اصطلاح ارگونومی سبز (Green Ergonomics) به جنبه‌ای از ارگونومی گفته می‌شود که در جهت تحقق اهداف ارگونومی به ترویج ارتباطات سالم بین انسان و طبیعت می‌پردازد و بر ارتباطات دو جانبه سیستم‌های انسانی و محیط‌زیست متمرکز است [۳۹]. علاوه بر ارگونومی سبز، ارگونومی بوم‌شناسی (Ergoecology) با بررسی رابطه بین ارگونومی و فاکتورهای انسانی، به پایداری محیط‌زیست می‌پردازد [۴۰] و همچنین ارتباط بین انسان با محیط‌زیست و تجزیه و تحلیل آثار مثبت یا منفی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست را بررسی می‌کند. به‌طور کلی، ارگواکولوژی نقش تحلیلگر سیستم، ارگونومی سبز نقش طراح راه‌حل و استاندارد DIN 91436 نقش چهارچوب اجرایی را ایفا می‌کنند و در نهایت، به تحقق نوعی سیستم پایدار با حداقل پسماند و حداکثر بازیافت منابع منجر می‌شوند.

با توجه به گستردگی و پیچیدگی چالش‌های مرتبط با تخریب محیط‌زیست، نقش محوری مدیریت پسماند در کاهش این تخریب‌ها و نیز ظهور مفاهیم نوینی چون ارگونومی سبز، ارگونومی بوم‌شناسی و پسماند صفر در کنار چهارچوب‌های استاندارد شده، مانند DIN 91436 و همچنین با توجه به آمارهای نگران‌کننده درباره تولید پسماند و تأثیرات آن در سلامت انسان و اکوسیستم‌ها و لزوم حرکت به سمت اقتصاد چرخه‌ای، انجام مطالعه مروری در این حوزه ضروری است. در نهایت، این مقاله با هدف مروری روایتی بر نقش ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی در تحقق پسماند صفر انجام شد. پسماند صفر، ضرورت مطالعه مروری برای تحقق اقتصاد چرخه‌ای و پایداری را ایجاد می‌کند و نقش ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی در تحقق پسماند صفر هدف این مرور روایتی است.

روش کار

طراحی مطالعه و استراتژی جست‌وجوی این مطالعه به‌صورت مرور روایتی (Narrative Review) در سال ۲۰۲۵ انجام شد تا به صورت جامع شواهد موجود درباره ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی (ارگواکولوژی) به‌عنوان بستری برای تحقق پسماند صفر را تحلیل و تلفیق کند. فرایند جست‌وجوی مقالات با پوشش بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ انجام گرفت. جست‌وجو به‌صورت نظام‌مند در پایگاه‌های داده‌های بین‌المللی معتبر شامل PubMed، Scopus، ScienceDirect و Web of Science انجام شد. برای اطمینان از پوشش کامل، از موتور جست‌وجوی Google Scholar نیز به‌عنوان

شده است که نشانه بالاتر بودن میزان بیماری‌ها، بالاتر از حد نرم استاندارد است [۲۲]. گرمایش زمین و آلودگی هوا در مناطق پرجمعیت نگران‌کننده است. تأمین برق کشور چین به مقدار زیادی با مصرف سوخت زغال سنگ انجام می‌شود که برای توسعه و راه‌اندازی نیروگاه‌های جدید و متعادل و پایدار نگهداشتن نیروگاه‌ها به واحدهای سوخت زغال سنگ نیاز بیشتری است. دستیابی به این موارد باعث آلاینده‌های گرمایش زمین و نشر دی‌اکسیدکربن فراوان می‌شود. با سیستم‌های تولید برق ترکیبی باد - زغال سنگ بازدهی انرژی افزایش و انواع آلاینده‌ها کاهش می‌یابند و می‌توان نشر گازهای Nox را از ۱۱۲ به ۰/۲۷ درصد کاهش داد [۲۳]. بررسی جوانانی که در نزدیکی پتروشیمی‌ها در کشور تایوان زندگی می‌کنند نشان‌دهنده آسیب‌های جدی به بدن آن‌ها از طریق بعضی مواد خطرناک شیمیایی، نظیر آرسنیک و ترکیبات هیدروکربنی پلیمری چند حلقوی آروماتیک بوده است [۲۴].

همه دانشمندان راهکارهایی برای کمک به محیط‌زیست دارند که در صورت به‌کارگیری و مدیریت و تعامل صحیح بین‌المللی می‌توان به سمت پسماند صفر حرکت کرد. شکافت آب برای تولید هیدروژن توسط تابش نور به کمک ترکیبات فتوکاتالیستی و نانوکامپوزیتی جدید سیستم ایدئالی برای تولید انرژی تجدیدپذیر و کاهش آثار گرم‌کنندگی جهانی است [۲۵]. در دهه ۹۰ قرن بیستم، میانگین تولید زباله جامد به‌ازای هر نفر بین ۱۰۰ تا ۳۳۰ کیلوگرم در اتحادیه اروپا، ۴۱۴ کیلوگرم در آمریکای شمالی و ۷۲۰ کیلوگرم در آسیا بود [۲۶]. تخمین زده می‌شود که میزان زباله‌های الکترونیکی تولیدشده در جهان در سال ۲۰۲۲، ۶۲ میلیون تن (۷/۸ کیلوگرم به‌ازای هر نفر) و در سال ۲۰۳۰، ۸۲ میلیون تن (۹ کیلوگرم به‌ازای هر نفر) است [۲۷]. برخلاف زباله‌های جامد عمومی، زباله‌های الکترونیکی عمدتاً از فلزات (۶۰ درصد) و پلاستیک‌ها (۳۰ درصد) تشکیل شده‌اند که برخی از آن‌ها به‌دلیل سمیت زیادشان شناخته شده‌اند، به‌طوری که تقریباً ۲/۷ درصد از یون‌های فلزی به فلزات سمی متعلق هستند [۲۸].

برای حفظ سلامت انسان و محیط‌زیست، اجرای روش پایدار زیست‌محیطی برای دفع و بازیافت زباله‌ها ضروری است [۲۹، ۳۰]. سالانه ده میلیون تن محصولات نفتی و پانصد میلیارد تن زباله صنعتی به آبراه‌ها ریخته می‌شود و تقریباً یک میلیارد تن خاکستر و آئروسول از تأسیسات صنعتی و حمل‌ونقل در جو آزاد می‌شود [۲۶]. رویکرد پسماند صفر از جمله مفاهیم سبزی است که می‌تواند در پیاده‌سازی الگوی مدیریت پسماند شهرها در نظر گرفته شود [۳۰، ۳۱]. در یک شهر با پسماند صفر، بازیافت ۱۰۰ درصد پسماندها، هدف اصلی است [۳۲]. مفهوم پسماند صفر، متابولیسم خطی شهرها را به سمت متابولیسم بسته یا چرخه‌ای هدایت می‌کند و در این رویکرد از مفاهیم پایدار بسیاری، شامل جلوگیری از تولید پسماند، کاهش تولید، استفاده مجدد، طراحی مجدد، بازیابی، بازیافت، تعمیر، تولید مجدد، فروش مجدد و توزیع مجدد استفاده می‌شود [۳۳، ۳۴].

