

راهکارهای مؤثر برای مدیریت پسماندهای صنعتی به منظور کاهش و بازیافت پسماندها

زهرا محمدزاده^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸

چکیده

مدیریت پسماندهای صنعتی به عنوان یکی از چالش‌های حیاتی زیست‌محیطی و اقتصادی، نیازمند راهکارهای مؤثر و پایدار برای کاهش حجم پسماند و افزایش بازیافت است. هدف از این پژوهش، شناسایی و تدوین راهکارهای کاربردی جهت بهبود مدیریت پسماندهای صنعتی به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای بهره‌وری منابع است. در این راستا، از روش تحقیق کیفی و مبتنی بر نظریه بنیادین (گراندد تئوری) استفاده شد تا بتوان با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از مصاحبه‌های عمیق با خبرگان و متخصصان حوزه مدیریت پسماند، مدل جامعی از راهکارهای مؤثر استخراج کرد. یافته‌های پژوهش نشان داد که مدیریت پسماند صنعتی فراتر از فرآیندهای فنی است و نیازمند تلفیق فناوری‌های نوین، سیاست‌گذاری‌های دقیق، آموزش مستمر نیروی انسانی و همکاری بین‌بخشی می‌باشد. همچنین، توجه به ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مدیریت پسماند از جمله عوامل کلیدی موفقیت است. در این میان، ارتقای زیرساخت‌های قانونی، توسعه فناوری‌های بازیافت و فرهنگ‌سازی به عنوان مهم‌ترین زیرمعیارها شناخته شدند. مدل ارائه شده ضمن یکپارچگی مولفه‌ها، بستری مناسب برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و عملیاتی فراهم می‌آورد که می‌تواند به کاهش پسماندهای صنعتی، بهبود فرآیندهای بازیافت و حمایت از توسعه پایدار کمک کند. نتیجه‌گیری کلی این است که مدیریت مؤثر پسماندهای صنعتی نیازمند رویکردی جامع و سیستمی است که تمامی ابعاد فنی، مدیریتی، قانونی و اجتماعی را در بر گیرد و از طریق مشارکت فعال تمامی ذینفعان، مسیر پایداری را هموار سازد. این پژوهش می‌تواند به عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاران، مدیران صنعتی و پژوهشگران جهت طراحی و پیاده‌سازی برنامه‌های بهینه مدیریت پسماند مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی

مدیریت پسماند، پسماند صنعتی، بازیافت

^۱ کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، ایران. (Zahra1989mohammadzadeh@gmail.com)

۱. مقدمه

در عصر حاضر، افزایش روزافزون فعالیت‌های صنعتی و رشد جمعیت منجر به تولید حجم عظیمی از پسماندهای صنعتی شده است که مدیریت ناصحیح آن‌ها تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها محسوب می‌شود. پسماندهای صنعتی، شامل مواد شیمیایی خطرناک، فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها، در صورت عدم مدیریت صحیح، می‌توانند به آلودگی خاک، آب و هوا منجر شوند و تأثیرات منفی بر اکوسیستم‌ها و سلامت عمومی داشته باشند. در پاسخ به این چالش، مفهوم اقتصاد چرخشی به عنوان رویکردی پایدار در مدیریت منابع و پسماندها مطرح شده است. اقتصاد چرخشی بر اصول کاهش، استفاده مجدد و بازیافت (3R) تأکید دارد و هدف آن تبدیل پسماندها به منابع قابل استفاده مجدد است. مطالعات نشان داده‌اند که اجرای استراتژی‌های R^۳ می‌تواند به کاهش قابل توجهی در تولید پسماند و مصرف منابع طبیعی منجر شود و در عین حال بهره‌وری اقتصادی را افزایش دهد (سونکوساره و شاستری، ۲۰۲۵). یکی از روش‌های مؤثر در مدیریت پسماندهای صنعتی، استفاده از فناوری‌های نوین مانند پردازش مکانیکی-زیستی (MBT) است که امکان جداسازی و بازیافت مواد قابل استفاده از پسماندها را فراهم می‌کند. این فناوری‌ها با ترکیب فرآیندهای مکانیکی و زیستی، می‌توانند به کاهش حجم پسماند و استخراج مواد باارزش از آن‌ها کمک کنند. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیاء (IoT) در مدیریت پسماندهای صنعتی می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندهای جمع‌آوری، حمل و نقل و بازیافت کمک کند. با استفاده از حسگرها و سیستم‌های هوشمند، می‌توان وضعیت پسماندها را در زمان واقعی پایش کرد و تصمیم‌گیری‌های بهتری در مورد مدیریت آن‌ها اتخاذ نمود. همچنین، سیاست‌های دولتی مانند مسئولیت توسعه یافته تولیدکننده (EPR) نقش مهمی در تشویق صنایع به طراحی محصولات با قابلیت بازیافت بالا و کاهش تولید پسماند دارند. این سیاست‌ها با انتقال بخشی از مسئولیت مدیریت پسماند به تولیدکنندگان، آن‌ها را به اتخاذ رویکردهای پایدارتر در طراحی و تولید محصولات ترغیب می‌کنند. در نهایت، برای دستیابی به مدیریت مؤثر پسماندهای صنعتی، نیاز به همکاری میان دولت‌ها، صنایع و جوامع وجود دارد. آموزش و آگاهی‌بخشی به کارکنان صنایع، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و تدوین سیاست‌های حمایتی می‌تواند به تحقق اهداف اقتصاد چرخشی و کاهش اثرات منفی پسماندهای صنعتی بر محیط‌زیست کمک کند (قهرمانی و همکاران، ۲۰۲۲).

