Journal of Urban Management & Environmental Engineering

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.1, No.4; 2023.pp: 49-66

Research paper

(Received Jan. 19, 2024 Accepted Feb. 26, 2024)

Evaluating scenarios for the management of construction debris caused by an earthquake (case study of Tehran)

Reza Fattahi*[1], Mohammad Reza Naderi[2], Ehsan Seyedi[3]

[1] *Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Higher Education Complex of Bam, Bam, Iran*
[2] *Senior Environmental Expert, Secretary of Kerman Municipality Ward 20 Commission, Kerman Municipality, Iran*
[3] *Master of Civil Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran*

Abstract

The produced construction debris is always one of the crises after the earthquake in order to properly manage and dispose. According to global experiences, recycling construction debris caused by earthquakes is much more economical and environmentally friendly than using new materials. In this study, considering the city of Tehran, it has been tried to investigate possible scenarios for the recycling of construction waste produced based on decision-making and comparison criteria. In this regard, the TOPSIS decision-making model was used. Four scenarios were evaluated based on 10 review criteria according to experts. Also, using ArcGIS software, the potential distribution of construction waste production based on the urban population layer with the scale of localities has been determined and presented. According to the results of the scores that were collected, the most suitable model for the management of construction waste with the material recycling approach can be proposed. It is proposed to establish a site with a fixed location for the establishment of shredders, industrial mills, as well as special conveyor systems for the management of mineral recycling depots. Also, the other main unit of this complex, the metal material recovery unit, should also be located on the same site. According to the obtained results, recycling systems with fixed installation using sewage transfer to the site have been proposed for use in crisis conditions in Tehran.

Keywords: Waste management, Construction debris, Earthquake, Tehran Municipality, TOPSIS, ARCGIS

* Corresponding Author: Reza Fattahi
Email: r.fattahi@bam.ac.ir
Phone: +989131997640

Doi: 10.48306/jumee.2024.436541.1031

نشریه علمی مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال اول/شماره چهارم/زمستان ۱۴۰۲/صفحه ۴۹-۶۶

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۰/۲۹/ ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۹

بررسی سناریوهای مدیریت نخاله‌های ساختمانی ناشی از زلزله (مطالعه موردی شهر تهران)

رضا فتاحی*[۱]، محمدرضا نادری[۲]، احسان سیدی [۳]

[۱] استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران

[۲] کارشناس ارشد محیط‌زیست، دبیر کمیسیون بند ۲۰ شهرداری کرمان، شهرداری کرمان، ایران

[۳] کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

چکیده

نخاله‌های ساختمانی تولیدشده همواره یکی از بحران‌های به وجود آمده پس از زلزله به‌منظور مدیریت و دفع مناسب است. طبق تجارب جهانی، بازیافت نخاله‌های ساختمانی ناشی از زلزله به‌مراتب ازنظر اقتصادی و محیط زیستی به‌صرفه‌تر از استفاده از مصالح جدید است. در این مطالعه سعی شده است با در نظر گرفتن شهر تهران انواع سناریوهای ممکن برای بازیافت نخاله‌های ساختمانی تولیدشده بر اساس معیارهای تصمیم‌گیری و مقایسه، بررسی شوند. در این راستا از مدل تصمیم‌گیری تاپسیس (TOPSIS) استفاده شده است. چهار سناریو بر اساس ۱۰ معیار بررسی طبق نظر خبرگان مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین، با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) پراکنش پتانسیل تولید نخاله ساختمانی بر اساس لایه جمعیتی شهری با مقیاس محلات، مشخص و ارائه گردید. طبق نتایج به‌دست‌آمده از خروجی مدل براش شده، مناسب‌ترین مدلی که برای مدیریت نخاله‌های ساختمانی با رویکرد بازیافت مصالح می‌توان پیشنهاد کرد، استقرار یک سایت با مکان ثابت جهت استقرار دستگاه‌های خردکن، سرندهای صنعتی و همچنین سیستم‌های نوار نقاله مخصوص برای مدیریت دپو مصالح معدنی بازیافت می‌باشد. همچنین دیگر واحد اصلی این مجموعه یعنی واحد بازیابی مواد فلزی نیز بایستی در همین سایت مستقر شود. طبق نتایج به‌دست‌آمده، سیستم های بازیافت با استقرار ثابت با استفاده از انتقال نخاله به سایت برای استفاده در شرایط بحران در شهر تهران پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: مدیریت پسماند، نخاله‌های ساختمانی، زلزله، شهرداری تهران، روش تاپسیس، سیستم اطلاعات جغرافیایی

* نویسنده مسئول: رضا فتاحی

ایمیل: r.fattahi@bam.ac.ir

شماره تماس: ۰۹۱۳۱۹۹۷۶۴۰

Doi: 10.48306/jumee.2024.436541.1031

۱-مقدمه

بلایای طبیعی، حوادث ناشی از پدیده‌های طبیعی یا فعالیت‌های انسانی هستند که می‌تواند خسارت اقتصادی قابل‌توجه، تلفات انسانی و اختلالات روانی ناگهانی و یا به‌تدریج ایجاد کنند. انسان در طول تاریخ با نیروهای طبیعی و حوادث مختلفی مواجه بوده است و خسارت و زیان قابل‌توجه ای را به تبع آن‌ها متحمل شده است. این نوع از پدیده‌های طبیعی، نه‌تنها مستقیماً باعث تلفات انسانی و اقتصادی شده است، بلکه سبب ایجاد حجم وسیعی از آلودگی‌های پسماندی شده و مانع از امدادرسانی می‌شود [۱]. یکی از مهم‌ترین بحران‌های به وجود آمده پس از وقوع زلزله در مناطق شهری بحران ناشی از نخاله‌های ساختمانی (آوار) است. مدیریت مناسب آن‌ها و اتخاذ تصمیم درست به‌منظور آواربرداری، انتقال و دفع آن‌ها ازنظر اقتصادی و محیط زیستی و حفظ منابع بسیار مهم است.

هدف اولیه مدیریت بحران نخاله‌های ساختمانی پس از زلزله، حذف باقی‌مانده‌های زلزله، تمیز کردن جاده‌ها اصلی، بزرگراه‌ها و آبراهه‌ها در حداقل زمان با حداقل منابع است؛ بنابراین فعالیت مدیریت و دفع نخاله‌های ساختمانی باید فوراً در مناطق تعیین‌شده بعد از وقوع حوادث طبیعی، بعد از اطمینان از سلامتی و ایمنی ساکنان آغاز شود. موفقیت در عملیات حذف باقی‌مانده، بستگی به تخصیص تجهیزات و منابع مورد نیاز در مناطق ویران‌شده و همچنین پاسخ سریع و هماهنگ توسط منابع انسانی پس از اتمام عملیات دفع آوار دارد [۱].

ترکیب و درصد اجزای تشکیل‌دهنده پسماندهای ساختمانی در کشورهای مختلف؛ به نوع زندگی، صنعت ساختمان، ترکیب و بافت جمعیتی و نیز مشخصات منابع قرضه بستگی دارد. عمومی‌ترین ترکیبات نخاله‌های ساختمانی شامل آجر، بتن، آسفالت، سنگ ساختمانی، قطعات گچی، چوب، پلاستیک و فلزات هستند. در برخی موارد تا ۹۰ درصد اجزای نخاله‌ها قابل بازیافت هستند.

نخاله‌های ساختمانی به وجود آمده ناشی از زلزله باعث بروز بحران‌های محیط زیستی و اقتصادی برای منطقه خواهد شد. در زلزله بم بیش از ۱۶ میلیون تن آوار ساختمانی تولید شد که در پروسه بازسازی شهر از هیچ‌یک از این مصالح استفاده نشد. بوی نامطبوع، آلودگی خاک و به‌طورکلی غیرقابل استفاده کردن زمین از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی ناشی از عدم آواربرداری بعد از زلزله است.

درصورتی‌که در چندین کشور مانند آمریکا و چین از دستگاه‌های بازیابی و استفاده مجدد نخاله‌های ساختمانی در مناطق زلزله‌زده استفاده شده و به‌صورت درجا هم آوارهای ناشی از زلزله را دفع و هم مصالح لازم برای عملیات بازسازی را تولید می‌کنند که درنتیجه هم مشکلات محیط زیستی آن برطرف شده و هم ازلحاظ اقتصادی صرفه‌جویی فراوان انجام می‌گیرد.

لذا، مطالعه پتانسیل استفاده مجدد از نخاله‌های ساختمانی ناشی از زلزله در شهرهای ایران با رویکرد استفاده مجدد و مدیریت بحران ناشی از آن لازم و ضروری بوده و نتایج این مطالعه می‌تواند دیدگاه مناسبی برای تصمیم‌گیرندگان در مواقع بحران باشد.

با توجه به شواهد تاریخی و تجربیات گذشته، کشور ایران در منطقه‌ای زلزله‌خیز قرار دارد و غالب شهرهای کشور آسیب‌پذیر است و زمین‌لرزه به‌عنوان یک واقعیت طبیعی و تاریخی کشور ما می‌باشد که با وقوع آن، خرابی گسترده، تلفات انسانی زیاد و مقادیر قابل‌توجهی آوار به وجود می‌آید و انبوه آوار تولیدشده از منابع مختلف باعث مختل شدن زندگی جامعه آسیب‌دیده می‌گردد و ضروری است با مدیریت آوار، جامعه سریع به حالت عادی، برگردد. بدین‌جهت لازم است اقدامات لازم برای نجات جان انسان‌ها و برقراری خدمات شریان‌های حیاتی و مهم و انجام عملیات بازسازی انجام گیرد.

