مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

گزارش های تحلیلی و پیشنهادی جنگ تحمیلی سوم

۱۴۰۵

گزارش تخصصی چهارم: مدیریت پسماند

شماره نشر: ج ـ ۱۱۷۰
بهار ۱۴۰۵

Road , Housing & Urban
Development Research Center

Road, Housing & Urban Development Research Center

Analytical and Advisory Reports on the Third Imposed War

Report Series

Volume 4: Waste Management

Spring 2026

بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مدیریت پسماندهای ناشی از تخریب ساختمان‌ها در جنگ اخیر

اردیبهشت ماه ۱۴۰۵

راهبری و تدوین گزارش:

علی دوستی
محمدشکرچی زاده
محمد مهدی توسلی
مهران رفیعی

تشکر و قدردانی
این گزارش حاصل همکاری ارزشمند گروهی از مشارکت‌کنندگان است. بدین وسیله مراتب قدردانی صمیمانه خود را از تمامی ایشان به‌خاطر صرف زمان، تخصص و همراهی مؤثرشان ابراز می‌داریم.

آدرس: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، خیابان مروی، خیابان نارگل، جنب شهرک فرهنگیان، بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، تهران، ایران.
تلفن: ۰۰۹۸۲۱۸۸۲۵۵۹۴۲
وب‌سایت: https://www.bhrc.ac.ir/en/
ایمیل: info@bhrc.ac.ir

سخن مرکز

در سال‌های اخیر، رشد جمعیت در کلان‌شهرها، توسعه سریع ساخت‌وساز، تخریب و مرمت بناهای عمرانی، نوسازی بافت‌های فرسوده شهری و تغییر الگوهای مصرف در مقیاس جهانی موجب افزایش قابل توجه تولید ضایعات ساختمانی شده است؛ به‌گونه‌ای که سالیانه میلیون‌ها تن پسماند ناشی از فعالیت‌های ساختمانی تولید می‌شود که بخش قابل توجهی از آن بدون استفاده مفید از چرخه عمر ساختمان خارج می‌شود. در نتیجه، ضایعات حاصل از ساخت و تخریب ساختمان‌ها به یکی از اصلی‌ترین و پرحجم‌ترین انواع پسماند در جهان تبدیل شده‌اند و مدیریت آن‌ها به یکی از موضوعات مهم در حوزه برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع و حفاظت از محیط‌زیست تبدیل شده است.

در حالی که جهان به سوی توسعه پایدار و مدل‌های تولید و مصرف سبز حرکت می‌کند، صنعت ساخت‌وساز ایران با چالشی دوگانه روبروست: نخست، نیاز مبرم به بازسازی زیرساخت‌ها و تأمین مسکن، و دوم، مدیریت حجم عظیم پسماندهای ساختمانی. اما آنچه این چالش را در ایران از یک مسئله محیط‌زیستی به یک ضرورت اقتصادی و امنیتی تبدیل می‌کند، حجم گسترده آوارهای حاصل از تخریب‌های ناشی از جنگ‌های اخیر و نوسازی‌های بی‌رویه است. این حجم از آوار، اگر به چشم «زباله» نگریسته شود، یک بار مالی سنگین بر دوش دولت و شهرداری‌هاست؛ اما اگر با نگاه «اقتصاد چرخشی» به آن بنگریم، با یک «معدن شهری» و ذخیره راهبردی مواد اولیه مواجه‌ایم. تخریب ساختمان‌های مسکونی، تأسیسات عمرانی، پل‌ها، جاده‌ها و سایر زیرساخت‌های شهری، نه‌تنها موجب افزایش ناگهانی حجم نخاله‌های ساختمانی شده، بلکه فشار قابل توجهی بر نظام مدیریت پسماند شهری وارد آورده است. در چنین شرایطی که کشور با چالش‌های عمرانی، زیرساختی، اقتصادی و لجستیکی ناشی از جنگ مواجه است، مدیریت اصولی این حجم از ضایعات ساختمانی اهمیتی دوچندان می‌یابد. در کنار این چالش‌ها، حجم گسترده تخریب‌ها، چالشی جدی در زمینه تأمین مصالح مورد نیاز برای بازسازی نیز ایجاد کرده است. در این شرایط، استفاده بهینه از مصالح حاصل از تخریب ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های بازسازی، تسریع روند احیای زیرساخت‌های حیاتی و کاهش وابستگی به منابع طبیعی ایفا کند. بر این اساس، رویکرد بازیافت و بهره‌برداری مهندسی از ضایعات حاصل از ساخت‌وساز و تخریب، نه تنها یک گزینه زیست‌محیطی، بلکه ضرورتی اقتصادی، فنی و راهبردی محسوب می‌شود .یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از دفن ضایعات ساختمانی، بازیافت و استفاده مجدد از این مواد است.

آوارهای حاصل از جنگ و تخریب‌های شهری، فراتر از یک چالش محیط‌زیستی، آزمونی برای بلوغ اقتصادی و مدیریت منابع در کشور ماست. ما با یک انتخاب استراتژیک روبرو هستیم: یا اجازه دهیم این حجم عظیم از مواد، با هزینه‌های گزاف محیط‌زیستی و اقتصادی، به لایه‌های زیرین زمین بروند و منابع ما را برای نسل‌های آینده هدر دهند، یا با اتخاذ رویکرد «اقتصاد چرخشی»، این آوار را به ستون‌های توسعه و بازسازی کشور تبدیل کنیم.

بنابراین به نظر می‌رسد زمان آن رسیده است که «اقتصاد ساخت‌وساز» از مدل استخراج‌محور به مدل بازیافت‌محور کوچ کند؛ چرا که در آینده، ثروت کشور نه در معدن‌های طبیعی موجود، بلکه در مدیریت هوشمندانه مواد موجود در چرخه تولید، نهفته خواهد بود.

غزال راهب

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

سخن مرکز ۱
پیشگفتار ۴
۱- مقدمه ۷
۲- روش های مورد استفاده در بازیافت ۹
۳- موارد مورد مصرف مصالح حاصل از بازیافت نخاله‌های ساختمانی در ایران ۱۱
پیوست الف - از آوار جنگ تا ذخیره راهبردی ۱۴
پیوست ب – اقدامات انجام شده درخصوص بازیافت پسماندهای حاصل از تخریب ساختمان‌ها در دنیا ۲۵
منابع ۴۹

پیشگفتار

در سال‌های اخیر، رشد جمعیت در کلان‌شهرها، توسعه سریع ساخت‌وساز، تخریب و مرمت بناهای عمرانی، نوسازی بافت‌های فرسوده شهری و تغییر الگوهای مصرف در مقیاس جهانی موجب افزایش قابل توجه تولید ضایعات ساختمانی شده است؛ به‌گونه‌ای که سالیانه میلیون‌ها تن پسماند ناشی از فعالیت‌های ساختمانی تولید می‌شود که بخش قابل توجهی از آن بدون استفاده مفید از چرخه عمر ساختمان خارج می‌شود. در نتیجه، ضایعات حاصل از ساخت و تخریب ساختمان‌ها به یکی از اصلی‌ترین و پرحجم‌ترین انواع پسماند در جهان تبدیل شده‌اند و مدیریت آن‌ها به یکی از موضوعات مهم در حوزه برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع و حفاظت از محیط‌زیست تبدیل شده است.

گزارش‌های منتشر شده در سطح بین‌المللی بیانگر ابعاد گسترده این پدیده است. در اتحادیه اروپا سالانه حدود ۸۵۰ میلیون تن ضایعات ناشی از فعالیت‌های تخریب تولید می‌شود که معادل حدود ۳۱ درصد از کل پسماند تولیدی این منطقه است. مقایسه سرانه تولید پسماند جامد در کشورهای مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجه است. در سال ۲۰۱۱، میزان تولید پسماند جامد در ایالات متحده آمریکا حدود ۲ کیلوگرم در روز به ازای هر نفر، در انگلستان حدود ۱٫۱۸ کیلوگرم در روز و در سطح اتحادیه اروپا به طور متوسط حدود ۱٫۴ کیلوگرم در روز برآورد شده است. در کشور تایلند نیز در همین سال، میزان تولید پسماند جامد شهری حدود ۱۵/۹۸ میلیون تن گزارش شده که سرانه تولید آن حدود ۰/۶۵ کیلوگرم در روز برای هر نفر بوده و تنها حدود ۴۰ درصد از این پسماندها به شیوه‌های مناسب بازیافت یا دفن شده‌اند.

در ایران نیز حجم تولید ضایعات ساختمانی بسیار قابل توجه است. بر اساس برآوردهای موجود، با جمعیتی در حدود ۸۰ میلیون نفر، روزانه بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ هزار تن ضایعات ساختمانی در کشور تولید می‌شود که معادل حدود ۲/۵ کیلوگرم در روز به ازای هر نفر است. این رقم نشان‌دهنده بالاترین سرانه تولید ضایعات ساختمانی در میان کشورهای مورد مقایسه است. این حجم گسترده همانطور که پیش تر ذکر گردید علاوه بر ایجاد فشار بر سامانه‌های مدیریت پسماند شهری، ضرورت برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مؤثر در زمینه توسعه زیرساخت‌های بازیافت و تدوین استانداردهای فنی را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

همانطور که پیش تر ذکر گردید این ضایعات ترکیبی متنوع از مواد مختلف نظیر بتن، مصالح بنایی، فلزات، چوب، شیشه، آسفالت و خاک را دربر می‌گیرند و بخش قابل توجهی از جریان پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند. از میان این مواد، مصالح معدنی مانند بتن، آجر و سنگ بیشترین سهم وزنی ضایعات ساختمانی را تشکیل می‌دهند و به دلیل ماهیت فیزیکی

خود از قابلیت بالایی برای بازیافت و استفاده مجدد در پروژه‌های عمرانی برخوردار هستند. از سوی دیگر، در روزهای اخیر وقوع درگیری‌ها و تخریب‌های گسترده ناشی از جنگ در کشور، حجم بی‌سابقه‌ای از ضایعات ساختمانی ایجاد کرده است. تخریب ساختمان‌های مسکونی، تأسیسات عمرانی، پل‌ها، جاده‌ها و سایر زیرساخت‌های شهری، نه‌تنها موجب افزایش ناگهانی حجم نخاله‌های ساختمانی شده، بلکه فشار قابل توجهی بر نظام مدیریت پسماند شهری وارد آورده است. در چنین شرایطی که کشور با چالش‌های عمرانی، زیرساختی، اقتصادی و لجستیکی ناشی از جنگ مواجه است، مدیریت اصولی این حجم از ضایعات ساختمانی اهمیتی دوچندان می‌یابد. در کنار این چالش‌ها، حجم گسترده تخریب‌ها، چالشی جدی در زمینه تأمین مصالح مورد نیاز برای بازسازی نیز ایجاد کرده است. در این شرایط، استفاده بهینه از مصالح حاصل از تخریب ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های بازسازی، تسریع روند احیای زیرساخت‌های حیاتی و کاهش وابستگی به منابع طبیعی ایفا کند. بر این اساس، رویکرد بازیافت و بهره‌برداری مهندسی از ضایعات حاصل از ساخت‌وساز و تخریب، نه تنها یک گزینه زیست‌محیطی، بلکه ضرورتی اقتصادی، فنی و راهبردی محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از دفن ضایعات ساختمانی، بازیافت و استفاده مجدد از این مواد است. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که ضایعات ساختمانی می‌توانند در پروژه‌های عمرانی به عنوان مصالح جایگزین مورد استفاده قرار گیرند؛ از جمله در زیرسازی راه‌ها، لایه‌های خاکریزی، پرکننده ترانشه‌ها، تولید قطعات بتنی، سنگفرش‌ها و مسیرهای پیاده‌روی. با این حال، نرخ بازیافت در کشورهایی مانند اسپانیا، یونان، فرانسه، پرتغال و ایران به ترتیب ۱۷، ۵، ۱۴، ۵ و ۳ درصد گزارش شده است که این مقادیر به‌طور قابل توجهی کمتر از میانگین ۴۶ درصدی اتحادیه اروپا است. پایین بودن نرخ بازیافت نشان‌دهنده وجود چالش‌های متعدد در این حوزه است. از جمله این چالش‌ها همانطور که در فصب پیش ذکر گردید می‌توان به مشکلات فنی در فرآیند بازیافت، محدودیت‌های اقتصادی، نبود زیرساخت‌های مناسب برای تفکیک و جمع‌آوری ضایعات، نبود استانداردهای مشخص برای استفاده از مصالح بازیافتی، و همچنین پیچیدگی فرآیند جداسازی مصالح اشاره کرد.

گزارش حاضر **شامل راهنما یا دستورالعمل استفاده مجدد از پسماندها و نخاله‌های ساختمانی حاصل از جنگ اخیر** به عنوان مواد اولیه یا محصول نهایی در کاربردهای عمرانی می‌باشد. در دو پیوست مجزا، خلاصه‌ای از نحوه نگرش و مدیریت این پسماندها، استانداردهای مرتبط در دنیا به همراه تجربه‌های موجود در بازیافت نخاله‌های ساختمانی در کشورهای مختلف به عنوان نگاهی به آینده ارائه شده که می‌بایست مبنای تصمیم‌های کلان در آینده ایران باشد.

علی دوستی- محمد شکرچی زاده- محمد مهدی توسلی- مهران رفیعی

اردیبهشت ۱۴۰۵

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، حجم نخاله‌های ناشی از عملیات ساخت و تخریب در کشور به‌طور پیوسته در حال افزایش بوده است. رشد جمعیت شهری، توسعه زیرساخت‌ها، نوسازی بافت‌های فرسوده و گسترش فعالیت‌های عمرانی از جمله عواملی هستند که به افزایش تولید این نوع پسماندها منجر شده‌اند. در شرایط کنونی که کشور با پیامدهای ناشی از جنگ نیز مواجه است، میزان تخریب ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها افزایش یافته و در نتیجه حجم نخاله‌های ساختمانی بیش از پیش رشد کرده است. این وضعیت، علاوه بر ایجاد چالش‌های زیست‌محیطی و مدیریتی، در عین حال فرصتی بالقوه برای بهره‌برداری مجدد از این منابع فراهم می‌کند. در چنین شرایطی، استفاده از نخاله‌های ساختمانی و تبدیل آن‌ها به مصالح قابل مصرف در پروژه‌های عمرانی، به‌ویژه در قالب سنگدانه‌های بازیافتی، می‌تواند گامی مؤثر در راستای مدیریت بهینه منابع، کاهش فشار بر معادن طبیعی و حرکت در مسیر توسعه پایدار کشور محسوب شود.

بررسی تجربه و پیشینه استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در کشورهای مختلف جهان نشان می‌دهد که این رویکرد طی دهه‌های اخیر به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته و در بسیاری از کشورها به‌عنوان بخشی از نظام مدیریت پسماندهای ساختمانی نهادینه شده است. کشورهای پیشرو و توسعه‌یافته‌ای نظیر استرالیا و ژاپن با تدوین استانداردها، ایجاد زیرساخت‌های مناسب و توسعه فناوری‌های نوین فرآوری، توانسته‌اند بخش قابل توجهی از نخاله‌های ساختمانی خود را به چرخه تولید مصالح بازگردانند. **یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت این کشورها، وجود نظام منسجم در فرآیند تخریب ساختمان‌ها و به‌ویژه اجرای دقیق فرآیند تفکیک و جداسازی مصالح در محل تخریب است.** این رویکرد موجب می‌شود مواد نامطلوبی نظیر گچ، آجر و سایر مصالح ناهمگن که می‌توانند کیفیت سنگدانه‌های بازیافتی را کاهش دهند، از همان ابتدا از بتن و مصالح قابل بازیافت جدا شوند. در نتیجه، سنگدانه‌های تولیدشده از کیفیت مناسب‌تری برخوردار بوده و امکان استفاده از آن‌ها حتی در تولید بتن‌های سازه‌ای نیز فراهم شود و بدین ترتیب چرخه‌ای نسبتاً کامل از بازیافت مصالح ساختمانی شکل گیرد. با این حال، بررسی تجربه کشورهای در حال توسعه و برخی از همسایگان منطقه‌ای نیز نشان می‌دهد که بهره‌برداری از نخاله‌های ساختمانی تنها محدود به کشورهایی با نظام‌های بسیار پیشرفته ساخت‌وساز نیست. کشورهایی مانند هند و پاکستان که از نظر شیوه‌های ساخت‌وساز، نظام مدیریت پروژه‌های عمرانی و فرآیندهای تخریب شباهت‌هایی با شرایط موجود در ایران دارند، طی سال‌های اخیر گام‌هایی در جهت توسعه صنعت بازیافت نخاله‌های ساختمانی برداشته‌اند. این کشورها با ایجاد واحدهای خردایش و فرآوری نخاله‌ها، تدوین دستورالعمل‌های فنی و تشویق استفاده از مصالح بازیافتی

در برخی کاربردهای عمرانی، توانسته‌اند بخشی از این پسماندها را به مصالح قابل استفاده تبدیل کنند. تجربه این کشورها نشان می‌دهد که حتی در شرایطی که نظام ساخت و تخریب به پیچیدگی و دقت کشورهای پیشرفته نیست، همچنان امکان توسعه این صنعت وجود دارد. بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که با برنامه‌ریزی مناسب، تدوین ضوابط فنی و ایجاد زیرساخت‌های فرآوری، راه‌اندازی و توسعه صنعت بازیافت نخاله‌های ساختمانی در ایران نیز امری دست‌یافتنی بوده و می‌تواند علاوه بر کاهش آثار زیست‌محیطی، کشور را در مسیر توسعه پایدار و مدیریت بهینه منابع قرار دهد.