یک مدل مرجع برای مدیریت پسماند و مواد قابل بازیافت با دیدگاه حرکت به سمت پسماند صفر چهارچوب استاندارد DIN

یافته‌ها

ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر

ارگونومی سبز و رویکرد پسماند صفر در یک چهارچوب هم‌افزایانه به‌منظور تحقق توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست عمل می‌کنند. ارگونومی سبز با تمرکز بر طراحی محصولات، فرایندها و محیط‌های کاری سازگار با محیط‌زیست، نه‌تنها به بهبود سلامت و بهره‌وری انسان می‌پردازد، بلکه از طریق کاهش مصرف منابع و افزایش قابلیت بازیافت، به‌طور مستقیم از اهداف پسماند صفر حمایت می‌کند [۴۱]. براساس استاندارد DIN 91436:2021 رویکرد پسماند صفر بر پایه چرخه دایره‌ای بسته استوار است که در آن بر جلوگیری از تولید زباله، استفاده مجدد و بازیافت کامل مواد تأکید می‌شود. این مدل با اصول ارگونومی سبز، که بر طراحی پایدار، افزایش عمر محصول و کاهش ضایعات تمرکز دارد، همسو است. بنابراین، تلفیق این دو رویکرد نه‌تنها به کاهش آلودگی و حفظ منابع طبیعی منجر می‌شود، بلکه از طریق ارتقای کیفیت زندگی و سلامت انسان، گامی مؤثر در جهت تحقق اقتصاد چرخه‌ای و پایداری محیط‌زیست محسوب می‌شود.

نتایج مطالعه Pilczuk و Barefield نشان داد ارگونومی سبز با طراحی محصولات و محیط‌های کاری، باعث کاهش محدودیت‌های محیط‌زیستی و کاهش تولید پسماند می‌شود [۴۲]. در این مطالعه از زیرپایه بر پایه ارگونومی سبز برای کاربر کامپیوتر استفاده شده است، به‌طوری که پس از استفاده نیز قابل بازیافت بود. همچنین، ارگونومی سبز از طریق بهبود بهره‌وری منابع و کاهش مصرف انرژی به کاهش پسماند در مبدأ کمک می‌کند و با تمرکز بر پیشگیری از ضایعات، در مرحله طراحی، آموزش کارکنان، بهبود فرایندها و استفاده از تجهیزات پایدار، می‌تواند گام مؤثری به سوی پسماند صفر بردارد که با مرحله پیشگیری در چرخه داخلی پسماند صفر مطابق استاندارد مدل پسماند صفر هم‌خوانی دارد [۴۳].

نتایج مطالعه Thatcher نشان داد ارگونومی سبز با هدف قراردادن کارایی سیستم در سطح کلان (شامل انسان، فناوری و محیط)، به‌جای تمرکز صرف بر بهره‌وری کوتاه‌مدت، چهارچوبی ارائه می‌دهد که در آن مصرف انرژی بهینه می‌شود و منابع به‌صورت چرخه‌ای مدیریت می‌شوند و اتلاف مواد به حداقل می‌رسد. این موضوع مستقیماً با اهداف اقتصاد چرخه‌ای و رویکرد پسماند صفر همسو است [۴۱]. برخی از مطالعات به‌کارگیری رویکرد سیستم‌های فنی - اجتماعی و اصول ارگونومی سبز را نشان می‌دهند. طراحی پایدار دفترهای open-plan می‌تواند به‌طور هم‌زمان به کاهش مصرف انرژی از طریق بهینه‌سازی سیستم‌های روشنایی، گرمایش، تهویه مطبوع مبتنی بر نیازهای واقعی کاربران و استفاده از مصالح پایدار و قابل بازیافت در ساخت تجهیزات و ترویج رفتارهای سبز در کارکنان، مانند بازیافت، کاهش پسماند و مدیریت انرژی، منتهی شود [۳۹].

ابزار مکمل استفاده شد. علاوه‌براین، برای شناسایی مطالعات فارسی‌زبان پایگاه‌های داده‌های داخلی (SID (Scientific Information Database)، Magiran، IranMedex و IranDoc جست‌وجو شدند. استراتژی جست‌وجو براساس ترکیبی از کلمات کلیدی اصلی و مترادف‌های آن‌ها با استفاده از عملگرهای بولی (AND, OR) طراحی شد. برای پایگاه‌های بین‌المللی از کلمات کلیدی انگلیسی «ارگواکولوژی، ارگونومی سبز، پسماند صفر بازیافت، رویکرد پسماند صفر براساس استاندارد DIN 91436:2021» استفاده شد. جست‌وجوی مشابهی با استفاده از معادل‌های فارسی این کلمات کلیدی در پایگاه‌های داده‌های داخلی اجرا شد. فرایند انتخاب مقالات و معیارهای ورود و خروج تمام مقالات شناسایی‌شده پس از جست‌وجو به نرم‌افزار مدیریت مراجع EndNote (Version 2025) منتقل و مقالات تکراری به‌صورت خودکار و دستی حذف شدند. فرایند غربالگری مقالات در دو مرحله انجام شد:

۱. بررسی اولیه: دو نویسنده عنوان و چکیده تمام مقالات باقی‌مانده را به‌طور مستقل بررسی کردند تا مرتبط‌بودن آن‌ها با هدف مطالعه مشخص شود؛

۲. بررسی متن کامل: متن کامل مقالاتی که در مرحله اولیه واجد شرایط شناخته شدند، به‌صورت دقیق بررسی شدند.

معیارهای ورود (Inclusion Criteria) عبارت بودند از: مقالات پژوهشی یا مروری که به زبان انگلیسی یا فارسی منتشر شده بودند؛ مطالعاتی که ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناسی را در زمینه پایداری محیط‌زیستی بررسی کرده بودند؛ مطالعاتی که به ارتباط بین ارگونومی، بوم‌شناسی و رویکرد پسماند صفر براساس استاندارد DIN 91436:2021 پرداخته بودند.

معیارهای خروج (Exclusion Criteria) عبارت بودند از: مطالعاتی که فقط به یک مفهوم مجزا، مثلاً تنها مدیریت پسماند پرداخته بودند؛ مطالعاتی که فاقد چهارچوب نظری یا مفهومی مشخص در ارتباط تعامل انسان - محیط بودند؛ خلاصه کنفرانس‌ها، مقالات بدون متن کامل یا نامه به سردبیر؛ مطالعاتی که به زبانی غیر از فارسی یا انگلیسی منتشر شده بودند.

با توجه به معیارهای ورود و خروج، در نهایت ده مقاله مناسب یافت شد. همچنین، با درنظرگرفتن ماهیت روایتی مطالعه، داده‌های استخراج‌شده از مقالات منتخب با استفاده از رویکرد تحلیل موضوعی (Thematic Analysis) طبقه‌بندی، ترکیب و به صورت روایتی گزارش شدند. به‌دلیل تنوع روش‌شناسی مطالعات اولیه و هدف مطالعه، که سنتز مفاهیم و کاربردها بود، از انجام متاآنالیز آماری خودداری و در نهایت، مدیریت و دسته‌بندی این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel انجام شد. در پایان، براساس مطالعات انجام‌شده، مقاله مدنظر در دو حوزه نحوه ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر و نحوه ارتباط ارگونومی بوم‌شناسی با پسماند صفر بررسی شد که در جدول ۱ ارائه شده است.

