



Research Paper

Economic and Environmental Analysis of Construction Waste Recycling in Reducing Energy and Cost in the Construction Process (Case Study: Aramesh Building Project in Darabad Area of Tehran)

Shaha Shirzad Chokami¹ Morteza Tahamipour Zarandi*²

1 Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

2 Assistant Professor, Faculty of Economics and Political Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Keywords

Building Service Life,
Life Cycle Cost,
Life Cycle Assessment,
Recycling,
Circular Economy in
Construction.



ABSTRACT

In recent decades, global urbanization has increased exponentially alongside human population growth, consequently escalating the consumption of material resources. Specifically, the construction industry is responsible for utilizing a large portion of natural resources (32%). Although this is a reduction from the natural resources consumed in the 1990s (40%), it's estimated that over 75% of the waste generated by the construction industry holds residual value but is currently neither reused nor recycled. This is primarily due to the lack of an integrated waste management framework. This research aims to investigate the impact of employing recycled construction materials on economic and environmental efficiency during the construction process. It seeks to measure relevant indices and recycled materials using the Life Cycle Costing (LCC) and Life Cycle Assessment (LCA) methodologies. Furthermore, through the measurement and analysis of data using SPSS software, the study ranks the most effective index in terms of economic and environmental savings. The ultimate goal is to contribute to improving building quality and the economic efficiency of construction by promoting recycled materials, creating a clear understanding of recyclable waste. In fact, the innovation of this research is in reducing costs in reusing recyclable materials and also reducing environmental impacts in construction projects. Quantitative analyses of this project show that materials such as cement blocks (34,000 million rials), glass (26,000 million rials), and natural stone (19,000 million rials) have the greatest cost savings. and providing a practical solution for construction managers and experts.

*Corresponding Author: Morteza Tahamipour Zarandi

Email Address: m_tahami@sbu.ac.ir

Shirzad Chokami, S. & Tahamipour Zarandi, M. (2026). Economic and Environmental Analysis of Construction Waste Recycling in Reducing Energy and Cost in the Construction Process (Case Study: Aramesh Building Project in Darabad Area of Tehran). Human Ecology, 5(14), 2194-2210.



DOI: <https://doi.org/10.22034/he.2026.552475.1154>



مقاله پژوهشی

تحلیل اقتصادی و زیست محیطی بازیافت ضایعات ساختمانی در کاهش انرژی و هزینه در فرایند ساخت (نمونه موردی: پروژه ساختمان آرامش در محدوده دارآباد تهران)

شهاب شیرزاد چوکامی^۱ مرتضی تهامی پور زرنندی^۲*

^۱ دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

^۲ استادیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

واژگان کلیدی

عمر مفید ساختمان،
هزینه چرخه حیات،
ارزیابی چرخه حیات،
بازیافت،
اقتصاد چرخشی در
ساخت و ساز.

اسکن کنید



چکیده

در طول دهه های اخیر، شهرنشینی جهان هم زمان با رشد جمعیت انسانی به صورت تصاعدی افزایش یافته است؛ بنابراین، استفاده از منابع مادی بیشتر شده است. به طور خاص، صنعت ساخت و ساز مسئول استفاده از بخش بزرگی از منابع طبیعی (۳۲٪) است. اگرچه این مقدار کمتر از میزان منابع طبیعی مورد استفاده در دهه ۱۹۹۰ (۴۰٪) است، تخمین زده می شود که بیش از ۷۵٪ از زباله های تولید شده توسط صنعت ساخت و ساز دارای ارزش باقیمانده هستند و در حال حاضر مورد استفاده مجدد قرار نمی گیرند و بازیافت نمی شوند. این به دلیل فقدان چارچوب مدیریت یکپارچه زباله است. این پژوهش سعی دارد با هدف سنجش شاخص ها و مصالح بازیافتی ساختمانی و با استفاده از روش LCA و LCC به چگونگی تاثیر بکارگیری مصالح بازیافتی در حیطه صرفه اقتصادی و محیط زیستی در پروسه ساخت و ساز بپردازد و همچنین با استفاده از سنجش و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS به رتبه بندی موثرترین شاخص در حیطه صرفه اقتصادی و محیط زیستی می پردازد و درصدد این است که به بهبود کیفیت ساختمان و صرفه اقتصادی ساخت و ساز با توجه به مصالح بازیافتی، کمک کند و توصیفی مناسب از ضایعات قابل بازیافت در ذهن ایجاد شود، در واقع نوآوری این پژوهش در کاهش هزینه ها در استفاده مجدد مصالح قابل بازیافت و همچنین کاهش اثرات زیست محیطی در پروژه های ساختمانی است و تحلیل های کمی این پروژه نشان میدهد، مصالحی مانند بلوک سیمانی ۳۴ هزار میلیون ریال، شیشه ۲۶ هزار میلیون ریال، سنگ طبیعی ۱۹ هزار میلیون ریال، بیشترین صرفه جویی هزینه ای را به خود اختصاص داده اند. در نهایت به عنوان راهکاری برای مدیران و صاحبانظران در حیطه ساخت و ساز میتوان قرار گیرد.

ارجاع به این مقاله: شیرزاد چوکامی، شهاب و تهامی پور زرنندی، مرتضی. (۱۴۰۵). تحلیل اقتصادی و زیست محیطی بازیافت ضایعات ساختمانی در کاهش انرژی و هزینه در فرایند ساخت (نمونه موردی: پروژه ساختمان آرامش در محدوده دارآباد تهران). اکولوژی انسانی، ۵(۱۴)، ۲۱۹۴-۲۲۱۰.

۱. مقدمه

صنعت ساخت‌وساز یکی از ارکان اصلی توسعه اقتصادی کشورهاست (Zarghani et al., 2022; Talaei and Sangin, 2024)، اما سهم چشمگیری در تخریب محیط‌زیست نیز دارد (Zaheri et al., 2022). بر اساس گزارش برنامه محیط‌زیست سازمان ملل، این صنعت مسئول حدود ۴۰ درصد مصرف انرژی، ۳۸ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۴۰ درصد مصرف مواد خام، ۳۰ درصد تولید پسماند و ۱۶ درصد برداشت آب در جهان است (جعفری نسب و همکاران، ۱۴۰۲). فعالیت‌های ساختمانی بخش عمده‌ای از تولید زباله‌های شهری جهانی را تشکیل می‌دهند که ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل زباله‌های تولید شده در اتحادیه اروپا، ایالات متحده آمریکا و چین را تشکیل می‌دهد (Kanwal, Q et al., 2025). این وضعیت اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی و توجه به انتخاب مصالح مناسب را برای دستیابی به توسعه پایدار نشان می‌دهد (Hajian Zeidy et al., 2022; Hajian Zeidy et al., 2024). صنعت ساخت و ساز (مصرف‌کننده اصلی مواد فلزی و غیرفلزی و مسئول ۴۰ درصد از انتشار کربن جهانی)، به دنبال شیوه‌های پایدارتر است (Wijesekara, K et al., 2026). در این راستا، ارزیابی چرخه حیات (LCA) ابزاری اساسی برای شناسایی اثرات زیست‌محیطی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و فناورانه است (جانی و همکاران، ۱۴۰۳). افزایش شتابان توسعه شهری در قرن بیست‌ویکم نیز به تولید مقادیر عظیمی از ضایعات ساخت‌وساز و تخریب منجر شده است، به گونه‌ای که این ضایعات یکی از سنگین‌ترین و پرجمع‌ترین پسماندها در اتحادیه اروپا محسوب می‌شوند (Bu et al., 2018; Sadeqhe Sabery et al., 2022). از این رو، تصمیم‌گیری در تمامی مراحل طراحی، ساخت، نگهداری و تخریب ساختمان اهمیت ویژه‌ای دارد (Jahanbakhsh et al., 2021; Hosseini et al., 2021; Hosseini et al., 2022) و استفاده از روش‌های ارزیابی چرخه حیات و هزینه چرخه حیات (LCC) می‌تواند مبنایی مؤثر برای انتخاب بهینه مصالح، سازه‌ها و روش‌های ساخت و در نتیجه کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی باشد (Mah, C. M et al., 2018). بر این اساس، هدف این پژوهش، تحلیل اقتصادی و زیست‌محیطی بازیافت ضایعات ساختمانی با تمرکز بر پروژه ساخت یک ساختمان مسکونی ۹ طبقه فولادی است. در این تحقیق، مقایسه‌ای میان ساختمان‌های بتنی و فولادی صورت می‌گیرد تا تأثیر استفاده از مصالح بازیافتی بر کاهش مصرف انرژی، هزینه‌ها و ارتقای پایداری محیط‌زیستی بررسی شود. برای این منظور، دو رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA) و تحلیل هزینه چرخه حیات (LCC) به کار گرفته شده است. روش LCA اثرات زیست‌محیطی از جمله مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه عمر ساختمان را ارزیابی می‌کند، در حالی که روش LCC هزینه‌های جمع‌آوری، پردازش، حمل‌ونقل و استفاده از ضایعات ساختمانی را با هزینه‌های تولید و خرید مصالح جدید مقایسه می‌نماید. نتایج این رویکردها می‌تواند تصویری دقیق از مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی بازیافت ضایعات ساختمانی ارائه داده و مبنایی علمی برای سیاست‌گذاری در راستای توسعه پایدار صنعت ساخت‌وساز فراهم سازد. در این راستا هدف این تحقیق، تحلیل اقتصادی و زیست‌محیطی اثر بازیافت ضایعات ساختمانی با تمرکز بر کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها و ارتقاء پایداری محیط‌زیستی در فرآیند ساخت ساختمانهای کلانشهرها است. در این تحقیق، اثرات استفاده از مصالح بازیافتی در پروژه ساخت‌وساز یک ساختمان مسکونی ۹ طبقه فولادی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین، مقایسه‌ای میان هدف مطالعه در ساختمان‌های بتنی و اسکلت فلزی انجام خواهد شد. مصرف مصالح جدید مانند بتن، فولاد و شیشه به‌طور قابل توجهی انرژی و منابع طبیعی را مصرف می‌کند و آثار زیست‌محیطی زیادی به همراه دارد. این تحقیق بر آن است تا فرآیند تخریب ساختمان‌های قدیمی و بازیافت ضایعات ساختمانی برای استفاده مجدد در پروژه‌های جدید را بررسی کند. برای تحلیل این فرآیندها، دو روش ارزیابی اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند: ارزیابی چرخه حیات (LCA) و تحلیل هزینه چرخه حیات (LCC). روشهای تحلیل این پژوهش می‌باشند.