با این وجود، در صورت برنامه‌ریزی برای استفاده از نخاله‌های ناشی از ساخت و تخریب در کشور، یکی از مهم‌ترین الزامات، انجام فرآیند جداسازی اولیه مصالح تا حد امکان است تا از اختلاط مواد نامطلوب با بتن‌های تخریب‌شده جلوگیری شود. در میان مواد مختلف موجود در نخاله‌های ساختمانی، گچ و آجر از جمله مضرترین ترکیباتی هستند که حضور آن‌ها در مخلوط سنگدانه‌های بازیافتی می‌تواند به‌طور قابل توجهی موجب کاهش خواص مکانیکی و دوام بتن تولیدی شود. یکی از تفاوت‌های اصلی میان نخاله‌های ساختمانی در ایران و کشورهای پیشرو در این حوزه نیز دقیقاً در همین مرحله نهفته است؛ در بسیاری از این کشورها، به دلیل اجرای دقیق فرآیند تفکیک در محل تخریب، میزان حضور این مواد نامطلوب به حداقل ممکن می‌رسد. در مقابل، در بسیاری از سایت‌های دپوی نخاله در کشور، اختلاط مصالح مختلف بیش از حدود توصیه‌شده در استانداردها مشاهده می‌شود. همین موضوع سبب می‌شود که در شرایط فعلی، از منظر اطمینان فنی و ایمنی، **امکان استفاده گسترده از بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی در اعضای سازه‌ای با محدودیت‌هایی مواجه باشد.**

با این حال، در حوزه المان‌های غیرسازه‌ای که الزامات مربوط به خواص مکانیکی و دوام در آن‌ها نسبتاً ساده‌تر است، نتایج پژوهش‌های آزمایشگاهی انجام‌شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که استفاده از این مصالح امکان‌پذیر است. بر این اساس می‌توان از سنگدانه‌های بازیافتی در تولید محصولاتی نظیر **بلوک‌های غیر باربر، انواع ملات‌های بنایی و سایر کاربردهای غیرسازه‌ای بهره گرفت**؛ چراکه مطابق نتایج مطالعات موجود و با استناد به الزامات استانداردهای مربوطه، خواص مکانیکی و دوام این مصالح در بسیاری از موارد قادر به تأمین حداقل معیارهای مورد نیاز برای این نوع کاربردها هستند. در ادامه ضمن توضیح مختصر درخصوص نحوه بازیافت و جداسازی این مواد بصورت ابتدایی و عملیاتی در شرایط حال حاضر کشور، پاره‌ای از کاربردهای مواد حاصل از بازیافت در شرایط موجود اعلام می‌گردد. بطور قطع این گزارش مربوط به شرایط حال حاضر کشور می‌باشد و انتظار می رود در آینده با اتخاذ رویکرد «اقتصاد چرخشی»، این آوار را به ستون‌های توسعه و بازسازی کشور تبدیل کنیم.

۲- روش‌های مورد استفاده در بازیافت

بطور کلی پسماندهای ناشی از تخریب ساختمان‌ها به دو روش سایت های بازیافت ثابت و سیار انجام می‌پذیرد. انتخاب میان تأسیسات ثابت و واحدهای سیار بازیافت، پیش از آنکه یک تصمیم صرفاً فنی باشد، یک استراتژی اقتصادی برای مدیریت منابع ملی است. در کشورهای صنعتی مانند آلمان و هلند، ایجاد سایت‌های ثابت بازیافت به عنوان بخشی از زیرساخت‌های دائم شهری پذیرفته شده است. این مراکز با بهره‌گیری از خطوط شستشو و جداسازی پیشرفته، قادرند پسماندهای ناخالص ساختمانی را به سنگدانه‌هایی با کیفیت مشابه مصالح بکر تبدیل کنند که در تولید بتن‌های سازه‌ای و قطعات پیش‌ساخته کاربرد دارد. پایداری تولید و کنترل دقیق استانداردهای زیست‌محیطی در این مراکز، آن‌ها را به ستون فقرات اقتصاد چرخشی در بخش مسکن تبدیل کرده است. در مقابل، تحولات اخیر در مناطق بحرانی جهان نظیر اوکراین، ظرفیت‌های استراتژیک سایت‌های سیار را بیش از پیش نمایان کرده است. در شرایطی که حجم عظیمی از آوار ناشی از تخریب‌های گسترده، گلوگاه‌های ترافیکی و عملیاتی ایجاد می‌کند، انتقال ماشین‌آلات سنگ‌شکن به قلب کانون تخریب، تنها راهکار منطقی برای بازگشایی شریان‌های شهری است. تجربیات میدانی در بازسازی جاده‌ها و زیرساخت‌های آسیب‌دیده اوکراین نشان می‌دهد که سایت‌های سیار با حذف هزینه‌های گزاف حمل و نقل آوار به خارج از شهر، سرعت بازسازی را دوچندان کرده و هزینه‌های لجستیک را کاهش داده‌اند.

تفاوت کلیدی این دو رویکرد در محصول نهایی نهفته است. سایت‌های ثابت به دلیل بهره‌گیری از تجهیزات مکمل مانند جداکننده‌های مغناطیسی برای خروج میلگرد و سیستم‌های شناورسازی برای حذف چوب و پلاستیک، محصولی با ارزش افزوده بالا تولید می‌کنند که مستقیماً به چرخه ساخت‌وساز باز می‌گردد. اما سایت‌های سیار، علی‌رغم سرعت عمل بالا، معمولاً محصولی تولید می‌کنند که به دلیل ناخالصی بیشتر، عمدتاً در پروژه‌های راه‌سازی و پر کردن گودال‌ها کاربرد دارند. بنابراین، انتخاب هر یک از این دو روش باید بر اساس نیازسنجی دقیق از بازار مصرف مصالح بازیافتی در هر منطقه صورت گیرد. علاوه بر جنبه‌های فنی، موضوع حاکمیتی و نظارتی نیز در این میان نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. ایجاد سایت‌های ثابت نیازمند تخصیص زمین‌های وسیع در حاشیه شهرها و اخذ مجوزهای زیست‌محیطی پیچیده است، اما به دلیل تمرکز فعالیت، پایش عملکرد آن‌ها برای دستگاه‌های نظارتی آسان‌تر است. در سمت دیگر، واحدهای سیار نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه کمتری دارند و برای بخش خصوصی جذابیت بیشتری ایجاد می‌کنند، اما مدیریت آلودگی‌های صوتی و گرد و غبار ناشی از فعالیت آن‌ها در محیط‌های شهری، نیازمند تدوین پروتکل‌های سخت‌گیرانه و نظارت مستمر میدانی است.

بنابراین با لحاظ کردن شرایط کنونی کشور، پیشنهاد نهایی بر تصویب یک الگوی دوگانه و مکمل استوار است. برای کلان‌شهرهایی که با انباشت روزانه پسماند عمرانی مواجه هستند، احداث حداقل یک سایت ثابت پیشرفته جهت تولید مصالح استاندارد و دارای تاییدیه فنی ضروری است تا اعتماد صنعتگران به بتن و قطعات بتنی حاصل از بازیافت نخاله‌های ساختمانی جلب شود. همزمان، تجهیز سازمان‌های مدیریت پسماند و شهرداری‌ها به ناوگان سیار بازیافت به عنوان یک الزام در حوزه پدافند غیرعامل پیشنهاد می‌گردد؛ این اقدام نه تنها آمادگی کشور در برابر سوانح طبیعی را ارتقا می‌دهد، بلکه در پروژه‌های بزرگ عمرانی که در خارج از محدوده شهرها اجرا می‌شوند، باعث صرفه‌جویی کلان در هزینه‌های حمل و نقل و حفظ منابع طبیعی خواهد شد. این مدل ترکیبی، هوشمندانه‌ترین مسیر برای گذار از مدیریت سنتی پسماند به مدیریت نوین منابع در کشور خواهد بود. در شکل های ۱ و ۲، برخی تجهیزات لازم جهت سایت‌های ثابت و سیار به ترتیب نمایش داده شده است.

شکل۱- تجهیزات مورد استفاده در سایت های ثابت بازیافت

شکل ۲- تجهیزات مورد استفاده در سایت‌های سیار بازیافت

3- موارد مورد مصرف مصالح حاصل از بازیافت نخاله‌های ساختمانی در ایران

الف) استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در لایه‌های اساس و زیراساس لندفیل‌ها

لایه زیراساس در لندفیل‌ها وظیفه ایجاد بستر یکنواخت و محافظت از لایه‌های ژئوسنتتیک تحتانی در برابر ناهمواری‌های بستر طبیعی را دارد. سنگدانه‌های بازیافتی، به‌ویژه ترکیب بتن خرد شده و آجر، به دلیل زوایای تند ذرات و اصطکاک داخلی بالا، پس از تراکم، پایداری برشی قابل توجهی ایجاد می‌کنند. این ویژگی مانع از بروز نشست‌های تفاضلی در درازمدت شده و ضریب اطمینان عملکردی لایه آب‌بند را افزایش می‌دهد. در لایه‌های اساس که مستقیماً تحت بارهای ثقلی ناشی از توده پسماند و بارهای دینامیکی تجهیزات سنگین قرار دارند، پارامتر باربری تعیین‌کننده است. اگرچه سنگدانه‌های بازیافتی در لایه‌های زیرسازی عملکرد ممتازی دارند، اما در استفاده از آن‌ها در لایه زهکشی باید ملاحظات فنی دقیقی اعمال گردد. به دلیل pH بالای بتن بازیافتی، احتمال واکنش‌های شیمیایی با شیرابه‌های

اسیدی و تشکیل رسوبات کلسیمی[1]وجود دارد. لذا پیشنهاد فنی این گزارش، تمرکز بر استفاده از این مصالح در لایه‌های پایین‌تر از لایه عایق و یا استفاده در بخش‌هایی است که در تماس مستقیم با جریان‌های زهکشی دائمی نیستند، مگر آنکه با فرآیندهای فرآوری، مقدار pH کنترل شده باشد.

جهت به‌کارگیری عملیاتی پسماندهای ساختمانی در لندفیل، شهرداری‌ها ملزم به طی مراحل فرآوری شامل جداسازی آلاینده‌های سبک (چوب، پلاستیک و کاغذ) و حذف قطعات فلزی توسط مگنت یا حداقل بصورت چشمی هستند. برای استفاده در لایه زیراساس ترکیب بهینه از جایگزینی ۱۰۰ درصد سنگدانه طبیعی با دانه‌بندی ۰ تا ۷۵ میلی‌متر بدست می آید؛ اما در لایه اساس، پیشنهاد می‌گردد جهت تضمین پایداری، از ترکیب ۵۰ درصد سنگدانه بازیافتی بتنی و ۵۰ درصد سنگدانه طبیعی استفاده شود. این اختلاط باعث می‌شود تا پدیده "قفل و بست" ذرات به بهترین شکل صورت گرفته و عدد CBR لایه در محدوده استاندارد قرار گیرد. همچنین ضروری است پیش از تخلیه، پسماندهای گچی به طور کامل تفکیک شوند، زیرا وجود بیش از ۱ درصد سولفات در ترکیب، منجر به تورم و تخریب ساختار لایه اساس خواهد شد. در مرحله اجرا، کنترل رطوبت کلیدی‌ترین فاکتور عملیاتی است. با توجه به اینکه سنگدانه‌های بازیافتی به دلیل ماهیت متخلخل ملات چسبیده و دیگر اجزاء متشکل، جذب آب بالاتری (تا ۱۰ درصد) نسبت به مصالح معدنی دارند، پیمانکار باید در هنگام کوبش، رطوبت را حدود ۲ تا ۴ درصد بالاتر از حد بهینه مصالح طبیعی تنظیم کند تا رسیدن به تراکم ۹۵ درصد پروکتور سنگین تضمین شود. همچنین پیشنهاد می‌شود لایه‌های ساخته شده با این مصالح، به مدت حداقل ۷ روز پس از کوبش مرطوب نگه داشته شوند تا از پتانسیل "گیرش ثانویه[2]" بتن‌های خرد شده برای افزایش صلبیت بستر لندفیل استفاده حداکثری به عمل آید.

ب) استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی به عنوان ماسه جهت عملیات بنایی

یکی از کاربردهای دیگری که می‌توان از سنگدانه‌های بازیافتی ناشی از نخاله‌های ساختمانی به نحو مطلوب بهره برد استفاده به عنوان ماسه بنایی است. قطعاً روزانه مقدار زیادی از ماسه با کیفیت بالا از معادن طبیعی کشور استخراج شده و جهت عملیات بنایی طبق استاندارد ملی به شماره ۱-۷۰۶ و ۲-۷۰۶ (ملات بلوک چینی، ملات بنایی، پلاستر سیمانی روی دیوار و ...) مورد مصرف قرار می‌گیرد. این در حالیست که استفاده از این ماسه برای عملیات بنایی ارزش افزوده بالایی دارد و عملاً تلف کردن معادن طبیعی کشور می‌باشد. در حال حاضر درخصوص ماسه‌ای که جهت عملیات بنایی مورد استفاده قرار می‌گیرد خواص مکانیکی آن

---

[1] Clogging
[2] Self-cementing

(شامل دانه بندی، درصد ذرات ریزدانه و درشت دانه) نسبت به خواص شیمیایی اولویت بیشتری دارد. با توجه به اینکه در حال حاضر برای ماسه بنایی در استانداردها و آیین نامه‌ها مشخصات و ویژگی خاصی مطرح نشده است می‌توان از جدول ذیل جهت بهره‌برداری استفاده نمود. شایان ذکر است که مدیریت استفاده از سنگدانه بازیافتی به عنوان ماسه جهت عملیات بنایی از اهمیت بسزایی برخوردار است زیرا **باید مطمئن بود که این ماسه در محل تولید و مصرف حتماً جهت عملیات بنایی مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از آن در ساخت بتن یا قطعات بتنی با عملکرد سازه‌ای مجاز نمی‌باشد.**

جدول۱- ترکیبات سنگدانه بازیافتی در استاندارد ملی ایران

اجزاء	مقدار حداقل و حداکثر مواد تشکیل‌دهنده سنگدانه‌های بازیافتی (بر حسب درصد وزنی)
بتن و سنگدانه‌های طبیعی اولیه (حداقل)	۹۵
قطعات آجری، آجر ملات اندود و ماسه‌سنگ آهکی (حداکثر)	۵
مواد معدنی دیگر* (حداکثر)	۲
آسفالت (حداکثر)	۱
**سایر مواد خارجی (حداکثر)	۰/۲

ج) استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در ساخت قطعات بتنی غیرسازه‌ای

یکی دیگر از کاربردهای مصالح حاصل از بازیافت نخاله‌های ساختمانی ساخت قطعات بتنی همچون بلوک‌های سیمانی سنگین می‌باشد. این بلوک‌ها طبق استاندارد ملی به شماره ۷۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و پارامتر مهم مورد ارزیابی برای آنها مقاومت فشاری است که با استفاده از مصالح حاصل از بازیافت نخاله‌های ساختمانی این مهم به راحتی قابل دستیابی است. مصالح حاصل از بازیافت نخاله‌های ساختمانی می‌تواند در انواع قطعات بتنی غیرسازه‌ای و المان‌های مورد استفاده در فضای شهری که خصوصاً پارامتر دوام برای آنها از درجه اهمیت کمتری برخوردار باشد (همچون گلدان‌های بتنی، زیرسازی پیاده روها، موزاییک‌های سیمانی و ...) مورد استفاده قرار گیرد.

پیوست الف- از «آوار جنگ» تا «ذخیره راهبردی»

فرصت‌های پنهان و ضرورت گذار به اقتصاد چرخشی در صنعت ساخت‌وساز

الف-۱- مقدمه: میراثی سنگین بر دوش توسعه

در حالی که جهان به سوی توسعه پایدار و مدل‌های تولید و مصرف سبز حرکت می‌کند، صنعت ساخت‌وساز ایران با چالشی دوگانه روبروست: نخست، نیاز مبرم به بازسازی زیرساخت‌ها و تأمین مسکن، و دوم، مدیریت حجم عظیم پسماندهای ساختمانی. اما آنچه این چالش را در ایران از یک مسئله محیط‌زیستی به یک ضرورت اقتصادی و امنیتی تبدیل می‌کند، حجم گسترده آوارهای حاصل از تخریب‌های ناشی از جنگ‌های اخیر و نوسازی‌های بی‌رویه است. این حجم از آوار، اگر به چشم «زباله» نگریسته شود، یک بار مالی سنگین بر دوش دولت و شهرداری‌هاست؛ اما اگر با نگاه «اقتصاد چرخشی» به آن بنگریم، با یک «معدن شهری» و ذخیره راهبردی مواد اولیه مواجه‌ایم.

آواربرداری پس از جنگ را نمی‌توان به یک خدمت شهری تقلیل داد. در مقیاس ملی، آوار جنگی یک مسئله صرفاً لجستیکی نیست، بلکه هم‌زمان به ایمنی عمومی، سلامت و بهداشت محیط، حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، مدیریت بحران، بازسازی سکونتگاه‌های شهری و بهره‌وری منابع مربوط می‌شود. «دستورالعمل مدیریت آوار- ضابطه شماره ۹۳۰» نیز همین تلقی را مبنا قرار داده و مدیریت آوار را بخشی جدایی‌ناپذیر از چرخه بحران و بازسازی دانسته است؛ چرخه‌ای که از برآورد نوع و حجم آوار آغاز می‌شود و تا جمع‌آوری، تفکیک، حمل، ذخیره‌سازی موقت، بازیافت، دفع و استفاده مجدد ادامه می‌یابد. این دستورالعمل با رویکردی میان‌بخشی، به‌صراحت بر ابعاد فنی، محیط‌زیستی، ایمنی، اجتماعی و اقتصادی مدیریت آوار تأکید می‌کند.

آوار ناشی از جنگ تنها از بتن، فولاد و سایر مصالح ساختمانی تشکیل نشده است؛ بلکه می‌تواند هم‌زمان با مهمات عمل‌نکرده، بقایای انسانی، آزبست، فلزات سنگین، سوخت، روغن، پسماندهای الکترونیکی، بقایای پزشکی و دیگر آلاینده‌های خطرناک همراه باشد. از این‌رو، الگوی متعارف «برداشت سریع، حمل و دفن» نه از نظر ایمنی، نه از نظر اقتصادی و نه از نظر محیط‌زیستی، پاسخ مناسبی برای مدیریت آوار جنگی نیست.

الف-۲- اقتصاد چرخشی؛ فراتر از یک مفهوم محیط‌زیستی

در مدل سنتی اقتصاد خطی، مواد از زمین استخراج، مصرف و در نهایت دور ریخته می‌شوند. این مدل در ایران به دلیل نوسانات قیمت مواد اولیه و محدودیت منابع، با خطر فروپاشی اقتصادی مواجه است. در مقابل، اقتصاد چرخشی بر بازگرداندن ارزش مواد به چرخه تولید تأکید دارد. در صنعت ساخت‌وساز، این یعنی تبدیل آوار ساختمان‌های تخریب‌شده به مواد ثانویه. در مدیریت آوار جنگ و تخریب‌های شهری، ما با جریان‌های عظیمی از بتن، فولاد، آجر و سفال، شیشه و فلزات مواجه هستیم. بازیافت این مواد، نه تنها هزینه‌های دفع پسماند را کاهش می‌دهد، بلکه فشار بر معادن سنتی و زیست‌بوم را به شدت تعدیل می‌کند.