نحوه ارتباط ارگونومی بوم‌شناسی (ارگواکولوژی) با پسماند صفر

ارگونومی بوم‌شناسی به‌عنوان علم چندرشته‌ای، تعاملات بین سیستم‌های انسانی و محیط‌زیست را بررسی و تأثیرات مثبت یا منفی فعالیت‌های انسانی را بر اکوسیستم تحلیل می‌کند [۴۴]. این چهارچوب با تأکید بر جنبه‌های بوم‌شناختی، اقتصادی، تکنولوژیکی و انسانی، بستری فراهم می‌کند که در آن کاهش مصرف منابع، بهینه‌سازی انرژی و حداقل‌سازی ضایعات محقق می‌شود. یکی از اصول پسماند صفر، تغییر رفتار و تفکر سیستم‌محور است. ارگونومی بوم‌شناسی با تمرکز بر عوامل انسانی و اجتماعی می‌تواند در آموزش، آگاهی‌بخشی و تغییر نگرش به پسماند، نقش مؤثری ایفا کند. این رویکرد با تمرکز بر مفاهیم اکو - کارایی و اکو - بهره‌وری، بر استفاده حداکثری از منابع (انرژی، مواد و اطلاعات)، همراه با حداقل اتلاف و بدون آسیب به محیط تأکید می‌ورزد.

پسماند صفر با بهره‌گیری از این اصول با هدف حذف کامل زباله، از طریق پیشگیری از تولید ضایعات، طراحی مجدد محصولات، استفاده

مجدد و بازیافت، اقتصاد خطی را به سوی اقتصاد چرخه‌ای سوق می‌دهد [۴۵]. استاندارد DIN 91436 احتمالاً با تعیین معیارهای فنی برای طراحی محصولات قابل تعمیر، تفکیک‌پذیر و بازیافت‌پذیر، چهارچوبی ساختاریافته برای تحقق اهداف طراحی بازیافت‌محور، مانند روش‌های Recovery Conscious Design و Cradle to Cradle ارائه می‌دهد که به‌عنوان رویکردهای کلیدی به سمت پسماند صفر هستند. DIN 91436 می‌تواند پلی بین مبانی نظری ارگواکولوژی و اجرای عملی طراحی پایدار باشد و با استانداردسازی فرایندهای طراحی، تولید و پایان عمر محصول، گام مؤثری در جهت عملیاتی‌سازی اقتصاد چرخشی و دستیابی به چشم‌انداز پسماند صفر شود [۴۶]. ارگواکولوژی نشان می‌دهد که تحقق پسماند صفر مستلزم توجه هم‌زمان به ابعاد پنج‌گانه (Political Economic Social Technological) PESTE (سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناورانه و زیست محیطی) است و تنها در این صورت می‌توان به تعادل پایدار بین سیستم‌های اجتماعی - فنی و اکو سیستم‌های طبیعی دست یافت [۴۷]. خلاصه‌ای از ده مطالعه کلیدی که این یافته‌ها را تأیید می‌کنند در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج مطالعات تجربی و مروری در زمینه ارگونومی سبز و ارگواکولوژی به‌عنوان بستری برای تحقق پسماند صفر

شماره	نویسنده اول و سال مطالعه	عنوان مطالعه	حوزه کاربرد	جامعه مورد مطالعه	یافته کلیدی
۱	Hedge و همکاران، ۲۰۱۰ [۴۸]	ارگونومی سبز: حمایت از عنصر انسانی در ساختمان‌ها	ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر	۲۰۰ کارمند	ارگونومی سبز از طریق تمرکز بر طراحی ساختمان‌های پایدار (LEED: Leadership in Energy and Environmental Design) و استفاده از مواد طبیعی و قابل بازیافت، به‌صورت غیرمستقیم در جهت کاهش پسماند و افزایش بازیافت عمل می‌کند. ارگونومی سبز نه تنها با کاهش مصرف منابع، بلکه با طراحی هوشمندانه محصولات و سیستم‌ها، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در جهت تحقق پسماند صفر و افزایش بازیافت نقش ایفا می‌کند.
۲	Thatcher، ۲۰۱۳ [۴۱]	ارگونومی سبز: تعریف و دامنه	ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر	-	ارگونومی سبز با کاهش ضایعات در منبع، افزایش عمر محصول و تسهیل بازیافت، به‌صورت غیرمستقیم در جهت تحقق پسماند صفر عمل می‌کند.
۳	Hanson [۴۹]، ۲۰۱۳	ارگونومی سبز: چالش‌ها و فرصت‌ها	ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر	-	اجرای کمپین ارگونومی سبز به طراحی بیش از ۳۵ راه‌حل ارگونومی با استفاده از مواد دورریز، کاهش هزینه‌ها، حل بیش از ۷۰۰ مسئله ارگونومی و افزایش تعهد کارکنان به برنامه‌های پایداری و ارگونومی منجر شد.
۴	Pilczuk و Barefield، ۲۰۱۴ [۴۲]	ارگونومی سبز: ترکیب پایداری و ارگونومی	ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر	حدود ۱۴۰۰۰ نفر	تمرکز بر طراحی پایدار دفترهای open-plan، بر کاهش مصرف انرژی (از طریق سیستم‌های روشنایی و HVAC بهینه)،
۵	Norton و همکاران، ۲۰۲۱ [۳۹]	دیدگاه اجتماعی - فنی درباره کاربرد ارگونومی سبز در	ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر	-	

۶	Gupta و Rathore, ۲۰۲۵ [۴۳].	آیا شیوه‌های ارگونومی سبز در عملکرد پایدار تأثیر دارند؟	ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر	۲۴۹ مدیر / متخصص	استفاده از مصالح پایدار و تشویق رفتارهای سبز کارکنان مانند بازیافت و مدیریت صحیح پسماند تأکید می‌کنند. در ارگونومی سبز با تمرکز بر پیشگیری از ضایعات در مرحله طراحی، آموزش کارکنان، بهبود فرایندها و استفاده از تجهیزات پایدار، سازمان‌ها می‌توانند گام‌های مؤثری به سوی پسماند صفر بردارند.
۷	Sukapto و همکاران، ۲۰۲۵ [۵۰].	اجرای ارگونومی سبز برای بهبود شرایط محیطی کار با استفاده از شاخص کار پایدار (SWI) در صنعت تولید کفش	ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر	۲۰۰۰ کارگر	ابعاد عملیاتی ارگونومی سبز از جمله بهبود طراحی کار، شرایط محیطی، آموزش کارگران و بهینه‌سازی منابع همگی می‌توانند در جهت کاهش ضایعات، افزایش بازیافت و حرکت به سمت اقتصاد چرخشی مؤثر باشند. ارگواکولوژی از طریق سه اصل کلیدی (بوم بهره‌وری، بوم کارایی و بوم اثربخشی) و تنظیمات طراحی چرخه‌محور (مانند Cradle to C2C Recovery و Conscious Design)، جامع برای کاهش پسماند در منبع، افزایش بازیافت و نهایتاً دستیابی به پسماند صفر می‌دهد.
۸	Saravia-Pinilla و همکاران، ۲۰۱۶ [۴۶].	یک رویکرد جامع به عوامل محیطی و انسانی در طراحی و توسعه محصول / خدمات. مروری از دیدگاه ارگواکولوژیکی	نحوه ارتباط ارگواکولوژی با پسماند صفر	-	چرخه‌محور (مانند Cradle to C2C Recovery و Conscious Design)، جامع برای کاهش پسماند در منبع، افزایش بازیافت و نهایتاً دستیابی به پسماند صفر می‌دهد.
۹	Garcia-Acosta و همکاران، ۲۰۱۴ [۴۷].	ارگواکولوژی: مبانی یک حوزه چندرشته‌ای جدید	نحوه ارتباط ارگواکولوژی با پسماند صفر	-	ارگواکولوژی نشان می‌دهد که تحقق پسماند صفر مستلزم توجه هم‌زمان به ابعاد پنج‌گانه PESTE (سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناورانه و زیست محیطی) است و تنها در این صورت می‌توان به تعادل پایدار بین سیستم‌های انسانی - فنی و اکوسیستم‌های طبیعی دست یافت.
۱۰	Garcia-Acosta و همکاران، ۲۰۱۲ [۴۵].	تکامل و چالش‌ها ارگواکولوژی	نحوه ارتباط ارگواکولوژی با پسماند صفر	-	ارگواکولوژی با تعریف سیستم ارگونومیک (انسان، فضای فیزیکی، شیء/ماشین) و عوامل پیرامونی (PESTE)، بر پیوند اکولوژی و ارگونومی تأکید می‌کند. این رویکرد از طریق اصول بوم - کارایی و بوم - بهره‌وری به دنبال کاهش ضایعات در منبع، بهینه‌سازی مصرف مواد و انرژی و دستیابی به تعادل پایدار بین سیستم‌های مصنوعی و طبیعی است که مستقیماً در جهت پسماند صفر قرار می‌گیرد.