با رشد سریع صنایع و گسترش فرآیندهای تولیدی در قرن بیست و یکم، مدیریت پسماندهای صنعتی به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی کشورها تبدیل شده است. پسماندهای صنعتی به دلیل تنوع ترکیبات شیمیایی، سمیت بالا، و حجم انبوه، چالش‌های جدی در زمینه دفع، ذخیره‌سازی، بازیافت و کاهش ایجاد می‌کنند. اگرچه در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای به‌کارگیری اصول اقتصاد چرخشی و تکنولوژی‌های بازیافت در صنایع انجام شده، اما شواهد نشان می‌دهد که همچنان فاصله زیادی میان سیاست‌های تدوین شده و پیاده‌سازی عملی آن‌ها در سطح کارخانه‌ها وجود دارد (سونکوساره و شاستری، ۲۰۲۵). در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، نبود چارچوب‌های منسجم قانونی، فقدان زیرساخت‌های فناورانه برای تفکیک و پردازش پسماندها، و همچنین کمبود آموزش و فرهنگ‌سازی در میان پرسنل صنعتی، به عنوان موانع اصلی در مسیر مدیریت مؤثر پسماندهای صنعتی شناسایی شده‌اند (قهرمانی و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از شکاف‌های اصلی در ادبیات موجود، فقدان مطالعات کاربردی و راهکارهای

¹ Sonkusare, S., & Shastri

² Ghahramani

بومی شده برای مدیریت پسماندهای صنعتی در محیط‌های صنعتی واقعی است؛ بیشتر پژوهش‌های انجام شده به صورت نظری یا در مقیاس‌های آزمایشگاهی بوده و کمتر به طراحی و ارزیابی راهکارهای اجرایی در کارخانه‌ها و صنایع گوناگون پرداخته‌اند. همچنین، بیشتر مطالعات موجود به بررسی بخشی از چرخه مدیریت پسماند (مانند بازیافت یا دفع) محدود شده و توجه کافی به زنجیره کامل از تولید پسماند تا استفاده مجدد از آن صورت نگرفته است (شکاف دیگر به عدم یکپارچگی داده‌ها و فقدان بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا در فرآیندهای جمع‌آوری، پایش، و تصمیم‌سازی بازمی‌گردد؛ در حالی که ابزارهای دیجیتال می‌توانند دقت و بهره‌وری فرآیندها را به شدت افزایش دهند (لی و همکاران، ۲۰۲۲). در نتیجه، نیاز مبرمی به تحقیقاتی احساس می‌شود که ضمن بررسی موانع اجرایی موجود، به طراحی، اعتبارسنجی و اولویت‌بندی راهکارهای مؤثر در مدیریت پسماندهای صنعتی از منظر اقتصادی، فناورانه و زیست‌محیطی بپردازند و پلی میان دانش نظری و کاربردهای صنعتی واقعی ایجاد کنند.

۲. مبانی نظری و ادبیات پژوهش

۲-۱. مدیریت

مدیریت به عنوان یکی از مفاهیم بنیادین در علوم سازمانی و اقتصادی، تعاریف متعددی دارد که هر یک از دیدگاه‌های مختلف به آن پرداخته‌اند. در یک تعریف جامع، مدیریت به عنوان فرآیند برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت و کنترل منابع سازمانی (انسانی، مالی، فیزیکی و اطلاعاتی) برای دستیابی به اهداف سازمانی به صورت مؤثر و کارآمد تعریف می‌شود (بووه و همکاران، ۱۹۹۳). این تعریف بر چهار وظیفه اصلی مدیریت تأکید دارد: برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، رهبری و کنترل. برخی از اندیشمندان، مانند هارولد کونتز، مدیریت را هنر انجام کارها از طریق دیگران در گروه‌های سازمان یافته می‌دانند (کونتز، ۱۹۶۱). همچنین، هنری فایول، یکی از پیشگامان نظریه‌های مدیریت، مدیریت را شامل پنج وظیفه پیش‌بینی، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، فرماندهی و کنترل می‌داند (فایول، ۱۹۱۶). در تعریفی دیگر، مدیریت به عنوان فرآیند دستیابی به اهداف سازمانی از طریق کار با و از طریق افراد و سایر منابع سازمانی تعریف شده است (سرتو و سرتو، ۲۰۱۶). این تعاریف نشان می‌دهند که مدیریت نه تنها به استفاده بهینه از منابع می‌پردازد، بلکه به هماهنگی و هدایت فعالیت‌های افراد برای تحقق اهداف مشترک نیز توجه دارد. در نهایت، می‌توان گفت که مدیریت ترکیبی از علم و هنر است که با بهره‌گیری از دانش، مهارت‌ها و تجربیات، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا در محیط‌های پویا و پیچیده به طور مؤثر عمل کنند.