در واقع در منطق اقتصاد خطی یا سنتی، آوار یک پسماند پرهزینه تلقی می‌شود که باید از شهر خارج شود. اما در منطق اقتصاد چرخشی، آوار جنگی علاوه بر آنکه یک مسئله ایمنی و بهداشت عمومی است، یک جریان ماده قابل مدیریت نیز محسوب می‌شود که در صورت تفکیک، کنترل و پردازش درست، می‌تواند بخشی از نهاده‌های مورد نیاز برای بازسازی شهر را تأمین کند. این تغییر رویکرد، آوار را از «بار دفنی» به «منبع ثانویه بازسازی» تبدیل می‌کند و هم‌زمان سه هدف را دنبال می‌کند: کاهش هزینه‌های پاکسازی و بازسازی، کاهش فشار بر منابع طبیعی و محل‌های دفن، و ایجاد اشتغال و گردش اقتصادی در مقیاس محلی.

بنابراین در این چارچوب، اقتصاد چرخشی باید به‌عنوان منطق راهنمای مدیریت آوار فهم شود، نه به‌عنوان ضمیمه‌ای محیط‌زیستی برای پایان کار. اگر آوار به‌عنوان پسماند نهایی تلقی شود، نتیجه آن افزایش هزینه حمل، دپو و دفن، فشار بیشتر بر زمین و محیط‌زیست، اتلاف مصالح قابل استفاده، و تحمیل تقاضای جدید برای استخراج و خرید مصالح نو خواهد بود. اما اگر آوار به‌عنوان منبع ثانویه بازسازی دیده شود، می‌توان بخشی از بار بازسازی را از طریق بازیافت و استفاده مجدد از مصالح موجود تأمین کرد. جهت‌گیری ضابطه ۹۳۰ نیز مؤید همین برداشت است؛ زیرا در اهداف سند، هم بر ارتقای بهره‌وری منابع و توسعه بازیافت و استفاده مجدد تأکید شده و هم بر تسریع پاکسازی و تسهیل بازسازی.

بر این اساس، آواربرداری علمی پس از جنگ باید بر یک منطق راهبردی روشن استوار شود: اول ایمنی، بعد جداسازی خطر، سپس بازیابی ارزش. این منطق، هم مبنای تصمیم‌گیری فنی است و هم چارچوب سیاست‌گذاری برای شهرداری‌ها، دولت، نهادهای بازسازی و دستگاه‌های خدماتی.

الف-۳- تحلیل اقتصادی: تبدیل هزینه‌های پنهان به سودآوری عملیاتی

راهبرد پیشنهادی این تحلیل بر دو اصل کلیدی استوار است. نخستین اصل راهبردی آن است که دفن باید آخرین گزینه باشد، نه گزینه پیش‌فرض. ضابطه ۹۳۰ در اصول و مبانی

مدیریت آوار، «کاهش، تفکیک و بازیافت» را در زمره اولویت‌های عملیاتی قرار می‌دهد و تصریح می‌کند که کاهش حجم دفن، جداسازی در مبدأ و استفاده مجدد از مصالح باید مبنای اجرا قرار گیرد. این اصل، مبنای اقتصادی روشنی دارد: هر تُن آواری که بدون تفکیک دفن می‌شود، هم هزینه حمل و دفع ایجاد می‌کند و هم ارزش اقتصادی فولاد، مصالح معدنی و دیگر اجزای قابل بازیافت را از بین می‌برد. در مقابل، تفکیک و پردازش آوار می‌تواند این جریان را به نهاده‌ای برای بازسازی تبدیل کند و نیاز به مصالح اولیه را کاهش دهد. بتن و مصالح معدنی پاک می‌توانند پس از خُردکردن، جدانمودن و کنترل کیفیت، در زیراساس و اساس راه، تسطیح، قطعات غیرسازه‌ای و مصارف کم‌ریسک به کار روند و فولاد نیز می‌تواند وارد زنجیره رسمی بازیافت یا استفاده مجدد شود. بنابراین، تقدم استفاده مجدد و بازیافت باکیفیت بر دفن، نه یک ترجیح فرعی، بلکه یک ضرورت اقتصادی، محیط‌زیستی، صنعتی و اجرایی است.

اصل دوم آن است که آواربرداری باید بخشی از برنامه احیای اقتصاد محلی و بازسازی شهری باشد. در مناطق آسیب‌دیده، آواربرداری فقط پاکسازی سطح شهر نیست؛ بازگشایی مسیرهای دسترسی، بازگرداندن کارکرد زیرساخت‌های حیاتی، امکان‌پذیر کردن بازگشت خدمات و کاهش زمان توقف فعالیت اقتصادی نیز بخشی از مأموریت است. ضابطه ۹۳۰ نیز با تأکید بر فرماندهی واحد، هماهنگی بین‌دستگاهی، حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی و تسریع روند بازسازی، عملاً مدیریت آوار را در پیوند مستقیم با بازیابی عملکرد شهری قرار می‌دهد. از این‌رو، سنجش موفقیت عملیات نباید فقط بر پایه «تُن حمل‌شده» باشد؛ بلکه باید با شاخص‌هایی مانند ایمن‌سازی، تفکیک، کاهش دفن، بازگشایی شریان‌های حیاتی و بازگشت کارکردهای شهری ارزیابی شود.

بنابراین علیرغم اینکه برای مدیران و مالکان، بحث بازیافت معمولاً با چاشنی «هزینه اضافی» همراه است. اما تحلیل دقیق‌تر نشان می‌دهد که ما با سه لایه سودآوری روبرو هستیم:

- کاهش هزینه تأمین مواد اولیه: قیمت مواد اولیه‌ای نظیر سنگ‌ریزه، ماسه و محصولات فرعی بتن در بازار بسیار متغیر است. استفاده از مواد بازیافتی از آوار، زنجیره تأمین را از نوسانات قیمت جهانی و داخلی مصون می‌دارد.

- کاهش هزینه‌های لجستیک و دفع: هزینه‌های حمل‌ونقل آوار به محل‌های دورافتاده و پرداخت عوارض دفع پسماند در شهرداری‌ها، بخش بزرگی از بودجه پروژه‌های تخریب را می‌بلعد. ایجاد سایت‌های بازیافت نزدیک به مناطق تخریب‌شده، این هزینه‌ها را به شدت تقلیل می‌دهد.

- ایجاد ارزش افزوده در زنجیره تأمین: صنعت تولید مواد ساختمانی (مانند تولید بلوک‌های سبک یا سنگ‌ریزه‌های بازیافتی) می‌تواند با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جداسازی، سودآوری بسیار بالایی داشته باشد و فرصت‌های شغلی جدیدی در بخش اقتصاد سبز ایجاد کند.

الف-۴- مراحل اجرا و عملیاتی

فاز اول: پاسخ اضطراری (نجات محور)

بر پایه ضابطه ۹۳۰، فرآیند مدیریت آوار باید در سه مرحله اصلی سازمان یابد. مرحله نخست، پاسخ اضطراری یا نجات‌محور است. در این مرحله، اصل حاکم، تقدم نجات بر عملیات آواربرداری است. بنابراین تا زمانی که احتمال حضور افراد محبوس وجود دارد، هرگونه برداشت، جابه‌جایی، برش یا خردایش آوار باید تابع ملاحظات جست‌وجو و نجات باشد و تحت فرماندهی عملیاتی واحد انجام شود. کارکرد این مرحله، پاکسازی حجمی نیست، بلکه ایجاد دسترسی ایمن برای نجات جان انسان‌ها، حفاظت از نیروهای امدادی و جلوگیری از تشدید خطرات فوری است. این تقدم در ساختار رسمی دستورالعمل نیز تصریح شده و در فصل فرآیند مدیریت آوار، پیش از هر چیز بر «اصل تقدم نجات بر عملیات آواربرداری» تأکید شده است.

فاز دوم: پاسخ تثبیتی (ایمنی محور و تفکیک اولیه)

مرحله دوم، پاسخ تثبیتی یا ایمنی‌محور است. این مرحله زمانی آغاز می‌شود که وضعیت اضطراری اولیه تا حدی مهار شده و امکان برنامه‌ریزی برای سازمان‌دهی جریان آوار فراهم شده باشد. در این مرحله، عملیات باید بر پایه پهنه‌بندی ایمنی، برداشت کنترل‌شده، تفکیک جریان‌های مختلف آوار، ثبت منشأ محموله‌ها، حمل ایمن و استقرار محل‌های دپوی موقت انجام شود. ضابطه ۹۳۰ در این بخش، به شناسایی آوار خطرناک و پایش، به مدیریت پسماندهای خطرناک، الزامات ایمنی برای کارکنان، حمل‌ونقل ایمن، معیارهای مکان‌یابی محل دپوی موقت، طراحی آن، و نحوه ذخیره‌سازی و مدیریت آوار در این محل‌ها پرداخته است. اهمیت این مرحله در آن است که سرنوشت اقتصادی و محیط‌زیستی آوار در همین‌جا تعیین می‌شود: اگر آوار به‌صورت مختلط جمع‌آوری و جابه‌جا شود، بتن، فولاد و مواد خطرناک درهم می‌آمیزند و امکان بازیافت باکیفیت به‌شدت کاهش می‌یابد؛ اما اگر تفکیک از همان ابتدا جدی گرفته شود، بخش مهمی از مصالح می‌تواند در مراحل بعدی به چرخه مصرف بازگردد.

از این‌رو، این مرحله باید بر چهار اقدام متکی باشد: پهنه‌بندی ایمنی، برداشت کنترل‌شده، تفکیک جریان‌ها، و ثبت منشاء محموله‌ها.

بنابراین **نخستین اقدام** در این مرحله، ارزیابی ایمنی و تعیین پهنه‌های مجاز و غیرمجاز برای ورود تجهیزات مکانیکی است. در این مرحله، سایت‌ها باید از نظر خطرات انفجاری، ناپایداری سازه‌ای، احتمال وجود بقایای انسانی و حضور مواد خطرناک طبقه‌بندی شوند. ورود به هر سایت بدون مجوز ایمنی تخصصی باید ممنوع باشد. **دومین اقدام**، جداسازی حداقلی جریان‌های آوار است. حداقل پنج جریان باید از هم تفکیک شود: فولاد و فلزات، بتن و مصالح معدنی، مواد خطرناک مانند آزبست، مخلوط مصالح سبک شامل چوب، شیشه، پلاستیک و اجزای مشابه، و در نهایت بقایای غیرقابل بازیافت یا بسیار آلوده. **سومین اقدام**، ثبت منشاء هر محموله است؛ هر بار آوار باید دارای شناسنامه باشد: محل برداشت، نوع آوار، سطح خطر، و مقصد نهایی. **چهارمین اقدام**، تعیین مسیر حمل به سایت‌های انتقال، تفکیک، بازیافت یا دفع است. از طرفی در همین مرحله، ضابطه به‌صراحت برای محل دپوی موقت، کارکردی فراتر از انباشت موقت قائل است. دپوی موقت باید امکان جداسازی، کاهش حجم، پردازش اولیه و آماده‌سازی برای انتقال به مراکز بازیافت یا محل‌های دفع نهایی را فراهم کند. تمرکز همه آوار در یک محل واحد معمولاً هم هزینه حمل را افزایش می‌دهد و هم کنترل کیفیت را دشوار می‌سازد.

این نکته از منظر اقتصاد چرخشی اهمیت بنیادی دارد، زیرا دپوی موقت در این منطق، پایان مسیر نیست، بلکه یک حلقه میانی در زنجیره ارزش آوار است. هرچه این حلقه فنی‌تر، استانداردتر و نزدیک‌تر به محل تولید آوار طراحی شود، هزینه حمل کاهش می‌یابد، کنترل کیفیت بهتر می‌شود و امکان حفظ ارزش مصالح بیشتر خواهد بود. در واقع، سایت‌های منطقه‌ای امکان تفکیک بهتر، کاهش جابه‌جایی غیرضروری، صرفه‌جویی در سوخت و کاهش انتشار ناشی از حمل‌ونقل را فراهم می‌کنند. در همین مرحله، کدگذاری رنگی و برچسب‌گذاری جریان‌های مواد و مصالح باید در سطح اجرایی نهادینه شود تا ارزش بازیافتی بتن و فولاد از طریق اختلاط از بین نرود.

فاز سوم: مدیریت، بازیافت و بازگشت به چرخه بازسازی

الف) مدیریت و بازیافت آوار

توجه به این نکته ضروری است که آوار نباید فقط از شهر خارج شود؛ بلکه باید به محصول، درآمد و نهاده بازسازی تبدیل شود. در این مرحله، آوار باید از یک بار لجستیکی و تهدید محیط‌زیستی، به یک منبع قابل بهره‌برداری برای بازسازی تبدیل شود. فصل پنجم ضابطه ۹۳۰ به‌طور مشخص بازیافت را به‌عنوان رویکردی پایدار در مدیریت آوار طرح کرده و به انواع آوار قابل بازیافت، مزایا و چالش‌های بازیافت، فناوری‌ها و روش‌های موجود، اصول کلیدی موفقیت عملیات بازیافت، و نیز استانداردها، قوانین و مشوق‌های این حوزه پرداخته است. این

ساختار نشان می‌دهد که در سیاست ملی مدیریت آوار، بازیافت نه فعالیتی حاشیه‌ای، بلکه بخشی رسمی از فرآیند مدیریت آوار است.

این مرحله، نقطه اتصال مدیریت آوار به اقتصاد بازسازی است. از نظر فنی، این مرحله شامل خردکردن، دانه‌بندی، جداسازی فلزات، آزمون کیفیت، درجه‌بندی و تعیین کاربرد نهایی مصالح است. در این فاز، بتن و مصالح معدنی پاک باید پس از خردکردن و دانه‌بندی، در مصارف کم‌ریسک مانند لایه‌های زیراساس و اساس راه، تسطیح، بلوک‌های بتنی غیرسازه‌ای، جدول و سایر اجزای غیرسازه‌ای مصرف شوند. بتن با آلودگی نامشخص باید توسط آزمایشگاه های معتبر تحت آزمون قرار گیرد و فقط در صورت تأیید فنی به مصرف برسد؛ در غیر این صورت، باید به‌صورت مهندسی‌شده دفع شود. فولاد سالم و قابل بازیابی باید پس از برش، تمیزکاری و درجه‌بندی، به بازار ثانویه یا استفاده مجدد هدایت شود؛ و فولاد آسیب‌دیده باید وارد زنجیره رسمی بازیافت فلزی شود. خروج غیررسمی فلزات از سایت‌ها باید ممنوع باشد، زیرا هم ایمنی را مختل می‌کند و هم درآمد عمومی را کاهش می‌دهد. مواد خطرناک، از جمله آزبست و پسماندهای آلوده شیمیایی یا پزشکی، باید از چرخه بازیافت خارج و در یک زنجیره تخصصی، بسته‌بندی، حمل و دفع شوند. اختلاط این مواد با جریان‌های قابل بازیافت، نه‌فقط ارزش اقتصادی آوار را از بین می‌برد، بلکه خطرات بهداشتی جدی ایجاد می‌کند.

با این حال، موفقیت این مرحله صرفاً به فناوری خردایش یا جداسازی وابسته نیست، بلکه به وجود بازار، استاندارد و سازوکار اجرایی پایدار بستگی دارد. اگر برای مصالح بازیافتی، کاربرد مجاز، ضوابط فنی و تقاضای نهادی تعریف نشود، محصول بازیافتی در سایت‌ها انباشته می‌شود و عملیات بازیافت از منظر اقتصادی پایدار نخواهد ماند. به همین دلیل، ضابطه ۹۳۰ از «استانداردها، قوانین و مشوق‌های بازیافت» سخن می‌گوید و بدین‌ترتیب روشن می‌سازد که توسعه بازیافت آوار بدون مداخله سیاستی دولت و شهرداری‌ها در سمت تقاضا امکان‌پذیر نیست. به بیان دیگر، مدیریت آوار تنها به سازماندهی تخلیه و حمل محدود نمی‌شود؛ باید با سیاست‌های خرید عمومی، ضوابط فنی پروژه‌های بازسازی و نظام تشویق و محدودیت برای دفن نیز پیوند بخورد. بنابراین، دولت و شهرداری باید از طریق خرید عمومی، تعیین کاربردهای مجاز و اولویت دادن به مصالح بازیافتی در پروژه‌های کم‌ریسک، سمت تقاضا را فعال کنند. از منظر اقتصادی، هر تُن مصالح بازیافتی باید به‌عنوان معادل کاهش استخراج منابع نو، کاهش هزینه حمل مصالح اولیه و کاهش نیاز به دفن؛ ثبت و ارزش‌گذاری شود.

ب) نهادینه‌سازی اقتصاد چرخشی در بازسازی

در سطح حکمرانی نیز ضابطه ۹۳۰ نکته مهمی را روشن می‌کند: مدیریت آوار در شرایط بحران مستلزم نظامی منسجم برای تقسیم سطوح مدیریتی، تعیین مسئولیت‌ها، روشن کردن

حدود مداخله در اموال و اعمال فرماندهی واحد است. ضابطه، مدیریت آوار را در سه سطح ملی، استانی و شهرستانی/شهری سازمان می‌دهد و تصریح می‌کند که در شرایط بحران، مداخله در جابه‌جایی و تعیین تکلیف آوار باید در چارچوب ضوابط قانونی و تحت فرماندهی واحد عملیاتی انجام شود. این تصریح، برای طراحی هرگونه سیاست مکمل، از جمله بهره‌برداری اقتصادی از مصالح یا سازوکارهای جبران و انتفاع ساکنان، اهمیت تعیین‌کننده دارد. به این ترتیب آواربرداری از یک عملیات اضطراری به یک نظام پایدار مدیریت منابع ساختمانی تبدیل می‌شود.

خروجی نهادی این بخش باید روشن و مشخص باشد: تصویب استاندارد ملی یا شهری برای کاربرد مصالح بازیافتی در پروژه‌های کم‌ریسک؛ الزام مناقصات عمومی به استفاده از سهمی از مصالح بازیافتی؛ استقرار سامانه ثبت و رهگیری آوار، بازیافت، فروش و دفن؛ ایجاد سایت‌های دائمی یا نیمه‌دائمی بازیافت آوار و پسماند ساختمانی؛ و تدوین چارچوب حقوقی شفاف برای آزبست، مهمات عمل‌نکرده، مالکیت آوار و مسئولیت نهادها. همچنین استقرار شبکه آزمایشگاهی برای کنترل کیفیت سنگدانه بازیافتی، شناسایی آلودگی‌های شیمیایی و ارزیابی مواد خطرناک، از ارکان این فاز است.

بنابراین در سطح سیاست‌گذاری، این فرآیند زمانی موفق خواهد بود که مدیریت آوار به سکوی اصلاح دائمی نظام پسماند ساختمانی کشور تبدیل شود. به بیان دیگر، اقتصاد چرخشی نباید فقط پاسخ موقت به شرایط بحران باشد، بلکه باید به مزیت نهادی و صنعتی در بازسازی و توسعه شهری بدل شود.

الف-۵- چالش‌های ساختاری و موانع مسیر

برای آنکه این چارچوب از سطح توصیه فنی فراتر رود و به سیاست عمومی تبدیل شود، سه دسته ابزار باید هم‌زمان به‌کار گرفته شود.