ادغام نانو فناوری (در حوزه نانوشیمی و نانودرگ دلیوری) با پسماند صفر و نقش ارگونومی سبز و بوم‌شناختی در توسعه پایدار

دو رویکرد مهم و مورد تأکید برنامه‌های راهبردی و اقتصادی در سطح کلان کشورها، توجه به حوزه‌های نانو فناوری (Nanoscience) و همچنین رویکرد پسماند صفر و کاهش مصرف مواد مولد پسماند است. حوزه نانو فناوری می‌تواند در تحقق اهداف پسماند صفر نقش مهمی ایفا کند [۵۲، ۵۳]. در این میان، حوزه‌هایی مانند نانوشیمی (Nanotechnology) و نانوذرات دارویی نانو درگ دلیوری (Nano Drug Delivery) به عنوان نمونه‌هایی

ادغام نانو فناوری (در حوزه نانوشیمی و نانودرگ دلیوری) با پسماند صفر و نقش ارگونومی سبز و بوم‌شناختی در توسعه پایدار

دو رویکرد مهم و مورد تأکید برنامه‌های راهبردی و اقتصادی در سطح کلان کشورها، توجه به حوزه‌های نانو فناوری (Nanoscience)

شاخص، می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر اقتصاد، پیشرفت صنعتی و سلامت جامعه داشته باشند [۵۴، ۵۵].

ارگونومی سبز و ارگونومی بوم‌شناختی در حوزه‌های پیشرفته‌ای مانند نانوشیمی و نانو درگ دلیوری کاربردهای مهمی دارند، اما از نظر رویکرد و سطح تحلیل متفاوت هستند. ارگونومی سبز در این زمینه، بیشتر بر طراحی فرایندها، مواد و فناوری‌های نانویی به‌گونه‌ای تمرکز دارد که آثار زیست‌محیطی و خطر برای انسان به حداقل برسد [۵۲]. برای مثال، در نانوشیمی می‌توان به توسعه روش‌های سنتز نانوذرات با استفاده از حلال‌های سبز، کاهش مصرف انرژی در واکنش‌ها و استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر اشاره کرد [۵۲، ۵۴]. در حوزه نانو درگ دلیوری نیز طراحی نانوحامل‌هایی که زیست‌سازگار بوده‌اند و پس از انجام وظیفه، به‌طور ایمن در بدن تجزیه می‌شوند، نمونه‌ای از کاربرد ارگونومی سبز است؛ چراکه این رویکرد به کاهش سمیت، عوارض جانبی و آلودگی زیستی کمک می‌کند [۵۶، ۵۷]. همچنین، پیشرفت‌های حاصل از فناوری نانو در دارورسانی هدفمند در افزایش کارایی درمان و کاهش آثار جانبی نقش مهمی داشته‌اند [۵۵، ۵۸].

در مقابل، ارگونومی بوم‌شناختی با نگاهی کل‌نگر به تحلیل تعاملات پیچیده میان انسان، فناوری نانو و محیط‌زیست می‌پردازد. در نانوشیمی، این رویکرد شامل بررسی چرخه حیات نانومواد از تولید تا دفع و ارزیابی آثار آنها بر اکوسیستم‌ها و سلامت انسان است [۵۹، ۶۰]. برای مثال، تحلیل نحوه انتشار نانوذرات در آب یا خاک و تأثیر آنها بر میکروارگانیسم‌ها و زنجیره غذایی، در چهارچوب ارگونومی بوم‌شناختی قرار می‌گیرد [۶۰].

در نانو درگ دلیوری نیز این رویکرد به بررسی آثار بلندمدت نانوحامل‌ها بر بدن انسان، تعامل آنها با سیستم‌های زیستی و پیامدهای احتمالی ورود آنها به محیط‌زیست از طریق پسماندهای دارویی می‌پردازد [۵۳].

به‌طور کلی، ارگونومی سبز در این حوزه‌ها بیشتر بر «چگونه بهتر طراحی کنیم» تمرکز دارد، درحالی‌که ارگونومی بوم‌شناختی به این پرسش می‌پردازد که «این فناوری‌ها در مقیاس کلان چه پیامدهایی برای انسان و محیط‌زیست دارند». بنابراین، ترکیب این دو رویکرد می‌تواند به توسعه فناوری‌های نانویی پایدار، ایمن و هماهنگ با محیط‌زیست منجر شود [۵۲، ۵۳، ۶۰].

بحث

مطالعه حاضر با هدف کاربرد ارگونومی سبز و ارگواکولوژی به‌عنوان بستری برای تحقق پسماند صفر (یک مرور روایتی مبتنی بر چهارچوب استاندارد DIN 91436) انجام شد. تعداد مقالات محدودی به شکل مستقیم به ارتباط ارگونومی سبز با پسماند صفر و نحوه ارتباط ارگواکولوژی با پسماند صفر اشاره کرده‌اند. براساس استاندارد DIN 91436:2021 رویکرد پسماند صفر بر پایه چرخه دایره‌ای بسته استوار است که در آن بر جلوگیری از تولید زباله،