۲. مبانی نظری

۲-۱- پیشینه شناسی:

در پژوهش‌ها و همکاران (۲۰۲۶) با عنوان توسعه مصالح ساختمانی پایدار: آماده‌سازی و ارزیابی ایمنی زیست‌محیطی مصالح سبک مصنوعی متخلخل با استفاده از ضایعات جامد به بررسی یافته‌های حاصل از ارزیابی ریسک سلامت انسان نشان داد که سنگدانه‌های سبک متخلخل در پل‌ها، تقویت ساختمان‌ها و جایگزینی مصالح ساختمانی کم کربن استفاده شوند، هزینه‌های ساخت و نگهداری را کاهش دهند، پشتیبانی فنی برای ارتقاء سبز مهندسی عمران فراهم کنند و پایداری و ارزش کاربردی قابل توجهی را ادغام کنند (Han, R et al., 2026). در پژوهش ویجسکارا و همکاران (۲۰۲۶) با عنوان به بررسی بازیافت بتن و کاربرد سنگدانه بازیافتی در ساخت و ساز و پروژه‌های سنگین عمرانی مانند سد سازی و موج شکن‌ها پرداخته است. این مطالعه به ارزیابی رفتار آشیویی و عملکرد دوام یک ژئوپلیمر مبتنی بر خاکستر بادی-GBS حاوی ۱۰۰٪ RA و مقایسه آن با سیمان معمولی و بتن مبتنی بر سنگدانه طبیعی بکر می‌پردازد و کاربردهای پایدار در سازه‌های موج‌شکن ساحلی را هدف قرار می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مخلوط ژئوپلیمری بدون سیمان مبتنی بر RA نه تنها دوام قابل

مقایسه یا برتر را با بهبود تا ۸۲٪ مقاومت در برابر مهاجرت کلرید به دست می‌آورد، بلکه میزان نشت یون فلزی را نیز در شرایط شور در مقایسه با بتن معمولی مبتنی بر OPC بسیار کمتر از محدودیت‌های قانونی حفظ می‌کند (Wijesekara, K et al., 2026). در پژوهش کانوال و همکاران، (۲۰۲۵) با عنوان ارزیابی چرخه عمر، استراتژی‌های بازیافت و دفع نخاله‌های ساختمانی و تخریب در عربستان بررسی کردند و به ارزیابی چرخه حیات (LCA) از شیوه‌های مدیریت نخاله‌های ساختمانی و تخریبی را در هفده شهرداری ارائه می‌دهد و اولین ارزیابی خاص منطقه از اثرات زیست‌محیطی را با استفاده از داده‌های جامع ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که زیرساخت‌های پیشرفته بازیافت (مانند کامیون‌های فشرده‌ساز، تأسیسات بازیافت) به طور قابل توجهی مصرف انرژی تجدیدناپذیر، پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) و انتشار گازهای گلخانه‌ای پایین دست را، به ویژه در مناطق تولیدکننده بالای نخاله‌های ساختمانی و تخریبی مانند ریاض و جدّه، کاهش می‌دهد (Kanwal, Q et al., 2025).

در پژوهش دراگوتی و همکاران، (۲۰۲۴) با عنوان ارزیابی و استفاده از روش‌های LCA و LCC، اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی بازسازی ساختمان‌های دانشجویی در آتن را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که این بازسازی می‌تواند منجر به کاهش ۳۰ درصدی انتشار CO₂ و ۵۰ درصدی هزینه‌های انرژی در طول ۲۵ سال شود. با این حال، هزینه‌های اولیه بالای بازسازی، به ویژه در مورد استفاده از اسکلت فلزی (GET) برای تقویت ساختار، به عنوان یک چالش اقتصادی باقی می‌ماند (Dragonetti, L et al., 2024).

در پژوهش الموسعید و همکاران، (۲۰۲۴) با عنوان استفاده از روش‌های LCA و MFA نشان داده است که استفاده از مصالح بازیافتی می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۴۰ درصد کاهش دهد و مصرف انرژی را به میزان ۳۰ درصد کاهش دهد. همچنین این پژوهش تأکید می‌کند که توسعه چارچوب‌های قانونی و فناوری‌های نوآورانه برای گسترش استفاده از این مصالح ضروری است (Almusaed, A et al., 2024). در مطالعات آپوستولوپولوس و همکاران، (۲۰۲۳) با عنوان استفاده از روش‌های LCA و LCC، اثرات زیست‌محیطی و هزینه‌های بازسازی یک ساختمان مسکونی را بررسی کرده است. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی پوشش ساختمان و استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. این پژوهش همچنین بر اهمیت ارزیابی هزینه‌های بلندمدت و بهره‌وری انرژی در انتخاب بهترین روش‌های بازسازی تأکید دارد (Apostopoulos, V et al., 2023).

پاپاداک و همکاران، (۲۰۲۲) با عنوان بررسی اثرات زیست‌محیطی استفاده از مصالح بازیافتی در صنعت ساختمان با استفاده از ارزیابی چرخه عمر (LCA) انجام شده است. این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از مواد بازیافتی مانند بتن، سیمان و فلزات می‌تواند تأثیرات زیست‌محیطی را تا ۶۵ درصد کاهش دهد (Papadaki, D et al., 2022).

مازولی و همکاران، (۲۰۲۱) با عنوان تحلیل استفاده از LCA و BIM برای ارزیابی دقیق چرخه عمر مصالح ساختمانی پرداخته است. با استفاده از این ابزارها، می‌توان تأثیرات زیست‌محیطی و هزینه‌های مربوط به مواد مختلف را در تمام مراحل ساخت‌وساز دقیقاً محاسبه کرده و به بهینه‌سازی استفاده از منابع و کاهش آلودگی محیط‌زیستی کمک کرد (Mazzoli, C et al., 2021).

در تحقیق رنجبر و همکاران، (۱۴۰۲) به بررسی اهمیت بازیافت نخاله‌های ساختمانی پرداخته شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش حجم نخاله‌های ساختمانی ناشی از تخریب بافت‌های فرسوده و ساخت‌وساز، مدیریت این پسماندها از طریق بازیافت می‌تواند علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، موجب صرفه‌جویی در منابع اولیه، اشتغال‌زایی و کاهش مشکلات مرتبط با دفع زباله شود. تجربیات موفق کشورهای پیشگام در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته و راهکارهایی برای توسعه بازیافت در ایران ارائه شده است (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۲).

۲-۲- مفهوم شناسی:

۲-۲-۱- مفهوم بازیافت و مصالح بازیافتی:

مصالح بازیافتی به آن دسته از مصالح ساختمانی گفته می‌شود که از بازیافت ضایعات ساختمانی که قابلیت استفاده مجدد را دارند، به دست می‌آید این مصالح شامل طیف وسیعی از ملزومات ساخت و ساز، از بتن و فولاد، تا آجر، فلزات، درپها، پنجرها، پانل ها و سایر عناصر کالبدی نما و داخل ساختمان می باشند (Catalano, 2020). بخش اعظمی از ضایعات تخریب و بازسازی را فلزات تشکیل می دهند و بازیافت این فلزات کمک می کند نیاز کشور به سنگ معدن کاهش یابد و به این وسیله، آسیب هایی که به محیط زیست وارد می شود کمتر شود. از نظر اقتصادی هم وقتی این قراضه های آهنی بازیافت شوند، هزینه ی تولید این فلزات کم می شود. مثلاً کشور آلمان توانسته با بازیافت ضایعات فلزی خود، هزینه های تولید فلزات را تا ۲۰٪ کاهش دهد که میزان قابل توجهی است. نمونه ی دیگر آن، کشور آمریکا است که با بازیافت ضایعات مس، را تامین می کند و به این ترتیب توانسته است واردات مس را در کشورش به صفر برساند (رنجبر و حسین زاده، ۱۴۰۲).