در بسیاری از کشورهای دنیا، سعی شده تا در بازسازی‌های پس از وقوع زلزله، از نخاله‌های ساختمانی ناشی از زلزله استفاده شود که درنتیجه توانسته‌اند در هزینه‌ها صرفه‌جویی‌های قابل‌توجهی انجام دهند [۲]. درصورتی‌که این موضوع در ایران تاکنون موردبررسی قرار نگرفته است و برای بازسازی از مصالح جدید استفاده‌شده است که درنتیجه هزینه‌های بیشتر مخصوصاً هزینه حمل به پروژه‌های بازسازی تحمیل‌شده است. این موضوع در بازسازی شهر بم بعد از زلزله قابل‌مشاهده است.

میزان تغییرات جمعیت در دوره زمانی ۱۰ ساله بین ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۵ در چهار شهر تهران، اصفهان، تبریز و مشهد نشان می‌دهد که افزایش جمعیت نیاز به مسکن را افزایش داده و باعث کاهش نیاز به خانه‌های با مساحت بالا و جایگزین شدن آن‌ها با آپارتمان‌های با مساحت کمتر شده است [۳]. تولید نخاله‌های ساخت و تخریب در ایران به‌خصوص در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته، بسیار بالاتر از دیگر کشورهاست. روزانه بیش از ۵۰ هزار تن نخاله ساختمانی در تهران تولید می‌شود. هرروز ۵ هزار کامیون، خاک و نخاله ساختمانی را از گوشه و کنار شهر به مراکز دپوی تهران منتقل می‌کنند. این میزان پسماند، ۷ برابر پسماند خانگی شهر تهران است [۴].

به‌عنوان‌مثال در ایران میزان مصرف فولاد در سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ در بخش ساخت‌وساز چیزی حدود ۱۴۵۸۴۵۶۹ تن تخمین زده‌شده است که نرخ رشد آن در سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ حدود ۷/۲۱ درصد می‌باشد. همچنین میزان مصرف سیمان در همان دوره معادل ۸۲۴۸۸۲۹ تن اعلام‌شده که نرخ رشدی معادل ۸/۱۴ درصد داشته است [۵].

وجود منابع طبیعی متنوع و ارزان‌قیمت مصالح ساختمانی، باعث کاهش انگیزه بازیابی این مواد از طریق فرایند بازیافت است. به‌عنوان‌مثال مناطق زیادی در ایران دارای خاک آبرفتی است که به‌عنوان منبع اصلی برای شن و ماسه است و دسترسی آسان و ارزان به این منابع باعث کاهش تمایل به بازیافت نخاله‌های بتنی است. ازاین‌رو آموزش و اطلاع‌رسانی درباره نخاله‌های ساختمانی هنوز هم بسیار کم‌اهمیت بوده است.

عمر مفید ساختمان‌ها در کشورهای جهان حدود ۴۰ سال و در ایران ۳۰ سال برآورده می‌گردد. به‌طور متوسط ۲۵ ٪ بافت شهری در ایران فرسوده است و با در نظر گرفتن احتمال رخداد بلایای طبیعی چون سیل، طوفان و زلزله هرساله حجم بسیار بالایی نخاله ساختمانی در شهرهای کشورها تولید می‌شود. این حجم بالای نخاله ساختمانی سرمایه مالی و انسانی زیادی را هدر می‌دهد درصورتی‌که با مدیریت درست آن‌ها می‌توان بحران را به فرصت تبدیل کرد و خسارات ناشی آز نخاله‌های ساختمانی را به حداقل رساند.

مطالعات انجام‌شده در جهان نشان می‌دهد که حجم نخاله‌های ساختمانی در نسبت به تولید کل پسماندهای جامد بین ۱۳ تا ۲۹ درصد است [۶]. با توجه به حجم بالای این مواد و مشکلات حمل‌ونقل و محیط زیستی برای دفع آن‌ها و از طرفی بهای روزافزون مواد خام اولیه، ضرورت بازیافت، بازچرخانی و استفاده مجدد بیش‌ازپیش خود را نشان می‌دهد؛ بنابراین، می‌توان پسماندهایی که در کارگاه‌های ساختمانی تولید می‌شوند را اکثراً جزء پسماندهای عادی به‌حساب آورد.

بر اساس آمار منتشرشده از سوی مدیریت پسماند و بازیافت مواد شهرداری تهران نیمی از پسماند ساختمانی تولیدی تهران (در حدود ۲۵ هزار تن) در سال۸۷ به مرکز استحصال آرادکوه منتقل‌شده است؛ کارخانه موجود استحصال و بازیابی شن و ماسه از پسماند ساختمانی و عمرانی در سال ۸۷ توانست تقریباً ۳ هزار و ۵۰۰ تن شن و ماسه بازیابی کند؛ یعنی ۱۳ درصد از پسماند ساختمانی منتقل‌شده به آرادکوه بازیابی و استحصال شد. در حال حاضر در تهران روزانه ۱۹ هزار تن نخاله ساختمانی تولید می‌شود.

مطالعات زیادی در زمینه تخمین خسارات ناشی زلزله‌ها تاکنون انجام‌شده که از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به مطالعات کوی[۱]و همکاران در سال ۲۰۰۸ و هوانگ[۲]در سال ۲۰۰۸ و وانگ[۳]در سال ۲۰۰۸ اشاره داشت[۷-۹]. یکی از مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در این زمینه مطالعه سانگ[۴]و همکاران در سال ۲۰۱۷ است که در آن زلزله ونچوان، چین، سال ۲۰۰۸ که به‌عنوان بزرگ‌ترین زلزله در ۵۰ سال اخیر شناخته می‌شود و ۹۰۰۰۰ نفر کشته به دنبال داشت را از دیدگاه بازیافت مصالح با بازیافت و استفاده مجدد نخاله‌های ساختمانی بررسی می‌کند. در این مطالعه روش‌های استفاده مجدد و بازیافت مصالح بعد از زلزله مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند [۱۰].

محوی و همکاران ۱۳۸۵ در مطالعه‌ای به ارایه راهکارهایی مناسب برای مدیریت پسماندهای جامد در هنگام رخدادهای طبیعی نظیر زلزله در مناطق مختلف کشور پرداختند. آن‌ها در این مطالعه، مدیریت و میزان پسماندهای جامد تولیدی، وضعیت جمع آوری و حمل و نقل و دفع آن‌ها، قبل و بعد از زلزله بم براساس آمار و اطلاعات به دست آمده از مراکز شهرداری، مراکز بهداشتی استان و نیز مشاهده و مصاحبه در شهر بم را مورد بررسی قرار دادند [۱۱].

چتری[۵]در سال ۲۰۱۶ تغییرات به وجود آمده در سیستم‌های مدیریت پسماند بعد از زلزله نپال را بررسی کردند و روش‌های دفع نخاله‌های ساختمانی را برای رفع بحران آوارها مورد بررسی قراردادند [۱۲]. لو[۶]و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای مشخصات و

---

[۱] Cui

[۲] Huang

[۳] Wang

[۴] Song

[۵] Chhetri

[۶] Lu

کیفیت مصالح ساختمانی بازیافت شده از نخاله‌های ساختمانی را جهت استفاده مجدد مورد ارزیابی و بررسی قراردادند. برگسدال[1] و همکاران در سال ۲۰۰۷ بحران‌های ناشی از نخاله‌های ساختمانی در نروژ را موردبررسی و ارزیابی قراردادند [۱۳, ۱۴].

کاستوربا[2] و همکاران در سال ۲۰۱۴ در هند، وضعیت استفاده از نخاله‌های ساختمانی چه در حالت تولید عادی و چه پس از زلزله را بررسی کردند و دو مورد از پروژه‌هایی که بیشترین استفاده از این موارد را داشتند را مورد ارزیابی قرار دادند [۱۵]. در مطالعه‌ای که توسط احمدوند و همکاران در سال ۲۰۱۴ صورت گرفت با استفاده از برنامه‌ریزی پویا و دینامیک، سیستم مدیریت پسماندهای نخاله‌های ساختمانی تهران در دو سناریو مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۶]. برای این منظور از نرم‌افزار Vensim استفاده شد.

طبق تخمین انجمن تخریب اروپا سالانه ۲۲۲ میلیون تن زباله در اروپا تولید می‌شود که حدود ۳۲٪ از آن بازیافت می‌شود. آژانس حفاظت محیط‌زیست در آمریکا نیز مقدار ضایعات تولیدی ناشی از عملیات ساخت و تخریب در آمریکا را معادل نیم کیلوگرم به ازای نفر- روز در سال تخمین زده است [۱۷].