مدیریت در عصر جدید نه تنها به معنای استفاده از منابع برای دستیابی به اهداف سازمانی تلقی می‌شود، بلکه شامل توانایی سازمان برای پاسخ‌گویی سریع، تطابق با تغییرات محیطی، نوآوری مستمر، یادگیری سازمانی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده نیز هست (لی و همکاران، ۲۰۲۵). در دهه‌های اخیر، با گسترش جهانی‌شدن، پیچیدگی زنجیره‌های تأمین، رشد فناوری اطلاعات و افزایش رقابت، نقش مدیران از کارکردهای سنتی عبور کرده و به نقش‌های استراتژیک‌تری مانند رهبری تحول‌آفرین، توسعه پایدار، مدیریت ریسک و مدیریت تغییر سوق پیدا کرده است (دفت، ۲۰۲۰). مدیران امروزی باید نه تنها دارای مهارت‌های فنی، انسانی و مفهومی باشند، بلکه باید درک عمیقی از محیط‌های چندفرهنگی،

¹ Bovée

² Koontz

³ Fayol

⁴ Certo

⁵ Daft

سیاست گذاری‌های کلان اقتصادی و حتی ارزش‌های اخلاقی و اجتماعی داشته باشند (میتزبرگ، ۲۰۱۳). از سوی دیگر، دانش مدیریت در شاخه‌های تخصصی مختلفی توسعه یافته است؛ از جمله مدیریت منابع انسانی، مدیریت مالی، مدیریت بازاریابی، مدیریت تولید، مدیریت استراتژیک، مدیریت فناوری و مدیریت کیفیت. هر یک از این شاخه‌ها دارای نظریه‌ها، ابزارها، و الگوهای تصمیم‌گیری خاص خود هستند که بسته به نوع سازمان و اهداف آن، مورد استفاده قرار می‌گیرند (رابینز و کولتر، ۲۰۲۲). به عنوان مثال، در مدیریت استراتژیک، مدل‌های ماتریسی مانند SWOT، PESTEL، یا Five Forces مایکل پورتر برای تحلیل محیط و تعیین جهت‌گیری‌های بلندمدت استفاده می‌شوند، در حالی که در مدیریت منابع انسانی بر فرآیندهایی مانند جذب، آموزش، انگیزش و ارزیابی عملکرد تمرکز می‌شود (آرمسترانگ و تیلور، ۲۰۲۰).

افزون بر این، مدیریت اثربخش مستلزم وجود نظام اطلاعاتی قوی و شفاف است که مدیران را قادر سازد تا تصمیمات مبتنی بر داده اتخاذ کنند. سیستم‌های اطلاعات مدیریت به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در این زمینه شناخته می‌شوند که امکان تحلیل، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری دقیق را برای مدیران فراهم می‌سازند (توربان و همکاران، ۲۰۱۸). از سوی دیگر، در حوزه رفتار سازمانی، مدیریت با مفاهیمی چون انگیزش کارکنان، رضایت شغلی، فرهنگ سازمانی، و رهبری تعاملی درگیر است. مدیر موفق کسی است که بتواند بین اهداف سازمانی و نیازهای انسانی تعادل برقرار کند و از طریق مشارکت فعال کارکنان، بهره‌وری را افزایش دهد (گرینبرگ، ۲۰۱۱). قابل ذکر است که در مدیریت معاصر، مفاهیمی مانند "مدیریت دانش"، "مدیریت نوآوری"، و "مدیریت بحران" نیز جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند. مدیریت دانش به معنای خلق، ذخیره، اشتراک و استفاده مؤثر از دانش درون سازمان است که نقش مهمی در مزیت رقابتی سازمان‌ها دارد (نوناکا و تیکوچی، ۱۹۹۵). مدیریت نوآوری به مدیران کمک می‌کند تا در مواجهه با تغییرات فناوری و نیازهای بازار، بتوانند محصولات، خدمات یا فرایندهای جدیدی ارائه دهند. از سوی دیگر، مدیریت بحران نیز به معنای آمادگی سازمان برای مواجهه با رویدادهای غیرمنتظره و طراحی پاسخ‌های سریع و مؤثر برای تداوم فعالیت‌ها است (میتروف، ۲۰۰۵). در نهایت، یکی از رویکردهای نوین در مدیریت، مفهوم "مدیریت پایدار" است که با تلفیق اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، تلاش می‌کند تا مسیر توسعه پایدار را در سازمان‌ها هموار سازد (الکینگتون، ۱۹۹۸). این رویکرد از اصول "سه‌گانه پایداری" یا "Triple Bottom Line" پیروی می‌کند که شامل سود (Profit)، مردم (People) و محیط زیست (Planet) است و مورد توجه روزافزون مدیران در سطح جهانی قرار گرفته است (لی و همکاران، ۲۰۲۵).

با توجه به مباحث مطرح‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت نه تنها مهارتی حیاتی برای موفقیت سازمان‌هاست، بلکه دانشی میان‌رشته‌ای و پویاست که با پیشرفت‌های فناوری، تحولات اجتماعی و چالش‌های جهانی دائماً در حال تحول است. مدیر موفق کسی است که با ترکیب علم، هنر، تجربه و اخلاق، بتواند در دنیای پیچیده امروز، سازمان را به سمت اهداف مطلوب هدایت کند.