۲-۲-۲- ضایعات و ضایعات ساختمانی:

ضایعات یک پیامد اجتناب ناپذیر در تولید و استفاده از هر چیزی است (Rajabi et al., 2017)، خواه محصول جانبی در ساخت یک ماده باشد یا ضایعات ناشی از تخریب زیرساخت‌ها به عنوان یک جامعه، این پذیرش وجود دارد که زباله همیشه وجود خواهد داشت (Seidbeigi et al., 2023). با این حال، به دلیل عوامل مختلف، مانند آلودگی، کاهش منابع، کاهش فضای دفن زباله و تغییرات آب و هوایی، محققان شروع به بررسی مشارکت جوامع در به حداقل رساندن زباله کرده‌اند و از این رو این پیامدهای منفی را محدود می‌کنند (Li, 2020; Rasouli et al., 2024). کامپوز (۲۰۱۹) توضیح می‌دهد، که دیدگاه "مین ساختن، دور انداختن" جامعه به دور از پایداری است. در این پژوهش آمده است که از نظر تاریخی ثابت شده است که جوامعی که پایدار نیستند در نهایت شکست خواهند خورد جوامع موفق جوامعی هستند که اهمیت منابع محدود خود را درک می‌کنند، از این منابع به طور پایدار استفاده می‌کنند و پیچیدگی اکوسیستم‌های اطراف را درک می‌کنند (Pinto Campos, 2019). ضایعات ساخت و ساز و تخریب (C&D)، به زباله‌های متشکل از زباله‌ها، اجزای سازه و قلوه سنگ‌هایی که از طریق بازسازی، تخریب، مرمت و ساخت و ساز هر سازه‌ای پدید می‌آیند، اشاره دارد. اجزای تشکیل دهنده زباله‌های C&D ممکن است بر اساس سن بنای در حال تخریب / بازسازی و نوع سازه‌های ایجاد شده متفاوت باشد. هر زمان که سازه‌های باستانی تخریب می‌شوند، اجزای اصلی عبارتند از خاک، شن و ماسه گزارش برای آجر (۲۸٪) و سنگ تراشی (۳۰٪)، بتن (۳۰٪)، فلز (۵٪)، چوب (۳٪) مواد چوب و فولاد (یا آهنی) (۴٪). معمولاً برای بازیافت قبل از ته نشین شدن زباله‌های C&D در محوطه‌های تخلیه گرفته می‌شوند (رسولی پور، ۱۴۰۲).

۲-۲-۳- تأثیرات مثبت استفاده از مواد بازیافتی در ساخت و ساز:

۲-۳-۲-۱- مزایای زیست محیطی

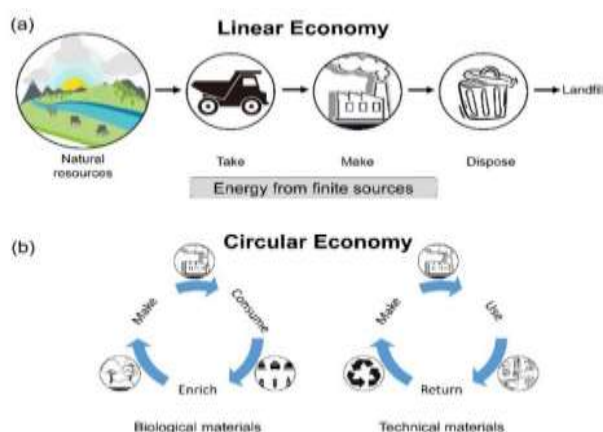
به حداکثر رساندن توانایی بازیافت و استفاده مجدد از زباله‌های ساختمانی منجر به کاهش حجم زباله‌ها در محل‌های دفن زباله می‌شود (Mesri Alamdari and Rasouli, 2021) و در نتیجه عمر مکان‌های دفن زباله را برای استفاده در آینده افزایش می‌دهد. استفاده متداول از افزودنی‌های شیمیایی در مصالح ساختمانی باعث تشدید آلودگی به محل‌های دفن زباله می‌شود برخی از این مواد سمی ممکن است از طریق نفوذ آب‌های زیرزمینی به آبراه‌ها و جریان‌های طبیعی راه پیدا کنند. افزایش استفاده از مواد بازیافتی در نتیجه نیازهای حمل و نقل این زباله‌ها را از محل ساخت و ساز به محل دفن زباله کاهش می‌دهد، بنابراین سهم انتشار CO₂ را کاهش می‌دهد (Raza, Kunal, Kumar, & Mutahar, 2020).

۲-۳-۲-۲- مزایای اقتصادی

این بحث وجود دارد که ریشه‌کشی استفاده از محل دفن زباله منجر به از دست دادن شغل برای دست‌اندرکاران این صنعت خواهید شد. با این حال، این ضرر را می‌توان با ایجاد فرصت‌های جدید با استفاده از مواد بازیافتی متعادل کرد. این به دلیل انحراف مواد بازیافتی از مواد مورد استفاده مجدد است به این معنا که برخلاف مواد بازیافتی که هنوز در شکل اصلی خود هستند، مواد بازیافتی تحت نوعی فرآیند اصلاح برای بهبود محصول ثانویه قرار می‌گیرند و در عین حال فیزیکی خود را حفظ می‌کنند خواصی که ماده یا محصول را قادر می‌سازد تا به هدف خود در ساختمان عمل کند چنین فرآیندهایی شامل مجموعه مهارت‌هایی است که فرصتی برای اشتغال فراهم می‌کند. این امر از طریق ارائه چنین فرصت‌هایی به اقتصاد کمک می‌کند و در عین حال به کاهش اثرات منفی بر محیط زیست کمک می‌کند (رسولی پور، ۱۴۰۲). در حوزه ساخت‌وساز، پایداری از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، زیرا مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی برای پروژه‌ها به همراه دارد. به این ترتیب، یک تعریف رایج از توسعه پایدار این است که پروژه‌ها نیازهای نسل امروز را بدون به خطر انداختن نیازهای نسل‌های آینده برآورده کنند (Anastasiades et al., 2020).

۲-۳-۲-۳- پایداری و اقتصاد چرخه‌ای:

با پیشروی جهان به سمت توسعه زیرساخت‌های شهری، پایداری به یک کلمه برجسته و یا موضوع مورد توجه تبدیل شده است در نتیجه، افزایش آلودگی و اثرات بد بر محیط‌زیست مشاهده می‌شود در حوزه ساخت‌وساز، پایداری از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، زیرا مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی برای پروژه‌ها به همراه دارد. به این ترتیب، یک تعریف رایج از توسعه پایدار این است که پروژه‌ها نیازهای نسل امروز را بدون به خطر انداختن نیازهای نسل‌های آینده برآورده کنند (Anastasiades et al., 2020). به دلیل به کارگیری چارچوب اقتصاد خطی است که بر مفهوم برداشت، ساخت و دفع متکی است (شکل شماره ۱) در این رویکرد، مواد اولیه با استفاده از فناوری انرژی‌بر از منابع طبیعی استخراج شده و سپس به مصالح ساختمانی تبدیل می‌شوند. از آنجایی که اکثر عناصر ساختمانی به روش‌هایی ساخته می‌شوند که در پایان عمر خود قابل تجزیه نیستند، عمدتاً در محل دفن زباله دور ریخته می‌شوند یا سوزانده می‌شوند (Purchase and et al, 2022).



شکل ۱. تصاد بازیافت: (a) اقتصاد خطی در مقابل (b) اقتصاد دایره‌ای، منبع: (Jhatial, A. et al., 2020).

۳-۲- چارچوب نظری:

۳-۳-۱- مدل مفهومی پژوهش

مدل مفهومی پژوهش، نگرش یا چشم انداز نظری است که تصمیم گرفته می‌شود برای بررسی مسأله‌ای که در پرسش آغازین طرح شده پذیرفته شود. این چارچوب نتیجه بررسی و مرور نظریه‌ها و دیدگاه‌های مختلف مرتبط با موضوع تحقیق است. از دید کیوی و کامپنهود (۱۴۰۱) در این راستا در نمودار شماره (۲) به مدل و چارچوب انجام پژوهش پرداخته شده است که با توجه به آن به مطالعات و شناسایی عوامل و شاخص‌های موثر در این پژوهش و با توجه به محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش LCA و LCC به تحلیل شاخص‌های موثر در حیطه صرفه اقتصادی و محیط زیستی در بکارگیری ضایعات بازیافتی در صنعت ساز و ساز پرداخته شده است.



شکل ۲. مدل مفهومی و فرایند انجام پژوهش (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴)

۳-۴- شاخص‌های پژوهش

در شکل شماره (۲) به مدل و چارچوب انجام پژوهش پرداخته شده است و در ادامه جهت بررسی و تحلیل موضوع به شاخص‌های موثر در راستای ارزیابی استفاده مصالح بازیافتی در ساخت و ساز با رویکرد پایداری اقتصادی و زیست محیطی در قالب چارچوب نظری و مدل مفهومی پژوهش و همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته می‌شود.

جدول ۱. شاخص‌های مورد سنجش پژوهش

تحلیل اقتصادی و زیست‌محیطی بازیافت ضایعات ساختمانی (تهامی پور زرنندی و شیرزاد چوکامی)