برای بررسی و اولویت بندی سناریوهای مدیریت نخاله‌های ساختمانی ناشی از زلزله می توان از روش های تصمیم گیری چند معیاره استفاده نمود. هدف از تصمیم‌گیری انتخاب بهترین گزینه یا وزن دهی به عوامل تصمیم‌گیری است [۱۸, ۱۹]. هر روش تصمیم‌گیری وظیفه خاصی دارد؛ یکی هدف وزن‌دهی به معیارها، یکی هدفش رتبه‌بندی گزینه‌ها و دیگری هدف ارزیابی معیارها می باشد [۲۰, ۲۱]. تصمیم‌گیری چندمعیاره رویکردی در مدیریت است که امکان انتخاب بهترین راهکار را براساس معیارهای متعدد و گاهاً متضاد فراهم می‌آورد [۲۲]. این روش‌ها معمولاً با دو هدف تعیین وزن معیارها یا انتخاب بهترین گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۳, ۲۴].

در این مقاله سعی بر این می‌باشد که با مطالعه میزان نخاله‌های ساختمانی تولید شده ناشی از زلزله در یکی از مناطق شهری تهران، به بررسی پتانسیل استفاده مجدد از نخاله‌های ساختمانی و درنتیجه مدیریت بحران آوار پرداخته شود و مناسب‌ترین روش بازیافت بعد از زلزله پیشنهاد شود. به‌عبارت‌دیگر با بررسی روش‌های مختلف بازیافت نخاله‌های ساختمانی بر اساس پیش‌بینی‌های به‌دست‌آمده از برآورد نخاله‌های ساختمانی شهر تهران (یک منطقه شهری)، بتوان با استفاده مدل تصمیم‌گیری پیشنهاد شده مناسب‌ترین روش بازیافت را پیشنهاد کرد. بر این اساس، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS و روش‌های مختلف بازیافت نخاله‌های ساختمانی مناسب برای تهران و همچنین معیارهای اثرگذار بر انتخاب نوع سیستم، سعی بر انتخاب مناسب‌ترین روش بر مبنای شرایط محلی شده است. برای این کار، بایستی ساختار تصمیم‌گیری شامل گزینه‌های پیش رو در مدیریت نخاله‌های ساختمانی با تمرکز بر سیستم‌های بازیافت و سپس معیارهای مقایسه را مشخص کرد. این موضوع این امکان را به مدیران می‌دهد تا بتوانند تصمیم درستی در مواقع بحران به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین سناریو و راهکار بگیرند. انتخاب مناسب‌ترین روش بازیافت نخاله‌های ساختمانی پس از زلزله می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه و زمان و افزایش راندمان سیستم شود.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-منطقه موردمطالعه

تهران بزرگ‌ترین شهر و پایتخت ایران و مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. جمعیت آن ۸،۲۴۴،۵۳۵ نفر است و بیست و پنجمین شهر پرجمعیت جهان به شمار می‌آید. مساحت این شهر ۷۳۰ کیلومتر مربّع است. آمار منتشرشده از مرکز ملی آمار ایران نشان می‌دهد که در نیمه اول سال ۱۳۹۳ پروانه‌های ساختمانی صادرشده در شهر تهران درمجموع ۵ هزار و ۸۶۱ پروانه بوده که از این میزان ۵ هزار و ۸۲۶ پروانه (۹۹/۴ درصد) مربوط به تجدید بنا و تنها ۳۵ پروانه (۰/۶ درصد) مربوط به افزایش بنا بوده است.

بررسی پروانه‌های صادره در سال‌های متعدد هم همین نسبت را نشان می‌دهد. درواقع بیش از ۹۹ درصد پروانه‌های صادرشده در تهران نشان‌دهنده تخریب بالا در صنعت ساخت‌وساز است و میزان تولید پسماند ساختمانی بسیار زیاد است. درواقع شهر تهران به دلیل بی‌توجهی مالکان به استفاده مجدد از مصالح ساختمانی هزینه قابل‌توجهی را به‌عنوان پسماند ساختمانی از دست می‌دهد. مدیران

---

[1] Bergsdal

[2] Kasthurba

شهرداری تهران معتقدند که ۸۰ درصد از پسماند ساختمانی تولیدشده در تهران قابل بازیافت بوده و امکان استفاده از آن وجود دارد [۲۵].

سرانه زیربنای واحدهای مسکونی در محلات تهران از جهت جنوب به شمال شهر به دلیل بهبود شرایط اقتصادی، کالبدی و زیست‌محیطی افزایش می‌یابد. بر اساس آمار منتشره، ساختمان‌های مسکونی نوساز در مناطق تهران مساحتی بین ۴۰ تا ۷۰ مترمربع دارند [۲۶]. در سال ۱۳۸۵، متوسط سطح زیربنای مسکونی در واحدهای نوساز در تهران ۱۳۰ مترمربع گزارش‌شده اما این رقم در سال ۱۳۸۷ به ۱۲۵ مترمربع کاهش‌یافته است. درعین‌حال از نسبت سطح زیربنای مسکونی ۱۰۱ تا ۱۵۰ مترمربع در جنوب شهر کاسته و به سمت شمال شهر بر آن افزوده می‌شود [۲۷]. بیشترین سرانه زیربنا در مناطق شهر تهران با ۴۵ مترمربع متعلق به منطقه ۳ بوده و کمترین آن به میزان ۱۷ مترمربع نیز مربوط به مناطق ۱۷ و ۱۹ می‌باشد [۲۸, ۲۹].

۲-۲-محاسبه مقدار نخاله‌های ساختمانی ناشی از زلزله

به‌طورکلی برای محاسبه تخمینی میزان پسماندهای ساخت و تخریب که بخش عمده پسماندهای حاصل از بلایای طبیعی را به خود اختصاص می‌دهند، می‌توان به روش زیر عمل نمود:

- **تخمین مقدار پسماندهای ساختمانی**

$$CW = (NC + OC) * V * D \quad (۱)$$

که در آن:
CW = مقدار پسماندهای ساختمانی (تن)
NC = مساحت بنای جدید (مترمربع)
OC = مساحت بنای افزوده‌شده یا اضافی (مترمربع)
V = حجم پسماند ساختمانی تولیدشده به ازای هر ۱۰۰ مترمربع مساحت و
D = چگالی پسماند تولیدی (تن بر مترمکعب)

- **تخمین مقدار پسماندهای تخریب**

$$DW = ND * ANF * AS * V * D \quad (۲)$$

که در آن:
DW = مقدار پسماندهای تخریب (تن)
ND = تعداد بناهای تخریب‌شده (تعداد)
ANF = متوسط تعداد طبقات در هر ساختمان تخریب‌شده (تعداد)
AS = مساحت بنای تخریب‌شده (مترمربع)
V = حجم پسماند تخریب تولیدشده به ازای هر ۱۰۰ مترمربع مساحت ساختمان تخریب‌شده و
D = دانسیته پسماند تولیدی (تن بر مترمکعب)

در روابط بالا مهم‌ترین عاملی که در تعیین میزان پسماندها مؤثر بوده و در کشورهای مختلف و یا نواحی مختلف از یک کشور می‌تواند متغیر باشد، مقدار V است. این متغیر باید برای هر ناحیه/کشور به‌طور مجزا و از طریق مطالعات میدانی یا تجارب گذشته مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد.

۲-۳-روش تاپسیس

بسیاری از صاحب‌نظران مدیریت معتقدند که کانون اصلی مدیریت را تصمیم‌گیری تشکیل می‌دهد. درواقع آن‌ها انجام وظایفی چون برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی و کنترل را چیزی جز تصمیم‌گیری نمی‌دانند: تصمیم‌گیری در دنیای پیچیده امروز به چالشی برای مدیران و سازمان‌ها تبدیل‌شده است. تعداد شاخص‌های تصمیم‌گیری، تنوع معیارهای کمی و کیفی و لزوم در نظر گرفتن هم‌زمان آن‌ها، اهمیت اثرات و پیامدهای تصمیم و عواملی نظیر آن بر پیچیدگی تصمیم‌ها می‌افزاید. ازاین‌رو بالاخص در دو دهه اخیر، روش‌های ریاضی و دانش کامپیوتر در حل مسائل تصمیم‌گیری به یاری آنان شتافته و تکنیک‌ها و فنون تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را ایجاد نموده‌اند.

روش تاپسیس در سال ۱۹۸۱ معرفی و یکی از مدل‌های کارآمد در تصمیم‌گیری چند معیاره شناخته شد [۳۰]. این مدل بر این مفهوم استوار است که گزینه برتر باید کمترین فاصله را با ایده‌آل مثبت یا به عبارتی بهترین حالت ممکن و همچنین بیشترین فاصله را با ایده‌آل منفی یا بدترین حالت ممکن داشته باشد [۳۱].

❖ تشکیل ماتریس تصمیم

در تکنیک تاپسیس می‌توان با استفاده از n شاخص به ارزیابی m گزینه یا سناریو پرداخت؛ لذا به هر گزینه بر اساس هر معیار امتیازی تعلق می‌گیرد و این امتیازات می‌توانند بر اساس مقادیر کمی یا کیفی باشند. درنهایت یک ماتریس تصمیم m*n به‌عنوان ماتریس مقایسات یا امتیاز تشکیل شود [۳۲].