استفاده مجدد و بازیافت کامل مواد تأکید می‌شود [۳۷] و با اصول ارگونومی سبز همسو است. نتایج حاصل از مطالعات حاکی از آن است که ارگونومی سبز نه تنها بر بهره‌وری و رفاه کارکنان تمرکز دارد، بلکه به‌طور جدی به کاهش پسماند، بازیافت مواد و طراحی پایدار ساختمان‌ها نیز می‌پردازد [۶۱، ۶۲]. این رویکرد، ارتباط نزدیکی با سیستم‌های رتبه‌بندی ساختمان‌های پایدار دارد و از طریق طراحی هوشمند و استفاده از مواد طبیعی و قابل بازیافت، به‌صورت غیرمستقیم و مستقیم در جهت کاهش پسماند و افزایش بازیافت عمل می‌کند. Hedge و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطالعه‌ای با عنوان «ارگونومی سبز، حمایت از عنصر انسانی در ساختمان‌ها» انجام دادند. نتایج نشان داد که سامانه رتبه‌بندی ساختمان‌های سبز نه تنها بر کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت هوای داخلی تمرکز دارد، بلکه امتیاز ویژه‌ای برای طراحی ارگونومیک نیز در نظر گرفته است و این امتیاز سازمان‌ها را تشویق می‌کند تا فضاهای کاری را به‌گونه‌ای طراحی کنند که هم‌زمان با حفظ سلامت کارکنان، از منابع طبیعی بهینه استفاده شود [۴۸]. برای دستیابی به اهداف تعیین‌شده، در طراحی ساختمان‌های سبز تأکید بر استفاده از موادی است که کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد می‌کنند و قابلیت بازیافت دارند [۶۳]. این موضوع به کاهش پسماندهای ساختمانی و صنعتی کمک می‌کند. همچنین طراحی ارگونومیک ساختمان‌ها می‌تواند با بهینه‌سازی مصرف انرژی و آب به کاهش تولید پسماندهای غیرمستقیم (مانند زباله‌های ناشی از تولید انرژی) منجر شود. Norton و همکاران مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۱ با عنوان «دیدگاه اجتماعی - فنی درباره کاربرد ارگونومی سبز در دفاتر کار با پلان باز» انجام دادند. این مطالعه حاکی از آن بود که طراحی فضاهای کاری با عناصر طبیعی (Biophilic Design) نه تنها به سلامت روانی کارکنان کمک می‌کند، بلکه می‌تواند با کاهش استفاده از مواد مصنوعی و افزایش استفاده از عناصر طبیعی، میزان پسماند را کاهش دهد [۳۹].

یکی دیگر از روش‌های مؤثر ارگونومی سبز در کاهش پسماندها و ایجاد پسماند صفر تمرکز بر طراحی چرخه عمر محصولات است. [۶۴] مطالعه Rathore و Gupta نیز بر طراحی کار سبز، شامل انتخاب مواد پایدار، آموزش مناسب، جایگزینی مواد خطرناک و در نظر گرفتن چرخه عمر محصول تأکید داشت؛ این طراحی به کاهش تولید پسماند از مبدأ منجر می‌شود [۴۳]. محصولاتی که با اصول ارگونومی سبز طراحی می‌شوند، به‌گونه‌ای هستند که اجزای آنها به راحتی قابل جداسازی و بازیافت باشند. این موضوع باعث کاهش پسماندهای الکترونیکی و صنعتی می‌شود. به همین منظور، Pilczuk و Barefield در سال ۲۰۱۴ مطالعه‌ای با عنوان «ارگونومی سبز: ترکیب پایداری و ارگونومی» انجام دادند که با مطالب عنوان‌شده همسو است. در این مطالعه با راه‌اندازی کمپین Green Ergo از مواد اسقاطی داخل سایت برای ساخت تجهیزات ارگونومیک استفاده شد و این کار نه تنها باعث کاهش هزینه‌ها شد، بلکه میزان پسماند تولیدی را کاهش داد [۴۲].

مانند روش تحلیل ارگواکولوژیک (Analysis MAE: Method for Ergoecology in Design Integrated MIDI-PP: Method for Process Performance Intervention in)، چهارچوبی عملیاتی برای اجرای اصول پسماند صفر در سطح طراحی محصول و فرایند ارائه می‌دهد. این روش‌ها بر کنترل ورودی‌ها (مواد اولیه و انرژی) و خروجی‌ها (محصولات و ضایعات) تمرکز دارند و به دنبال کاهش ضایعات از طریق طراحی هوشمند، بازیافت مواد و افزایش بهره‌وری منابع هستند. مطالعه García-Acosta و همکاران با عنوان «تکامل و چالش‌های ارگواکولوژی» نشان داد ارگواکولوژی با تأکید بر تغییر رفتار و مسئولیت‌پذیری اجتماعی - محیطی بستری برای نهادهای ساز فرهنگ کاهش تولید پسماند فراهم می‌کند که همسو با موارد مطرح‌شده است [۴۵]. این رشته بر مشارکت فعال انسان‌ها در ایجاد مقررات محیط‌زیستی و اجرای برنامه‌های بازیافت در محیط کار تأکید دارد و می‌تواند به گسترش اخلاق محیط‌زیستی و پذیرش الگوهای مصرف پایدار کمک کند. بنابراین، ارگواکولوژی نشان می‌دهد که تحقق پسماند صفر مستلزم توجه هم‌زمان به ابعاد پنج‌گانه PESTE (سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناورانه و زیست‌محیطی) است و تنها در این صورت می‌توان به تعادل پایدار بین سیستم‌های انسانی - فنی و اکو سیستم‌های طبیعی دست یافت [۴۷].

محدودیت‌های مطالعه

با توجه به اینکه این مطالعه نوعی مطالعه مرور روایتی است، باوجود تلاش برای جست‌وجو و انتخاب نظام‌مند منابع، امکان بروز سوگیری در انتخاب و تفسیر مطالعات وجود دارد. همچنین، در این مطالعه تنها مقالات دارای متن کامل به زبان‌های فارسی و انگلیسی بررسی شدند و خلاصه مقالات کنفرانسی، نامه به سردبیر و مطالعات بدون دسترسی به متن کامل کنار گذاشته شدند؛ اگرچه این موضوع به افزایش دقت و کیفیت تحلیل کمک کرده است، می‌تواند به حذف بخشی از شواهد موجود در این حوزه منجر شود. افزون‌بر این، تعداد مطالعاتی که به‌طور مستقیم به ارتباط ارگونومی سبز، ارگونومی بوم‌شناسی و دستیابی به پسماند صفر در محیط‌های کاری پرداخته‌اند محدودند. از این‌رو، نتایج این مطالعه مروری باید با احتیاط تفسیر شود و به انجام مطالعات بیشتر در این زمینه نیاز است.

نتیجه‌گیری

آلوده کردن آب، خاک و هوا توسط مصنوعات بشری و مواد شیمیایی مختلف حیات بشر را به شدت تهدید می‌کند. ورود مواد شیمیایی آلی و غیرآلی و مواد نانو به صورت‌های گازی، جامد و مایع به محیط‌زیست بشر نیازمند رویکرد و سرمایه‌گذاری و طرح‌های پیشرفت بلند مدت در جهت پسماند صفر است. با توجه به اینکه تحقق پسماند صفر نیازمند رویکردی یکپارچه است و ارگونومی سبز با طراحی پایدار، ارگواکولوژی با تحلیل تعامل انسان و محیط

رویکرد ارگونومی سبز علاوه بر روش‌های مستقیم، به‌طور غیرمستقیم بر کاهش پسماند مؤثر است. ارگونومی سبز به‌روش غیرمستقیم و با تأکید بر آموزش و تغییر رفتار کارکنان می‌تواند فرهنگ کاهش پسماند و بازیافت را در سازمان‌ها نهادینه کند. استفاده از سیستم‌های بازخورد انرژی (مانند کنتورهای هوشمند) به کارکنان کمک می‌کند تا مصرف خود را مدیریت کنند [۴۳]. Sukapto و همکاران در سال ۲۰۲۵ مطالعه‌ای با عنوان «اجرای ارگونومی سبز برای بهبود شرایط محیطی کار با استفاده از شاخص کار پایدار در صنعت تولید کفش» انجام دادند. این مطالعه به شکل مستقیم بر طراحی محیط کار سبز و به شکل غیرمستقیم بر آموزش و تغییر رفتار کارکنان تأکید داشت [۵۰]. در این مطالعه با بهبود طراحی ایستگاه کار و استفاده از صندلی‌های ارگونومیک و ارتباط آموزش آن‌ها، نه تنها سلامت کارگران بهبود یافته، بلکه احتمال تولید ضایعات ناشی از خطاهای کاری نیز کاهش یافته است.