ردیف	شاخص های اصلی	زیر شاخص ها	متراز	هزینه کل (ریال)	توضیحات بازیافتی
1	مشخصات مصالح ساختمانی	نوع بتن (C25, C30, سبک یا سنگین)	۳۳۳۰	۲۰,۱۸۷,۵۰۰,۰۰۰	متر مکعب
		انواع میلگرد (ساده، آجدار؛ نمره ۱۰، ۱۲، ۱۶)	۳۸۵,۰۰۰	۱۰۹,۹۹۴,۵۰۰,۰۰۰	کیلوگرم
		ابعاد بلوک سیمانی (۴۰×۲۰×۱۰ یا ۴۰×۲۰×۱۵)	۸۷۰,۰۰۰	۱۹۱,۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	قالب
		آجر سفالی یا فشاری (ابعاد استاندارد)	۶۵۰,۰۰۰	۱۹,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	قالب
		سیمان (تیپ ۲، سیمان سفید)	۱۹,۳۰۰	۱۷,۱۷۷,۰۰۰,۰۰۰	کیسه ۵۰ کیلویی
		شن و ماسه (شسته، شکسته، یا طبیعی)	۳۶۵۰	۱۰,۸۰۴,۰۰۰,۰۰۰	تن
		ایزوگام (دولایه، تک لایه؛ با روکش آلومینیوم یا بدون روکش)	۱۴,۱۰۰	۲۶,۷۱۰,۰۰۰,۰۰۰	متر مربع
		گچ و خاک برای دیوارچینی	۳۸,۰۰۰	۵,۶۲۴,۰۰۰,۰۰۰	کیسه ۴۰ کیلویی
		پروفیل های فلزی (تیر آهن، قوطی)	۱۶۱	۴۵,۸۸۵,۰۰۰,۰۰۰	تن
		قیر (گرید ۶۰-۷۰ یا ۸۵-۱۰۰)	۱۱۲	۲,۵۷۶,۰۰۰,۰۰۰	بشکه
		چوب (MDF، نوپان، چوب طبیعی)	۵۵	۱۸,۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	متر مکعب
		کاشی و سرامیک (ابعاد مختلف، پرسلان یا معمولی)	۱۹,۵۰۰	۶۸,۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	متر مربع
		سنگ طبیعی (گرانیت، تراورتن، مرمریت)	۱۳,۵۰۰	۶۰,۷۵۰,۰۰۰,۰۰۰	متر مربع
		شیشه (معمولی، سکوریت، دوجداره)	۲۵۴۰	۱۵۲,۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	متر مربع
2	حمل و نقل مصالح	نوع وسیله نقلیه برای حمل مصالح (کامیون، وانت، تریلی)		۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	
		هزینه حمل بتن آماده (هر مترمکعب)	۳۳۳۰	۲,۲۶۱,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰ ریال / مترمکعب
		هزینه حمل میلگرد (بر اساس وزن یا شاخه)	۳۸۵,۰۰۰	۷,۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۰۰۰ ریال / کیلوگرم
		هزینه حمل آجر یا بلوک سیمانی	۱,۵۲۰,۰۰۰	۹,۱۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۶,۰۰۰ ریال / قالب
		هزینه حمل شن و ماسه (بر اساس تناژ)	۳۶۵۰	۲,۵۵۵,۰۰۰,۰۰۰	۷۰۰,۰۰۰ ریال / تن
		هزینه حمل در و پنجره ها (فلزی یا UPVC)	۳۶۱	۱,۸۰۵,۰۰۰,۰۰۰	عدد
		هزینه حمل شیشه های سکوریت و دوجداره	۲۵۴۰	۵,۰۸۰,۰۰۰,۰۰۰	مترمربع
		هزینه انتقال کاشی و سرامیک به پروژه	۱۹,۵۰۰	۷,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	مترمربع
		هزینه حمل ایزوگام و قیر به محل پروژه	۱۴,۱۰۰	۴,۲۳۰,۰۰۰,۰۰۰	مترمربع

۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	هزینه جابه جایی تجهیزات سنگین (جرثقیل)
۱۴۸۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۴۸۰	هزینه حمل نخاله های ساختمانی
	حدود ۳۵ کیلومتر	فاصله محل پروژه از کارخانه تولید مصالح
۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰۰	خاک برداری (مترمکعب)
1,000,000 ریال / مترمکعب		
7,500,000,000	۲۵۰۰	پی ریزی (مترمربع)
۳,۰۰۰,۰۰۰ ریال / مترمربع		
12,500,000,000	۲۵۰۰	اجرای فونداسیون (بسته به ضخامت و آرما توربندی)
۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۲,۰۰۰	دیوارچینی (بلوک سیمانی یا سفالی)
۵۱,۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۷۹۰	اجرای تیر و ستون (بتنی یا فلزی)
۲۲,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۶۶۴	اجرای سقف (تیرچه بلوک، عرشه فولادی)
۱,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۶	اجرای چاهک آسانسور
۱۴,۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۳۰۰	زیرسازی محوطه (زهکشی و تسطیح خاک)
۷,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰۰	قالب بندی بتن (چوبی یا فلزی)
۱,۵۰۰,۰۰۰ ریال / مترمربع		
۱۱,۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۶۰	ساخت دیوار حیاط یا محوطه
۷,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰۰	اجرای سقف کاذب
۵۳,۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۷۹۰	اسکلت بندی ساختمان (فلزی یا بتنی)
۱,۹۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۳۰۰	آماده سازی فضای سبز (کاشت خاک و تسطیح)
۲۰,۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۴,۵۰۰	رنگ آمیزی دیوارها (پلاستیک یا روغنی)
۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰۰	نصب قرنیز (PVC، چوبی، سنگی)
		اجرای عایق کف و سقف
۴۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۸,۰۰۰	سفیدکاری و گچ کاری دیوارها
۱۰۰,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۶,۸۰۰	اجرای سقف کاذب (کناف، PVC)
۱۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰۰	کاشی کاری آشپزخانه و سرویس بهداشتی
۳,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۰۰۰	اجرای اپوکسی کف
۱۴,۹۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۳۰۰	کف سازی حیاط (سنگ فرش، واش بتن)
۵۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۶	نصب کابین آسانسور (تزئینات داخلی)
۷۶,۸۳۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۷۸۰	اجرای نما (سنگی، آجری، سرامیکی)

سفتکاری

3

نازک کاری

4

لوله كشى گاز (متر طول)	۴۰۰۰	۸,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	مکانیکال و تاسیسات	5
نصب تجهيزات گرمایشی (پکیج، رادیاتور)	۹۹	۹,۹۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
اجرای سیستم سرمایش (اسپيلت يا کولر آبی)	۹۹	۹,۹۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
لوله كشى فاضلاب (پلى اتيلن، فلزى و PVC)	۱۲,۰۰۰	۲۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب پمپ هاى موتورخانه	۲۷	۲,۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
عايق كارى تاسيسات مکانیکی	۲۰,۶۶۴	۱۰,۳۳۲,۰۰۰,۰۰۰		
طراحى و اجراى سیستم تهويه مطبوع	۲۱,۰۰۰	۸۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
اجرای سیستم زهكشى محوطه و باغچه	۱۰۰۰	۱,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب سیستم هاى اطفاى حريق	۶۰۰۰	۱۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب منبع آب	۲	۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
طراحى سيتم الکتریكى و برق كشى	۲۰,۶۶۴	۳,۰۹۹,۶۰۰,۰۰۰	الکتریکال	6
نصب جعبه فيوزها	۵۵	۱۱۰,۰۰۰,۰۰۰		
کابل كشى برق (کابل مسى يا آلومينيومى)	۲۵,۵۰۰	۳۰,۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب كليد و پريز (هوشمند يا معمولی)	۴۱۸۰	۲,۹۲۶,۰۰۰,۰۰۰		
اجرای روشنایی سقفی (هالوژن، LED)	۶۰۵۰	۹,۰۵۷,۰۰۰,۰۰۰		
نصب آيفون تصويرى	۵۵	۱,۶۵۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب آسانسور (سیستم برقى و تابلو کنترل)	۶	۶۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
اجرای سیستم دوربين مدار بسته	۳۰	۱,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب سیستم اعلان حريق	۱۰۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب سيم كشى تلفن و اينترنت	۷۵۰۰	۷,۹۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب چراغ هاى ديوارى و نورپردازى بيرونى	۴۵۰	۲,۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰		
نصب تابلو برق اصلى و فرعى	۳۰	۳۵۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
اجرای چاه ارت	۲	۱,۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰		
طراحى سیستم صوتى و تصويرى	۱	۴۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		

۳. مواد و روش‌ها

این تحقیق در حوزه مطالعات توصیفی-تحلیلی و از نوع تحقیقات بنیادی قرار دارد. تحقیق از نوع کاربردی و به لحاظ شیوه تحلیل داده‌ها، توصیفی و تحلیلی است. این تحقیق از حیث روش شناختی از نوع توصیفی-تحلیلی دسته‌بندی می‌شود. جامعه آماری این پژوهش شامل متخصصان و کارشناسان حوزه ساخت‌وساز است که تجربه فعالیت در زمینه ارزیابی چرخه حیات (LCA)، هزینه چرخه عمر (LCC)، مدیریت انرژی، تحلیل هزینه‌های عمرانی و اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های ساختمانی را داشته‌اند. نمونه آماری به‌صورت غیرتصادفی هدفمند انتخاب شد و متشکل از ۳۰ نفر از کارشناسان فنی، مهندسان مشاور، مدیران پروژه و متخصصان محیط‌زیست با حداقل سه سال سابقه فعالیت در پروژه‌های مشابه (از جمله ساختمان آرامش) بود. ابزار گردآوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای ساخت‌یافته بود که به منظور تأیید و اعتبارسنجی شاخص‌های ارزیابی طراحی شد. مشارکت این گروه موجب شد تحلیل‌های مبتنی بر مدل‌های LCA و LCC از پشتوانه تجربیات عملی برخوردار بوده و دقت نتایج افزایش یابد. همچنین حضور مدیران ساختمان، مهندسان و مشتریان به‌عنوان ارزیابان، علاوه بر ارتقای روایی پژوهش، به شناسایی و حذف مصالح یا روش‌های غیر استاندارد و پرهزینه در طول چرخه عمر ساختمان کمک کرده است. در این پژوهش، برای گردآوری اطلاعات مورد نیاز جهت تحلیل چرخه عمر پروژه ساختمانی مورد مطالعه، از روش‌های متنوع و مکمل زیر استفاده شده است: اطلاعات نظری و پیشینه پژوهش از طریق منابع کتابخانه‌ای شامل کتاب‌ها، مقالات علمی داخلی و خارجی، پایان‌نامه‌ها، گزارش‌های سازمان‌های معتبر، و همچنین منابع اینترنتی معتبر گردآوری گردید. این داده‌ها به‌منظور تدوین مبانی نظری، آشنایی با مفاهیم LCA و LCC و شناسایی شاخص‌های مورد نیاز تحلیل چرخه عمر مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور گردآوری داده‌های تخصصی در خصوص شاخص‌های زیست‌محیطی و اقتصادی چرخه عمر ساختمان، پرسشنامه‌ای ساخت‌یافته طراحی و در اختیار ۳۰ نفر از کارشناسان و متخصصان حوزه ساخت‌وساز و ارزیابی‌های زیست‌محیطی قرار گرفت. این افراد به‌صورت هدفمند انتخاب شدند و دارای تجربه کافی در پروژه‌های ساختمانی و ارزیابی‌های مرتبط با LCA و LCC بودند. داده‌های به‌دست‌آمده از این پرسشنامه‌ها برای اعتبارسنجی و وزن‌دهی به شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