❖ نرمال کردن ماتریس تصمیم

در روش تاپسیس ماتریس تصمیم باید نرمال شود و برای نرمال‌سازی می‌توان از روش برداری استفاده کرد. روش برداری به‌صورت زیر انجام می‌شود:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}} \qquad (۳)$$

❖ تشکیل ماتریس تصمیم نرمال موزون

در گام بعد ماتریس نرمال موزون بر اساس وزن معیارها تشکیل می‌شود؛ بنابراین باید از پیش وزن معیارها با استفاده از مدل‌های مانند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شوند. موزون کردن ماتریس با ضرب وزن هر معیار در درایه‌های مربوط به آن محاسبه می‌شود [۳۳].

- تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها (w_i) بر اساس $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$ محاسبه می‌شوند و شاخص‌های دارای اهمیت بیشتر از وزن بالاتری برخوردار خواهند بود. درواقع ماتریس (v) طبق ماتریس ارائه‌شده در معادله ۴ حاصل‌ضرب مقادیر استاندارد هر شاخص در اوزان مربوط به خود است.

(۴)

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ . & & & . \\ . & & & . \\ . & & & . \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mm} \end{bmatrix}$$

❖ محاسبه ایده‌آل‌های مثبت و منفی

محاسبه Positive ideal point, PIS و NIS Negative ideal point, در گام بعد انجام می‌شود. در این مرحله برای هر شاخص یک ایده‌آل مثبت (A^+) و یک ایده‌آل منفی (A^-) محاسبه می‌شود.

- ✓ برای معیارهایی با بار مثبت، ایده‌آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار آن معیار خواهد بود.
- ✓ برای معیارهایی با بار مثبت، ایده‌آل منفی کوچک‌ترین مقدار آن معیار خواهد بود.
- ✓ برای معیارهایی با بار منفی، ایده‌آل مثبت کوچک‌ترین مقدار آن معیار خواهد بود.
- ✓ برای معیارهایی با بار منفی، ایده‌آل منفی بزرگ‌ترین مقدار آن معیار خواهد بود.

(۵)

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} \,|\, j \in J), (\min_i v_{ij} \,|\, j \in J') \right\}$$
$$A^* = \left\{ v_1^*, v_2^*, ..., v_n^* \right\}$$

(۶)

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \,|\, j \in J), (\max_i v_{ij} \,|\, j \in J') \right\}$$
$$A^- = \left\{ v_1^-, v_2^-, ..., v_n^- \right\}$$

❖ فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و محاسبه راه‌حل ایده‌آل

در این مرحله میزان فاصله نسبی هر گزینه به ایده‌آل مثبت (d_i^+) و منفی (d_i^-) محاسبه می‌شود. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل‌ها با معادله ۵ محاسبه خواهد شد. مرحله نهائی محاسبه راه‌حل ایده‌آل است. در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شود [۳۴]:

(۷)

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^+)^2}$$

(۸)

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (۹)$$

مقدار CL (امتیاز یا فاصله نهایی) بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد راه‌کار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است و راه‌کار بهتری می‌باشد.

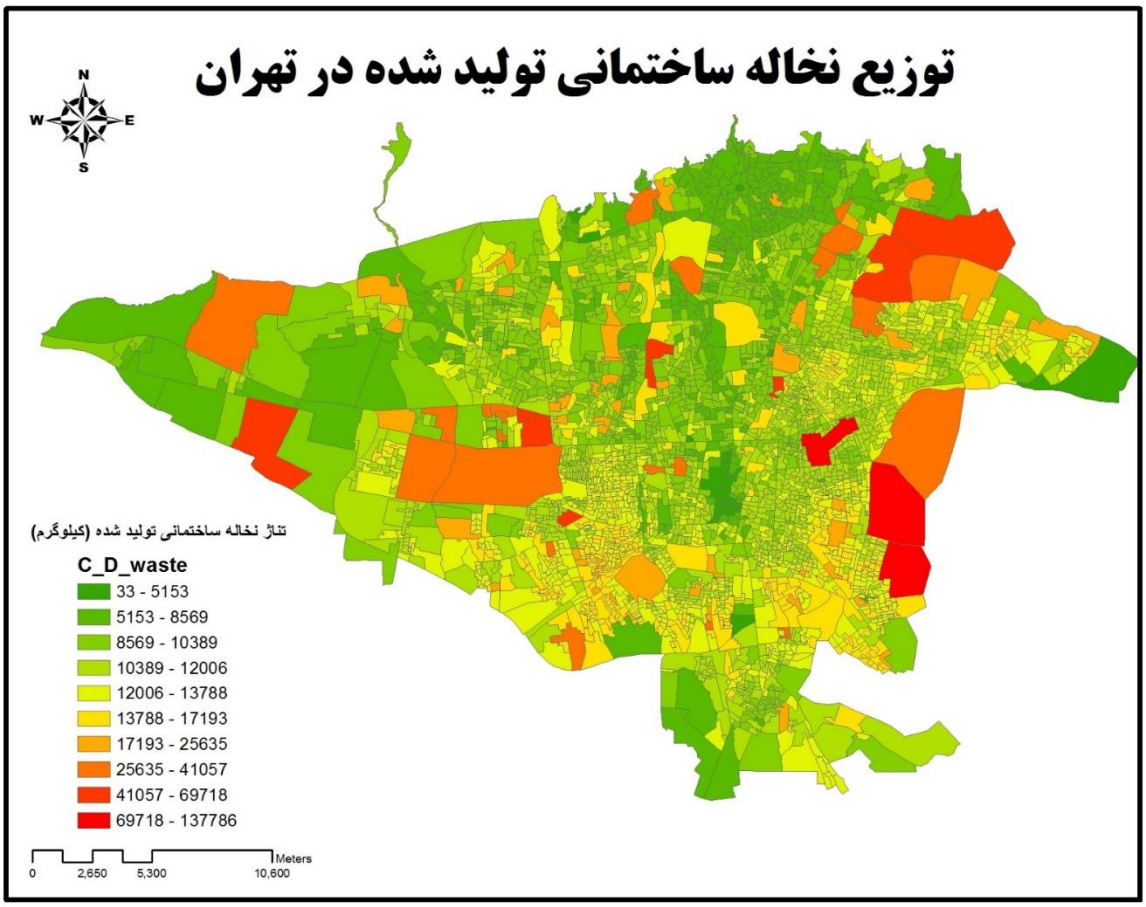
۲-۴-جامعه آماری

در این پژوهش به‌منظور اخذ نظرات خبرگان و متخصصین در حوزه بازیافت و مدیریت نخاله‌های ساختمانی از نظرات ۱۰ خبره استفاده شده است. خبرگان موردنظر شامل کارشناسان سازمان بازیافت شهرداری تهران و مدیران شرکت‌های بازیافت هستند.

۳-بحث و نتایج

۳-۱-وضعیت کیفی و کمی تولید نخاله ساختمانی در تهران

شکل ۱، توزیع مکانی نخاله‌های ساختمانی تولیدشده در شهر تهران را با توجه به آخرین داده‌ها و آمارهای رسمی شهرداری تهران و لایه توزیع جمعیتی شهری و همچنین سرانه تولید نخاله‌های ساختمانی در تهران (۵,۵ کیلوگرم به ازای هر نفر) نشان می‌دهد.



شکل ۱- توزیع مکانی نخاله‌های ساختمانی تولیدشده در تهران در حالت عادی

همان‌طور که مشاهده می‌شود، عمده تناژ نخاله ساختمانی تولیدی در شهر تهران در مناطق مرکز شهر و برخی از محلات و نواحی اطراف شهر که در حال گسترش هستند می‌باشد. نواحی شمالی از مقدار تولید کمتری برخوردار هستند و میزان بالای تولید نخاله ساختمانی تولیدی در بافت قدیم هم نشانه شمار زیاد پروژه‌های تخریب و بازسازی در این نواحی است.

شاخص سرانه زیربنای واحدهای مسکونی (متوسط فضای قابل سکونت برای هر نفر) ازجمله شاخص‌های کلیدی در شناخت وضعیت مسکن است. برخلاف بسیاری از شاخص‌های مسکن که معمولاً با یکی از ابعاد و عوامل اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، کالبدی و یا زیست‌محیطی در ارتباط هستند، شاخص سرانه زیربنای مسکن با تمامی ابعاد و عوامل مذکور ارتباط مستقیم و تنگاتنگ دارد. عوامل اقتصادی جامعه، از اقتصاد کلان تا اقتصاد خرد و توان مالی خانوار، می‌تواند در تعیین میزان سرانه زیربنا مؤثر باشند. ویژگی‌های اجتماعی و فرهنگی جامعه و خانوارها نیز نقش بسزایی در سرانه زیربنای مسکن و نیاز خانوارها دارند. همچنین شرایط و ویژگی‌ها و نیز امکانات و محدودیت‌های کالبدی و زیست‌محیطی نیز در میزان این شاخص و یا در برنامه‌ریزی آن اثرات تعیین‌کننده‌ای دارند.