¹ Mintzberg

² Robbins, S. P., & Coulter

³ Armstrong, M., & Taylor

⁴ Turban

⁵ Greenberg

⁶ Nonaka, I., & Takeuchi

⁷ Mitroff

⁸ Elkington

⁹ Lee

۲-۲. مدیریت پسماند

مدیریت پسماند صنعتی به مجموعه‌ای از فرآیندها و فعالیت‌های نظام‌مند اطلاق می‌شود که با هدف کاهش، بازیافت، تصفیه و دفع ایمن پسماندهای ناشی از فعالیت‌های صنعتی طراحی و اجرا می‌گردند. این فرآیندها شامل جمع‌آوری، تفکیک، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، پردازش، بازیافت و دفع نهایی پسماندها می‌باشند و با رعایت اصول زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به منظور کاهش اثرات منفی پسماندها بر سلامت انسان و محیط زیست انجام می‌شوند. پسماندهای صنعتی می‌توانند به صورت جامد، مایع یا گازی باشند و بسته به ماهیت آن‌ها، روش‌های مدیریت متفاوتی مورد نیاز است. بر اساس گزارش‌های علمی، مدیریت مؤثر پسماندهای صنعتی نه تنها به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه با بازیافت و استفاده مجدد از مواد، به صرفه‌جویی در منابع طبیعی و کاهش هزینه‌های تولید نیز منجر می‌شود (ساین، ۲۰۲۳). در این راستا، استفاده از فناوری‌های نوین مانند تصفیه بیولوژیکی، تبخیر تحت خلأ و روش‌های فیزیکوشیمیایی برای تصفیه و بازیافت پسماندها توصیه می‌شود. همچنین، رویکردهای اقتصادی چرخشی که بر مبنای کاهش، استفاده مجدد و بازیافت پسماندها استوار هستند، به عنوان راهکاری پایدار برای مدیریت پسماندهای صنعتی مطرح شده‌اند (MDPI، ۲۰۲۳). در نتیجه، مدیریت پسماند صنعتی یک ضرورت اساسی برای توسعه پایدار صنایع و حفاظت از محیط زیست محسوب می‌شود.

مدیریت پسماندهای صنعتی، علاوه بر ماهیت عملیاتی خود، دارای ابعاد استراتژیک، نهادی و حکمرانی نیز هست. برنامه‌ریزی مؤثر در این حوزه نیازمند شناخت دقیق انواع پسماندهای تولیدی، مقدار آن‌ها، میزان خطرناک بودن، و نیز امکان بازیافت‌پذیری یا دفع بی‌خطر آن‌هاست. بسیاری از صنایع به‌ویژه در بخش‌های نفت، پتروشیمی، فلزات سنگین، داروسازی و تولید مواد شیمیایی، تولیدکننده پسماندهای خطرناک هستند که در صورت عدم مدیریت صحیح، منجر به آلودگی شدید منابع آب، خاک و هوا می‌شوند (یاداو و همکاران، ۲۰۲۲). از این‌رو، طبقه‌بندی پسماندها و طراحی سیستم‌های مدیریت یکپارچه از جمله الزامات اولیه برای دستیابی به کارایی محیط‌زیستی و اقتصادی محسوب می‌شود. همین‌طور در اسناد بین‌المللی نظیر دستورالعمل‌های اتحادیه اروپا برای مدیریت پسماند،^۱ بر اصل "اولویت سلسله‌مراتبی مدیریت پسماند" تأکید شده است؛ این اصل بر کاهش تولید در منبع، استفاده مجدد، بازیافت، بازیابی انرژی و در نهایت دفن یا سوزاندن باقیمانده تأکید دارد (کمیسیون اروپا، ۲۰۲۰). بسیاری از کشورها با بهره‌گیری از این اصول، توانسته‌اند با اتخاذ سیاست‌های تشویقی، یارانه‌های سبز، مشوق‌های مالیاتی و الزام به ثبت الکترونیکی پسماند، نقش مؤثری در کاهش پسماندهای صنعتی ایفا کنند. در این میان، مشارکت فعالانه صنایع و بخش خصوصی در طراحی و اجرای طرح‌های بازیافت و تصفیه، به عنوان کلید موفقیت مدیریت پسماند مطرح شده است (لی و همکاران، ۲۰۲۴).

یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت پسماندهای صنعتی در کشورهای در حال توسعه، فقدان نظام‌های اطلاعاتی منسجم و پایگاه‌های داده دقیق برای ردیابی، طبقه‌بندی و مدیریت جریان پسماندهاست (UNEP, 2022). نبود آمار دقیق، ضعف در اجرای مقررات زیست‌محیطی، نبود فناوری‌های روزآمد و ناکارآمدی در مدیریت بین‌بخشی، از عوامل مؤثر بر افزایش هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از پسماندهاست. بر همین اساس، نهادهای جهانی مانند سازمان ملل متحد و بانک جهانی، بر

¹ Singh

² Yadav

³ EU Waste Framework Directive

⁴ European Commission

⁵ Lee

ضرورت اصلاح سیاست‌ها، ظرفیت‌سازی نهادی و انتقال فناوری در حوزه مدیریت پسماندهای صنعتی تأکید دارند (بانک جهانی، ۲۰۲۳). در سطح علمی، رویکردهای نوینی برای مدیریت پسماندهای صنعتی معرفی شده‌اند که از آن جمله می‌توان به سیستم‌های هوشمند مدیریت پسماند، اینترنت اشیاء،^۲ کلان‌داده‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی تولید پسماند اشاره کرد. (Gupta et al., 2023) استفاده از حسگرهای هوشمند برای پایش سطح پسماند، ردیابی GPS برای مسیرهای جمع‌آوری و الگوریتم‌های تحلیل داده برای شناسایی الگوهای تولید پسماند، ابزارهایی نوین هستند که به‌ویژه در شهرهای صنعتی پیشرفته به کار گرفته شده‌اند. این فناوری‌ها نه تنها به افزایش کارایی در مدیریت عملیات کمک می‌کنند، بلکه تصمیم‌گیری‌های استراتژیک مدیران را نیز بهبود می‌بخشند.