در راستای افزایش اعتبار نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها، بررسی روایی و پایایی ابزار پژوهش (پرسشنامه) از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این تحقیق، برای سنجش روایی (Validaty) از روایی محتوایی (Content Validity) بهره گرفته شد. به این منظور، پرسشنامه طراحی شده پس از تدوین اولیه، در اختیار جمعی از اساتید دانشگاهی متخصص در حوزه مهندسی عمران، انرژی و محیط‌زیست، و همچنین کارشناسان ارشد حوزه تحلیل چرخه عمر ساختمان قرار گرفت. بازخوردهای دریافتی در راستای اصلاح ساختار پرسش‌ها، بهینه‌سازی واژگان فنی، و ارتقای وضوح و دقت سؤالات مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی پایایی (Reliability) پرسشنامه نیز از روش آلفای کرونباخ (Cronbach's Alpha) استفاده شد که ابزاری شناخته‌شده جهت سنجش همبستگی درونی گویه‌ها در پرسشنامه‌های چندبعدی است. در این پژوهش، داده‌های اولیه حاصل از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط پاسخ‌دهندگان در نرم‌افزار SPSS وارد و تحلیل شد. مقدار محاسبه‌شده برای ضریب آلفای کرونباخ معادل ۰.۸۷ به‌دست آمد که نشان‌دهنده پایایی بالا و قابل قبول ابزار مورد استفاده است. بر این اساس، می‌توان پرسشنامه پژوهش را از نظر قابلیت اعتماد علمی مناسب ارزیابی کرد. دو روش اصلی تحلیل چرخه عمر، یعنی ارزیابی چرخه حیات (LCA) و هزینه چرخه حیات (LCC) قرار گرفته است. روش LCA عمده‌تاً برای تحلیل جنبه‌های زیست‌محیطی پروژه مورد استفاده قرار گرفته و شاخص‌هایی نظیر مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا و آب، مدیریت ضایعات، و کاهش مصرف منابع طبیعی در آن لحاظ شده‌اند. از سوی دیگر، روش LCC برای تحلیل اقتصادی پروژه به کار رفته و هزینه‌های مختلف در طول چرخه عمر ساختمان شامل هزینه‌های اولیه ساخت، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری، هزینه‌های پنهان، و هزینه‌های نهایی یا بازسازی و تخریب را مورد بررسی قرار داده است. و این دو روش با استفاده از نرم افزار پایتون تحلیل شده اند. در واقع ترکیب این دو رویکرد تحلیلی به پژوهشگر این امکان را می‌دهد تا ضمن شناسایی نقاط قوت و ضعف پروژه از منظر پایداری، پیشنهادهایی علمی و اجرایی در راستای بهینه‌سازی پروژه در ابعاد زیست‌محیطی و اقتصادی ارائه نماید. انتخاب پروژه «آرامش» به عنوان مطالعه موردی، به دلیل مقیاس قابل توجه، واقع‌گرایی در طراحی و ساخت، و قابلیت اعمال روش‌های تحلیلی LCA و LCC، از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند به عنوان الگویی مناسب در مطالعات مشابه در حوزه مدیریت چرخه عمر ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۴. محدوده مورد مطالعه:

در این پژوهش، پروژه ساختمانی «آرامش» به عنوان نمونه موردی برای ارزیابی و بهینه‌سازی در چرخه عمر انتخاب شده است. این پروژه یک مجتمع مسکونی بلندمرتبه واقع در منطقه یک شهر تهران، محله دارآباد، خیابان پورابتهاج، خیابان محبی، پلاک ۱۸ می‌باشد. ساختمان مذکور دارای اسکلت فلزی بوده و در ۹ طبقه با ارتفاع کلی ۳۳ متر طراحی و اجرا شده است. مساحت کل زیربنای ساختمان برابر با ۲۰'۶۶۴ مترمربع می‌باشد. در هر طبقه از این پروژه، ۱۱ واحد مسکونی با میانگین متراژ حدود ۲۰۰ مترمربع طراحی شده است که در مجموع ۹۹ واحد

مسکونی را شامل می شود. همچنین، برای تأمین نیاز ساکنین به فضای پارکینگ، تعداد ۱۳۲ جای پارک در نظر گرفته شده که در سطوح زیرزمین و همکف اجرا شده است. این مجموعه با بهره گیری از اصول مهندسی سازه، معماری معاصر و استانداردهای ملی ساخت و ساز، طراحی و اجرا شده است. با توجه به اهداف این پژوهش که شامل بهینه سازی عملکرد پروژه در طول چرخه عمر آن می باشد، این ساختمان به عنوان یک نمونه واقعی، تحت ارزیابی دقیق با استفاده از دو روش اصلی تحلیل چرخه عمر، یعنی ارزیابی چرخه حیات (LCA) و هزینه چرخه حیات (LCC) قرار گرفته است (شهرداری منطقه ۱ تهران، ۱۴۰۴).



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی نمونه مورد مطالعه، ساختمان آرامش در منطقه ۱ شهرداری تهران

جدول ۲. مشخصات کلی ساختمان

مشخصات کلی ساختمان آرامش			
ردیف	نوع ویژگی	مترائز	توضیحات
۱	مساحت کل بنا (مترمربع)	20664	مترمربع
۲	تعداد طبقات (زیرزمین، همکف، طبقات بالایی)	۹	طبقه
۳	نوع کاربری ساختمان (مسکونی، اداری، تجاری)	مسکونی	
۴	ارتفاع ساختمان (متر)	۳۳	متر
۵	مشخصات فونداسیون (بتنی، سنگی، فلزی)	بتنی	
۶	تعداد واحدها در هر طبقه	۱۱	واحد
۷	طراحی پارکینگ (تعداد جای پارک)	۱۳۲	تعداد جای پارک
۸	نوع سیستم اسکلت بندی (فلزی یا بتنی)	فلزی	
۹	تعداد و نوع پنجره ها (UPVC، دوجداره)	ترمال بریک	۳۶۱ عدد
۱۰	نوع سقف	کامپوزیت	
۱۱	نوع نمای ساختمان (سنگی، سرامیکی، کامپوزیت)	سنگ - کامپوزیت - سیمان - چوب	
۱۲	مترائز هر واحد	حدود ۲۰۰ متر مربع	
۱۳	تعداد و نوع درب های اصلی و واحدها (ضد سرقت یا معمولی)	ضد سرقت	
۱۴	تعداد آسانسور (باری، مسافری)	۶	دستگاه

۵. یافته ها

۵-۱- تحلیل مقایسه ای هزینه کلی برای ساخت پروژه آرامش با استفاده از مصالح سنتی و بازیافتی در هر متر مربع با درصد صرفه جویی

استفاده از مصالح بازیافتی در پروژه ساختمانی مسکونی با مساحت ۲۰'۶۶۴ مترمربع در دارآباد تهران، هزینه کل را از ۱'۶۳۴'۳۵۴'۶۰۰'۰۰۰ ریال به ۱'۵۴۶'۷۵۹'۶۰۰'۰۰۰ ریال کاهش داد، که معادل صرفه جویی ۸۷'۵۹۵'۰۰۰'۰۰۰ ریال (۵.۳۶٪) است. هزینه هر مترمربع نیز از ۷۹'۹۵۳'۳۶۸ ریال به ۷۵'۶۷۴'۶۶۵ ریال کاهش یافت. بیشترین صرفه جویی در بلوک سیمانی، شیشه و سنگ طبیعی مشاهده شد. این رویکرد

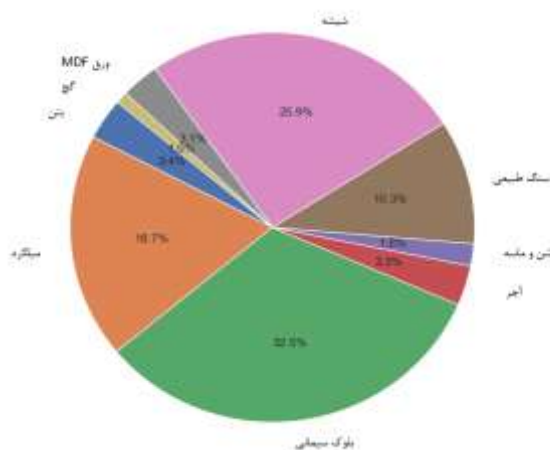
نه تنها از نظر اقتصادی به صرفه است، بلکه با کاهش مصرف منابع طبیعی و ضایعات، پایداری زیست محیطی را تقویت می کند و برای پروژه های مشابه توصیه می شود.