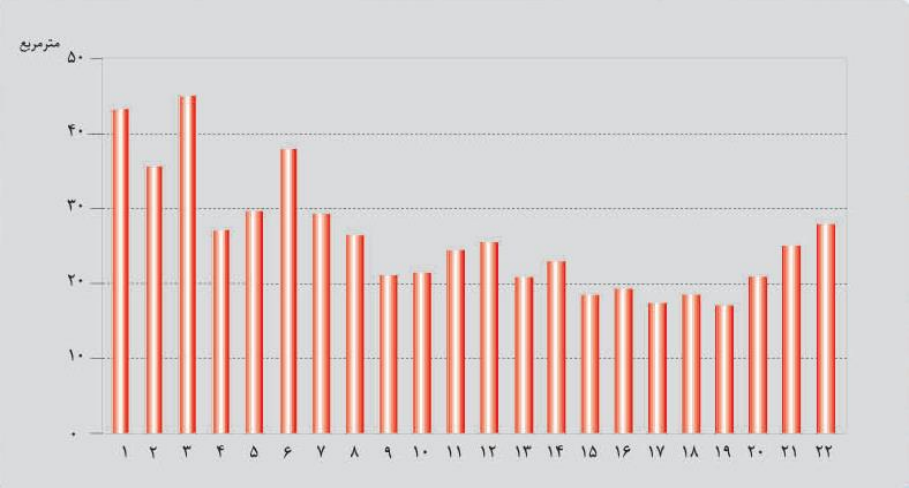
بنا بر قاعده کلی، این شاخص در ایران و در مقایسه با بسیاری از کشورهای دیگر، حتی بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته بالاتر است. تنها دلیل این تفاوت محسوس را می‌توان در نیازهای اجتماعی و فرهنگی خانوارهای ایرانی جستجو کرد (برای مثال، اختصاص فضاهای قابل‌توجه برای میهمان و آشپزخانه).

در اندازه‌گیری شهر تهران، توزیع و پراکندگی زیربنای مسکونی دارای ویژگی‌های قابل‌توجهی است. این ویژگی اساساً ناشی از سابقه تاریخی رشد، توسعه و گسترش این شهر می‌باشد. مناطق بافت تاریخی و مرکزی شهر تهران دارای سرانه زیربنای متوسطی هستند (حدوداً ۳۰ مترمربع). پس از مناطق بافت تاریخی و مرکزی، دو نوع مختلف از سرانه زیربنا در شمال و جنوب شهر مشاهده می‌شود. بافت‌های جنوبی تهران دارای کمترین سرانه زیربنای مسکونی هستند و این نکته از ناحیه سکونت افراد با کمترین درآمد و خانوارهای با توان مالی پایین به همراه ابعاد بالاتر خانوار ناشی می‌شود (کمتر از ۳۰ مترمربع). در مقابل، مناطق شمالی شهر تهران از بالاترین سرانه زیربنا برخوردار هستند، به‌گونه‌ای که در بسیاری از مناطق ۱ و ۳ و همچنین بخش‌هایی از مناطق ۶ و ۵ شهرداری تهران، متوسط سرانه زیربنا حدوداً ۵۰ مترمربع است. در مناطق جدید تهران، ازجمله مناطق شرقی و غربی شهر، سرانه زیربنای متوسط به میزان ۲۰ تا ۳۰ مترمربع ارائه می‌شود.

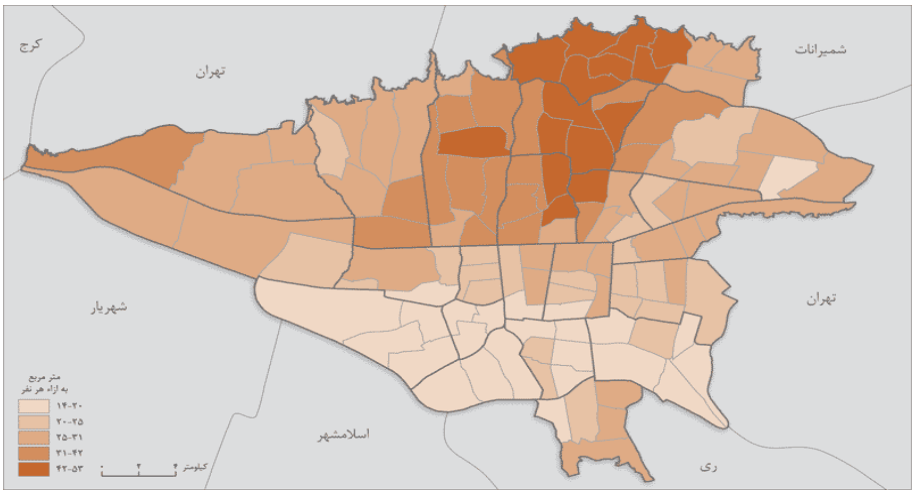
به‌طور خلاصه، سرانه زیربنای واحدهای مسکونی در تهران، ناشی از پیشرفت اقتصادی، تغییرات کالبدی و بهبود شرایط زیست‌محیطی، افزایش‌یافته است. آمار نشان می‌دهد که ساختمان‌های مسکونی نوساز در مناطق تهران مساحتی بین ۴۰ تا ۷۰ مترمربع دارند. در سال ۱۳۹۵، متوسط سطح زیربنای مسکونی در واحدهای نوساز ۱۳۰ مترمربع بوده است که در سال ۱۳۹۷ به ۱۲۵ مترمربع کاهش‌یافته است.

درعین‌حال، نسبت سطح زیربنای مسکونی در بازه ۱۰۱ تا ۱۵۰ مترمربع در جنوب شهر کاهش‌یافته و در شمال شهر افزایش‌یافته است. همچنین، سطح زیربنای مسکونی با مساحت ۳۰۰ مترمربع به بالا در منطقه ۱ افزایش‌یافته است که به وجود منازل ویلایی در این منطقه برمی‌گردد.

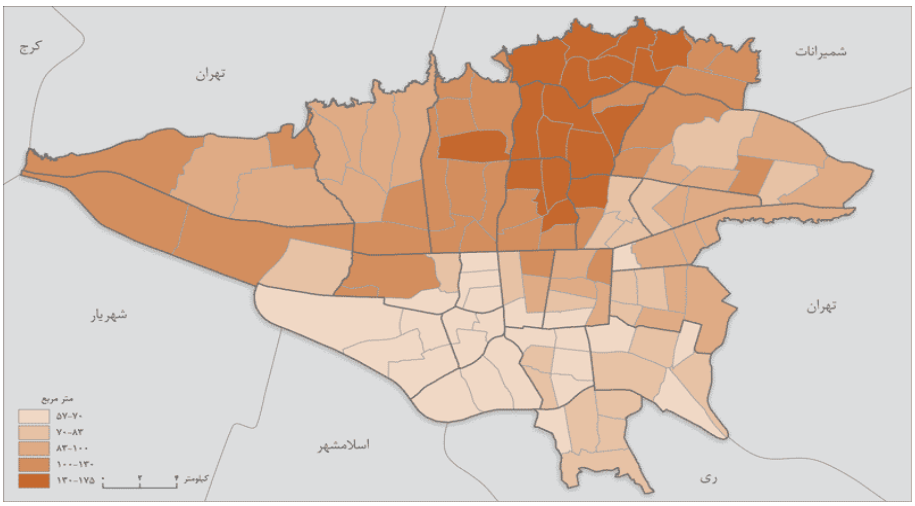
نمودار زیر نشان می‌دهد که بیشترین سرانه زیربنا در مناطق شهر تهران متعلق به منطقه ۳ با ۴۵ مترمربع است، درحالی‌که کمترین آن با میزان ۱۷ مترمربع مربوط به مناطق ۱۷ و ۱۹ می‌باشد. این تغییرات در ساختار زیربنای مسکونی تهران نشانگر پویایی و تنوع در توسعه شهری و مدیریت مسکن می‌باشد.



شکل ۲- سرانه زیربنای مسکونی شهر تهران (۱۳۹۵)



شکل ۳- سرانه زیربنای مسکونی شهر تهران (۱۳۹۵)



شکل ۴- میانگین مساحت مسکن در اختیار خانوار در شهر تهران (۱۳۹۵)

ازآنجاکه لایه‌های اطلاعات مکانی سرانه مسکن در شهر تهران در دسترس نیست، امکان محاسبه نخاله‌های ساختمانی با استفاده از این شاخص امکان‌پذیر نیست و طبق اطلاعات موجود تنها می‌توان بر اساس سرانه تولید نخاله ساختمانی تولیدشده توسط شهروندان در طی پروژه‌های تخریب و بازسازی ساختمان‌ها مقادیر نخاله‌های تولیدی در طی روز را برای شهر تهران محاسبه نمود.