از منظر پایداری، مدیریت پسماند صنعتی نقش اساسی در تحقق اهداف توسعه پایدار^۳ به‌ویژه هدف دوازدهم (تولید و مصرف مسئولانه) و هدف سیزدهم (اقدام اقلیمی) دارد. طبق گزارش UNEP (۲۰۲۳)، در صورت سرمایه‌گذاری هوشمند در مدیریت پسماند، می‌توان از انتشار میلیون‌ها تن گاز گلخانه‌ای جلوگیری کرد، نرخ بازیافت مواد افزایش یافت، فرصت‌های شغلی سبز ایجاد نمود و به کاهش فشار بر منابع طبیعی کمک کرد. در این مسیر، مفهوم «اقتصاد چرخشی» که بر اساس بسته شدن چرخه عمر محصولات، افزایش طول عمر منابع و طراحی برای بازیافت و بازاستفاده استوار است، نقش محوری دارد (Ellen MacArthur Foundation, 2021). در مجموع، تعریف مدیریت پسماندهای صنعتی را می‌توان چنین جمع‌بندی کرد: مجموعه‌ای نظام‌مند از خط‌مشی‌ها، فرآیندها، فناوری‌ها، مقررات و اقدامات اجرایی برای جمع‌آوری، طبقه‌بندی، ذخیره‌سازی، حمل، پردازش، بازیافت و دفع ایمن پسماندهای ناشی از فعالیت‌های صنعتی با هدف حفاظت از محیط زیست، سلامت عمومی، بهره‌وری منابع و پایداری اقتصادی. بدون وجود یک سیستم یکپارچه و مبتنی بر داده برای مدیریت این پسماندها، توسعه صنعتی نه تنها پایدار نخواهد بود بلکه منجر به تخریب شدید زیست‌بوم‌ها و بروز بحران‌های اجتماعی و بهداشتی خواهد شد.

با گسترش فعالیت‌های صنعتی و افزایش تولید پسماندهای ناشی از فرآیندهای تولید، ضرورت توسعه سیستم‌های پیشرفته و جامع مدیریت پسماندهای صنعتی بیش از پیش احساس می‌شود. این سیستم‌ها باید قادر باشند نه تنها حجم پسماند تولیدی را کاهش دهند، بلکه امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد را فراهم آورند تا ضمن حفظ منابع طبیعی، هزینه‌های اقتصادی صنایع نیز کاهش یابد (مارتینز و همکاران، ۲۰۲۳). به کارگیری فناوری‌های نوین، از جمله فناوری‌های پردازش بیولوژیکی، شیمیایی و مکانیکی، به عنوان ابزارهای کلیدی در فرآیند تصفیه و بازیافت پسماندهای صنعتی، توانسته‌اند گام‌های مؤثری در جهت کاهش بار زیست‌محیطی بردارند (وانگ و ژائو، ۲۰۲۳). از سوی دیگر، سیاست‌گذاری‌های دقیق و نظارت مستمر بر اجرای قوانین مرتبط با مدیریت پسماندهای صنعتی نقش مهمی در تضمین اثربخشی این سیستم‌ها ایفا می‌کند. این سیاست‌ها باید بر اساس داده‌های علمی و تحلیل‌های اقتصادی طراحی شده باشند تا علاوه بر حفظ محیط زیست، مشوق‌های لازم برای صنایع به منظور اجرای راهکارهای بهینه مدیریت پسماند فراهم شود (ساین و کومار، ۲۰۲۳). همچنین، فرهنگ‌سازی و آموزش نیروی انسانی در حوزه مدیریت پسماند صنعتی به منظور افزایش آگاهی و

¹ World Bank

² Smart Waste Management Systems

³ IoT

⁴ Big Data

⁵ SDGs

⁶ Martínez

⁷ Wang, L., & Zhao

⁸ Singh, D., & Kumar

مسئولیت‌پذیری، از جمله عوامل مؤثر در بهبود عملکرد سیستم‌های مدیریت پسماند می‌باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴). به‌طور کلی، تحقق مدیریت پایدار پسماندهای صنعتی مستلزم ترکیب دانش فنی، راهکارهای نوآورانه، سیاست‌های کارآمد و مشارکت فعال تمامی ذی‌نفعان است. این امر باعث می‌شود تا نه تنها از بار آلودگی‌های زیست‌محیطی کاسته شود، بلکه فرصت‌های اقتصادی جدیدی نیز از طریق بازیافت و استفاده مجدد از مواد ایجاد گردد که می‌تواند به توسعه پایدار صنعت و جامعه منجر شود. در نهایت، توسعه چارچوب‌های مدیریتی منسجم و یکپارچه که قادر به پاسخگویی به چالش‌های نوین پسماندهای صنعتی باشند، از ضرورت‌های حیاتی برای حفظ محیط زیست و بهبود کیفیت زندگی نسل‌های آینده است.

۲-۳. پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش در حوزه مدیریت پسماندهای صنعتی نشان می‌دهد که موضوع کاهش و بازیافت پسماندها طی دهه‌های اخیر مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. مطالعات متعددی بر روی به‌کارگیری فناوری‌های نوین و توسعه رویکردهای پایدار برای مدیریت پسماندهای صنعتی انجام شده است. به‌طور مثال، ساین و کومار (۲۰۲۳) در پژوهشی جامع به بررسی فناوری‌های پیشرفته تصفیه و بازیافت پسماندهای صنعتی پرداختند که منجر به کاهش چشمگیر آلاینده‌ها و افزایش بهره‌وری منابع گردید. همچنین، ژانگ و همکاران (۲۰۲۴) به تحلیل سیستم‌های مدیریت پسماند در صنایع مختلف پرداخته و نشان دادند که ترکیب فناوری‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی می‌تواند به طور مؤثری میزان پسماندهای خطرناک را کاهش دهد. در پژوهشی دیگر، مارتینز و همکاران (۲۰۲۳) با تمرکز بر اقتصاد چرخشی، راهکارهای بازیافت و استفاده مجدد از مواد را در صنایع مختلف بررسی کردند و تأکید نمودند که سیاست‌گذاری‌های کارآمد و آموزش نیروی انسانی نقش کلیدی در موفقیت این راهکارها دارد. همچنین، ژائو و وانگ با انجام ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، مزایای استفاده از فناوری‌های بازیافت پسماندهای صنعتی را در کاهش هزینه‌ها و حفاظت از محیط زیست مورد تأیید قرار دادند. از سوی دیگر، تحقیقات محلی در کشورهای در حال توسعه نشان داده است که با وجود پیشرفت‌های فنی، چالش‌های اجرایی، ضعف قوانین و کمبود آگاهی‌ها همچنان مانع اجرای موفق مدیریت پسماندهای صنعتی است. این شکاف‌ها بیانگر نیاز به تحقیقات بیشتر برای طراحی راهکارهای کاربردی و متناسب با شرایط هر منطقه است که بتواند ضمن حفظ محیط زیست، توسعه اقتصادی را نیز تضمین نماید.