جدول ۳. مشخصات کلی ساختمان

شاخص	مبالغ سنتی (ریال)	مبالغ باز یافتی (ریال)	صرفه جویی (ریال)	درصد صرفه جویی
هزینه کل پروژه	۱,۶۳۴,۳۵۴,۶۰۰,۰۰۰	۱,۵۴۶,۷۵۹,۶۰۰,۰۰۰	۸۷,۵۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۵.۳۶٪
هزینه هر مترمربع	۷۹,۹۵۳,۳۶۸	۷۵,۶۷۴,۶۶۵	۴,۲۷۸,۷۰۳	۵.۳۶٪

۵-۲- تحلیل سهم نسبی و ساختار هزینه ای مصالح ساختمانی رایج در پروژه ساختمانی آرامش با رویکرد ارزیابی اقتصادی

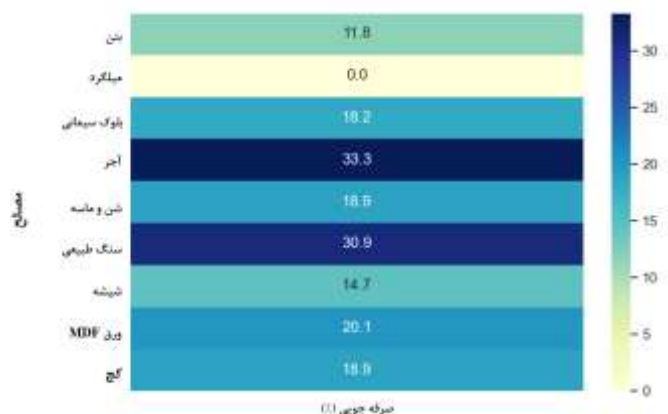
بر اساس شکل شماره (۴)، بلوک سیمانی با ۳۲.۵٪ بیشترین سهم هزینه مصالح را در پروژه ساختمانی آرامش به خود اختصاص داده است، که نشان دهنده استفاده گسترده آن در دیوارها و تیغه بندی به دلیل سهولت اجرا و مقاومت مناسب است. شیشه با ۲۵.۹٪ در رتبه دوم قرار دارد، که احتمالاً ناشی از استفاده از نماهای شیشه ای یا شیشه های خاص برای بهینه سازی انرژی و زیبایی است. میلگرد (۱۸.۷٪) و سنگ طبیعی (۱۰.۳٪) به ترتیب در جایگاه های بعدی هستند، که نقش کلیدی آن ها در سازه و نمای با کیفیت را نشان می دهد. سایر مصالح شامل بتن (۳.۴٪)، آجر (۳.۳٪)، (MDF 3.1٪)، شن و ماسه (۱.۸٪)، و گچ (۱.۰٪) سهم کمتری دارند، که با کاربرد محدود یا قیمت پایین تر آن ها همخوانی دارد. این توزیع هزینه ها بر تمرکز پروژه بر استحکام سازه ای و نمای جذاب تأکید دارد و می تواند مبنایی برای تحلیل جایگزینی با مصالح باز یافتی در راستای کاهش هزینه و اثرات زیست محیطی باشد.



شکل ۴. ساختار هزینه ای مصالح متداول ساختمانی در فرآیند اجرای پروژه ساختمانی آرامش

۵-۳- تصویرسازی داده های صرفه جویی مصالح ساختمانی به صورت نقشه حرارتی (Heatmap)

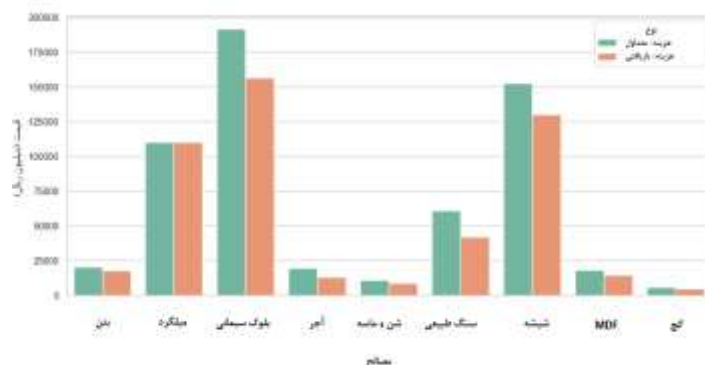
نقشه حرارتی شکل شماره (۵) درصد صرفه جویی مصالح ساختمانی پروژه آرامش را نشان می دهد. آجر با ۳۳.۳٪ و سنگ طبیعی با ۳۰.۹٪ بیشترین صرفه جویی را دارند، که به دلیل قابلیت بازیافت، دوام بالا، و مصرف انرژی کمتر در فرآوری است. ورق (MDF ۲۰.۱٪) گچ و شن و ماسه (هر کدام ۱۸.۹٪) و بلوک سیمانی (۱۸.۲٪) صرفه جویی متوسطی دارند، ناشی از استفاده از پسماندهای صنعتی و بازیافت نسبی. شیشه (۱۴.۷٪) و بتن (۱۱.۸٪) به دلیل انرژی بر بودن فرآیند بازیافت، صرفه جویی کمتری دارند. میلگرد با صرفه جویی صفر، به دلیل محدودیت های فنی و نیاز به انرژی بالا در بازیافت، کمترین پتانسیل را دارد. این تحلیل، اهمیت انتخاب مصالح با صرفه جویی بالا را برای کاهش هزینه ها و توسعه پایدار نشان می دهد.



شکل ۵. نقشه حرارتی تحلیل درصد صرفه جویی هزینه‌ای به تفکیک مصالح ساختمانی

۴-۵- تحلیل ساختار هزینه انباشته پروژه آرامش با رویکرد مقایسه‌ای بین مصالح سنتی و بازیافتی

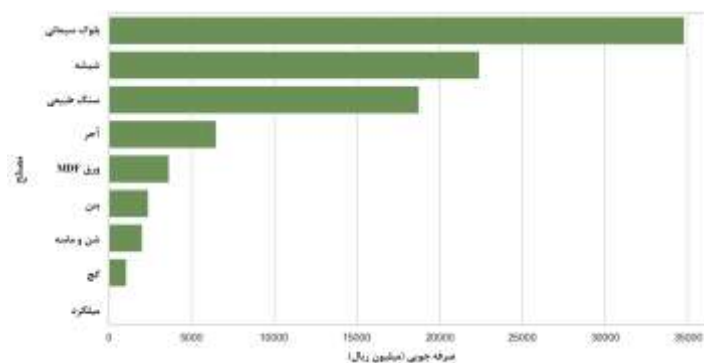
شکل شماره (۶) مقایسه هزینه‌های انباشته مصالح سنتی و بازیافتی در پروژه آرامش را نشان می‌دهد. بلوک سیمانی، به دلیل مصرف بالا، بیشترین سهم هزینه را دارد و استفاده از نوع بازیافتی آن صرفه جویی قابل توجهی ایجاد می‌کند. شیشه و سنگ طبیعی نیز با مصرف گسترده و اختلاف قیمت محسوس، گزینه‌های کلیدی برای کاهش هزینه با استفاده از انواع بازیافتی هستند. آجر، شن و ماسه، MDF، و گچ با هزینه‌های انباشته متوسط تا پایین، صرفه جویی متوسطی ارائه می‌دهند. میلگرد اما تفاوتی در هزینه ندارد و تنها از منظر زیست‌محیطی توجیه‌پذیر است. این تحلیل نشان می‌دهد که انتخاب مصالح بازیافتی، به‌ویژه برای بلوک، شیشه، و سنگ طبیعی، هزینه‌ها را به‌طور مؤثری کاهش داده و پایداری زیست‌محیطی را تقویت می‌کند.



شکل ۶. مقایسه هزینه انباشته مصالح ساختمانی متداول و بازیافتی در پروژه‌های عمرانی

۵-۵- مقایسه صرفه جویی مطلق هزینه‌ای برای هر نوع مصالح ساختمانی در پروژه آرامش (برحسب میلیون ریال)

شکل شماره (۷) صرفه جویی مطلق مصالح بازیافتی در پروژه آرامش را به صورت میله‌ای افقی (بر حسب میلیون ریال) نشان می‌دهد. بلوک سیمانی با ۳۴'۰۰۰ میلیون ریال صرفه جویی، به دلیل مصرف بالا و اختلاف قیمت قابل توجه، بیشترین تأثیر را دارد. شیشه (۲۶'۰۰۰ میلیون ریال) و سنگ طبیعی (۱۹'۰۰۰ میلیون ریال) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند، که ناشی از استفاده گسترده و امکان بازیافت این مصالح است. آجر (۷'۰۰۰ میلیون ریال)، MDF (۴'۰۰۰ میلیون ریال)، بتن و شن و ماسه (۳'۰۰۰ تا ۲'۰۰۰ میلیون ریال) صرفه جویی متوسطی دارند. گچ و میلگرد کمترین صرفه جویی را دارند، به دلیل قیمت پایین گچ و محدودیت‌های فنی میلگرد. این تحلیل بر اهمیت انتخاب مصالح بازیافتی با مصرف بالا برای کاهش هزینه و پایداری زیست‌محیطی تأکید دارد.



شکل ۷. سنجش صرفه‌جویی مطلق هزینه‌ای برای انواع مصالح ساختمانی مورد استفاده (برحسب میلیون ریال)

۵-۶- تحلیل صرفه‌جویی هزینه‌ای مصالح به صورت تفکیکی و تجمعی در پروژه آرامش (مقایسه مصالح متداول و بازیافتی)

شکل شماره (۸) صرفه‌جویی‌های اقتصادی مصالح بازیافتی در پروژه ساختمانی را به صورت میله‌ای (میلیون ریال) و روند تجمعی را با نمودار خطی نشان می‌دهد. بلوک سیمانی با ۳۵'۰۰۰ میلیون ریال صرفه‌جویی، به دلیل مصرف بالا و اختلاف قیمت زیاد، بیشترین تأثیر را دارد. شیشه (حدود ۲۵'۰۰۰ میلیون ریال) و سنگ طبیعی (حدود ۱۸'۰۰۰ میلیون ریال) در رتبه‌های بعدی هستند. شن و ماسه (۱۰'۰۰۰ میلیون ریال)، بتن، MDF و گچ (۲'۰۰۰ تا ۵'۰۰۰ میلیون ریال) صرفه‌جویی کمتری دارند، به دلیل مصرف محدود یا تفاوت قیمت اندک. میلگرد صرفه‌جویی ناچیزی دارد. نمودار خطی صرفه‌جویی تجمعی، با جهش بزرگ پس از بلوک سیمانی، روند صعودی پایدار را نشان می‌دهد. این تحلیل بر اهمیت جایگزینی مصالح پرمصرف با گزینه‌های بازیافتی برای کاهش هزینه‌ها و پایداری تأکید دارد.