در ادامه آنالیز نخاله‌های ساختمانی شهر تهران طبق آزمایش‌ها و تست‌های انجام‌شده توسط شهرداری تهران ارائه‌شده است:

جدول ۱- درصد مواد قابل بازیافت از نخاله‌های ساختمانی شهر تهران

	مواد قابل بازیافتی	درصد قابل استحصال
۱	شن و ماسه	٪۳۳
۲	آجر	٪۰,۳
۳	فلزات آهنی	٪۲۳,۱
۴	پلاستیک	٪۱۳,۲
۵	مقوا	٪۱۳,۲
۶	گچ	٪۶,۶
۷	چوب	٪۱۰,۶
۸	سایر مواد	٪۱۳,۲

۳-۲-انتخاب مناسب‌ترین روش بازیافت

در این قسمت با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS و روش‌های مختلف بازیافت نخاله‌های ساختمانی مناسب برای تهران و همچنین معیارهای اثرگذار بر انتخاب نوع سیستم، سعی بر انتخاب مناسب‌ترین روش بر اساس شرایط محلی شده است. در ابتدا بایستی ساختار تصمیم‌گیری شامل گزینه‌های پیش رو در مدیریت نخاله‌های ساختمانی با تمرکز بر سیستم‌های بازیافت و سپس معیارهای مقایسه را مشخص کرد. برای بازیافت نخاله‌های ساختمانی انواع روش‌ها وجود دارد. روش‌های موردنظر بر اساس نوع رویکردی که به نیاز منطقه و همچنین ویژگی‌های نخاله‌های ساختمانی وجود دارد متفاوت هستند.

یکی از دیدگاه‌های مهم در دسته‌بندی انواع روش‌های بازیابی مواد بر اساس چرخه تولید، به شکل‌های زیر قابل تبیین است:

۱-بازیابی به‌صورت چرخه‌ی بسته: در این فرآیند، نخاله‌ها به موادی مشابه مواد مادر تبدیل می‌شوند؛ به‌عنوان‌مثال، شیشه‌های مصرف‌شده مجدداً به ورق‌های شیشه تبدیل می‌گردند.

۲- بازیابی به‌صورت چرخه‌ی باز: در این روش، نخاله‌های بازیافت شده به مواد جدید تبدیل می‌شوند؛ به‌عنوان‌مثال، قوطی‌های کنسرو به فلس‌های مورداستفاده در تقویت بتن تبدیل می‌شوند یا بطری‌های پلاستیکی به زیرسازی برای فرش‌های ماشینی و موکت مبدل می‌گردند.

با توجه به سیستم‌های در دسترس و نوع نخاله‌های ساختمانی سناریوهای پیشنهادی به‌منظور بازیافت نخاله‌های ساختمانی بر اساس ترکیبی از چندین روش در نظر گرفته‌شده است. ازآنجاکه نوع نخاله‌ها به‌گونه‌ای است که یک روش جوابگوی بازیابی کامل نخاله‌ها نیست، در این تحقیق از ۳ جزء اصلی استفاده‌شده است که ترکیب مختلف این اجزا برای سناریوها در ادامه ارائه‌شده است:

جدول ۲ - سناریوهای پیشنهادی جهت بازیافت نخاله‌های ساختمانی در تهران

سناریو	خردکن	بازیابی فلزات	انبارداری
اول	سیار – انتقال به محل پروژه	سیار – در محل پروژه	دپو در محل پروژه
دوم	سیار – انتقال به محل پروژه	ثابت – جابه‌جایی در انبار دپو سایت بازیافت	دپو در انبار سایت بازیافت
سوم	ثابت – جابه‌جایی در انبار دپو سایت بازیافت	سیار – در محل پروژه	دپو در محل پروژه
چهارم	ثابت – جابه‌جایی در انبار دپو سایت بازیافت	ثابت – جابه‌جایی در انبار دپو سایت بازیافت	دپو در انبار سایت بازیافت

جدول ۳- معیارهای مقایسه

معیار ۱	راندمان جداسازی مواد از یکدیگر
معیار ۲	سرمایه اولیه موردنیاز
معیار ۳	هزینه راهبری
معیار ۴	هزینه انتقال و جابه‌جایی نخاله‌های ساختمانی
معیار ۵	انبارداری
معیار ۶	سازگار با تنوع نخاله‌های ساختمانی
معیار ۷	سهولت عرضه به بازار مصرف
معیار ۸	نظارت بر کیفیت مصالح بازیابی شده
معیار ۹	فضای کار و مانور در دسترس
معیار ۱۰	ایمن‌سازی محوطه و جلوگیری از بروز خطرات شغلی

در این قسمت بر اساس امتیازات به‌دست‌آمده از خبرگان به‌منظور مقایسه انواع سناریوهای بازیافت نخاله‌های ساختمانی در شهر تهران، ۴ سناریو پیشنهادی بر اساس ۱۰ معیار مقایسه، امتیازات مربوط به خود را دریافت کردند. در این مطالعه از تعداد ۱۰ خبره و متخصص امر استفاده‌شده است. مجموع خبرگان شامل اساتید دانشگاه، دانشجویان محیط‌زیست و کارمندان سازمان محیط‌زیست شهرداری تهران است. خبرگان بر اساس میزان توانایی یا قدرت هر سناریو بین ۱ الی ۱۰ به سناریوها امتیاز دادند. بدین‌صورت که هرچه توانایی یا مزیت آن سناریو بیشتر باشد امتیاز بیشتری را برای آن معیار دریافت خواهد کرد. میانگین امتیازات به‌دست‌آمده از مجموع نظرات خبرگان در جدول ۴ ارائه‌شده است.

جدول ۴- ماتریس امتیازات اولیه TOPSIS

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Sc1	5/1	8/34	8/85	7/89	4/1	5/09	8/44	5/12	7/05	6/13
Sc2	6/21	5/68	6/94	6/84	6/22	5/88	6/63	6/12	7/75	7/1
Sc3	6/13	6/03	5/23	5/21	6/32	6/11	7/13	5/68	8/15	6/79
Sc4	8/14	4/41	6/5	4/12	9/13	8/41	5/34	9/24	9/05	9/3

در مرحله بعد، ماتریس بی مقیاس موزون تشکیل‌شده است. برای این کار لازم است اوزان شاخص‌ها را داشته باشیم، پس نخست با شیوه‌ی آنتروپی شانون، اوزان شاخص‌ها حساب می شود. ضریب K طبق روابط ارائه‌شده و تعداد سناریوهای موجود در ادامه محاسبه‌شده است:

$$K=1/Ln(4) \quad K=0/721$$

اکنون می‌توان ماتریس بی مقیاس شده‌ی موزون را به دست آورد. برای این منظور، ماتریس بی مقیاس شده را در ماتریس W_{nxn} که عناصر قطر اصلی آن اوزان شاخص‌ها و دیگر عناصر آن صفر است - ضرب می‌کنیم. ضرایب ماتریس وزن‌ها در جدول ۵ محاسبه و ارائه‌شده است.

جدول ۵- ماتریس (V) حاصل‌ضرب مقادیر استاندارد هر شاخص در اوزان مربوط به خود

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Ej	0/9891	0/9806	0/9868	0/9782	0/9718	0/9865	0/9901	0/9793	0/9966	0/9904
Dj	0/0109	0/0194	0/0132	0/0218	0/0282	0/0135	0/0099	0/0207	0/0034	0/0096
Wj	0/0721	0/1290	0/0876	0/1449	0/1871	0/0895	0/0659	0/1373	0/0227	0/0639

ماتریس بی مقیاس شده موزون در جدول ۶ ارائه‌شده است.

جدول ۶- ماتریس بی مقیاس شده‌ی موزون

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Sc1	0/0022	0/0068	0/0040	0/0075	0/0043	0/0027	0/0029	0/0039	0/0006	0/0018
Sc2	0/0027	0/0046	0/0031	0/0065	0/0065	0/0031	0/0022	0/0046	0/0007	0/0021
Sc3	0/0026	0/0049	0/0023	0/0049	0/0066	0/0032	0/0024	0/0043	0/0007	0/0020
Sc4	0/0035	0/0036	0/0029	0/0039	0/0096	0/0045	0/0018	0/0070	0/0008	0/0027

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای هر معیار به دست آورد که این مقادیر در جدول ۷ نشان داده‌شده‌اند.

جدول ۷- ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای هر شاخص

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
J+	0/0035	0/0068	0/0040	0/0075	0/0096	0/0045	0/0029	0/0070	0/0008	0/0027
J-	0/0022	0/0036	0/0023	0/0039	0/0043	0/0027	0/0018	0/0039	0/0006	0/0018

در مرحله بعد، معیار فاصله‌ای برای آلترناتیو ایده‌آل و آلترناتیو حداقل تعیین‌شده است (جدول ۸).