در حوزه تنظیم‌گری، دفن و دپوی بی‌ضابطه آوار در اراضی باز، حریم رودخانه‌ها و فضاهای حساس باید ممنوع شود؛ ورود به سایت‌های تخریب‌شده باید منوط به مجوز ایمنی تخصصی باشد؛ و شناسایی و جداسازی مواد خطرناک پیش از خُردکردن و حمل عمده الزامی شود.

در حوزه اقتصادی، تعرفه بالاتر برای دفن مستقیم آوار قابل بازیافت و تعرفه ترجیحی برای تحویل تفکیک‌شده باید برقرار شود. خرید تضمینی یا اولویت خرید مصالح بازیافتی در پروژه های راه‌سازی، محوطه‌سازی و اجزای غیرسازه‌ای باید در دستور کار قرار گیرد. همچنین قراردادهای پیمانکاری باید از مدل سنتی پرداخت بر مبنای «تن حمل‌شده» به مدل

عملکردمحور تغییر یابد؛ مدلی که در آن «تن ایمن‌سازی‌شده، تن تفکیک‌شده، تن بازیافت شده و سهم اشتغال محلی» نیز مبنای پرداخت قرار گیرد.

در حوزه نهادی، لازم است قالب واحد «طرح محلی مدیریت آوار» برای همه مناطق شهری تدوین شود، آموزش تخصصی برای پیمانکاران، اپراتورها، آزمایشگاه‌ها و ناظران شهرداری طراحی شود، و پیوند میان شهرداری، وزارت راه، مسکن و شهرسازی، سازمان محیط‌زیست، نهادهای ایمنی، دستگاه های اجرایی، دانشگاه‌ها و بخش خصوصی در قالب یک سازوکار واحد عملیاتی برقرار گردد. بنابراین با وجود پتانسیل‌های اقتصادی، گذار از مدل خطی به چرخشی در ایران با موانعی روبروست که نیازمند مداخله سیاست‌گذاران مربوطه در این زمینه است. این موانع شامل این موارد است:

- فقدان استانداردهای فنی: در حال حاضر، نبود دستورالعمل‌های دقیق و تاییدیه فنی برای استفاده از مصالح بازیافتی در پروژه‌های ساخت و ساز، باعث بی‌اعتمادی مهندسان و مالکان نسبت به استفاده از مصالح بازیافتی در ساخت و ساز شده است.

- هزینه‌های بالای جداسازی: فرآیند جداسازی مواد از آوار (به‌ویژه آوارهای حاصل از تخریب‌های جنگی که ممکن است با آلودگی‌های خاص همراه باشند) نیازمند تکنولوژی‌های پیشرفته است که در حال حاضر در سطح مقیاس صنعتی در کشور وجود ندارد یا خیلی کم و با بازده اندک هستند.

- ساختار انگیزشی ضعیف: در حال حاضر، هزینه‌ای برای «تخریب و دور ریختن» و پاداشی برای «بازیافت و بازگشت به چرخه» در قوانین جاری پیش‌بینی نشده است.

الف-۶- سازوکار انتفاع مالکان و ساکنان از ارزش بازیافتی آوار

در همین بستر، می‌توان برای انتفاع ساکنان و مالکان از ارزش خالص بازیافتی آوار نیز یک سازوکار قانونی و اجرایی پیش‌بینی کرد. چون ضابطه تأکید دارد که آوار در حالت عادی بخشی از اموال مالک محسوب می‌شود، اما در شرایط بحران، مدیریت و تعیین تکلیف آن با هدف ایمنی عمومی و تسهیل امدادرسانی در اختیار مدیریت شهری و مراجع مسئول قرار می‌گیرد، می‌توان نتیجه گرفت که راه‌حل درست، نه برداشت آزاد مصالح از محل تخریب، بلکه ایجاد سازوکاری شفاف برای ثبت ارزش بازیافتی و بازگرداندن بخشی از منافع خالص آن به فرایند بازسازی همان ملک یا همان محله است. چنین رویکردی هم با ملاحظات ایمنی و فرماندهی واحد سازگار است و هم می‌تواند مشروعیت اجتماعی اقتصاد چرخشی در مدیریت آوار را تقویت کند.

بنابراین برای پایداری اجتماعی این چرخه، باید ساکنان و مالکان ساختمان‌های تخریب‌شده نیز در ارزش اقتصادی خالص آوار بازیافتی سهم داشته باشند. این سهم‌بری نباید به معنای ورود مستقیم افراد به محل تخریب و برداشت آزاد مصالح باشد، زیرا کنترل فیزیکی آوار باید در اختیار نهادهای ایمنی و اجرایی باقی بماند. راه‌حل درست آن است که برای هر ساختمان، یک حساب ارزش بازیافتی تعریف شود که در آن ارزش فروش مصالح بازیافتی و هزینه‌های کسرشونده مانند ایمن‌سازی، حمل، تفکیک، آزمایش و دفع مواد خطرناک ثبت شود. مبنای انتفاع باید ارزش خالص باشد، نه ارزش اسمی. این منفعت بهتر است عمدتاً در قالب اعتبار بازسازی تخصیص یابد؛ اعتباری که برای خرید مصالح، خدمات مهندسی، عوارض و هزینه های نوسازی همان ملک یا همان بلوک شهری قابل استفاده باشد. این سازوکار، هم عدالت اجتماعی را تقویت می‌کند، هم انگیزه بازار سیاه را کاهش می‌دهد و هم ارزش بازیافت را دوباره به چرخه بازسازی بازمی‌گرداند.

الف-۷- نقشه راه برای تصمیم‌گیران و ذینفعان

به عنوان نقشه راه به این نکته باید توجه شود که اقتصاد چرخشی در آوار ساختمانی، اگر در چهارچوب ضابطه ۹۳۰ فهم و اجرا شود، از سطح یک ایده نظری فراتر می‌رود و به منطق عملیاتی مدیریت آوار تبدیل می‌شود. این منطق بر سه پایه استوار است: تقدم نجات در مرحله اضطراری، تفکیک و کنترل در مرحله تثبیت، و بازیافت و بازگشت مصالح به چرخه بازسازی در مرحله سوم. در چنین چارچوبی، آوار دیگر صرفاً مسئله دفع نیست، بلکه بخشی از ذخیره راهبردی بازسازی کشور است. از همین رو، آینده مدیریت آوار در کشور نه در گسترش دفن، بلکه در استقرار نظامی یکپارچه برای ایمن‌سازی، تفکیک، بازیافت، استانداردگذاری و مصرف مجدد مصالح در بازسازی نهفته است.

در واقع، در آواربرداری پس از جنگ، بیشترین ارزش اقتصادی و محیط‌زیستی زمانی ایجاد می‌شود که عملیات از همان ابتدا با منطق اقتصادچرخشی طراحی شود، نه آنکه پس از پایان پاکسازی به فکر بازیافت افتاد. راهبرد علمی مناسب بر این ترتیب استوار است: اول ایمنی، سپس جداسازی خطر، بعد بازیابی ارزش. در این چارچوب، ابتدا باید ارزش مواد را با تفکیک و کنترل حفظ کرد؛ سپس باید آن ارزش را به محصول و بازار تبدیل نمود؛ و در آخر باید این تجربه را در قالب استاندارد، مقررات، بازار و نهاد پایدار تثبیت کرد.

پیام اصلی برای سیاست‌گذاران و دستگاه‌های اجرایی روشن است: آوار جنگی را نباید فقط جمع‌آوری کرد؛ باید آن را مدیریت، ارزش‌گذاری و به زنجیره بازسازی بازگرداند. در غیر این صورت، آواربرداری فقط هزینه پاکسازی خواهد بود؛ اما با رویکرد اقتصاد چرخشی، می‌تواند به نخستین حلقه بازسازی کم‌هزینه‌تر، کم‌کربن‌تر و اشتغال‌زاتر تبدیل شود.

الف-۸- اقدامات راهبردی

با توجه به نقشه راه ارائه شده، برای تبدیل بحران (آوار) به فرصت (منبع)، اقدامات راهبردی زیر در سه سطح ضروری به نظر می‌رسد:

الف) سطح سیاست‌گذاری و دولت

- تدوین الزامات سبز در قراردادها و مناقصات: دولت و نهادهای زیرمجموعه باید در قراردادها و مناقصات پروژه‌های بازسازی و زیرساختی، استفاده از درصد مشخصی از «مصالح بازیافتی» را به عنوان یک شرط فنی الزام‌آور مطرح کنند.

- ایجاد مشوق‌های مالیاتی: کاهش مالیات و عوارض برای شرکت‌های فعال در حوزه مدیریت پسماند ساختمانی و بازیافت مواد، می‌تواند محرک اصلی سرمایه‌گذاری در این بخش باشد.

- تدوین استانداردهای فنی: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و دیگر نهادهای متولی باید با همکاری علمی و فنی یکدیگر، استانداردهای دقیق برای استفاده از مصالح ثانویه در بخش‌های غیرسازه‌ای و سپس سازه‌ای تدوین کنند.

ب) سطح مدیران و سرمایه‌گذاران

- سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بازیافت: به جای نگاه سنتی به تخریب، باید به سمت خرید تجهیزات جداسازی مکانیکی و خودکار حرکت کرد تا کیفیت مواد بازیافتی به سطح مواد اولیه نزدیک شود.

- مدیریت چرخه عمر پروژه: مدیران پروژه‌های بزرگ باید از مرحله طراحی، «قابلیت تخریب و بازیافت» را در نظر بگیرند تا در آینده، ساختمان، خود به یک معدن مواد اولیه تبدیل شود.

ج) سطح مالکان و پیمانکاران

- تغییر نگرش از «هزینه» به «دارایی»: برخورد با آوار نباید صرفاً به عنوان یک بار مالی ناشی از تخلیه ساختمان باشد؛ بلکه باید به عنوان مدیریت یک دارایی فیزیکی که پتانسیل فروش یا بازگشت به پروژه را دارد، دیده شود.

الف-۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری: از مدیریت بحران تا مدیریت منابع

آوارهای حاصل از جنگ و تخریب‌های شهری، فراتر از یک چالش محیط‌زیستی، آزمونی برای بلوغ اقتصادی و مدیریت منابع در کشور ماست. ما با یک انتخاب استراتژیک روبرو هستیم: یا اجازه دهیم این حجم عظیم از مواد، با هزینه‌های گزاف محیط‌زیستی و اقتصادی، به لایه‌های زیرین زمین بروند و منابع ما را برای نسل‌های آینده هدر دهند، یا با اتخاذ رویکرد «اقتصاد چرخشی»، این آوار را به ستون‌های توسعه و بازسازی کشور تبدیل کنیم. بنابراین به نظر

می‌رسد زمان آن رسیده است که «اقتصاد ساخت‌وساز» از مدل استخراج‌محور به مدل بازیافت‌محور کوچ کند؛ چرا که در آینده، ثروت کشور نه در معدن‌های طبیعی موجود، بلکه در مدیریت هوشمندانه مواد موجود در چرخه تولید، نهفته خواهد بود.

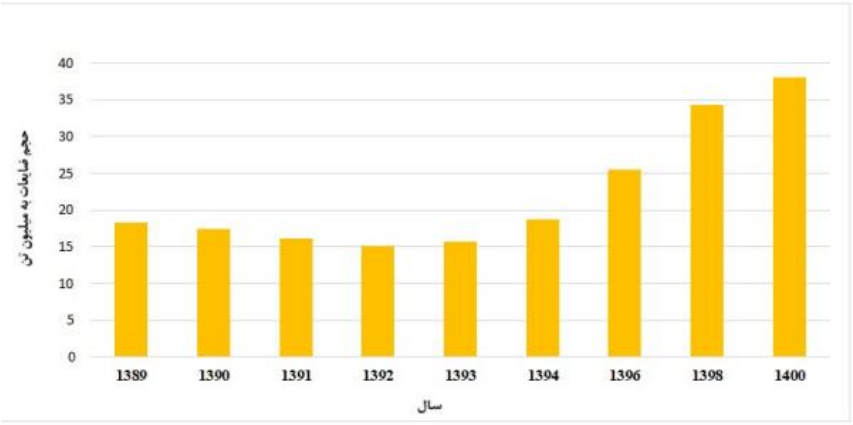
پیوست ب- اقدامات انجام شده درخصوص بازیافت پسماندهای حاصل از تخریب ساختمان ها در دنیا

ب-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد جمعیت در کلان‌شهرها، توسعه سریع ساخت‌وساز، تخریب و مرمت بناهای عمرانی، نوسازی بافت‌های فرسوده شهری و تغییر الگوهای مصرف در مقیاس جهانی موجب افزایش قابل توجه تولید ضایعات ساختمانی شده است؛ به‌گونه‌ای که سالیانه میلیون‌ها تن پسماند ناشی از فعالیت‌های ساختمانی تولید می‌شود که بخش قابل توجهی از آن بدون استفاده مفید از چرخه عمر ساختمان خارج می‌شود. در نتیجه، ضایعات حاصل از ساخت و تخریب ساختمان‌ها به یکی از اصلی‌ترین و پرحجم‌ترین انواع پسماند در جهان تبدیل شده‌اند و مدیریت آن‌ها به یکی از موضوعات مهم در حوزه برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع و حفاظت از محیط‌زیست تبدیل شده است. گزارش‌های منتشر شده در سطح بین‌المللی بیانگر ابعاد گسترده این پدیده است. در اتحادیه اروپا سالانه حدود ۸۵۰ میلیون تن ضایعات ناشی از فعالیت‌های تخریب تولید می‌شود که معادل حدود ۳۱ درصد از کل پسماند تولیدی این منطقه است. مقایسه سرانه تولید پسماند جامد در کشورهای مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجه است. در سال ۲۰۱۱، میزان تولید پسماند جامد در ایالات متحده آمریکا حدود ۲ کیلوگرم در روز به ازای هر نفر، در انگلستان حدود ۱/۱۸کیلوگرم در روز و در سطح اتحادیه اروپا به طور متوسط حدود ۱,۴ کیلوگرم در روز برآورد شده است. در کشور تایلند نیز در همین سال، میزان تولید پسماند جامد شهری حدود ۱۵/۹۸ میلیون تن گزارش شده که سرانه تولید آن حدود ۰/۶۵ کیلوگرم در روز برای هر نفر بوده و تنها حدود ۴۰ درصد از این پسماندها به شیوه‌های مناسب بازیافت یا دفن شده‌اند.

در ایران نیز حجم تولید ضایعات ساختمانی بسیار قابل توجه است (شکل ب-۱). بر اساس برآوردهای موجود، با جمعیتی در حدود ۸۰ میلیون نفر، روزانه بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ هزار تن ضایعات ساختمانی در کشور تولید می‌شود که معادل حدود ۲/۵ کیلوگرم در روز به ازای هر نفر است. این رقم نشان‌دهنده بالاترین سرانه تولید ضایعات ساختمانی در میان کشورهای مورد مقایسه است. این حجم گسترده همانطور که پیش تر ذکر گردید علاوه بر ایجاد فشار بر سامانه‌های مدیریت پسماند شهری، ضرورت برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مؤثر در زمینه توسعه زیرساخت‌های بازیافت و تدوین استانداردهای فنی را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

همانطور که پیش تر ذکر گردید این ضایعات ترکیبی متنوع از مواد مختلف نظیر بتن، مصالح بنایی، فلزات، چوب، شیشه، آسفالت و خاک را دربر می‌گیرند و بخش قابل توجهی از جریان پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند. از میان این مواد، مصالح معدنی مانند بتن، آجر و سنگ بیشترین سهم وزنی ضایعات ساختمانی را تشکیل می‌دهند و به دلیل ماهیت فیزیکی خود از قابلیت بالایی برای بازیافت و استفاده مجدد در پروژه‌های عمرانی برخوردار هستند. از سوی دیگر، در روزهای اخیر وقوع درگیری‌ها و تخریب‌های گسترده ناشی از جنگ در کشور، حجم بی‌سابقه‌ای از ضایعات ساختمانی ایجاد کرده است. تخریب ساختمان‌های مسکونی، تأسیسات عمرانی، پل‌ها، جاده‌ها و سایر زیرساخت‌های شهری، نه‌تنها موجب افزایش ناگهانی حجم نخاله‌های ساختمانی شده، بلکه فشار قابل توجهی بر نظام مدیریت پسماند شهری وارد آورده است. در چنین شرایطی که کشور با چالش‌های عمرانی، زیرساختی، اقتصادی و لجستیکی ناشی از جنگ مواجه است، مدیریت اصولی این حجم از ضایعات ساختمانی اهمیتی دوچندان می‌یابد. در کنار این چالش‌ها، حجم گسترده تخریب‌ها، چالشی جدی در زمینه تأمین مصالح مورد نیاز برای بازسازی نیز ایجاد کرده است. در این شرایط، استفاده بهینه از مصالح حاصل از تخریب ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های بازسازی، تسریع روند احیای زیرساخت‌های حیاتی و کاهش وابستگی به منابع طبیعی ایفا کند. بر این اساس، رویکرد بازیافت و بهره‌برداری مهندسی از ضایعات حاصل از ساخت‌وساز و تخریب، نه تنها یک گزینه زیست‌محیطی، بلکه ضرورتی اقتصادی، فنی و راهبردی محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از دفن ضایعات ساختمانی، بازیافت و استفاده مجدد از این مواد است. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که ضایعات ساختمانی می‌توانند در پروژه‌های عمرانی به عنوان مصالح جایگزین مورد استفاده قرار گیرند؛ از جمله در زیرسازی راه‌ها، لایه‌های خاکریزی، پرکننده ترانشه‌ها، تولید قطعات بتنی، سنگفرش‌ها و مسیرهای پیاده‌روی. با این حال، نرخ بازیافت در کشورهایی مانند اسپانیا، یونان، فرانسه، پرتغال و ایران به ترتیب ۱۷، ۵، ۱۴، ۵ و ۳ درصد گزارش شده است که این مقادیر به‌طور قابل توجهی کمتر از میانگین ۴۶ درصدی اتحادیه اروپا است. پایین بودن نرخ بازیافت نشان‌دهنده وجود چالش‌های متعدد در این حوزه است. از جمله این چالش‌ها همانطور که در فصب پیش ذکر گردید می‌توان به مشکلات فنی در فرآیند بازیافت، محدودیت‌های اقتصادی، نبود زیرساخت‌های مناسب برای تفکیک و جمع‌آوری ضایعات، نبود استانداردهای مشخص برای استفاده از مصالح بازیافتی، و همچنین پیچیدگی فرآیند جداسازی مصالح اشاره کرد.