شکل ۸. تحلیل دوسویه قیمت و صرفه‌جویی مصالح ساختمانی با رویکرد اقتصادی-اجرایی

۶. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

یافته‌های این پژوهش با تکیه بر داده‌های دقیق و تحلیل‌های چندبعدی از پروژه ساختمانی "آرامش"، بیانگر آن است که استفاده از مصالح ساختمانی بازیافتی نه تنها از نظر محیط‌زیستی، بلکه از منظر اقتصادی نیز به‌طور معناداری مزیت‌دار است. این نتیجه‌گیری حاصل ارزیابی دقیق شاخص‌هایی همچون سهم نسبی مصالح در هزینه کل پروژه، مقایسه هزینه‌ای مصالح متداول و بازیافتی، تحلیل میزان صرفه‌جویی مطلق و نسبی، و همچنین ترسیم الگوهای همبستگی میان قیمت مصالح و درصد صرفه‌جویی آن‌ها بوده است. نخست، بررسی ساختار هزینه‌ای پروژه نشان داد که مصالحی مانند بلوک سیمانی، شیشه و سنگ طبیعی بیشترین سهم را در بار مالی پروژه دارند. در نتیجه، بهینه‌سازی این مصالح تأثیر بالایی بر کل هزینه‌ها خواهد داشت. تحلیل‌های تطبیقی نشان داد که مصالح بازیافتی در اغلب موارد با کاهش هزینه‌ای قابل توجه همراه‌اند. برای نمونه، صرفه‌جویی هزینه‌ای برای بلوک‌های سیمانی، سنگ طبیعی، آجر و MDF در برخی موارد به بیش از ۳۰ درصد رسید؛ این در حالی است که خواص فنی این مصالح در نسخه‌های بازیافتی، با رعایت استانداردهای لازم، همچنان پاسخگوی نیازهای فنی پروژه باقی می‌مانند. از سوی دیگر، تحلیل صرفه‌جویی تجمعی و مطلق نیز به‌وضوح نشان داد که مصالحی که هم پرهزینه هستند و هم حجم مصرف بالایی دارند، بیشترین پتانسیل را برای کاهش هزینه‌ها دارا می‌باشند. بلوک سیمانی با بیش از ۳۴ هزار میلیون ریال صرفه‌جویی مطلق، به‌تنهایی حدود ۳۸ درصد از کل صرفه‌جویی اقتصادی پروژه را به خود اختصاص داد، که این مسئله تأکیدی بر لزوم

تمرکز استراتژیک بر بهینه‌سازی این ماده در پروژه‌های مشابه است. همچنین، سهم بالای شیشه و سنگ طبیعی در تحقق صرفه‌جویی، نشان می‌دهد که حتی مصالحی که در ابتدا به‌عنوان مواد لوکس تلقی می‌شوند نیز در صورت انتخاب هوشمندانه، می‌توانند نقش محوری در کاهش هزینه‌ها ایفا کنند. نقشه حرارتی و نمودارهای پراکندگی به‌کاررفته در تحلیل، ابزارهایی قدرتمند برای شناسایی فرصت‌های بهینه‌سازی اقتصادی فراهم کرده‌اند. این نمودارها کمک کردند تا مصالح با بیشترین صرفه‌جویی بالقوه در مقایسه با قیمت اولیه شناسایی شوند. همچنین، از طریق تحلیل همبستگی میان قیمت مصالح و میزان صرفه‌جویی حاصل از جایگزینی آن‌ها با نمونه‌های بازیافتی، مشخص شد که الزاماً مصالح گران‌تر، همیشه بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی را ندارند؛ بلکه این امر به ترکیبی از قیمت واحد، حجم مصرف، و اختلاف هزینه میان نسخه متداول و بازیافتی وابسته است.

از منظر فنی، لازم به‌ذکر است که استفاده از مصالح بازیافتی الزاماتی دارد؛ از جمله کنترل کیفیت، تطابق با استانداردهای ایمنی و دوام، بررسی مقاومت سازه‌ای، و ارزیابی سازگاری با اقلیم و شرایط محیطی پروژه. مصالحی نظیر میلگرد به‌رغم داشتن قابلیت بازیافت از ضایعات فلزی، به‌دلیل حساسیت بالای عملکردی در باربری و مقاومت سازه‌ای، در حال حاضر فاقد صرفه‌جویی اقتصادی معنادار بوده و بیشتر در چارچوب اهداف زیست‌محیطی قابل بررسی هستند. این امر نشان‌دهنده آن است که هر مصالح باید با در نظر گرفتن ماهیت فنی و الزامات مهندسی آن تحلیل و ارزیابی شود.

از نگاه کلان و راهبردی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سیاست‌گذاری ملی در حوزه ساخت‌وساز می‌تواند با تشویق به استفاده از مصالح بازیافتی، نه تنها کاهش وابستگی به منابع طبیعی و کاهش تولید پسماند را محقق کند، بلکه کاهش چشمگیر در هزینه‌های پروژه‌های عمرانی در مقیاس ملی نیز به‌دنبال داشته باشد. این امر، در صورت همراهی با ابزارهای تشویقی مانند تسهیلات مالیاتی، گواهی‌های ساختمانی سبز، مشوق‌های مناقصه‌ای، و استانداردسازی فرآیند بازیافت، می‌تواند به نهادینه‌سازی یک اقتصاد چرخشی در صنعت ساختمان بینجامد.

از دیدگاه مقایسه پژوهش‌های دیگران که در بخش پیشینه پژوهش آمده است و این پژوهش می‌توان گفت، این تحقیق برخلاف بسیاری از پژوهش‌ها که تنها به ابعاد محدود یا شاخص‌های تک‌بعدی پرداخته‌اند، این مطالعه با نگاهی جامع و یکپارچه، به بررسی هم‌زمان جنبه‌های مختلف پرداخته است. در این راستا، اثرات بازیافت ضایعات ساختمانی بر کاهش هزینه‌ها، مصرف انرژی، بهبود پایداری زیست‌محیطی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تحلیل شده است. همچنین، این تحقیق با بهره‌گیری هم‌زمان از دو روش تحلیل چرخه حیات (LCA) و هزینه چرخه حیات (LCC)، نوآوری ویژه‌ای را به نمایش می‌گذارد؛ چرا که استفاده توأم از این دو روش در پژوهش‌های پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این ارزیابی می‌تواند الگویی ارزشمند برای توسعه ساختمان‌های سبز فراهم کند.

در جمع‌بندی، می‌توان تأکید کرد که نتایج حاصل از پروژه ساختمانی «آرامش» الگویی ارزشمند و مبتنی بر داده برای سایر پروژه‌های عمرانی کشور فراهم می‌آورد. این الگو نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری هوشمندانه در انتخاب مصالح، با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی، می‌تواند منجر به ساخت‌وسازی کم‌هزینه‌تر، پایدارتر و مسئولانه‌تر گردد. به‌ویژه در شرایط کنونی که کشور با فشارهای مالی، محیط‌زیستی و منابع محدود روبه‌روست، بهره‌گیری از چنین رویکردهایی نه تنها یک انتخاب، بلکه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در مسیر توسعه پایدار و مقاوم‌سازی اقتصاد ملی در برابر چالش‌های آینده به‌شمار می‌رود. و در این راستا نیز نبود اطلاعات کامل از ریز جزئیات هزینه‌های مصرف شده در ساخت و ساز این پروژه مانند هزینه‌های حمل و نقل از مبدا خرید کالا تا نوع حمل آن و همچنین عامل تورم که امری مهم در بحث ارزیابی هزینه‌ها دارد و بدلیل تورم زیاد و افزایش روزانه قیمت‌ها، از جمله عوامل ایجاد محدودیت تحقیق محسوب می‌شدند.

در راستای نتایج حاصل از این تحقیق، مجموعه‌ای از پیشنهادها برای عملی و راهبردی ارائه می‌شود:

- تمرکز ویژه بر جایگزینی مصالح پرهزینه و پرمصرف مانند بلوک سیمانی، شیشه و سنگ طبیعی با نمونه‌های بازیافتی، در طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی.

- تدوین و اجرای سیاست‌های تشویقی توسط نهادهای حاکمیتی (مانند شهرداری‌ها و وزارت راه و شهرسازی) برای ترویج استفاده از مصالح بازیافتی از طریق کاهش عوارض، صدور گواهی‌های ساختمان سبز و تخصیص امتیازات مناقصه‌ای.

- ایجاد سامانه‌های استاندارد ارزیابی کیفی برای مصالح بازیافتی جهت افزایش اعتماد مهندسان و کارفرمایان.

- معیار طرح مربوطه برای تأکید اسناد بالادستی با توجه به اهمیت کاهش هزینه‌های ساخت و ساز در پروژه‌های عمرانی کشور.

- این چارچوب بینش ارزشمندی برای سیاست‌گذاران برنامه ریزی شهری و محققانی که به دنبال توسعه استراتژی مدیریت پایدار زباله‌های جامد همسو با اصول چرخشی و اهداف پایداری بین‌المللی هستند، ارائه می‌دهند.