جدول ۸- میزان فاصله‌ی هر گزینه از ایده‌آل مثبت

	d^+	d^-
سناریوی ۱	0/0066	0/0052
سناریوی ۲	0/0050	0/0038
سناریوی ۳	0/0056	0/0030
سناریوی ۴	0/0050	0/0066

در انتها بر اساس فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی امتیاز نهایی ارجحیت به‌دست‌آمده که اولویت‌بندی سناریوهای طبق آن در جدول ۹ ارائه‌شده است:

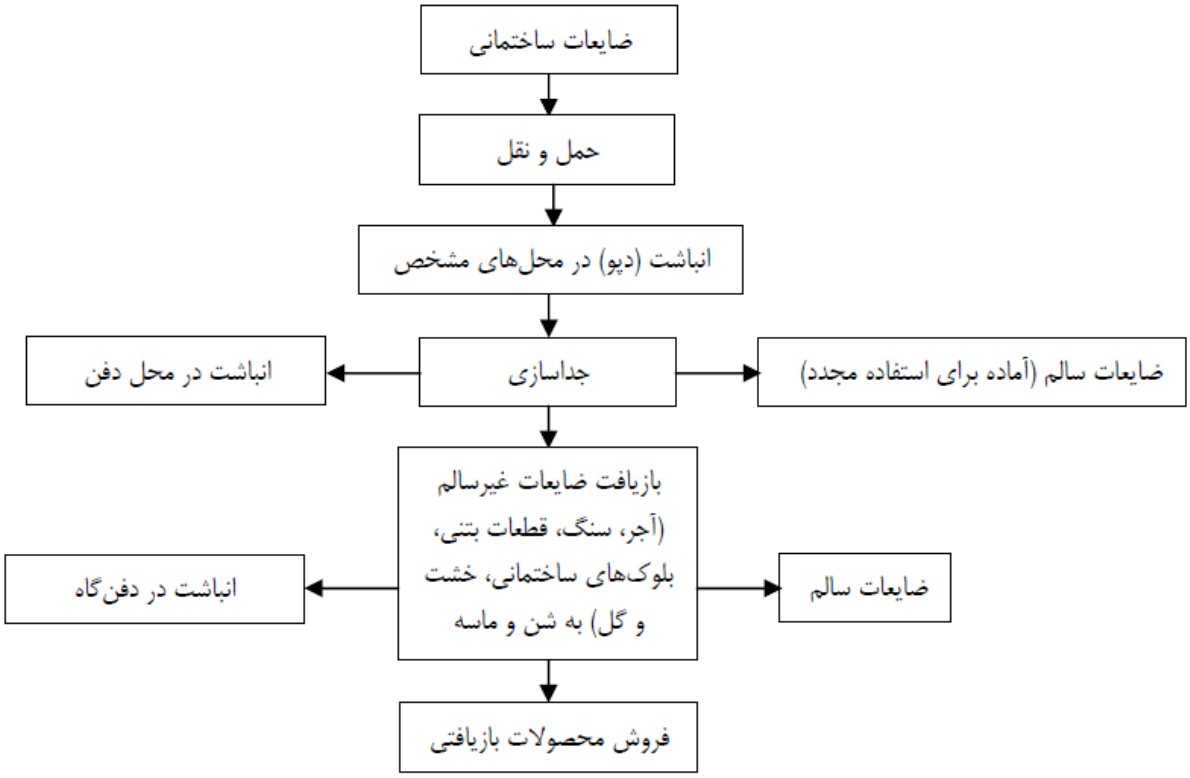
جدول ۹- امتیاز نهایی و اولویت‌بندی سناریوها

	امتیاز نهایی	اولویت
سناریوی ۱	0/441	2
سناریوی ۲	0/434	3
سناریوی ۳	0/352	4
سناریوی ۴	0/567	1

بنابراین، طبق نتایج به‌دست‌آمده از مدل TOPSIS و امتیازاتی که جامعه خبرگان این تحقیق به ۴ سناریو تعریف‌شده برای ۱۰ معیار مقایسه دادند، می‌توان نتیجه گرفت که مناسب‌ترین مدلی که برای مدیریت نخاله‌های ساختمانی با رویکرد بازیافت مصالح می‌توان پیشنهاد کرد، استقرار یک سایت با مکان ثابت جهت استقرار دستگاه‌های خردکن، سرندهای صنعتی و همچنین سیستم‌های نوار نقاله مخصوص برای مدیریت دپو مصالح معدنی بازیافت شده است. همچنین دیگر واحد اصلی این مجموعه یعنی واحد بازیابی مواد فلزی نیز

بایستی در همین سایت مستقر شود. از مزایای اصلی این سناریو می‌توان به نرخ بازیابی مصالح بازیافتی نسبت به سناریوهایی که در محل پروژه اقدام به بازیابی و بازیافت انجام می‌دهند خواهد بود. همچنین، مدیریت دپوهای ذخیره، توان مانور دستگاه‌های با ظرفیت بالا، عرضه مناسب‌تر و عادلانه‌تر مصالح بازیافتی و توان وقت گذاشتن بیشتر بر روی نخاله‌های ورودی به سایت (افزایش کیفیت نهایی) نسبت به سیستم‌های درجا باعث خواهد شد تا سیستم‌های متمرکز از مزیت و اولویت بیشتری برخوردار باشند.

در ادامه طبق جمع‌بندی اطلاعاتی که در این مطالعه جمع‌آوری‌شده است می‌توان مدل ارائه‌شده در شکل ۵ را برای مدیریت نخاله‌های ساختمانی در شهر تهران پیشنهاد داد:



شکل ۵- مدل پیشنهادی مدیریتی نخاله‌های ساختمانی

۴-نتیجه‌گیری

زلزله باعث تخریب انواع مختلف سازه‌ها ازجمله ساختمان می‌شود. درواقع نوع سانحه بر کمیت و خصوصیات آوار و نخاله تأثیر خواهد داشت و به این جهت بازسازی و بازگرداندن جوامع آسیب‌دیده به حالت عادی نیازمند پاک‌سازی مناطق، از آوارهای مختلف است که به دلیل مشکلات موجود درزمینه آوار به‌نوبه خود فعالیتی حساس و چندبعدی می‌باشد؛ بنابراین جهت مقابله با سوانح طبیعی می‌بایست هر چه سریع‌تر نسبت به ایجاد مدیریت بحران و توسعه زیرساخت‌های لازم اقدام نمود. لذا مدیریت آوار و نخاله، کی نگرانی نسبتاً جدید برای شهرداری‌ها می‌باشد و به این جهت داده‌ها و اطلاعات مفید بسیار کم است. در این صورت ارزشیابی مدیریت آوار و نخاله بعد از وقوع حوادث می‌تواند منبع مهمی از بازخوردها را جهت تخمین میزان آوار و نخاله ایجاد کند و تجربه مدیریت آوار را در برنامه‌ریزی جهت آمادگی بهتر، تسهیل عملیات بازسازی و امدادرسانی با هزینه کمتر طی رخداد سوانح طبیعی آینده افزایش دهد.

مناسب‌ترین مدلی که برای مدیریت نخاله‌های ساختمانی با رویکرد بازیافت مصالح می‌توان پیشنهاد کرد، استقرار یک سایت با مکان ثابت جهت استقرار دستگاه‌های خردکن، سرندهای صنعتی و همچنین سیستم‌های نوار نقاله مخصوص برای مدیریت دپو مصالح معدنی بازیافت شده است. همچنین واحد اصلی دیگر این مجموعه یعنی واحد بازیابی مواد فلزی نیز بایستی در همین سایت مستقر شود. از مزایای اصلی این سناریو می‌توان به بالا بودن نرخ بازیابی مصالح بازیافتی نسبت به سناریوهایی که در محل پروژه اقدام به بازیابی و بازیافت انجام می‌دهند اشاره کرد. همچنین، مدیریت دپوهای ذخیره، توان مانور دستگاه‌های با ظرفیت بالا، عرضه مناسب‌تر و عادلانه‌تر

مصالح بازیافتی و توان وقت گذاشتن بیشتر بر روی نخاله‌های ورودی به سایت (افزایش کیفیت نهایی) نسبت به سیستم‌های درجا باعث خواهد شد تا سیستم‌های متمرکز از مزیت و اولویت بیشتری برخوردار باشند.

در مدیریت نخاله‌های ساختمانی، استفاده‌ی مجدد از منابع نسبت به بازیافت اولویت دارد زیرا انرژی کمتری برای این فرآیند صرف شده و تأثیرات زیست‌محیطی کمتری دارد؛ اما درزمانی که نتوان از مصالح ساختمانی استفاده مجدد کرد، بازیافت می‌تواند از بار محل‌های دفن نخاله کم کرده و با بازیافت به منابع مواد اولیه و محیط‌زیست و اقتصاد پیمانکار و اشتغال، کمک کرد. بازیافت بر اساس جداسازی بر طبق منبع مواد، نسبت به دفن، نیاز به مدیریت و زمین بیشتری دارد اما ارزش اقتصادی بیشتری دارد.

عملیات مقدماتی قبل از وقوع زلزله جهت تسهیل عملیات آواربرداری و مدیریت آوار بهتر است که عملیات مقدماتی زیر قبل از وقوع زلزله صورت گیرد چراکه منجر به کاهش هزینه‌های کل و زمان تأخیر بین وقوع زلزله و عملیات احیای سیستم مدیریت زائدات جامد می‌شود.

۱) پیش‌بینی هزینه‌های تخریب، آواربرداری، دفع و همچنین نحوه پرداخت آن‌ها: منفعت انجام این اقدام یعنی داشتن مکانیسم تعیین بودجه در زمان زلزله به تسریع و تسهیل برنامه‌های بازسازی کمک خواهد کرد و مانع از تأخیرهای غیرضروری در اقدامات پاک‌سازی می‌شود. همچنین ممکن است که پیمانکاران به علت مشکلات مالی از انجام ادامه کار خودداری نمایند. ولی اگر بودجه کافی موجود باشد و پرداخت‌ها نیز به‌موقع انجام شود، دسترسی به تجهیزات و نیروی انسانی افزایش پیدا خواهد کرد.