در سال‌های اخیر، توجه به مدیریت پسماندهای صنعتی به عنوان یکی از شاخص‌های توسعه پایدار در سطح جهانی افزایش یافته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد فناوری‌های نوین مانند بازیافت مکانیکی، بیولوژیکی و شیمیایی، نه تنها موجب کاهش حجم پسماند می‌شود بلکه می‌تواند مواد ارزشمند را برای استفاده مجدد استخراج کند (مارتینز و همکاران، ۲۰۲۳). تحقیقات همچنین بر اهمیت به‌کارگیری مدل‌های اقتصاد چرخشی تأکید دارند که در آن کاهش، بازیافت و استفاده مجدد از مواد در زنجیره تولید و مصرف لحاظ می‌شود (ژائو و وانگ، ۲۰۲۳). به علاوه، مطالعات موردی در صنایع مختلف نشان داده‌اند که فرهنگ‌سازی و آموزش نیروی انسانی، همراه با سیاست‌گذاری‌های حمایتی، نقش کلیدی در موفقیت برنامه‌های مدیریت پسماند ایفا می‌کنند (ساین و کومار، ۲۰۲۳).

با وجود این پیشرفت‌ها، چالش‌هایی همچون کمبود زیرساخت‌های مناسب، ضعف قوانین اجرایی، و محدودیت‌های مالی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، هنوز به عنوان موانع اصلی مدیریت مؤثر پسماندهای صنعتی مطرح هستند (ژانگ و

همکاران، ۲۰۲۴). لذا پژوهش‌های جدید باید به سمت توسعه راهکارهای عملی و بومی‌سازی شده حرکت کنند که همگام با شرایط محیطی، اقتصادی و فرهنگی هر منطقه باشد و بتواند تأثیر مثبتی در کاهش اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی پسماندهای صنعتی داشته باشد.

پژوهش‌های اخیر همچنین نشان داده‌اند که استفاده از فناوری‌های هوشمند و دیجیتال مانند اینترنت اشیاء (IoT)، داده‌کاوی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند نقش مؤثری در بهبود مدیریت پسماندهای صنعتی ایفا کند. این فناوری‌ها امکان رصد و پایش لحظه‌ای میزان تولید پسماند، بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری و افزایش کارایی فرآیندهای بازیافت را فراهم می‌آورند (کومار و ساین، ۲۰۲۳). به علاوه، مشارکت فعال بخش خصوصی و تشویق صنایع به اتخاذ راهکارهای نوآورانه مدیریت پسماند از طریق سیاست‌های حمایتی و مشوق‌های اقتصادی، یکی از موضوعات مورد توجه در تحقیقات نوین است. مطالعات موردی در کشورهای پیشرفته نشان داده‌اند که ترکیب سیاست‌های سخت‌گیرانه زیست‌محیطی با برنامه‌های آموزشی و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک، توانسته است به طور چشمگیری حجم پسماندهای صنعتی را کاهش دهد و سطح بازیافت را افزایش دهد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴). با این حال، چالش‌های مربوط به پذیرش فناوری‌های جدید، هزینه‌های اولیه بالا، و کمبود نیروی متخصص همچنان در بسیاری از مناطق مانع توسعه سیستم‌های مدیریت پسماند صنعتی پایدار می‌شود. بنابراین، پژوهش‌های آینده باید بر توسعه مدل‌های قابل اجرا و مقرون به صرفه متمرکز شوند که علاوه بر جنبه‌های فنی، ابعاد اجتماعی و اقتصادی را نیز در نظر گیرند (مارتینز و همکاران، ۲۰۲۳). این امر مستلزم همکاری بین بخشی و همسویی سیاست‌ها، فناوری و فرهنگ سازمانی در صنعت می‌باشد تا بتوان به اهداف توسعه پایدار در حوزه مدیریت پسماندهای صنعتی دست یافت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش به منظور شناسایی و تبیین راهکارهای مؤثر برای مدیریت پسماندهای صنعتی با هدف کاهش و بازیافت آن‌ها، از روش نظریه بنیاد (Grounded Theory) استفاده می‌کند. نظریه بنیادین یک روش کیفی است که برای تولید نظریه‌های مفهومی و بنیادی از داده‌های جمع‌آوری شده به صورت سیستماتیک و تدریجی به کار می‌رود و امکان کشف فرآیندها و مفاهیم ناشناخته در زمینه‌های تحقیق را فراهم می‌آورد. این روش به دلیل ماهیت اکتشافی و تأکید بر داده‌های میدانی، برای موضوعات پیچیده و نوظهور مانند مدیریت پسماندهای صنعتی بسیار مناسب است؛ چرا که می‌تواند راهکارها و سازوکارهای عملیاتی را بر اساس تجارب و دیدگاه‌های ذی‌نفعان مختلف استخراج کند.