ایجاد مشاغل سبز ایمن و سالم برای دستیابی به پسماند صفر موضوعی ضروری است. ارگونومی سبز با تمرکز بر درک و ترویج تغییر رفتارهای زیست‌محور، به طراحی سیستم‌هایی می‌پردازد که مشارکت شهروندان را در کاهش زباله، تفکیک و بازیافت تسهیل می‌کند. نمونه‌هایی مانند طراحی نشانه‌های واضح روی سطوح بازیافت یا سامانه‌های تشویقی از این دست هستند [۴۱]. Hanson در مطالعه‌ای با عنوان «ارگونومی سبز: چالش‌ها و فرصت‌ها» نشان داد که پیوند میان ارگونومی سبز و پسماند صفر می‌تواند به ایجاد راه‌حل‌های جامع‌تری بینجامد که هم نیازهای انسانی را پوشش دهند و هم فشار بر محیط‌زیست را از طریق کاهش تولید پسماند به حداقل برسانند [۴۹]. نتایج حاصل از مطالعات مختلف حاکی از آن است که اغلب روش‌های طراحی موجود فاکتورهای انسانی و محیطی را به صورت مجزا در نظر می‌گیرند [۴۶].

ارگونومی بوم‌شناسی، با تأکید بر دو اصل اکو - کارایی و اکو - اثربخشی، هدف کاهش ضایعات و بهینه‌سازی مصرف منابع را دنبال می‌کند که با فلسفه اصلی پسماند صفر، یعنی حذف زباله از طریق طراحی هوشمند، همسو است. همچنین، رویکرد سیستمی ارگونومی بوم‌شناسی که در آن انسان و محیط به‌عنوان اجزای به‌هم‌پیوسته یک کل در نظر گرفته می‌شوند، مستقیماً با نگاه جامع پسماند صفر (که بر چرخه بسته مواد و تعادل اکوسیستمی تأکید دارد) هم‌خوانی پیدا می‌کند. در مطالعه Saravia-Pinilla و همکاران روش‌های طراحی مانند Cradle to Cradle (C2C)، طراحی برای بازیافت (RCD) و طراحی برای محیط‌زیست (DfE: Design for Environment) معرفی شده‌اند که مبتنی بر حذف ضایعات از طریق طراحی هوشمند، استفاده از مواد غیرسمی و تسهیل بازیافت، با اهداف پسماند صفر همسو هستند [۴۶]. ارگونومی بوم‌شناسی بر این اصل استوار است که سیستم‌ها باید بتوانند انرژی، مواد و اطلاعات را بدون تولید ضایعات یا تأثیرات منفی بر محیط‌زیست تبدیل کنند؛ چیزی که در هسته فلسفه پسماند صفر نیز قرار دارد.

همچنین، ارگونومی بوم‌شناسی با ارائه روش‌های تحلیل و مداخله،

تحلیل داده‌ها، نگارش مقاله و گزارش نهایی مشارکت داشته‌اند.

مفهوم‌سازی: محسن پورصادقیان؛

مدیریت داده‌ها: محسن پورصادقیان؛

تحلیل: زهرا رحیمی؛

تحقیق: حجت‌الله حسینیان؛

روش‌شناسی: حجت‌اله حسینیان؛

مدیریت پروژه: محسن پورصادقیان؛

منابع: محبوبه عابدی؛

نظارت: ایوب قنبری سرتنگ؛

اعتبارسنجی: زهرا رحیمی؛

تجسم: حجت‌اله حسینیان؛

نوشتن پیش‌نویس اصلی: ایوب قنبری سرتنگ؛

نگارش، بررسی و ویرایش: نگار صفی‌پور خطبه‌سرا.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش از نوع مرور روایتی است.

حمایت مالی

برای اجرای این طرح از منابع مالی شخصی پژوهشگران استفاده شده است.

و استاندارد DIN 91436 با ارائه چهارچوب اجرایی، سه رکن اصلی این تحول هستند، ادغام این سه حوزه نه تنها کاهش پسماند و حفظ منابع را ممکن می‌کند، بلکه سلامت انسان و پایداری محیطی را نیز ارتقا می‌دهد. برای حرکت به سوی جامعه‌ای بدون پسماند، گسترش پژوهش‌های بین‌رشته‌ای و گنجاندن اصول ارگونومی سبز و ارگواکولوژی در استانداردهای ملی و مقررات ساختمان‌سازی و تولید ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت، آموزش و فرهنگ‌سازی میان ذی‌نفعان مختلف، از طراحان و مدیران تا شهروندان، برای نهادینه کردن تفکر چرخه‌ای و مسئولیت‌پذیری جمعی کلید تحقق پایدار الگوی پسماند صفر خواهد بود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی عزیزانی که پژوهشگران را در جهت انجام این مطالعه یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله با یکدیگر تضاد منافی نداشته‌اند.