۲) تعیین روش‌های مناسب دفع آوار و نخاله و همچنین روش‌های آواربرداری و تعیین مکان‌هایی جهت دپوی موقت آوار و نخاله و پیش‌بینی حجم و وزن آوار: منفعت انجام این اقدام، قبل از وقوع یک زلزله، شامل کاهش دفع آوار غیر کنترل‌کننده و نامطلوب شده و همچنین جلوگیری از دفع آوارهای قابل بازیافت می‌باشد.

۳) وضع مقرراتی در ارتباط با ساختمان‌های تخریب‌شده و مشکوک به داشتن زائدات خطرناک: درواقع تخریب یک ساختمان ممنوع است مگر اینکه معلوم شود عاری از زائدات خطرناک می‌باشد. منفعت انجام این اقدام قبل از وقوع زلزله، شناسایی مکان‌های حاوی زائدات خطرناک و تعیین اینکه چه ساختمان‌هایی باید مواظبت بیشتری شوند و چگونه این مراقبت‌ها انجام شود. درنتیجه این اقدام منجر به کاهش هزینه و دفع مقادیر زیادی از آوارهای آلوده خواهد شد.

۴) پیش‌بینی در مورد پردازش توده‌های آوار در طی مرحله‌ی بازسازی: پس از زلزله، توده‌های آوار افزایش خواهد یافت و منفعت انجام این اقدام قبل از وقوع زلزله، عدم تبدیل مکان‌های دپوی موقت به مکان‌های دائم و جمع‌آوری، برداشت سریع و پردازش توده‌های آوار که باعث عدم آلوده شدن و مخلوط شدن با دیگر مواد می‌شود.

۵) بررسی و پیش‌بینی امدادرسانی به مردم در مرحله بازسازی: منفعت انجام این اقدام قبل از وقوع یک زلزله این است که باعث تسریع اقدامات پاک‌سازی در سراسر مناطق آسیب‌دیده شده و همچنین خطرات ایمنی و بهداشتی ناشی از آوارهای باقی‌مانده را در چنین مناطقی کاهش می‌دهد.

٦) انعقاد قرارداد با پیمانکاران و مالکین تجهیزات جهت استفاده از ظرفیت آن‌ها برای شرایط فوق‌برنامه مثل وقوع زلزله

۵-منابع

1. Domingo, J.L., et al., *Health risks for the population living in the vicinity of an Integrated Waste Management Facility: Screening environmental pollutants.* Science of the Total Environment, 2015. **518-519**: p. 363-370.
2. Yuan, H., *A SWOT analysis of successful construction waste management.* Journal of Cleaner Production, 2013. **39**: p. 1-8.

۳. دلنواز, ح. پ. انزابی, و زنگوئی, استفاده از تحلیل سلسله مراتبی جهت ارزیابی زیست محیطی-فنی کاربرد پسماندهای ساختمانی و صنعتی در لایه های روسازی راه. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۰۱۶.

۴. مصطفوی, ر. و ن. شامی, مدیریت نخاله های ساختمانی بعد از بلایای طبیعی, در همایش سراسری راهکارهای ارتقاء مدیریت بحران در حوادث و سوانح غیرمترقبه. ۱۳۸۵, دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی استان زنجان.

۵. مرادی, (ودیگران)., مدل ارزیابی پارامتریک پایداری محیطی سیستم های ساختمانی با تمرکز بر فاز تولید و تخریب (با رویکرد اندازه‌گیری عددی چرخه عمر به روش *LCIA* تحت استاندارد ایزو ۱۴۰۴۲). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۰۱۶. ۱۸(۳): ص.۳۴۳-۳۵۶.

6. Karim, M.R., et al., *Use of Wastes in Construction Industries as an Energy Saving Approach.* Energy Procedia, 2011. **12**(0): p. 915-919.
7. Huang, R. and W. Li, *Research on development and distribution rules of geohazards induced by Wenchuan earthquake on 12th May, 2008.* Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2008. **27**(12): p. 2585-2592.
8. Dong, J., Q. Wang, and Z. Guan, *Material properties of basalt fibre reinforced concrete made with recycled earthquake waste.* Construction and Building Materials, 2017. **130**: p. 241-251.
9. Wang, L., et al., *Assessing the underlying dimensionality of DSM-5 PTSD symptoms in Chinese adolescents surviving the 2008 Wenchuan earthquake.* Journal of anxiety disorders, 2015. **31**: p. 90-97.
10. Song, Y., et al., *Are we planning for sustainable disaster recovery? Evaluating recovery plans after the Wenchuan earthquake.* Journal of Environmental Planning and Management, 2017: p. 1-25.

۱۱. محوی, (ودیگران), مدیریت پسماندهای جامد شهر بم، قبل و بعد از زلزله پنجم دی ماه سال ۱۳۸۲. طب نظامی, ۲۰۲۲. ۸(۲): ص. ۸۳-۸۹.

12. Gautam, D. and T.B. Chhetri, *Waste management: new challenge after the recent earthquake in Nepal.* CURRENT SCIENCE, 2016. **110**(3): p. 285.
13. Wu, Z., et al., *Quantifying construction and demolition waste: an analytical review.* Waste management, 2014. **34** :(۹)p. 1683-1692.
14. Shafigh, P., et al., *Agricultural wastes as aggregate in concrete mixtures–A review.* Construction and Building Materials, 2014. **53**: p. 110-117.
15. Kasthurba, A., K.R. Reddy, and D. Venkat Reddy, *Sustainable approaches for utilizing waste in building construction.* International Journal of Earth Sciences and Engineering, 2014. **7**(3): p. 838-8445.
16. Ahmadvand, A.M., et al., *Analysis of Tehran construction and demolition waste management with System Dynamics Approach.* Asian Journal of Research in Business Economics and Management, 2014. **4**(8): p. 234.
17. Silva, R., J. De Brito, and R. Dhir, *Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production.* Construction and Building Materials, 2014. **65**: p. 201-217.
18. Fattahi, R., et al., *Risk assessment by a New FMEA model based on an extended AHP method under a fuzzy environment.* Environmental Energy and Economic Research, 2021. **5**(4): p. 1-14.
19. Padash, A., et al., *Analyzing and evaluating industrial ecology development model in Iran.* 2020.
20. Nejad, F., et al., *Assessment and strategic planning for In-Door and Out-Door sports with the application of SWOT analysis and AHP in fuzzy environment*. International Journal of Sport Studies, 2013. **3**(11): p. 1281-1291.

21. Padash, A., et al., *Analyzing and evaluating industrial ecology development model in iran using FAHP-DPSIR.* International Journal of Environmental Research, 2021. **15**(4): p. 615-629.
22. Fattahi, R., et al., *A novel FMEA model based on fuzzy multiple-criteria decision-making methods for risk assessment.* Journal of Enterprise Information Management, 2020. **33**(5): p. 881-904.
23. Fattahi, R. and M. Khalilzadeh, *Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment.* Safety science, 2018. **102**: p. 290-300.
24. Seiti, H., A. Hafezalkotob, and R. Fattahi, *Extending a pessimistic–optimistic fuzzy information axiom based approach considering acceptable risk: Application in the selection of maintenance strategy.* Applied Soft Computing, 2018. **67**: p. 895-909.
۲۵. سالمی, د. و ن. مقدسی, مروری بر مقالات کاربرد بازیافت نخاله های ساختمانی در صنعت راه و ساختمان, در پنجمین همایش ملی فناوری های نوین در مهندسی معماری، عمران و شهرسازی ایران. ۱۴۰۱.
۲۶. نوری, ا.م., (و دیگران)., تحلیل وضعیت مسکن گروه های کم درآمد در مناطق شهر تهران. ۱۴۰۱.
۲۷. شرقی, ع., ا. ضرغامی, و م. رمضانپور, تاثیرنشانه های نمای مسکن بر استیگمای وضعیت اجتماعی-اقتصادی ساکنین (مطالعه موردی: منطقه ۴ شهرداری تهران). ۱۴۰۰.
۲۸. نوری, م., م. رضویان, و م. قورچی, تحلیل وضعیت شاخص های اجتماعی مسکن در بافت های ناکارآمد شهری مطالعه موردی: منطقه ۱۲ کلانشهر تهران, در پنجمین همایش بین المللی مهندسی عمران،معماری و شهرسازی با رویکرد توسعه پایدار. ۱۳۹۸.
۲۹. رجائی, س. ع., (ودیگران)., بررسی وضعیت مسکن پایدار شهری در ناحیه ۱ منطقه ۹ تهران. ۱۳۹۷.
30. Afrane, S., et al., *Integrated AHP-TOPSIS under a fuzzy environment for the selection of waste-to-energy technologies in Ghana: a performance analysis and socio-enviro-economic feasibility study.* International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022. **19**(14): p. 8428.
31. Taylan, O., et al., *Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies.* Applied Soft Computing, 2014. **17** :(۰)p. 105-116.
32. Chuang, C.-C., et al., *Analyzing the edge of professional Taiwanese baseball league starting pitchers using the Entropy and TOPSIS method.* Journal of Physical Education and Sport Management, 2015. **6**(1): p. 1-8.
33. Önüt, S. and S. Soner, *Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment.* Waste Management, 2008. **28**(9): p. 1552-1559.
34. Şengül, Ü., et al., *Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey.* Renewable Energy, 2015 .**75** :p. 617-625.