شکل ب-۱- تولید ضایعات ساختمانی سالانه شهر تهران از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۴۰۰

ب-۲- ضایعات حاصل از ساخت و تخریب و قابل بازیافت

ضایعات حاصل از انواع ساخت و ساز که در ادبیات فنی با عنوان ضایعات ساخت‌وساز و تخریب[1] شناخته می‌شوند، شامل مواد باقی‌مانده از ساخت، بازسازی و تخریب انواع ساختمان‌ها، ابنیه صنعتی، سازه‌های آبی نظیر مخازن و سدها، کارخانجات، نیروگاه‌ها، تأسیسات زیربنایی، اسکله‌ها، روسازی راه‌ها، جداول و قطعات پیش‌ساخته، پل‌ها و همچنین آوار حاصل از بلایای طبیعی و انسانی هستند. این مواد عموماً در طبقه پسماندهای عادی قرار می‌گیرند و بخش قابل توجهی از جریان پسماند شهری را تشکیل می‌دهند. میزان تولید این نوع پسماند به عوامل مختلفی از جمله رشد جمعیت، افزایش تقاضا برای مسکن و زیرساخت‌ها، مهاجرت جمعیت از مناطق روستایی به شهرها، قدمت و فرسودگی ساختمان‌های موجود، میزان مقاومت سازه‌ها در برابر بلایای طبیعی به‌ویژه زلزله، و همچنین تغییر نیازها و الگوهای معماری و بهره‌برداری از ساختمان‌ها وابسته است.

مدیریت کارآمد ضایعات ساختمانی در سطح جهان بر دو اصل اساسی استوار است: کاهش تولید پسماند، بازیافت و استفاده مجدد از مصالح.

در ادبیات فنی، دو نوع اصلی از مصالح حاصل از بازیافت ضایعات ساختمانی تعریف شده است: نخست بتن حاوی حداقل ۹۵ درصد بتن خردشده که با عنوان بتن با سنگدانه بازیافتی[2]

[1] Construction and demolition waste
[2] Recycled Aggregate Concrete – RCA

شناخته می‌شود، و دوم مصالح حاصل از خردایش کامل مصالح بنایی که به‌عنوان سنگدانه بازیافتی[1]تعریف می‌گردد. در دهه‌های اخیر، توجه ویژه‌ای به امکان استفاده مجدد از مواد حاصل از ضایعات عمرانی، به‌ویژه در قالب سنگدانه‌های بازیافتی برای تولید بتن، معطوف شده است. نتایج مطالعات متعدد نشان می‌دهد که استفاده از بتن‌های خرد شده و بازیافتی علاوه بر کاهش حجم پسماندهای دفنی، می‌تواند میزان برداشت سنگدانه‌های طبیعی از معادن را نیز کاهش داده و از این طریق به حفظ منابع معدنی و کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از استخراج مصالح کمک کند. مصالح بازیافتی حاصل از المان های بتنی تخریب شده می‌توانند به‌عنوان جایگزین سنگدانه‌های طبیعی در تولید محصولات بتنی جدید مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به اینکه بیش از ۷۵ درصد حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل می‌دهد، شناخت دقیق ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام سنگدانه‌های بازیافتی برای تضمین عملکرد مناسب بتن تولیدی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با وجود مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی قابل توجه استفاده از مصالح بازیافتی در صنعت ساخت‌وساز، توسعه کاربرد آن‌ها با چالش‌هایی مواجه است. سنگدانه‌های بازیافتی در مقایسه با سنگدانه‌های طبیعی عموماً دارای کیفیت پایین‌تری هستند که این موضوع می‌تواند کاربرد آن‌ها را در برخی مصارف سازه‌ای محدود کند. از جمله چالش‌های مطرح در این زمینه می‌توان به افزایش جذب آب، تخلخل بیشتر، چگالی کمتر و کاهش نسبی مقاومت مکانیکی در مقایسه با سنگدانه‌های طبیعی اشاره کرد. این ویژگی‌ها می‌توانند بر کارایی و عملکرد مکانیکی بتن تولیدی تأثیرگذار باشند و در برخی کاربردهای سازه‌ای محدودیت‌هایی ایجاد کنند. علاوه بر این، هزینه‌های مرتبط با جمع‌آوری، جداسازی، فرآوری، حمل‌ونقل و خردایش این مصالح نیز در ارزیابی اقتصادی استفاده گسترده از آن‌ها در صنعت ساخت‌وساز باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین نبود زیرساخت‌های مناسب بازیافت در برخی مناطق از جمله چالش‌های مهم در مسیر توسعه این فناوری محسوب می‌شود. در کنار این ملاحظات فنی و اقتصادی، عوامل مدیریتی نیز در پذیرش مصالح بازیافتی نقش دارند. در بسیاری از موارد، نبود اعتماد کافی نسبت به کیفیت و دوام محصول نهایی و نیز نبود استانداردها و دستورالعمل‌های فنی جامع، مانع استفاده گسترده از این مصالح در پروژه‌های ساختمانی می‌شود.

[1] Recycled Aggregate – RA

ب-۳- موانع بازیافت و استفاده از بتن بازیافتی در ساخت و ساز

جمع‌آوری و بازیافت ضایعات ساختمانی در بسیاری از موارد به‌عنوان فعالیتی با ارزش اقتصادی پایین تلقی می‌شود. این امر عمدتاً به کیفیت پایین‌تر مصالح بازیافتی در مقایسه با مصالح طبیعی بازمی‌گردد؛ به‌گونه‌ای که این مصالح معمولاً دارای جذب آب بالاتر، مقاومت و گرانروی کمتر، چگالی پایین‌تر و تخلخل بیشتر هستند. افزون بر این، هزینه‌های مربوط به خردایش و فرآوری این ضایعات نیز نسبتاً بالا بوده و این عوامل در مجموع سبب می‌شود که عملکرد و خواص مکانیکی بتن تولیدشده با استفاده از مصالح طبیعی، نسبت به بتن ساخته‌شده از مصالح بازیافتی برتری داشته باشد.

با وجود این، همان‌گونه که در نمودار شکل ب-۲ نشان داده شده است، موانع متعددی مانع از گسترش استفاده بتن حاوی مصالح بازیافتی در صنعت ساخت‌وساز شده‌اند. در برخی کشورها، محدودیت‌هایی نظیر هزینه بالای عملیات بازیافت و نبود اعتماد کافی نسبت به کیفیت و عملکرد محصول نهایی، از جمله مهم‌ترین عوامل بازدارنده در مسیر توسعه بازیافت ضایعات ساختمانی به شمار می‌روند. در مقابل، عواملی مانند افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل و دفع ضایعات می‌توانند به‌عنوان مشوق‌هایی مؤثر برای هدایت پسماندهای ساختمانی به سمت بازیافت و استفاده مجدد از آن‌ها عمل کنند.

شکل ب-۲- نمودار موانع اصلی استفاده از ضایعات ساختمانی

ب-۴- کاربرد پسماندهای ناشی از ساخت‌وساز و تخریب

بسیاری از کشورهای مختلف در سرتاسر جهان به بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات ناشی از ساخت و تخریب پرداخته‌اند. در اینجا به معرفی تعدادی از کشورهای پیشرو و در حال توسعه و همسایه ایران می‌پردازیم تا نمونه‌هایی از اقداماتی که در این زمینه انجام شده است، ارائه دهیم. این اقدامات می‌تواند الگویی برای ایران باشد تا به بهبود فرآیندهای بازیافت و استفاده از ضایعات بپردازد.

ب-۴-۱- پیشینه کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در ایالات متحده

با افزایش حجم فعالیت‌های عمرانی و گسترش فرآیند نوسازی و تخریب سازه‌ها، مدیریت نخاله‌های ساختمانی و بهره‌گیری مجدد از این منابع به یکی از موضوعات مهم در سیاست‌گذاری‌های زیرساختی در بسیاری از کشورها تبدیل شده است. در ایالات متحده آمریکا طی چند دهه گذشته توجه ویژه‌ای به بازیافت مصالح حاصل از تخریب ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی و استفاده مجدد از آن‌ها در پروژه‌های عمرانی شده است. برآوردها نشان می‌دهد در سال ۲۰۱۲ حدود ۴۸۰ میلیون تن نخاله ناشی از فعالیت‌های ساخت‌وساز و تخریب در این کشور تولید شده است که بخش قابل توجهی از آن را نخاله‌های مخلوط ساختمانی، بتن و آسفالت تشکیل می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد حدود ۷۰ درصد از این پسماندها مورد بازیافت قرار گرفته‌اند. توسعه صنعت بازیافت نخاله‌های ساختمانی در آمریکا علاوه بر کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از دفن پسماندها، از نظر اقتصادی نیز نتایج قابل توجهی به همراه داشته و منجر به ایجاد بیش از ۱/۱ میلیون فرصت شغلی و حدود ۱۳ میلیارد دلار درآمد مستقیم و غیرمستقیم در این بخش شده است.

سابقه استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در پروژه‌های عمرانی در ایالات متحده به دهه ۱۹۵۰ میلادی بازمی‌گردد. در این دوره برای نخستین بار در پروژه احداث دو خط از بزرگراه شماره ۶۶ در ایالت کانزاس از سنگدانه‌های حاصل از خردایش روسازی‌های بتنی تخریب‌شده استفاده شد. موفقیت این تجربه اولیه سبب شد استفاده از این مصالح در سایر پروژه‌های راهسازی نیز مورد توجه قرار گیرد. در اروپا نیز پس از پایان جنگ جهانی دوم، به دلیل حجم گسترده آوارهای ساختمانی، از مصالح بازیافتی برای تولید روسازی‌های بتنی استفاده شد. با این حال تا اواسط دهه ۱۹۷۰ فعالیت‌های گسترده‌ای در این حوزه مشاهده نمی‌شود. از این دوره به بعد و همزمان با افزایش نرخ تخریب سازه‌ها، رشد شهرنشینی و شکل‌گیری رویکردهای نوین مدیریت پسماندهای جامد، استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در پروژه‌های عمرانی به‌طور چشمگیری گسترش یافت؛ به‌گونه‌ای که تا اواسط دهه ۱۹۹۰ بیش از یکصد پروژه بزرگراهی در آمریکا با استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی بتن اجرا شده است.

یکی از نمونه‌های موفق کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در پروژه‌های زیرساختی، پروژه بازسازی بخشی از بزرگراه US 75 در ایالت آیووا در سال ۱۹۷۶ است. در این پروژه لایه زیرین روسازی با ضخامت حدود ۸ اینچ طراحی شد و در ساخت آن از ترکیبی شامل حدود ۶۰ درصد سنگدانه بازیافتی حاصل از روسازی آسفالتی تخریب‌شده استفاده گردید. لایه رویی روسازی نیز با ضخامت ۳ اینچ و با استفاده از سنگدانه‌های طبیعی اجرا شد. همچنین بخشی از لایه زیرین روسازی اولیه نیز با استفاده از حدود ۲۰ درصد سنگدانه بازیافتی بتنی و آسفالتی ساخته شده بود. عملکرد مناسب این روسازی سبب شده است که پس از گذشت نزدیک به پنج دهه همچنان مورد بهره‌برداری قرار گیرد و به عنوان یکی از نمونه‌های موفق استفاده از مصالح بازیافتی در پروژه‌های راهسازی شناخته شود.

نمونه دیگری از کاربرد این مصالح در پروژه بزرگراهی I-۱۰ در نزدیکی شهر هیوستون در ایالت تگزاس در سال ۱۹۹۵ اجرا شد. در این پروژه، قطعات بتن حاصل از تخریب روسازی قدیمی که بیش از ۳۰ سال عمر داشتند جمع‌آوری و خرد شده و به طور کامل به عنوان سنگدانه بازیافتی در ساخت روسازی جدید مورد استفاده قرار گرفتند. در این طرح، سنگدانه‌های بازیافتی به طور کامل جایگزین مصالح طبیعی شامل شن و ماسه شدند. اگرچه در مراحل ابتدایی اجرا نگرانی‌هایی در خصوص کیفیت و دوام بتن حاوی مصالح بازیافتی وجود داشت و برخی مشکلات اجرایی نیز گزارش شد، اما در مجموع نتایج پروژه رضایت‌بخش ارزیابی گردید. با این حال پس از اجرای این پروژه، ایالت تگزاس برای افزایش اطمینان از عملکرد بتن، استفاده از ماسه بازیافتی در بتن را حداکثر تا ۲۰ درصد محدود کرد.

بر اساس آمار منتشر شده توسط اداره بزرگراه‌های فدرال آمریکا[1] در سال ۲۰۰۴، در ۴۱ ایالت این کشور کارخانه‌های فعال بازیافت نخاله‌های ساختمانی و عمرانی وجود دارد. همچنین در ۳۹ ایالت از سنگدانه‌های بازیافتی در ساخت لایه‌های اساس راهسازی استفاده می‌شود و در ۱۱ ایالت نیز این مصالح در روسازی‌های بتنی به کار گرفته شده‌اند. این آمار نشان‌دهنده گسترش قابل توجه صنعت بازیافت مصالح ساختمانی در ایالات متحده و پذیرش گسترده آن در پروژه‌های زیرساختی و عمرانی است.

در برخی ایالت‌ها توسعه استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی با سرعت بیشتری انجام شده است. برای مثال در ایالت میشیگان استفاده از این مصالح از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی در پروژه‌های راهسازی رواج پیدا کرد. در فاصله سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۴ در مجموع ۲۶ پروژه بزرگراهی به طول تقریبی ۶۵۰ مایل با استفاده از روسازی بتنی حاوی سنگدانه‌های بازیافتی اجرا شده است. علاوه بر این، در پروژه‌های مرتبط با توسعه متروی دیترویت نیز از سنگدانه‌های بازیافتی

[1] Federal Highway Administration- FHWA

استفاده شده که گزارش‌ها از صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجه در هزینه‌های پروژه حکایت دارد. در ایالت میسوری نیز از اواخر دهه ۱۹۷۰ تا سال ۱۹۹۰ بیش از ۲۰ پروژه عمرانی با استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی بتن اجرا شده است.

در ایالت کالیفرنیا نیز استفاده مجدد از مصالح حاصل از تخریب روسازی‌های بتنی به عنوان یک رویکرد مدیریتی مورد توجه قرار گرفته است. در این ایالت، قطعات بتن حاصل از تخریب روسازی‌های قدیمی پس از خردایش مجدداً به عنوان سنگدانه بازیافتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بخش عمده مصرف این مصالح در ساخت لایه‌های اساس و زیرسازی راه‌ها است. علاوه بر این، برخی از کارخانه‌های تولید بتن آماده در این ایالت، به‌ویژه در مناطق صنعتی، از سنگدانه‌های بازیافتی بتنی در تولید بتن استفاده می‌کنند که بیانگر گسترش تدریجی این رویکرد در صنعت ساخت‌وساز و حرکت به سمت استفاده بهینه از منابع و کاهش مصرف مصالح طبیعی است.

ب-۴-۲- پیشینه کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در استرالیا

در استرالیا، همانند بسیاری از کشورهای صنعتی، طی چند دهه گذشته مدیریت اصولی نخاله‌های ساخت‌وساز و تخریب و استفاده از آن‌ها در تولید سنگدانه‌های بازیافتی به یکی از محورهای مهم سیاست‌گذاری در حوزه ساخت‌وساز و محیط‌زیست تبدیل شده است. بر اساس آمار سال ۲۰۰۴، حدود ۱۴ میلیون تن نخاله ساختمانی و عمرانی در این کشور تولید شده که از این میزان حدود ۸ میلیون تن بازیافت و به سنگدانه‌های بازیافتی تبدیل شده است. این حجم قابل توجه نشان‌دهنده شکل‌گیری یک صنعت پایدار و اقتصادی در زمینه بازیافت مصالح ساختمانی در استرالیا است.

در استانداردهای رسمی استرالیا، سنگدانه‌های بازیافتی بتنی به‌عنوان مصالحی تعریف می‌شوند که حداقل ۹۵ درصد ترکیب آن‌ها از نخاله‌های بتنی تشکیل شده و حداکثر ۱ درصد وزنی مواد مضر در آن‌ها مجاز است. بسته به سطح کیفیت، این سنگدانه‌ها قابلیت استفاده در بتن‌های سازه‌ای، بتن‌های فرسایشی، و طیف گسترده‌ای از کاربردهای غیرسازه‌ای را دارند. برآوردها نشان می‌دهد سالانه حدود یک میلیون تن از این نوع سنگدانه تولید می‌شود که نزدیک به ۵۰۰ هزار تن آن فقط در شهرهای سیدنی و ملبورن مصرف می‌گردد؛ موضوعی که نشان‌دهنده پذیرش بالای این مصالح در صنعت ساخت‌وساز است.

استانداردهای استرالیا نوع دیگری از سنگدانه‌های بازیافتی را نیز تعریف می‌کنند که در آن‌ها تا ۳۰ درصد نخاله بنایی (مانند آجر) مجاز است. این مصالح به دلیل ویژگی‌های فنی، صرفاً برای استفاده در لایه‌های زیراساس و اساس راه‌ها مناسب شناخته شده‌اند. همچنین در این استانداردها تصریح شده است که حداکثر ۲۰ درصد از نخاله‌های بتنی حاصل از تخریب

روسازی‌های بتنی می‌تواند در فرآیند تولید سنگدانه‌های بازیافتی مورد استفاده قرار گیرد. این ضوابط نشان‌دهنده وجود یک ساختار کنترلی دقیق و مدیریت‌شده برای تضمین کیفیت سنگدانه‌های تولیدی است.

استرالیا در حوزه استفاده سازه‌ای از سنگدانه‌های بازیافتی نیز تجربه‌های ارزشمندی دارد. بخشی از این تجربیات در پروژه‌های ساختمان‌های سبز نمود پیدا کرده است؛ حوزه‌ای که استرالیا از پیشگامان آن به شمار می‌رود. یکی از نمونه‌های برجسته در این زمینه، ساختمان شماره ۲ شورای مرکزی ملبورن است که در ساخت آن از سنگدانه‌های بازیافتی بتنی بهره گرفته شده است. این ساختمان که تصویر آن در سال ۲۰۰۴ ثبت شده، به‌عنوان یکی از پروژه‌های شاخص و موفق در به‌کارگیری این نوع سنگدانه‌ها در سازه‌های پایدار، مورد استناد قرار می‌گیرد.

ب-۴-۳-پیشینه کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در بلژیک

از اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی، در بلژیک مطالعات نظام‌مند و گسترده‌ای با هدف بررسی امکان استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در صنعت ساخت‌وساز آغاز شد. این مطالعات به‌تدریج زمینه ورود این مصالح به کاربردهای عملی را فراهم کرد و نخستین استفاده اجرایی از سنگدانه‌های بازیافتی در سال ۱۹۸۲ در پروژه‌ای در بندر آنتورپ با موفقیت به اجرا درآمد. در ادامه این روند و با افزایش توجه به مدیریت نخاله‌های ساختمانی، نخستین مرکز رسمی بازیافت نخاله‌های ساخت و تخریب در سال ۱۹۸۶ تأسیس شد و بدین ترتیب زیرساخت لازم برای توسعه صنعتی بازیافت مصالح ساختمانی در این کشور شکل گرفت.