مشارکت‌های نویسندگان

تمام نویسندگان در مطالعه اولیه، تعیین موضوع، اجرای فرایندها،

REFERENCES

- Maleki Roveshti M, Khajehnasiri G, Akhlaghi Pirposhteh E, Amanat N, Salehi Sahlabadi A, Vatani J, et al. A systematic review on the climate and ecosystem change associated with the COVID-19 epidemic: global challenges. *AJEHE*. 2022; 9(2):117-123 [DOI: [10.34172/ajehe.2022.4209](https://doi.org/10.34172/ajehe.2022.4209)]
- Akhlaghi Pirposhteh E, Mishmast M, Miri A, Babaei Pouya A, Panahian A, Khammar A, et al. Biocentric and Life Course Perspectives on Risk Perception of COVID-19 and Climate Change: A Narrative Review. *SJMS*. 2026;12(1):42-46. [Link]
- khlaghi Pirposhteh E, Ghasemian MH, Hosseinpour R, Ahmadinezhad P, Hamidzadeh Arbabi Y, Aminizadeh M, et al. A Content analysis of People's Perception of Climate Change and Its Relationship with Flooding in Parts of Northwestern Iran. *Health Emerg Disasters Q*. Forthcoming 2026.11 [DOI: [10.32598/hdq.2026.406.5](https://doi.org/10.32598/hdq.2026.406.5)]
- Esmaeili S V, Alboghobeish A, Salehi Sahlabadi A, Poursadeghiyan M. Impact of Climate Change on Public Health in Iran: A Systematic Review. *Health Emerg Disasters Q*. 2024; 10(1):3-20 [DOI: [10.32598/hdq.10.1.374.1](https://doi.org/10.32598/hdq.10.1.374.1)]
- Mohsenian A, Esmaeili SV, Alboghobeish A, Poursadeghiyan M, Shahsavani A, Salehi Sahlabadi A. Climate Change and Its Implications for Occupational Health and Safety: A Comprehensive Systematic Review. *Health Emerg Disasters Q*. Forthcoming 2026. [DOI: [10.32598/hdq.2026.435.3](https://doi.org/10.32598/hdq.2026.435.3)]
- Majeed MT, Ozturk I. Environmental degradation and population health outcomes: a global panel data analysis. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020;27(13):15901-15911. DOI: [1007/s11356-020-081167-8](https://doi.org/10.1007/s11356-020-081167-8) [PMID]
- Larsen B. Cost of environmental damage: A socio-economic and environmental health risk assessment. *Minist Environ Hous Land Dev*. 2004. [Link]
- PBES W. Intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. Summary for policy makers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services IPBES Secretariat, Bonn, Germany. 2019.. [Link]
- Dasgupta P, Treasury H. The economics of biodiversity: the Dasgupta review. *Odisha Econ J*. 2022;54(2):170-6. [Link]
- Porsadeqiyani M, Askari A, Pirposhteh E A, Sahlabadi A S, Amanat N. Social Inequalities of Climate Change With a Regional and Global Approach. *Health Emerg Disasters Q*. 2023;8(4):219-222 [DOI: [10.32598/hdq.8.4.406.3](https://doi.org/10.32598/hdq.8.4.406.3)]
- Khasanova S, Alieva E, Shemilkanova A. Environmental pollution: types, causes and consequences. *BIO Web of Conf*. 2023;63:07014.. [DOI: [10.1051/bioconf/20236307014](https://doi.org/10.1051/bioconf/20236307014)]
- Bisht A, Kamboj N, Kamboj V, Bisht A. A review on the role of emerging anthropogenic activities in environmental degradation and emphasis on their mitigation. *Arch Agric Environ Sci*. 2020;5(3):419-25. [DOI: [10.26832/24566632.2020.0503025](https://doi.org/10.26832/24566632.2020.0503025)]
- Jacob JM, Karthik C, Saratale RG, Kumar SS, Prabakar D, Kadivelu K, Pugazhendhi A. Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. *J Environ Manag*. 2018;217:56-70. [DOI: [10.1016/j.jenvman.2018.03.077](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.077)] [PMID]
- Sun Y, Lan J, Du Y, Li Z, Liao X, Du D, et al. Efficient removal of heavy metals by synergistic actions of microorganisms and waste molasses. *Bioresour Technol*. 2020;302:122797. [DOI: [10.1016/j.biortech.2020.122797](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122797)] [PMID]
- Feng M, Zhang P, Zhou HC, Sharma VK. Water-stable metal-organic frameworks for aqueous removal of heavy metals and radionuclides: A review. *Chemosphere*. 2018. [DOI: [10.1016/j.chemosphere.2018.06.114](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.114)] [PMID]
- Bali M, Tilili H. Removal of heavy metals from wastewater using infiltration-percolation process and adsorption on activated carbon. *Int J Environ Sci Technol*. 2019;16(1):249-258. [DOI: [10.1007/s13762-018-1663-5](https://doi.org/10.1007/s13762-018-1663-5)]
- Ates N, Uzal N. Removal of heavy metals from aluminum anodic oxidation wastewaters by membrane filtration. *Environ Sci Pollut Res*. 2018 ;25(22):22259-22272. [DOI: [10.1007/s11356-018-2227-2](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2227-2)]