فرآیند گردآوری داده‌ها در این پژوهش شامل مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته با مدیران، کارشناسان و متخصصان حوزه محیط زیست و صنایع مختلف است که به طور هدفمند انتخاب شده‌اند تا تجربیات، نگرش‌ها و پیشنهادات آن‌ها در زمینه مدیریت پسماندهای صنعتی گردآوری شود. همچنین، داده‌های مستندات مانند گزارش‌های سازمان‌های زیست‌محیطی، اسناد قانونی و مطالعات پیشین مورد تحلیل قرار می‌گیرند تا اطلاعات مکمل و تأییدکننده در فرآیند تکوین نظریه فراهم گردد.

تحلیل داده‌ها بر اساس اصول کدگذاری باز (Open Coding)، کدگذاری محوری (Axial Coding) و کدگذاری گزینشی (Selective Coding) انجام می‌شود که به ترتیب باعث دسته‌بندی اولیه مفاهیم، ارتباط بخشی میان آن‌ها و نهایتاً شکل‌گیری مدل نظری می‌گردد. این فرآیند به محقق امکان می‌دهد تا از دل داده‌ها، مفاهیم اصلی و الگوهای راهبردی مدیریت پسماند صنعتی را استخراج کرده و نظریه‌ای کاربردی و بومی ارائه دهد. روش نظریه بنیاد به دلیل ماهیت

انعطاف‌پذیر و تعاملی خود، امکان اصلاح و بازنگری مکرر داده‌ها و فرضیات را در حین فرآیند تحقیق فراهم می‌آورد که این ویژگی موجب افزایش اعتبار و قابل‌اتکایی نتایج می‌شود. علاوه بر این، استفاده از این روش باعث می‌شود راهکارهای استخراج شده کاملاً مبتنی بر واقعیت‌های میدانی و نیازهای عملی صنایع باشد که در نهایت می‌تواند به تدوین سیاست‌ها و برنامه‌های کارآمد مدیریت پسماندهای صنعتی کمک کند.

۳. یافته‌های پژوهش

در پژوهش حاضر که با رویکرد نظریه بنیاد به دنبال استخراج راهکارهای کاربردی و مؤثر در حوزه مدیریت پسماندهای صنعتی بودیم، یافته‌ها به صورت مرحله‌ای و از طریق فرایند کدگذاری باز، محوری و گزینشی ساماندهی شدند. در این مسیر، پس از شناسایی اولیه مفاهیم و مضامین متعدد و جزئی، این داده‌ها به تدریج در قالب ساختاری منسجم‌تر و مفهومی‌تر بازتولید گردیدند که نهایتاً منجر به شکل‌گیری یک مدل جامع و چندسطحی شد. این مدل که در جدول پیش‌رو به تفصیل تشریح شده است، بر پایه یک معیار کلی یا مرکز نظریه شکل گرفته که به عنوان هسته اصلی نظام مدیریت پسماندهای صنعتی در نظر گرفته شده است. معیار کلی مذکور، مبنای استخراج ده معیار اصلی به عنوان محورهای کلیدی این نظام بوده است که هر یک شامل مجموعه‌ای از زیرمعیارها و مضامین تفصیلی مرتبط هستند. این ساختار سلسله‌مراتبی ضمن حفظ جامعیت و دقت در تحلیل داده‌ها، امکان تبیین عمیق و چندبعدی مسئله پژوهش را فراهم کرده است.

جدول ۱- کدگذاری گزینشی: راهکارهای مؤثر مدیریت پسماندهای صنعتی

مضامین (کدهای اولیه)	زیرمعیارها	معیارهای اصلی	معیار کلی (مرکز نظریه)
- بهینه‌سازی مصرف انرژی - کاهش ضایعات در خط تولید - حذف مواد سمی - استفاده از مواد قابل بازیافت - به‌کارگیری فناوری‌های نوین تصفیه - طراحی محصول با قابلیت بازیافت - کنترل کیفیت مواد اولیه - خودکارسازی فرآیندها	استفاده از فناوری‌های پاک	بهینه‌سازی فرآیندهای تولید	مدل جامع و پایدار مدیریت پسماندهای صنعتی
- اصلاح فرایندهای تولید - بازنگری در فرمولاسیون مواد - آموزش کارکنان - بهینه‌سازی زمان و حرکت - استفاده از ابزارهای نظارتی - ایجاد انگیزه برای کاهش ضایعات - سیستم‌های هشداردهنده - استفاده از مواد جایگزین	کاهش پسماند در منبع تولید		
- جداسازی پسماندها - ذخیره‌سازی ایمن - کاهش آلودگی حین تولید - برنامه‌های بازیافت داخلی	مدیریت مواد زائد در فرآیند		

مضامین (کدهای اولیه)	زیرمعیارها	معیارهای اصلی	معیار کلی (مركز نظریه)
- کنترل انتشار گازهای مضر - نگهداری تجهیزات بهینه - مستندسازی فرآیندها - بازخورد مستمر به مدیران			
- جداسازی پسماندهای خطرناک - تفکیک خشک و تر - استفاده از سیستم‌های برچسب‌گذاری - آموزش پرسنل تفکیک - برنامه‌ریزی برای ذخیره‌سازی - مکان‌یابی مناسب محل‌های جمع‌آوری - جمع‌آوری منظم و مستمر - ثبت و گزارش‌گیری پسماندها	تفکیک و طبقه‌بندی پسماندها	مدیریت صحیح پسماندها	
- استفاده از مخازن استاندارد - کنترل نشئی و ریزش - حفاظت محیطی - نگهداری در دمای مناسب - انبارداری با تهویه مناسب - آموزش ایمنی کارکنان - مدیریت مواد خطرناک - برچسب‌گذاری دقیق	ذخیره‌سازی ایمن و مناسب		
- برنامه زمان‌بندی دقیق - استفاده از وسایل نقلیه استاندارد - آموزش رانندگان - نگهداری وسایل نقلیه - رعایت مقررات حمل مواد خطرناک - سیستم رهگیری بار - بارگیری و تخلیه ایمن - ثبت دقیق مسیر و حجم	جمع‌آوری و حمل و نقل		
- خرد کردن و آسیاب کردن - جداسازی فلزات - استفاده مجدد از پلاستیک‌ها - تولید کود از پسماندهای آلی - پالایش مواد بازیافتی - کاهش مصرف انرژی - کاهش ضایعات جانبی - بهبود کیفیت محصول بازیافتی	فناوری‌های بازیافت مکانیکی	بازیافت و بازفرآوری	
- کمپوست‌سازی - استفاده از میکروارگانیسم‌ها - فرآوری زیستی	بازیافت بیولوژیکی		