۷. منابع

۱. جانی، مهران. (۱۴۰۳). پیش بینی عمر مفید ساختمان جهت ارزیابی چرخه حیات (LCA) و هزینه چرخه حیات (LCC) با یادگیری ماشین و رویکرد کلان داده، چهاردهمین کنفرانس بین المللی فناوری های نوآورانه در زمینه علوم، مهندسی و تکنولوژی، <https://civilica.com/doc/2114173>
۲. جعفری نسب، تانیاو منوری، سید مسعود جوی، سید علی و ماجدی، حمید. (۱۴۰۲). بررسی و تحلیل روشهای ارزیابی اثرات چرخه حیات در بلند مرتبه سازی شهر تهران. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۵(۷)، ۱۴۴۹-۱۴۶۶.
۳. رنجبر، علیرضا و حسین زاده، عاطفه. (۱۴۰۲). تحلیل و بررسی بازیافت نخاله های ساختمانی از دیدگاه مهندسی عمرانی در ایران و جهان (روش ها و چشم اندازها و مطالبات محیط زیستی)، سومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب، تبریز، <https://civilica.com/doc/1961269>
۴. رسولی پور، علی. (۱۴۰۲). طراحی دبیرستان پسرانه با رویکرد استفاده از منابع تجدید پذیر و مصالح قابل بازیافت در زنجان، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته معماری گرایش انرژی، دانشگاه ایوان کی، استاد راهنما: سید جمال الدین حسینی، ص ۱۴۵.
۵. کیوی، ریمون و کامپنهود، لوک وان (۱۴۰۱)، روش تحقیق در علوم اجتماعی، ترجمه عبدالحسین نیک گهر، انتشارات کاد، ص ۳۰۴.
6. Apostolopoulos, V.; Mamounakis, I.; Seitaridis, A.; Tagkoulis, N.; Kourkoumpas, D.-S.; Iliadis, P.; Angelakoglou, K.; Nikolopoulos, N. (2023). An integrated life cycle assessment and life cycle costing approach towards sustainable building renovation via a dynamic online tool. *Appl. Energy*, 334, 120710.
7. Almusaed, A., Yitmen, I., Myhren, J. A., & Almsaad, A. (2024). Assessing the Impact of Recycled Building Materials on Environmental Sustainability and Energy Efficiency: A Comprehensive Framework for Reducing Greenhouse Gas Emissions. *Buildings*, 14(6), 1566.
8. Anastasiades, K., Blom, J., Buyle, M., & Audenaert, A. (2020). Translating the circular economy to bridge construction: Lessons learnt from a critical literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109522.
9. Bu, C., Liu, L., Lu, X., Zhu, D., Sun, Y., Yu, L., ... & Wei, Q. (2022). The durability of recycled fine aggregate concrete: A review. *Materials*, 15(3), 1110.
10. Catalano Y. (2020). Laboratory study on recycled concrete aggregate based asphalt mixtures for sustainable flexible pavement surfacing, *J. Clean. Prod.* 262.
11. Dragonetti, L., Papadaki, D., Assimakopoulos, M. N., Ferrante, A., & Iannantuono, M. (2024). Environmental and Economic Assessment of Energy Renovation in Buildings, a Case Study in Greece. *Buildings*, 14(4), 942.
12. Jhatial, A. A., Goh, W. I., Mohamad, N., Rind, T. A., & Sandhu, A. R. (2020). Development of thermal insulating lightweight foamed concrete reinforced with polypropylene fibres. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(5), 4067-4076.
13. Li, L. L. (2020). Air quality changes during the COVID-19 lockdown over the Yangtze River Delta Region: An insight into the impact of human activity pattern changes on air pollution variation. *Science of the Total Environment*, 732, 139282.
14. Mazzoli, C., Iannantuono, M., Giannakopoulos, V., Fotopoulou, A., Ferrante, A., & Garagnani, S. (2021). Building information modeling as an effective process for the sustainable re-shaping of the built environment. *Sustainability*, 13(9), 4658.
15. Mah, C. M., Fujiwara, T., & Ho, C. S. (2018). Life cycle assessment and life cycle costing toward eco-efficiency concrete waste management in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3415-3427.
16. Papadaki, D., Nikolaou, D. A., & Assimakopoulos, M. N. (2022). Circular environmental impact of recycled building materials and residential renewable energy. *Sustainability*, 14(7), 4039
17. Pinto Campos, B. C. (2019). Arquitectura y diseño flexible: una revisión para una construcción más sostenible.
18. Purchase, C.K.; Al Zulayq, D.M.; O'Brien, B.T.; Kowalewski, M.J.; Berenjian, A.; Tarighaleslami, A.H.; Seifan, M. Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Lessons, Challenges, and Benefits. *Materials* 2022, 15, 76. <https://doi.org/10.3390/ma15010076>.
19. Raza, M., Kunal, R., Kumar, D., & Muthar, A. (2020). Experimental study of physical, fresh-state and strength parameters of concrete incorporating wood waste ash as a cementitious material. *J. Mater. Eng. Struct. JMES*.
20. Rubin Han , Jing Yang , Haifeng Liu , Hui Luo , Hongxiu Leng , Wenbo Wu , Yunrui Zhao ,Bukai Song, (2026) "Development of sustainable construction aggregates: Preparation and environmental safety assessment of sintered artificial lightweight aggregates by red mud-coordinated multi-source solid wastes", *Journal of Environmental Research* Volume 289, 15 January 2026, 123334. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123334>
21. Zaheri, M., Saremi, H.R., Hajian Zeidy, M., (2022), Measuring the Impact of Technology Components on Islamic-Iranian Culture to Build New Sustainable Urban Settlements in Dorud, *Geography (Regional*

- Planning), 13(1), P.P. 359-373. [In Persian]
https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=hvdsrFkAAAAAJ&citation_for_view=hvdsrFkAAAAAJ:9yKSN-GCB0IC
22. Talaei, M., & Sangin, H. (2024). Thermal comfort, daylight, and energy performance of envelope-integrated algae-based bioshading and static shading systems through multi-objective optimization. *Journal of Building Engineering*, 90, 109435. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109435>
 23. Sadeghe Sabery, M. J., Zahedi Yegane, A., Hajian Zeidy, M., & Ghadarjani, R. (2018). Evaluation of quality of life in the Paradise neighborhood Mehr Housing Case with emphasis on sustainable development in Hamedan. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 7(27), 1-24. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=hvdsrFkAAAAAJ&citation_for_view=hvdsrFkAAAAAJ:u5HHmVD_uO8C
 24. Jahanbakhsh, H., Raeisi Nejad, A.A. & Mirhoseini, S.M., (2021), Study the Relationship between Architecture Structure of Eco_tourist Residence with Tourist Satisfaction (Case Study: Residence of Janat Rudbar Village, Ramsar, Mazandaran Province), *Journal of tourism and development*, 10(1), 81-94. <https://doi.org/10.22034/jtd.2020.215665.1941>
 25. K.K.Deeshani Akushla Wijesekara, Monower Sadique, Iacopo Carnacina, Veronica Torres De Sande, Ban Al-Hasani, (2026), "Performance evaluation of recycled aggregate geopolymer concrete for low-carbon breakwater systems". *Journal of Cleaner Waste Systems Volume 13*, March 2026, 100455, <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100455>
 26. Hosseini, S. M., & Heidari, S. (2022). General morphological analysis of Orosi windows and morpho butterfly wing's principles for improving occupant's daylight performance through interactive kinetic façade. *Journal of Building Engineering*, 59, 105027. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105027>
 27. Hosseini, S. M., Fadli, F., & Mohammadi, M. (2021). Biomimetic kinetic shading facade inspired by tree morphology for improving occupant's daylight performance. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2021.5>
 28. Hajian Zeidy, M., Rouhi, M. & Razavi Amrei, S.Gh., (2024), Effect of Passive Solar Cooling Systems Performance on Indoor Air Quality in Buildings, *Development Engineering Conferences Center Articles Database*, Volume 1, Issue 1. <https://pubs.bcnf.ir/index.php/Articles/article/download/45/46>
 29. Hajian Zeidy, M., Sufinejad, A., Ghafourian, M., Hemmatian, N., (2022), Analysis of Iranian Houses in First Pahlavi Period with Architectural Aesthetics Role (Case Study: Amir Asefi's House in Sanandaj), *Tobacco Regulatory Science*, 8(1), p.p. 1782-1796. DOI: doi.org/10.18001/TRS.8.1.136 https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=hvdsrFkAAAAAJ&citation_for_view=hvdsrFkAAAAAJ:d1gkVwhDpl0C
 30. Qudsia Kanwal, Guochang Xu ,Sami G. Al-Ghamdi, Ziad Gari, Ream S. Alhusainan(2025), "Attributional life cycle assessment of recycling and disposal strategies for construction and demolition waste", *Journal of Cleaner Environmental Systems Volume 18*, September 2025, 100283. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100283>
 31. Rajabi, A., Yousef Jamali, S. & Rasouli, S. H. (2017). Analyzing and categorizing the abandoned urban lands (Case study: Sari). *specialty journal of geographical and environmental science*, 1(1-2017), 34-49. <https://sciarena.com/article/analyzing-and-categorizing-the-abandoned-urban-lands-case-study-sari>
 32. Seidbeigi, S., Ashouri, F., Rasouli, S. H., & Ebrahimi, J. (2023). Analysis of physical-traffic criteria and pathology and the role of beltways in urban areas (Case study: Sari). *Journal of Geography and Regional Future Studies*, 1(2), 33-50. <https://doi.org/10.30466/grfs.2023.54845.1014>
 33. Rasouli, S. H., Alipour Nakhi, A., Ebrahimi Saraei, M. & Gholami Pouya, M. R. (2024). Cognitive-Environmental Analysis of the Impact of High-Rise Construction on the Social Status of Citizens in Sari. *Human Ecology*, 3(8), 564-587. <https://doi.org/10.22034/el.2025.497597.1039>
 34. Zarghani, M., Bakhshi, A., Hajian Zeidy, M., Rasouli, S.H., (2022)., Relationship Between Geographical-Environmental Factors and Job Stress of Employees of Large Construction Projects (Case Study: Iranmal Tehran), *Geography (Regional Planning)*, 12(4), P.P. 617-635. [In Persian]
https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=hvdsrFkAAAAAJ&citation_for_view=hvdsrFkAAAAAJ:u-x6o8ySG0sC