- 10.1007/s11356-018-2345-z] [PMID]
18. Vishwakarma V, Ramachandran D. Green concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives – A review. *Constr Build Mater*. 2018;162:96-103. [DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2017.11.174](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.174)]
19. Tian X, Song Y, Shen Z, Zhou Y, Wang K, Jin X et al. A comprehensive review on toxic petrochemical wastewater pretreatment and advanced treatment. *J Clean Prod*. 2019;245(6):118692. [DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.118692](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118692)]
20. Naseem T, Waseem M. A comprehensive review on the role of some important nanocomposites for antimicrobial and wastewater applications. *Int J Environ Sci Technol*. 2021. [DOI: [10.1007/s13762-021-03256-8](https://doi.org/10.1007/s13762-021-03256-8)]
21. Du W, Chen L, Wang H, Shan Y, Zhou Z, Li W, et al. Deciphering urban traffic impacts on air quality by deep learning and emission inventory. *J Environ Sci*. 2023;124:745-757. [DOI: [10.1016/j.jes.2021.12.035](https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.12.035)] [PMID]
22. Seifi M, Niazi S, Johnson G, Nodehi V, Yunesian M. Exposure to ambient air pollution and risk of childhood cancers: A population-based study in Tehran, Iran. *Sci Total Environ*. 2019;646:105-110. [DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.07.219](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.219)] [PMID]
23. Dong Y, Jiang X, Ren M, Yuan J. Environmental implications of China's wind-coal combined power generation system. *Resour Conserv Recycl*. 2019;142:24-33. [DOI: [10.1016/j.resconrec.2018.11.012](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.012)]
24. Yuan T-H, Ke D-Y, Wang JE-H, Chan C-C. Associations between renal functions and exposure of arsenic and polycyclic aromatic hydrocarbon in adults living near a petrochemical complex. *Environ Pollut*. 2020;256:113457. [DOI: [10.1016/j.envpol.2019.113457](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113457)]
25. Fajrina N, Tahir M. A critical review in strategies to improve photocatalytic water splitting towards hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy*. 2018. [DOI: [10.1016/j.ijhydene.2018.10.200](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.200)]
26. Budjav B. Evaluation of environmental pollution and waste management strategies on the ecosystem. *J Enterp Bus Intell*. 2022;2(4):223-34. [DOI: [10.53759/5181/JEBI202202022](https://doi.org/10.53759/5181/JEBI202202022)]
27. Baldé CP, Kuehr R, Yamamoto T, McDonald R, D'Angelo E, Althaf S, et al. Global e-waste monitor 2024. IUT 2024. [Link]
28. Widmer R, Oswald-Krapf H, Sinha-Khetriwal D, Schnellmann M, Böni H. Global perspectives on e-waste. *Environ Impact Assess Rev*. 2005;25(5):436-58. [DOI: [10.1016/j.eiar.2005.04.001](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.001)]
29. Shankara S, Prakash BN, Sivapullaiah P. Removal efficiencies of iron from different soils during different processes of electro-kinetic extraction. *Poll Res*. 2016;3:97-105. [Link]
30. Mohajan HK. Waste management strategy to save environment and improve safety of humanity. *Front Manage Sci*. 2025;4(2):74-81. [DOI: [10.56397/FMS.2025.03.05](https://doi.org/10.56397/FMS.2025.03.05)]
31. Jelonek D, Walentek D. Exemplifying the Zero Waste Concept in smart cities. *Econ Environ*. 2022;81(2):40-57. [doi: [10.34659/eis.2022.81.2.462](https://doi.org/10.34659/eis.2022.81.2.462)].
32. Awogbemi O, Kallon DVV, Bello KA. Resource recycling with the aim of achieving zero-waste manufacturing. *Sustainability*. 2022;14(8):4503. [DOI: [10.3390/su14084503](https://doi.org/10.3390/su14084503)]
33. Zhao Y, Zhang J, Zhao K, Li S, Duan X. Coupling system dynamics with emergy analysis to achieve China's zero-waste city goals: A metabolic perspective. *J Clean Prod*. 2025;497:145178. [DOI: [10.1016/j.jclepro.2025.145178](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145178)]
34. Chiang P-C, Ma H-w, Wen L, Lin C-h. *Reduction, Reuse, Recycling, Recovery, Redesign*. Springer. 2024: 255-85. [Link]
35. Glatz D, Grede S, Ziessow A. 8.3 Digitization of Circular Economy Data for Packaging along the Value Chain. *Circular Economy of Plastics: From Plastics Recycling Towards Feedstock Transformation*. 2025:186. [Link]
36. Glatz D, Stakemeier D, Grede S, Ziessow A, Böhm D, Glatz D, et al. *Market—Retailers and Consumers*. Springer. 2025: 167-208. [Link]
37. Yang J. *From Zero Waste to Material Closed Loop*. Springer. 2022. [Link]
38. Setyaningrum R, Wismantoro Y. *Supply Chain Waste Management Model: A Moderating Variable Between Sustainable Macro Ergonomics Process and Waste Management*. Preprints. 2024:2024100443. [DOI: [10.20944/preprints202410.0443.v2](https://doi.org/10.20944/preprints202410.0443.v2)]
39. Norton TA, Ayoko OB, Ashkanasy NM. A socio-technical perspective on the application of green ergonomics to open-plan offices: A review of the literature and recommendations for future research. *Sustainability*. 2021;13(15):8236. [DOI: [10.3390/su13158236](https://doi.org/10.3390/su13158236)]
40. Thomas A, Ma S, Rehman AU, Muthuswamy S. Ergoecology factors influencing healthy and sustainable workplace in healthcare organisation. *Sustainability*. 2023;15(20):14669. [DOI: [10.3390/su152014669](https://doi.org/10.3390/su152014669)]
41. Thatcher A. Green ergonomics: definition and scope. *Ergonomics*. 2013;56(3):389-98. [DOI: [10.1080/00140139.2012.718371](https://doi.org/10.1080/00140139.2012.718371)]
42. Pilczuk D, Barefield K. Green ergonomics: Combining sustainability and ergonomics. *Work*. 2014;49(3):357-61. [DOI: [10.3233/WOR-141869](https://doi.org/10.3233/WOR-141869)] [PMID]
43. Rathore B, Gupta R. Do green ergonomics practices have an impact on sustainable performance? *Comput Ind Eng*. 2025;201:110854. [DOI: [10.1016/j.cie.2024.110854](https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110854)]
44. Kuzmenko A, Filippova L, Nikitina A, editors. *Origin and evolution of digital ergo-ecology in the conditions of socio-technogenic development of the world*. AIP Conf Proc. 2025. [DOI: [10.1063/5.0259607](https://doi.org/10.1063/5.0259607)]
45. García-Acosta G, Saravia Pinilla MH, Riba i Romeva C. Ergoecology: evolution and challenges. *Work*. 2012;41(S1):2133-40. [DOI: [10.3233/WOR-2012-1017-2133](https://doi.org/10.3233/WOR-2012-1017-2133)] [PMID]
46. Saravia-Pinilla MH, Daza-Beltrán C, García-Acosta G. A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective. *Appl Ergon*. 2016;57:62-71. [DOI: [10.1016/j.apergo.2025.11.007](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2025.11.007)] [PMID]
47. García-Acosta G, Pinilla MHS, Larrahondo PAR, Morales KL. Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field. *Theo Issues Ergon Sci*. 2014;15(2):111-33. [DOI: [10.1080/1463922X.2012.678909](https://doi.org/10.1080/1463922X.2012.678909)]
48. Hedge A, Rollings K, Robinson J, editors. "Green" ergonomics: Advocating for the human element in buildings. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2010. [DOI: [10.1177/154193121005400902](https://doi.org/10.1177/154193121005400902)]
49. Hanson MA. Green ergonomics: challenges and opportunities. *Ergonomics*. 2013;56(3):399-408. [DOI: [10.1080/00140139.2012.751457](https://doi.org/10.1080/00140139.2012.751457)] [PMID]
50. Sukapto P, Gita GG, Amanda G, Liauw J, Gunawan M. Implementation of Green Ergonomics to Improve Work Environment Conditions by Using the Sustainable Work Index (SWI) in the Shoe Manufacturing Industry. *JImprosci*. 2025;2(6):383-92. [DOI: [10.62885/improsci.v2i6.844](https://doi.org/10.62885/improsci.v2i6.844)]
51. Grassian VH. When size really matters: Size-dependent properties and surface chemistry of metal and metal oxide nanoparticles. *J Phys Chem C*. 2008;112(47):18303-18313. [DOI: [10.1021/jp806073t](https://doi.org/10.1021/jp806073t)]
52. Varma RS. Greener approach to nanomaterials and their sustainable applications. *Curr Opin Chem Eng*. 2016;11:1-8. [DOI: [10.1016/j.coche.2011.12.002](https://doi.org/10.1016/j.coche.2011.12.002)]
53. Wiesner MR, Bottero JY. *Environmental Nanotechnology : Applications and Impacts of Nanomaterials*. McGraw Hill Professional. 2017. [Link]
54. Ozin GA, Arsenault AC. *Nanochemistry: A Chemical Approach to Nanomaterials*. Cambridge: RSC. 2005. [Link]
55. Langer R. Drug delivery and targeting. *Nature*. 1998;392:5-10. [PMID]
56. Farokhzad OC, Langer R. Impact of nanotechnology on drug delivery. *ACS Nano*. 2009;3(1):16-20. [DOI: [10.1021/nn900002m](https://doi.org/10.1021/nn900002m)] [PMID]
57. Kataoka K, Harada A, Nagasaki Y. Block copolymer micelles for drug delivery. *Adv Drug Deliv Rev*. 2001;47(1):113-131. [DOI: [10.1016/s0169-409x\(00\)00124-1](https://doi.org/10.1016/s0169-409x(00)00124-1)] [PMID]
58. Mitragotri S, Burke PA, Langer R. Overcoming challenges in biopharmaceutical delivery. *Nat Rev Drug Discov*. 2014;13(9):655-672. [DOI: [10.1038/nrd4363](https://doi.org/10.1038/nrd4363)] [PMID]
59. Keller AA, McFerran S, Lazareva A, Suh S. Global life cycle

- releases of engineered nanomaterials. J Nanopart Res. 2013;15(6):1692. [DOI: [10.1007/s11051-013-1692-4](https://doi.org/10.1007/s11051-013-1692-4)]
60. Colvin VL. The potential environmental impact of engineered nanomaterials. Nat Biotechnol. 2003;21(10):1166–1170. [DOI: [10.1038/nbt875](https://doi.org/10.1038/nbt875)] [PMID]
61. Thatcher A, Milner K. Green ergonomics and green buildings. Ergon Des. 2014;22(2):5–12. [DOI: [10.1177/1064804613516760](https://doi.org/10.1177/1064804613516760)]
62. Thomas A, Ma S, Rehman AU. Innovative Approach to Identify the Readiness Factors to Realize Green Ergonomics in Sustainable Service Organizations. Sustainability. 2024;16(14):6160. [DOI: [10.3390/su16146160](https://doi.org/10.3390/su16146160)]
63. Edwards B, Naboni E. Green buildings pay: Design, productivity and ecology: Routledge. 2013. [DOI: [10.1108/PM-03-2014-0015](https://doi.org/10.1108/PM-03-2014-0015)]
64. Butlewski M, Broda M. How an Ergonomic Approach Supports Sustainability and ESG Goals: From Green Ergonomics to Sustainability Through Ergonomic Excellence. Sustainability. 2025;17(24):10893. [DOI: [10.3390/su172410893](https://doi.org/10.3390/su172410893)]