در همین دوره، پروژه شاخصی تحت عنوان «خانه‌های بازیافتی» با حمایت مالی اتحادیه اروپا اجرا شد که نقش مهمی در توسعه این حوزه داشت. در قالب این طرح، سنگدانه‌های بازیافتی در بیش از ۲۰۰ نوع کاربرد مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. اجرای این پروژه علاوه بر اثبات قابلیت‌های فنی این مصالح، موجب افزایش اعتماد مهندسی، توسعه فناوری‌های مرتبط و جلب سرمایه‌گذاری‌های گسترده در صنعت بازیافت نخاله‌های ساختمانی در بلژیک شد.

بر اساس آمارهای منتشرشده در سال ۲۰۰۷، کارخانه‌های بازیافت نخاله‌های ساختمانی در منطقه فلاندرز سالانه حدود ۱۱ میلیون تن سنگدانه بازیافتی تولید می‌کردند و نرخ بازیافت در این منطقه به حدود ۹۰ درصد رسیده بود. در منطقه والون نیز سالانه حدود ۴ تا ۵ میلیون تن سنگدانه بازیافتی تولید می‌شد که این مقدار شامل تولید شهر بروکسل نیز بوده و در برخی سال‌ها بین ۳۰۰ هزار تا یک میلیون تن گزارش شده است. با وجود این ظرفیت قابل توجه تولید، بررسی‌ها نشان می‌دهد تنها حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ هزار تن از این مصالح در کاربردهای سازه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است؛ رقمی که کمتر از یک درصد کل تولید را

تشکیل می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد که بخش عمده مصرف سنگدانه‌های بازیافتی در بلژیک همچنان در کاربردهای غیرسازه‌ای، به‌ویژه در لایه‌های مختلف روسازی و زیرسازی راه‌ها متمرکز بوده است.

یکی از نمونه‌های شاخص و موفق استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در مقیاس سازه‌ای در بلژیک، پروژه احداث سایت جدید مرکز فرماندهی سازمان پیمان آتلانتیک شمالی (ناتو) است. در جریان اجرای این پروژه، حدود ۶۰ ساختمان موجود تخریب شد که در نتیجه آن نزدیک به ۲۰۰ هزار تن نخاله ساختمانی تولید گردید. با توجه به الزامات زیست‌محیطی پروژه، تمامی این نخاله‌ها در محل پروژه فرآوری و به سنگدانه‌های بازیافتی تبدیل شدند و سپس در بخش‌های مختلف عملیات ساخت مورد استفاده قرار گرفتند. این پروژه به‌عنوان نمونه‌ای موفق از مدیریت درجا و استفاده گسترده از مصالح بازیافتی در یک پروژه بزرگ عمرانی شناخته می‌شود و نشان‌دهنده ظرفیت بالای این رویکرد در کاهش پسماند ساختمانی و استفاده مجدد از منابع است.

ب-۴-۴- پیشینه کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در ژاپن

ژاپن به‌عنوان یکی از کشورهای پیشرو در توسعه فناوری‌های مدیریت و بازیافت نخاله‌های ساخت و تخریب شناخته می‌شود. این کشور طی چند دهه گذشته با تدوین سیاست‌های جامع و ایجاد زیرساخت‌های مناسب، توانسته است نرخ بازیافت این نوع پسماندها را به سطح بسیار بالایی برساند. بر اساس آمار منتشرشده در سال ۲۰۰۶، نرخ بازیافت نخاله‌های ساختمانی در ژاپن به بیش از ۸۰ درصد رسیده است. همچنین طبق داده‌های سال ۲۰۱۱، از مجموع حدود ۳۸۰ میلیون تن پسماند تولیدی در این کشور، نزدیک به ۷۵ میلیون تن (معادل حدود ۲۰ درصد) مربوط به نخاله‌های ساخت و تخریب بوده است که تقریباً تمامی این مقدار مورد بازیافت و استفاده مجدد قرار گرفته است. در ژاپن بخش قابل توجهی از نخاله‌های بتنی و آسفالتی پس از جمع‌آوری و فرآوری، مجدداً در چرخه ساخت‌وساز مورد استفاده قرار می‌گیرد. محصولات حاصل از بازیافت این مصالح، متناسب با سطح کیفیت، در پروژه‌های مختلف عمرانی از جمله راهسازی و ساختمان‌سازی به‌کار گرفته می‌شوند. رویکرد مدیریت پسماند در این کشور مبتنی بر استفاده حداکثری از تمامی محصولات حاصل از فرآیند بازیافت است؛ به‌گونه‌ای که علاوه بر شن و ماسه بازیافتی، پودر حاصل از خردایش نیز در چرخه تولید مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در فرآیند مدیریت نخاله‌ها، پس از تخریب سازه‌های قدیمی، مصالح با کیفیت پایین‌تر معمولاً برای تأمین مصالح سنگدانه‌ای در لایه‌های زیرسازی راه‌ها از جمله لایه‌های اساس و زیراساس مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مقابل، نخاله‌های باکیفیت‌تر به کارخانه‌های فرآوری هدایت

شده و پس از خردایش و دانه‌بندی، به سنگدانه‌های بازیافتی مناسب برای تولید بتن تبدیل می‌شوند.

محصولات نهایی حاصل از این فرآیند بسته به نوع و کیفیت، کاربردهای متفاوتی دارند. به‌عنوان نمونه، پودر بازیافتی می‌تواند به‌عنوان ماده جایگزین بخشی از مواد اولیه در صنعت سیمان مورد استفاده قرار گیرد یا به‌عنوان افزودنی معدنی در عملیات تثبیت خاک در پروژه‌های راهسازی به کار رود. همچنین سنگدانه‌های بازیافتی تولیدی به کارخانه‌های تولید بتن آماده منتقل شده و در ساخت بتن بازیافتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که این بتن در پروژه‌های عمرانی جدید به کار گرفته می‌شود.

از جمله نمونه‌های اجرایی استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در ژاپن می‌توان به پروژه ساختمان سوگا و پروژه نیروگاه برق یوکوهاما اشاره کرد. در پروژه ساختمان سوگا که در محدوده نیروگاه برق چیبا واقع شده است، شن بازیافتی بتنی با نسبت جایگزینی ۳۰ درصد در تولید حدود ۲۰۰ مترمکعب بتن با مقاومت فشاری ۲۴ مگاپاسکال مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین در پروژه نیروگاه برق یوکوهاما، شن بازیافتی بتنی با نسبت جایگزینی تا ۵۰ درصد در تولید حدود ۱۰۰۰ مترمکعب بتن با مقاومت‌های فشاری بین ۲۱ تا ۳۳ مگاپاسکال به کار رفته است. فرآیند کنترل کیفیت این پروژه‌ها نیز تحت نظارت و تأیید وزارت زمین، زیرساخت و حمل‌ونقل ژاپن انجام شده است. بتن‌های تولیدشده در این پروژه‌ها علاوه بر استفاده در رویه‌های بتنی، در بخش‌هایی از سازه‌های اصلی نیز مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند

ب-۴-۵-پیشینه کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در پاکستان

در پی وقوع زمین‌لرزه شدید سال ۲۰۰۵ در پاکستان که خسارات گسترده‌ای در مناطق شمالی این کشور، به‌ویژه در ناحیه کشمیر و شهر مظفرآباد بر جای گذاشت، حجم بسیار زیادی از آوار و نخاله‌های ساختمانی در مناطق آسیب‌دیده تولید شد. مدیریت این حجم گسترده از نخاله‌ها به یکی از چالش‌های اصلی در فرآیند پاکسازی و بازسازی مناطق زلزله‌زده تبدیل گردید. در این شرایط، به‌منظور مدیریت مؤثر آوارهای ساختمانی و بهره‌گیری مجدد از منابع موجود، برنامه‌ای مبتنی بر بازیافت نخاله‌های ساختمانی و استفاده مجدد از آن‌ها در فرآیند بازسازی با همکاری دولت بلژیک طراحی و اجرا شد. در چارچوب این همکاری، دانش فنی و فناوری‌های مرتبط با بازیافت نخاله‌های ساختمانی و تولید مصالح ساختمانی مبتنی بر سنگدانه‌های بازیافتی به پاکستان منتقل شد و چندین مرکز بازیافت نخاله‌های ساختمانی در مناطق آسیب‌دیده احداث گردید. این مراکز با هدف جمع‌آوری، خردایش و فرآوری آوارهای ساختمانی و تبدیل آن‌ها به سنگدانه‌های بازیافتی قابل استفاده در تولید مصالح

جدید راه‌اندازی شدند. اجرای این برنامه موجب شد بخش قابل توجهی از میلیون‌ها مترمکعب نخاله ساختمانی تولید شده در اثر زلزله بازیافت شده و مجدداً در چرخه ساخت‌وساز مورد استفاده قرار گیرد. سنگدانه‌های بازیافتی تولیدشده در این مراکز عمدتاً در تولید بلوک‌های بتنی فشاری و سایر مصالح مورد نیاز برای بازسازی واحدهای مسکونی و زیرساخت‌های آسیب‌دیده به کار گرفته شدند. اجرای این رویکرد علاوه بر کاهش مشکلات ناشی از انباشت گسترده آوارهای ساختمانی، نقش مؤثری در تسریع روند بازسازی، کاهش وابستگی به استخراج مصالح طبیعی و ارتقای مدیریت پسماندهای ساختمانی در مناطق بحران‌زده ایفا کرد. تجربه اجرای این طرح در پاکستان به عنوان نمونه‌ای موفق از کاربرد فناوری بازیافت نخاله‌های ساختمانی در مدیریت آوارهای ناشی از سوانح طبیعی و استفاده مجدد از آن‌ها در فرآیند بازسازی مورد توجه قرار گرفته است.

ب-۴-۶- پیشینه کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در هند

نخستین مرکز بازیافت نخاله‌های ساخت و تخریب در هند در سال ۲۰۱۲ در شهر دهلی‌نو آغاز به‌کار کرد. بر اساس آمار موجود، روزانه حدود ۵۰۰۰ تن نخاله قابل بازیافت در این شهر تولید می‌شود، در حالی‌که ظرفیت این مرکز تنها ۵۰۰ تن در روز است. این شکاف بزرگ میان تولید نخاله و ظرفیت فرآوری، نشان‌دهنده وجود یک منبع عظیم و دست‌نخورده برای بازیافت صنعتی مصالح ساختمانی در هند است. در همان سال نخست بهره‌برداری، حدود ۱۵۳ هزار تن نخاله ساختمانی در این مرکز پردازش شد. خروجی این فرآیند شامل ۱۱۷۰۰ تن شن بازیافتی، ۵۶۳۲ تن مصالح لایه زیراساس و ۴۲۸۹ تن ماسه بازیافتی بود. این مصالح پس از فرآوری به‌صورت مستقیم در تولید بلوک‌های فشاری، جدول‌های بتنی و همچنین در لایه‌های مختلف راهسازی مورد استفاده قرار گرفتند، که نشان‌دهنده قابلیت فنی و اقتصادی استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در پروژه‌های رایج عمرانی است. اهمیت اصلی تجربه هند برای ما در این نکته نهفته است که نظام تخریب ساختمان‌ها در هند شباهت قابل‌توجهی با ایران دارد. برخلاف کشورهای اروپایی که فرآیند تخریب عمدتاً مکانیزه، کنترل‌شده و همراه با تفکیک اولیه است، هم در هند و هم در ایران بخش بزرگی از عملیات تخریب ماهیتی سنتی و کم‌تفکیک دارد. با وجود این شرایط، هند توانسته است زیرساخت بازیافت نخاله را ایجاد کند و خروجی‌های قابل استفاده در صنعت ساختمان و راه تولید نماید. این تجربه عملی به‌روشنی نشان می‌دهد که ایران نیز بدون نیاز به تغییرات ریشه‌ای در شیوه‌های تخریب، می‌تواند وارد مرحله صنعتی بازیافت نخاله شود. مشابهت شرایط دو کشور ثابت می‌کند که چالش‌های موجود مانع عملیاتی نیستند؛ بلکه با ایجاد زیرساخت، استانداردگذاری و برنامه‌ریزی مرحله‌ای، امکان استقرار واحدهای بازیافت و تولید سنگدانه‌های بازیافتی در کشور به‌طور کامل وجود دارد. به بیان دیگر، موفقیت هند یک نمونه تجربی معتبر است که

نشان می‌دهد اجرای بازیافت صنعتی نخاله در ایران نه‌تنها ممکن، بلکه کاملاً قابل تحقق و اقتصادی است.

ب-۴-۷- بررسی بازیافت نخاله‌های ساختمانی ایجاد شده در اثر جنگ اخیر در کشور اوکراین

کشور اوکراین اخیراً به دلیل درگیری‌های نظامی گسترده از سال ۲۰۲۲، با حجم بی‌سابقه‌ای از پسماندهای ساختمانی و تخریب روبرو شد که تخمین‌های اولیه میزان آن را بیش از ۱۰۰ میلیون تن برآورد می‌کنند. این حجم از آوار نه تنها از نظر زیست‌محیطی یک تهدید جدی به شمار می‌رفت، بلکه مسدود شدن شریان‌های حیاتی و اشغال فضاهای شهری توسط آوارها، فرآیند امدادرسانی و بازسازی اضطراری را با بن‌بست مواجه کرده بود. در این میان، شباهت‌های ساختاری در سیستم‌های ساخت‌وساز قدیمی و نیاز به نوسازی سریع، تجربه این کشور را به الگویی قابل مطالعه برای کشورهای در معرض بحران تبدیل کرده است. در مراحل ابتدایی، دولت اوکراین با سه چالش بنیادین در بازیافت این پسماندها روبرو بود. نخست، آلودگی‌های ثانویه؛ بسیاری از ساختمان‌های تخریب شده حاوی مواد خطرناکی نظیر آزبست (به دلیل استانداردهای قدیمی ساخت‌وساز) و بقایای مهمات منفجر نشده بودند که بازیافت مستقیم را با مخاطرات جدی سلامت روبرو می‌کرد. دوم، نبود استانداردهای فنی؛ آیین‌نامه‌های موجود، استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی را در سازه‌های باربر مجاز نمی‌دانستند و مهندسان ناظر از تایید این مصالح به دلیل عدم اطمینان از مقاومت فشاری و دوام امتناع می‌کردند. سوم، لجستیک و هزینه؛ حمل‌ونقل حجم عظیم آوار به مراکز بازیافت خارج از شهر، هزینه‌های اقتصادی و سوختی گزافی را تحمیل می‌کرد.

برای غلبه بر این مشکلات، اوکراین با همکاری نهادهای بین‌المللی مانند UNDP[1]، رویکرد «مدیریت در محل» را برگزید. گام نخست، تدوین پروتکل‌های سریع تفکیک در مبدأ بود که مواد خطرناک را پیش از فرآیند سنگ‌شکنی جداسازی می‌کرد. در گام دوم، با تصویب قوانین جدید در سال ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵، استفاده از درصدی از سنگدانه‌های بازیافتی در پروژه‌های دولتی اجباری شد و استانداردهای فنی جدیدی برای طبقه‌بندی کیفیت پسماند تدوین گردید. همچنین، استقرار واحدهای سنگ‌شکن سیار در نزدیکی مناطق تخریب شده، زنجیره تأمین مصالح را به حداقل فاصله ممکن رساند و پسماند را از یک کالای حذفی به یک «منبع استراتژیک» تغییر ماهیت داد.

در راستای بهره‌برداری عملیاتی، امروزه در کشور اوکراین پسماندهای ساختمانی فرآوری‌شده به طور رسمی در چهار محور کلیدی شامل توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل (جهت اجرای

[1] United Nations Development Programme

لایه‌های اساس و زیراساس جاده‌ای و ترمیم گودال‌های ناشی از انفجار)، تولید قطعات بتنی پیش‌ساخته (نظیر نیوجرسی‌ها، دیوارهای حفاظتی و بلوک‌های غیربابر)، بهسازی منظر و مبلمان شهری (با استفاده از خرده‌آجرهای رنگی در تولید سنگ‌فرش‌ها) به کار گرفته می‌شوند؛ این رویکرد سیستماتیک نه تنها منجر به کاهش ۳۰ درصدی هزینه‌های بازسازی شده، بلکه با تحقق اصول اقتصاد چرخشی و توسعه پایدار، الگویی موفق از مدیریت هوشمند سنگدانه‌های ناشی از ساخت و تخریب در شرایط بحران را ارائه داده است.

ب-۵- ضوابط فنی و استانداردهای حاکم بر بهره‌برداری از سنگدانه بازیافتی در بتن

با گسترش استفاده از بتن‌های حاوی سنگدانه‌های بازیافتی در صنعت ساخت‌وساز و افزایش توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، بازیافت نخاله‌های ساختمانی و استفاده مجدد از آن‌ها به عنوان منبع تولید سنگدانه در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، به دلیل آن‌که سنگدانه‌های بازیافتی در مقایسه با سنگدانه‌های طبیعی معمولاً از نظر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کیفیت یکنواخت و مطلوب‌تری ندارند، وجود چارچوب‌های استاندارد و ضوابط فنی مشخص برای ارزیابی کیفیت این مصالح و تعیین الزامات کاربرد آن‌ها در تولید بتن امری ضروری است. در همین راستا، در کشورهای مختلف استانداردها و دستورالعمل‌های فنی متعددی برای کنترل کیفیت، طبقه‌بندی و نحوه استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در بتن تدوین شده است. در میان استانداردهای بین‌المللی، اسناد AASHTO MP 16-07، DIN 4226-100 و BS 8500-2 از جمله جامع‌ترین مراجع فنی در زمینه مشخصات، الزامات و نحوه کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی در بتن به شمار می‌روند و مبنای بسیاری از ضوابط اجرایی در پروژه‌های عمرانی قرار گرفته‌اند.

ب-۵-۱- استاندارد AASHTO MP 16-07

استاندارد حاضر برای سنگدانه‌های بازیافتی حاصل از خردایش قطعات محصولات سیمانی مانند بتن و ملات تدوین شده است. این سنگدانه‌ها از نخاله‌های حاصل از تخریب سازه‌های بتنی نظیر روسازی‌های بتنی، پیاده‌روها، پل‌های بتنی، ساختمان‌های مسکونی و سایر ابنیه تولید می‌گردند. این استاندارد در حالت کلی سه طبقه‌بندی را برای سنگدانه‌های بازیافتی بر حسب میزان مواد مضر موجود در آن‌ها تعریف می‌نماید. همان‌طور که در جدول ب-۱ جزئیات این طبقه‌بندی نشان داده شده است، سنگدانه‌هایی که در طبقه‌بندی‌های مندرج در جدول ب-۱ قرار می‌گیرند، قابلیت استفاده درروسازی‌های بتنی، پیاده‌روها، لایه‌های اساس سیمانی، موانع بتنی جداکننده (مانند جداسازهای بین خطوط عبوری در خیابان‌های بین‌شهری)، جداول و سایر کاربردهای غیرسازه‌ای را دارا می‌باشند. انتخاب طبقه‌بندی مناسب باید بر

اساس شرایط محیطی و میزان هوازدگی منطقه صورت پذیرد. به‌گونه‌ای که برای شرایط هوازدگی شدید، طبقه‌بندی A، برای شرایط هوازدگی متوسط، طبقه‌بندی B و برای شرایطی که در آن هوازدگی اتفاق نمی‌افتد، طبقه‌بندیC مناسب است. لازم به ذکر است که این استاندارد الزامات دیگری نیز دارد که در این بخش صرفاً به منظور آشنایی کلی ارائه نگردیده است.

جدول ب-۱ حداکثر مقادیر مجاز مواد مضردر ترکیب سنگدانه‌های بازیافتی

حداکثر مقادیر مجاز	A	B	C
توده رس و ذرات خردشونده	۲	۳	۳
چرت (کمتر از ۴/۲ گرم در حالت اشباع با سطح خشک)	۳	۵	۸
مجموع توده رس و ذرات خردشونده و چرت (کمتر از ۴/۲ گرم در حالت اشباع با سطح خشک)	۲	۳	۵
سایر مواد مضر(مانند گچ، شیشه و ....)	۳	۳	۳
زغال و لیگنیت	۲	۲	۲

ب-۵-۲- استاندارد DIN 4226-100

استاندارد DIN 4226-100 یکی از استانداردهای مورد استفاده در زمینه به‌کارگیری سنگدانه‌های بازیافتی در بتن و ملات است که با هدف تعیین الزامات فنی برای استفاده ایمن و کنترل‌شده از این مصالح تدوین شده است. در این استاندارد، معیارها و ضوابطی برای تولید، ارزیابی و کنترل کیفیت سنگدانه‌های بازیافتی ارائه شده تا امکان استفاده از آن‌ها در محصولات بتنی و ملات فراهم شود. محدوده کاربرد این استاندارد عمدتاً شامل سنگدانه‌های بازیافتی با چگالی برابر یا بیش از ۱۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است که در تولید بتن‌های غیرسازه‌ای و انواع ملات‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین این استاندارد به موضوع کنترل کیفیت در فرآیند تولید کارخانه‌ای و نحوه ارزیابی مشخصات سنگدانه‌های بازیافتی نیز توجه دارد. بر اساس این استاندارد، سنگدانه‌های بازیافتی با توجه به منشأ و کیفیت به چهار گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند. در این دسته‌بندی، گروه اول بالاترین سطح کیفیت را دارا بوده و عمدتاً شامل خرده بتن حاصل از تخریب سازه‌های بتنی است. گروه دوم شامل نخاله‌های ناشی از عملیات تخریب است که ترکیبی از مصالح مختلف ساختمانی را در بر می‌گیرد. در گروه سوم سنگدانه‌های حاصل از خرد شدن آجر قرار می‌گیرند و در نهایت گروه چهارم که پایین‌ترین سطح کیفیت را دارد، شامل مصالحی است که به مواد مختلف آلوده یا آغشته شده‌اند. این طبقه‌بندی به منظور شناسایی کیفیت مصالح بازیافتی و تعیین دامنه مناسب کاربرد آن‌ها در تولید محصولات ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ب-۲- ترکیبات سنگدانه‌های بازیافتی در استاندارد DIN 4226-10

اجزا	مقدار حداقل و حداکثر مواد تشکیل دهنده سنگدانه های بازیافتی بر حسب درصد وزنی			
	۱	۲	۳	۴
بتن و سنگدانه طبیعی	۹۰<	۷۰<	۲۰>	۸۰<
قطعات آجری	۱۰>	۳۰>	۸۰<	
ماسه سنگ آهکی			۵>	
مواد معدنی دیگر	۲>	۳>	۵>	۲۰>
آسفالت	۱>	۱>	۱>	
سایر مواد خارجی	۰/۲>	۰/۵>	۱>	۱>

ب-۵-۳- استاندارد BS 8500-2

در این استاندارد نیز الزامات محدودکننده‌ای برای استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در ساخت و ساز بیان شده است (جدول ب-۳)، اما می‌توان این محدودیت‌ها را با توجه به شرایط پروژه تغییر داد؛ اگرچه این امکان تنها در صورتی فراهم است که سیستم نظارت مسئولیت استفاده از سنگدانه بازیافتی را عهده‌دار باشد. در این استاندارد دو نوع سنگدانه بازیافتی تعریف شده است؛ سنگدانه بازیافتی بتنی و سنگدانه بازیافتی. در این استاندارد هیچ‌گونه محدودیتی در خصوص حداقل چگالی و یا حداکثر درصد جذب آب بیان نشده است. این موضوع به‌شدت بر روی محدوده استفاده از نخاله‌های ساختمانی تأثیرگذار است و عملاً اجازه می‌دهد نخاله‌های سنگدانه‌ای و یا بسیار متخلخل (مانند ملات چسبیده به سطح سنگدانه‌ها) در بتن استفاده شود که درنتیجه افت قابل‌توجهی در مقاومت مکانیکی رخ خواهد داد. از سوی دیگر نیز مجدداً هیچ الزامی برای حداکثر مقدار مواد ریز موجود در ترکیب سنگدانه تعریف نشده است.

جدول ب-۳- ترکیبات سنگدانه‌های بازیافتی در استاندارد BS 8500-2

اجزاء	حداکثرمقدار (درصد وزنی RCA)	حداکثرمقدار (درصد وزنی RA)
نخاله بنایی	۵	۱۰۰
ذرات ریز	۵	۳
مصالح سنگدانه(مثل شیشه،پلاستیک، چوب و ...)	۰/۵	۱
سایر مواد مضر (مثل شیشه،پلاستیک، چوب و ...)	۱	۱
سولفید محلول در اسیدSO_3	۱	در شرایط پروژه تعیین می‌گردد

ب-۵-۴- استاندارد ملی سنگدانه بازیافتی

در ایران، برای نخستین بار در سال ۱۳۸۹، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران با الگوبرداری از استانداردDIN 4226-100 آلمان، استاندارد «سنگدانه‌های بازیافتی مورد مصرف در ملات و بتن» را با عنوان استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۱۷۰ تدوین و منتشر کرد. این استاندارد گامی مهم در جهت ساماندهی و قانونمندسازی استفاده از مصالح بازیافتی در صنعت ساخت‌وساز کشور محسوب می‌شد. استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۱۷۰ با الگوگیری از استاندارد DIN 4226-100 تدوین شده و کلیت الزامات شرح داده شده در آن مطابق با استاندارد مذکور است. در این استاندارد تنها یک نوع طبقه‌بندی برای سنگدانه بازیافتی ارائه شده و همچنین استانداردهای معادل در مجموعه استانداردهای ملی ایران جایگزین مجموعه استانداردهای DIN شده است. لازم به ذکر است که ترکیبات سنگدانه بازیافتی مصرفی در ایران در جدول ب-۴ ارائه شده است. با این حال، با گذشت بیش از یک دهه از تدوین این استاندارد و با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه پژوهش‌های مرتبط با عملکرد مکانیکی و دوامی سنگدانه‌های بازیافتی و همچنین بتن ساخته شده با این سنگدانه‌ها، ضرورت بازبینی اساسی و به‌روزرسانی این استاندارد بیش از پیش احساس می‌شود. نتایج پژوهش‌های اخیر در این حوزه، اطلاعات فنی و علمی ارزشمندی را در خصوص ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و دوامی این مصالح ارائه نموده که لحاظ نمودن این یافته‌ها در استاندارد ملی، ضمن ارتقای کیفیت فنی آن، می‌تواند زمینه‌ساز توسعه کاربرد گسترده‌تر سنگدانه‌های بازیافتی در پروژه‌های عمرانی کشور باشد.

جدول ب-۴- ترکیبات سنگدانه بازیافتی در استاندارد ملی ایران

اجزاء	مقدار حداقل و حداکثر مواد تشکیل‌دهنده سنگدانه‌های بازیافتی (بر حسب درصد وزنی)
بتن و سنگدانه‌های طبیعی اولیه (حداقل)	۹۵
قطعات آجری، آجر ملات اندود و ماسه‌سنگ آهکی (حداکثر)	۵
مواد معدنی دیگر* (حداکثر)	۲
آسفالت (حداکثر)	۱
**سایر مواد خارجی (حداکثر)	۰/۲

*مواد معدنی دیگر شامل: آجر متخلخل، بتن سبک، بتن متخلخل، بتن هوادار، اندود ملات، سرباره متخلخل و مواد مشابه.

**سایر موارد خارجی شامل: شیشه، سرامیک، سرباره‌های غیرآهنی، گچ، لاستیک، فرآورده‌های پلاستیکی، فلزها، چوب، کاغذ و مواد مشابه.

ب-۶- معرفی سازمان مدیریت بحران فدرال [1]و تحلیل عملیاتی راهنمای شماره ۳۲۵ [2]

سازمان مدیریت بحران فدرال به عنوان نهاد مرجع و پیشرو در تدوین پروتکل‌های مدیریت بحران، نقشی کلیدی در استانداردسازی فرآیندهای بازسازی پس از بلایا در سطح بین‌المللی ایفا می‌کند که در این میان، راهنمای شماره ۳۲۵ این سازمان، جامع‌ترین سند عملیاتی جهت مدیریت یکپارچه آوار و نخاله‌های ساختمانی محسوب می‌گردد. این استاندارد با نگاهی سیستمی، چرخه کامل مدیریت پسماندهای ناشی از حوادث را از مراحل نخستین (تخمین و پیش‌بینی حجم آوار) جهت تخصیص بهینه منابع آغاز کرده و با ارائه استراتژی‌های عملیاتی در فاز جمع‌آوری و بازگشایی شریان‌های حیاتی، نقشه راه دقیقی را ترسیم می‌نماید. علاوه بر این، راهنمای مذکور با تبیین ضوابط فنی استقرار سایت‌های موقت مدیریت آوار و ارائه روش‌های تخصصی در حوزه جداسازی و بازیافت مصالح باارزش، رویکردی اقتصادمحور را در مدیریت نخاله‌های ساختمانی دنبال می‌کند تا ضمن مهار آلاینده‌ها و پسماندهای خطرناک، حداکثر بازگشت سرمایه به چرخه بازسازی از طریق استحصال مصالحی نظیر بتن و فلزات محقق گردد. بهره‌گیری از این نظام‌نامه جامع، نه تنها ضامن تسریع در روند پاکسازی مناطق آسیب‌دیده است، بلکه بستری استوار برای نظارت‌های حاکمیتی و پایداری زیست‌محیطی در پروژه‌های ملی فراهم می‌آورد.

ب-۶-۱- ضرورت راهبردی و مزایای عملیاتی به کارگیری چک‌لیست‌های تخصصی FEMA

چک‌لیست‌های تدوین شده در استاندارد ۳۲۵، فراتر از ابزارهای کنترلی متعارف، در واقع پلتفرم‌های جامع «مدیریت و کاهش ریسک» در ابعاد ملی محسوب می‌شوند که بستر لازم را برای یکپارچگی عملیاتی در پهنه جغرافیایی مناطق آسیب‌دیده فراهم می‌آورند. اتکا به این دستورالعمل‌ها تضمین می‌کند که تمامی رده‌های اجرایی در مناطق مختلف، فارغ از تفاوت‌های محیطی، بر مبنای یک پروتکل واحد و استاندارد عمل نموده و بدین ترتیب، هماهنگی میان‌دستگاهی در بالاترین سطح ممکن محقق گردد. این رویکرد نظام‌مند نه تنها بر جنبه‌های مهندسی و لجستیکی متمرکز است، بلکه با تلفیق دقیق چارچوب‌های قانونی، مالی و زیست‌محیطی، فرآیند پیچیده بازسازی را به گونه‌ای ساماندهی می‌کند که پروژه‌ها با حداکثر سرعت و کمترین بار مالی بر بودجه عمومی به سرانجام برسند. یکی از محوری‌ترین دستاوردهای استقرار این چک‌لیست‌ها، ایجاد شفافیت مالی خلل‌ناپذیر و انسداد مبادی فساد

[1] Federal Emergency Management Agency - FEMA
[2] FEMA 325

در خلال عملیات‌های گسترده آواربرداری است؛ چرا که با الزام به مستندسازی دقیق پارامترهایی نظیر صدور بلیت‌های بار و گواهی ظرفیت واقعی ناوگان حمل‌ونقل، امکان هرگونه هدررفت منابع یا گزارش‌های غیرواقعی در حجم نخاله‌ها به حداقل ممکن می‌رسد. علاوه بر این، ابعاد صیانتی این استاندارد با تاکید بر رعایت الزامات سخت‌گیرانه زیست‌محیطی، مانع از نفوذ آلاینده‌های سمی ناشی از آوارهای جنگی به منابع آب زیرزمینی و خاک مناطق مسکونی شده و سلامت بلندمدت جامعه را تضمین می‌نماید. در نهایت، رویکرد تفکیک در مبدأ که در بطن این چک‌لیست‌ها نهفته است، با تبدیل تهدید نخاله‌های جنگی به فرصتِ تأمین مصالح ساختمانی ارزان‌قیمت و در دسترس، سرعت بازسازی کالبدی شهرها را به شکل چشمگیری افزایش می‌دهد.

ب-۶-۲- تبیین چک‌لیست‌های عملیاتی مدیریت آوار بر اساس استاندارد FEMA 325

استفاده از چک‌لیست‌های استاندارد در مدیریت بحران، صرفاً یک اقدام اداری نیست؛ بلکه زیربنای نظم عملیاتی، سلامت مالی و صیانت از حقوق حاکمیتی در مناطق آسیب‌دیده است. در ادامه، چهار محور کلیدی مدیریت آوار در قالب چک‌لیست‌های تخصصی تبیین می‌گردد:

چک‌لیست ایمنی سایت‌های مدیریت آوار

سایت‌های مدیریت و پردازش آوار به دلیل تراکم بالای ماشین‌آلات سنگین، فعالیت‌های کاهش حجم از قبیل دستگاه‌های خردکن و احتمال انتشار آلاینده‌های شیمیایی و ذرات معلق، از پرخطرترین محیط‌های کاری در دوران بازسازی و تعمیم خدمات محسوب می‌شوند. تدوین چک‌لیست حاضر با رویکرد «مدیریت پیشگیرانه ریسک» صورت پذیرفته تا اطمینان حاصل شود که ضرورت تسریع در عملیات اجرایی، منجر به غفلت از استانداردهای حفاظتی و بروز حوادث جانی برای پرسنل عملیاتی یا ساکنان مناطق مجاور نگردد. در واقع، این سند ابزاری راهبردی برای ایجاد تعادل میان سرعت عمل در مدیریت بحران و رعایت الزامات ایمنی و بهداشت حرفه‌ای است. اجرای دقیق این دستورالعمل مستلزم آن است که «ناظر ارشد ایمنی در سایت» نسبت به تکمیل و امضای چک‌لیست مذکور پیش از بهره‌برداری از مرکز و همچنین به‌صورت دوره‌ای در بازه‌های هفتگی اقدام نماید. در این فرآیند، پایش مستمر پارامترهای محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چراکه هرگونه قصور در شناسایی به‌موقع ذرات خطرناک نظیر آزبست یا آلودگی منابع آب زیرزمینی، نه‌تنها می‌تواند زمینه‌ساز بروز بحران‌های بهداشتی ثانویه گردد، بلکه موجب مداخله نهادهای نظارتی و توقف اجباری و طولانی‌مدت پروژه خواهد شد. از این‌رو، رعایت پروتکل‌های پایش محیطی مندرج در این چک‌لیست، شرط لازم برای تداوم بی‌وقفه عملیات و صیانت از سلامت عمومی تلقی می‌گردد.

- تحلیل مخاطرات شغلی: شناسایی و ثبت خطرات فیزیکی و شیمیایی خاص هر بخش از سایت
- تعیین مسئول ایمنی: انتصاب ناظر مقیم با اختیارات قانونی جهت توقف آنی عملیات در صورت بروز خطر
- آموزش و تجهیزات: تایید آموزش پرسنل و الزام استفاده از کلاه، جلیقه شبرنگ و ماسک‌های تخصصی
- پایش محیطی: سنجش مستمر آلاینده‌های هوا، کنترل آلودگی صوتی و پایش سلامت کارکنان
- اقدامات اصلاحی: جانمایی مسیرهای خروج اضطراری و استقرار تجهیزات اطفای حریق

جدول ب-۵- چک لیست ایمنی سایت

ردیف	بندکنترلی(الزام‌ایمنی)	شرح عملیاتی و هدف	وضعیت(تأیید/عدم)
۱	تحلیل مخاطرات شغلی	شناسایی خطرات فیزیکی و شیمیایی خاص هر منطقه کاری	
۲	تعیین مسئول ایمنی	انتصاب ناظر مقیم با اختیارات قانونی جهت توقف عملیات	
۳	شرح ریسک‌های سایت	مکتوب کردن خطرات احتمالی نظیر سقوط توده‌ها یا تصادفات	
۴	آموزش کارکنان	ثبت سوابق آموزشی پرسنل در زمینه ایمنی عمومی و اختصاصی	
۵	تجهیزات حفاظتی	الزام استفاده از کلاه، جلیقه شبرنگ، ماسک و کفش ایمنی	
۶	پایش محیطی	اندازه‌گیری سطح آلاینده‌های هوا (مانند ذرات آزبست)	
۷	اقدامات اصلاحی	جانمایی مسیرهای فرار، علائم هشدار و کپسول‌های آتش‌نشانی	

چک‌لیست تخصصی تخریب سازه‌های ناایمن

در مناطق آسیب‌دیده از بحران‌های گسترده، فرآیند تخریب سازه‌های ناایمن همواره با پیچیدگی‌های حقوقی، چالش‌های مالکیتی و حساسیت‌های اجتماعی گره خورده است. چک‌لیست حاضر به‌عنوان سازوکاری پیشگیرانه و صیانتی طراحی شده تا دستگاه‌های اجرایی را در برابر هرگونه ادعای حقوقی آتی از سوی مالکان بخش خصوصی یا نهادهای متولی میراث فرهنگی مصون نگه دارد. تأکید بر گنجاندن این بخش، معطوف به ایجاد سوابق دقیق و مستند است تا به‌وضوح اثبات گردد عملیات تخریب نه به‌صورت سلیقه‌ای، بلکه صرفاً پس از بررسی گزینه‌های جایگزین و بر اساس ضرورت‌های فنی و ایمنی به‌عنوان آخرین راهکار اجرایی اتخاذ شده است.

در مرحله اجرای عملیات، برای هر پلاک ثبتی یا واحد ساختمانی لازم است پرونده‌ای مجزا تشکیل و این چک‌لیست به‌عنوان نخستین سند مبنایی ضمیمه آن گردد. شروع هرگونه فعالیت تخریبی منوط به قطع کامل و رسمی کلیه انشعابات تأسیساتی و همچنین دریافت تأییدیه کتبی مبنی بر تخلیه اموال و دارایی‌های ارزشمند موجود در ملک است. غفلت از رعایت این ضوابط، افزون بر ایجاد مخاطرات ایمنی نظیر نشت تأسیسات، انفجار یا گسترش حریق، می‌تواند تبعات حقوقی و مسئولیت‌های مدنی سنگینی را متوجه سازمان مجری نماید. از این رو، پایش دقیق مراحل پیش‌نیاز و ثبت گام‌به‌گام آن‌ها در چارچوب این چک‌لیست، شرط لازم برای صیانت از حقوق عمومی و جلوگیری از بروز هرگونه تعارض قانونی محسوب می‌شود.

- اخذ حق ورود : دریافت اجازه کتبی از مالک یا طی تشریفات قانونی برای املاک مجهول‌المالک
- اطلاعیه محکومیت: صدور و ابلاغ حکم رسمی ناایمن بودن سازه توسط مراجع ذی‌صلاح مهندسی
- ایمن‌سازی انشعابات: اخذ تاییدیه کتبی قطع شبکه‌های گاز، برق و آب از دستگاه‌های خدمات‌رسان
- تخلیه مواد خطرناک: شناسایی و خروج ایمن مخازن سوخت، باتری‌ها و مصالح سمی پیش از شروع کار
- مستندسازی تصویری: تهیه آرشیو کامل عکس و فیلم از وضعیت ملک در مراحل قبل، حین و بعد از عملیات

جدول ب-۶- چک‌لیست تخریب سازه‌های ناایمن

ردیف	مرحله	بند کنترلی (الزام قانونی و فنی)	وضعیت
۱	پیش از تخریب	اخذ حق ورود و توافق‌نامه‌های رفع مسئولیت از مالک	
۲		صدور حکم رسمی محکومیت سازه (ناایمن بودن) توسط مراجع	
۳		تاییدیه کتبی قطع انشعابات آب، برق و گاز از ادارات مربوطه	
۴		مستندسازی تصویری (عکس و فیلم) از وضعیت ملک قبل از کار	
۵	حین عملیات	شناسایی و خروج ایمن مواد سمی و مخازن سوخت از سازه	
۶		جداسازی نخاله‌های خطرناک خانگی از آوار ساختمانی	
۷		پایش عدم حضور سکنه یا افراد غیرمجاز در محدوده تخریب	

چک‌لیست پیمانکاری و سلامت قراردادها

پروژه‌های مدیریت آوار به دلیل حجم قابل‌توجه اعتبارات و گستردگی عملیات اجرایی، همواره در معرض ریسک‌های ناشی از سوءمدیریت منابع یا انحرافات مالی قرار دارند. چک‌لیست حاضر با هدف ایجاد سازوکارهای نظارتی دقیق و شفافیت مالی تدوین شده و در عمل به‌عنوان ضمانت‌نامه‌ای برای صیانت از بودجه عمومی عمل می‌کند. کاربرد اصلی این سند آن است که اطمینان حاصل شود قراردادهای منعقدشده با بخش خصوصی، تمامی منافع و مصالح دولت را پوشش داده و مسیر هرگونه ادعای هزینه‌های غیرواقعی یا صورت‌وضعیت‌های فاقد مستندات کافی را مسدود می‌سازد. این چک‌لیست به‌عنوان مرجع فنی در اختیار کارشناسان تدارکات و واحدهای حقوقی قرار می‌گیرد تا در مرحله تنظیم اسناد مناقصه و شرایط پیمان، الزامات مالی و نظارتی به‌طور دقیق لحاظ گردد. نکته کلیدی در این زمینه، پرهیز از انعقاد قراردادهای درصدی یا مدل‌های «هزینه به‌علاوه سود» است. بر اساس ضوابط فنی مورد تأیید مراجع بین‌المللی مدیریت بحران و پسماند پرداخت‌ها باید صرفاً بر مبنای حجم یا وزن تأییدشده عملیات انجام پذیرد. این شیوه پرداخت نه‌تنها دقت در کنترل هزینه‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه انگیزه پیمانکار برای طولانی‌کردن بی‌دلیل دوره اجرا یا افزایش مصنوعی هزینه‌های پروژه را به‌طور کامل مرتفع می‌سازد.

- مناقصه رقابتی: اطمینان از انتخاب پیمانکار از طریق فراخوان عمومی و بررسی صلاحیت‌های فنی
- تعریف دقیق محدوده کار: تعیین دقیق زون‌های عملیاتی، نوع مصالح مورد پذیرش و مهلت‌های زمانی

- مبنای پرداخت واحد: درج صریح نرخ ثابت برای هر تن یا متر مکعب محموله جابجا شده
- بند فسخ و تضامین: درج حق فسخ یک‌جانبه در صورت ضعف عملکرد و اخذ ضمانت‌نامه‌های حسن انجام کار

جدول ب-۷- چک‌لیست پیمانکاری و قراردادها

ردیف	الزامات قراردادی	ملاحظات نظارتی	وضعیت
۱	مناقصه رقابتی و باز	اطمینان از انتخاب پیمانکار بر اساس صلاحیت و رقابت عادلانه	
۲	تعریف دقیق محدوده کار	مشخص کردن زون‌های عملیاتی و بازه‌های زمانی معین	
۳	روش پرداخت واحدی	درج نرخ ثابت بر اساس «تن» یا «متر مکعب» (نه درصدی)	
۴	بند فسخ قرارداد	امکان ابطال قرارداد در صورت ضعف عملکرد یا مصلحت کارفرما	
۵	تضامین بانکی	اخذ ضمانت‌نامه حسن انجام کار و تضامین پرداخت	
۶	شرط نظارت مستمر	درج حق کارفرما برای بازرسی لحظه‌ای از تمامی فعالیت‌ها	

چک‌لیست نظارت میدانی و کنترل بار

بزرگترین میزان اتلاف منابع در پروژه‌های عمرانیِ پس از بحران، معمولاً در فرآیند بارگیری و حمل‌ونقل رخ می‌دهد که ارائه گزارش‌های غیرواقعی از حجم بار، نمونه‌ای مشهود از این آسیب‌پذیری است. چک‌لیست حاضر با هدف نظارت میدانی دقیق و به‌عنوان بازوی کنترل‌کننده دستگاه نظارتی طراحی شده تا صحت و دقت آماری گزارش‌های ارسالی به سطوح عالی مدیریتی را تضمین نماید. فقدان چنین سازوکار کنترلی موجب می‌شود تا برآوردهای نهایی مربوط به حجم آوار و میزان پیشرفت عملیات بازسازی، از اعتبار فنی و اجرایی لازم برخوردار نباشند و نتوانند مبنای مطمئنی برای تصمیم‌گیری‌های کلان قرار گیرند.

این سند به‌طور مستقیم در اختیار ناظران مقیم مستقر در ایستگاه‌های مبدأ و مقصد قرار می‌گیرد تا فرآیند ثبت و پایش بارها را به‌صورت مستمر پیگیری کنند. در اجرای این

دستورالعمل، تأیید رسمی ظرفیت واقعی خودروهای حمل بار پیش از آغاز عملیات، از اهمیت حیاتی برخوردار است. بدیهی است هرگونه دستکاری یا تغییر در ابعاد و دیواره‌های اتاق بار ناوگان حمل، بدون به‌روزرسانی مستندات و ثبت مجدد ظرفیت، می‌تواند زمینه‌ساز صورت‌وضعیت‌های نادرست و در نهایت منجر به تضییع گسترده حقوق عمومی و منابع دولتی گردد. از این رو، رعایت دقیق پروتکل‌های اندازه‌گیری و مستندسازی تغییرات فنی خودروها، الزامی غیرقابل‌تسامح در چارچوب این چک‌لیست محسوب می‌شود.

- گواهی ظرفیت کامیون: اندازه‌گیری فیزیکی حجم بارگیر و نصب برچسب شناسایی غیرقابل خدشه بر روی ناوگان
- کنترل بلیت بار: صدور قبض‌های چندنسخه‌ای حاوی جزئیات دقیق ساعت، نوع آوار و مختصات مبدأ
- نظارت بر جداسازی: اطمینان از تفکیک مصالح ارزشمند (فلزات و بتن تمیز) جهت کاهش هزینه‌های نهایی بازسازی
- تایید صلاحیت آوار: نظارت بر اینکه صرفاً نخاله‌های ناشی از بحران حمل شوند و نه زباله‌های عادی شهری
- ردیابی هوشمند: استفاده از فناوری GPS برای رصد دقیق مسیر حرکت کامیون‌ها به سمت سایت‌های مجاز

جدول ب-۸- چک‌لیست نظارت میدانی و کنترل بار

ردیف	پارامتر نظارتی	شرح اقدام کنترل	وضعیت
۱	گواهی ظرفیت کامیون	اندازه‌گیری فیزیکی حجم بارگیر و نصب برچسب شناسایی	
۲	کنترل بلیت بار	صدور و تطبیق بلیت‌های چندنسخه‌ای در مبدأ و مقصد	
۳	پایش جداسازی مصالح	اطمینان از تفکیک فلزات و بتن تمیز جهت بازیافت	
۴	تایید صلاحیت آوار	کنترل اینکه آوار واقعاً ناشی از حادثه باشد (نه زباله عادی)	
۵	ردیابی و پایش مسیر	کنترل حرکت ناوگان در مسیرهای تعیین شده تا سایت تخلیه	
۶	مهار پف‌کردگی آوار	جلوگیری از چیدن نامنظم آوار برای افزایش صوری حجم بار	

References

- Akbarimehr D, Aflaki E, Eslami A (۲۰۱۹) Experimental investigation of the densification properties of clay soil mixes with tire waste. Civil Engineering Journal
- Akbarimehr D, Fakharian K (۲۰۲۱) Dynamic shear modulus and damping ratio of clay mixed with waste rubber using cyclic triaxial apparatus. Soil Dynamics and Earthquake Engineering
- Paz DH, Lafayette KP (۲۰۱٦) Forecasting of construction and demolition waste in Brazil. Waste Management & Research
- Coelho A, De Brito J (۲۰۱۱) Generation of construction and demolition waste in Portugal. Waste Management & Research
- del Río Merino M, Izquierdo Gracia P, Weis Azevedo IS (۲۰۱۰) Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. Waste management & research
- Rodríguez G, Sáez del Bosque IF, Asensio E, et al (۲۰۲۰) Construction and demolition waste applications and maximum daily output in Spanish recycling plants. Waste Management & Research
- Arulrajah A, Piratheepan J, Disfani MM, Bo MW (۲۰۱۳) Geotechnical and geoenvironmental properties of recycled construction and demolition materials in pavement subbase applications. Journal of Materials in Civil Engineering
- Vieira CS, Pereira PM (۲۰۱٥) Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. Resources, Conservation and Recycling
- Agyeman S, Ampadu SI (۲۰۱٦) Exploring the techno-economic feasibility of mine rock waste utilisation in road works: The case of a mining deposit in Ghana. Waste Management & Research
- Tavira J, Jiménez JR, Ayuso J, et al (۲۰۱۸) Functional and structural parameters of a paved road section constructed with mixed recycled aggregates from non-selected construction and demolition waste with excavation soil. Construction and Building Materials
- Asgari A, Ghorbanian T, Yousefi N, et al (۲۰۱۷) Quality and quantity of construction and demolition waste in Tehran. Journal of Environmental Health Science and Engineering

- Akbarimehr D, Eslami A, Aflaki E (۲۰۲۰) Geotechnical behaviour of clay soil mixed with rubber waste. Journal of Cleaner Production
- Wang L, Wang J, Qian X, et al (۲۰۱۷) An environmentally friendly method to improve the quality of recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials
- Calkins M (۲۰۰۸) Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials. John Wiley & Sons
- Srour IM, Tamraz S, Chehab GR, El-Fadel M (۲۰۱۲) A framework for managing construction demolition waste: economic determinants of recycling. In: Construction Research Congress ۲۰۱۲: Construction Challenges in a Flat World.
- Fisher C, Werge M (۲۰۰۹) EU as a Recycling Society—Present Recycling Levels of Municpal Waste and Construction & Demolition Waste in the UE. ETC. SCP Working Paper
- Ajayi SO, Oyedele LO, Bilal M, et al (۲۰۱۵) Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. Resources, Conservation and Recycling
- Señas L, Priano C, Marfil S (۲۰۱٦) Influence of recycled aggregates on properties of self-consolidating concretes. Construction and Building Materials
- Wang L, Wang J, Qian X, et al (۲۰۱۷) An environmentally friendly method to improve the quality of recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials
- Calkins M (۲۰۰۸) Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials. John Wiley & Sons
- Silva RV, De Brito J, Dhir RK (۲۰۱۷) Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. Journal of Cleaner Production
- Butera S, Christensen TH, Astrup TF (۲۰۱۵) Life cycle assessment of construction and demolition waste management. Waste management
- CSI Report (2009) Development of state of the art—techniques in cement manufacturing: trying to look ahead, cement sustainability initiative, CSI/ECRA-technology papers, Duesseldorf, Geneva.
- Ahmari, S., Ren, X., Toufigh, V., & Zhang, L. (2012) Production of geopolymeric binder from blended waste

concrete powder and fly ash. Construction and Building Materials

- Abdoli, (٢٠١٩), Examining the challenges of production of construction refuse, a case study of Tehran city, persian.
- J. Kim, Construction and demolition waste management in Korea: recycled aggregate and its application, Clean Technol. Environ. Policy 238 (2021)
- Xiao J, Tang Y, Chen H, et al (٢٠٢٢) Effects of recycled aggregate combinations and recycled powder contents on fracture behavior of fully recycled aggregate concrete. Journal of Cleaner Production
- Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). "Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste." Construction and Building Materials.
- Townsend, T., Wilson, C., & Beck, B. (2014). The Benefits of Construction and Demolition Materials Recycling in the United States. University of Florida: Gainesville, FL, USA.
- Snyder, M. B., J. M. Vandenbossche, K. D. Smith, and M. Wade. (1994) Synthesis on Recycled Concrete Aggregate. Interim Report-Task A, DTFH61-93-C00133. Federal Highway Administration (FHWA), Washington, D.C.
- Epps, J. A., D. N. Little, R. J. Holmgren, and R. L. Terrel. (1980) Guidelines for Recycling Pavement Materials. NCHRP Report 224, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Mark B. Snyder (2016). Concrete Pavement Recycling and the Use of Recycled Concrete Aggregate in Concrete Paving Mixtures.
- S.V. Devi, R. Gausikan, S. Chithambaranathan, J.W. Jeffrey, Utilization of recycled aggregate of construction and demolition waste as a sustainable material, Mater. (2020)
- FHWA 2004. Recycled Concrete Aggregate – Federal Highway Administration National Review.
- CCA Australia (2008). Use of Recycled Aggregates in Construction, Cement Concrete & Aggregates, Australia, 25 pp.
- CSI GNR Data (2006) Cement sustainability initiative, getting the numbers right database (online). http://www.wbcsdcement.org/GNR-2010/index.html. Accessed 2017.
- Vyncke, J., & Vrijders, J. (2010). Recycling of C&D waste in Belgium: state-of-the-art and opportunities for technology

transfer. In Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona, Italy (pp. 211–222).
- Cuperus, G. (2007). “Recycling of C&DW in Europe” FIR Interforum 2007.
- Bansal, S., & Singh, S. K. (2014). A Sustainable Approach Towards The Construction and Demolition Waste. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology
- The Ministry of the Environment, Japan, 2011. (https://www.env.go.jp/en/)
- Tavakoli MG, Alireza A, Amanj H-A, Gholamreza A (۲۰۲۰) Evaluating and improving the construction and demolition waste technical properties to use in road construction. Transportation Geotechnics
- Zhang J, Ding L, Li F, Peng J (۲۰۲۰) Recycled aggregates from construction and demolition wastes as alternative filling materials for highway subgrades in China. Journal of Cleaner Production
- UNDP Ukraine Annual Report 2025: From Crisis to Resilient Recovery
- Promoting Circularity in Rebuilding Ukrainian Cities: Policy Paper on C&DW Recycling (2025).
- AASHTO MP 16-07, (2009). Reclaimed concrete aggregate for use as Coarse Aggregate in Hydraulic Cement Mortar.
- DIN 4226-100, (2002). Aggregates for mortar and concrete. Part 100: Recycled aggregates.
- BS 8500-2 (2002) Concrete—complementary British Standard to BS EN 206-1, part 2: specification for constituent materials and concrete. British Standards Institution, 2002.
- FEMA 325, (2007). Public Assistance Debris Management Guide. U.S. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency.
- عقیلی لطف، میلاد، رمضانبان‌پور، امیرمحمد، حبیبی، علیرضا. (۱۳۹۸). امکان‌سنجی کاربرد پودر بازیافتی بتنی به‌عنوان جایگزین سیمان و فیلر در ملات‌های بنایی بتن.
- برون ،اقبالی قاضی جهانی ،مکنون، (۱۳۸۷) ، " مدیریت ضایعات و پسماندهای ساختمانی پس از وقوع زلزله و راهکارها و چالشها."
- اسدی ، (۱۳۹۴)، افزایش ساخت و ساز و بازیافت ضایعات ساختمانی

- توسلی، محمد مهدی و شکرچی زاده، محمد و نصیری، عسگر،۱۴۰۴،بررسی خواص پسماندهای ساخت و ساز و تخریب (پست) به عنوان سنگدانه های بازیافتی در ساخت و ساز.
- استاندارد ملی ایران شماره ۳۱۲۷۰، چاپ اول (۱۳۸۹). سنگدانه‌های بازیافتی مورد مصرف در ملات و بتن – الزامات.

Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC)

Managing Wastes Induced by Destruction of Building in Recent War

Spring 2026

Road, Housing & Urban Development Research Center, Marvi St., Nargol St., Next to Shahrak Farhangian, Sheikh Fazlollah Noori Exp., Tehran, IRAN.
Tel: +98 (21) 88255942
Website: https://www.bhrc.ac.ir/en/
Email: info@bhrc.ac.ir