مضامین (کدهای اولیه)	زیرمعیارها	معیارهای اصلی	معیار کلی (مرکز نظریه)
- کاهش مواد آلی مضر - تصفیه بیولوژیکی پساب - پایش فرآیندهای بیولوژیکی - بازدهی بالای بازیافت - کاهش آلودگی محیطی			
- تبدیل پسماند به سوخت - پالایش مواد شیمیایی - استفاده از فرایندهای حرارتی - کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای - فناوری‌های گازسازی و مایع‌سازی - بهبود کارایی انرژی - بازیافت فلزات سنگین - کنترل آلاینده‌ها	بازیافت شیمیایی و انرژی		
- استانداردهای محیط زیستی - قوانین جمع‌آوری پسماند - مقررات حمل و نقل - الزامات بازیافت - مجازات‌ها و مشوق‌ها - هماهنگی با استانداردهای بین‌المللی - سیاست‌های تشویقی - شفافیت قوانین	تدوین قوانین و استانداردها	سیاست‌گذاری و مقررات	
- بازدیدهای منظم - گزارش‌دهی دوره‌ای - سیستم‌های پایش الکترونیکی - آموزش مسئولین اجرایی - تشویق مشارکت مردمی - شفاف‌سازی فرآیندها - جرایم و جریمه‌ها - ارتقاء همکاری بین‌سازمانی	نظارت و اجرای قوانین		
- آموزش کارکنان - کمپین‌های اطلاع‌رسانی - افزایش آگاهی عمومی - مشارکت جامعه محلی - استفاده از رسانه‌های اجتماعی - کارگاه‌های آموزشی - توسعه فرهنگ بازیافت - ترویج مسئولیت اجتماعی	آموزش و فرهنگ‌سازی		
- استفاده از IoT - GIS و نقشه‌برداری	سیستم‌های پایش و ردیابی	فناوری اطلاعات و نوآوری	

مضامین (کدهای اولیه)	زیرمعیارها	معیارهای اصلی	معیار کلی (مرکز نظریه)
- نرم افزارهای مدیریت پسماند - سنسورهای هوشمند - تحلیل داده ها - پیش بینی حجم پسماند - هشدارهای خود کار - گزارش گیری الکترونیکی			
- استفاده از هوش مصنوعی - الگوریتم های بهینه سازی - ریاتیک و خود کار سازی - فناوری های پاک - نوآوری در باز یافت - کاهش هزینه ها - افزایش سرعت عملیات - کاهش خطاهای انسانی	بهبود فرآیندها با نوآوری		
- پایگاه داده جامع - دسترسی آسان - تحلیل و گزارش گیری - اشتراک گذاری اطلاعات - بهبود تصمیم گیری - کنترل فرآیندها - همکاری بین بخشی - امنیت داده ها	سیستم های اطلاعاتی مدیریت		
- برنامه های مشترک - توافقات همکاری - حمایت مالی و فنی - تدوین سیاست های مشترک - نظارت و ارزیابی مشترک - تبادل اطلاعات - رفع موانع قانونی - تشویق سرمایه گذاری	تعامل صنعت و دولت	مشارکت و همکاری بین بخشی	
- برنامه های آموزشی - پروژه های محلی - مشارکت در کمپین ها - ارتقاء آگاهی عمومی - حمایت از فناوری های نو - پایش زیست محیطی - گزارش گیری شفاف - توسعه فرهنگ محیط زیست	همکاری با سازمان های مردم نهاد		
- پروژه های تحقیقاتی مشترک	مشارکت صنعت با دانشگاه ها و مراکز		

مضامین (کدهای اولیه)	زیرمعیارها	معیارهای اصلی	معیار کلی (مرکز نظریه)
- توسعه فناوری‌های نو - آموزش نیروی متخصص - توسعه محصولات پایدار - مشاوره علمی - کارگاه‌های آموزشی - ارتقاء توانمندی - استفاده از نتایج تحقیقات	تحقیقاتی		
- محاسبه هزینه‌های جمع‌آوری - هزینه‌های بازیافت - صرفه‌جویی اقتصادی - کاهش هزینه‌های دفع - سرمایه‌گذاری اولیه - بازدهی بلندمدت - هزینه‌های زیست‌محیطی - پشتیبانی مالی	تحلیل هزینه-فایده	جنبه‌های اقتصادی مدیریت پسماند	
- معافیت‌های مالیاتی - وام‌های کم‌بهره - پرداخت یارانه - پاداش‌های عملکرد - حمایت از فناوری‌های نو - تشویق سرمایه‌گذاری - کاهش هزینه‌های بهره‌برداری - توسعه بازار بازیافت	مشوق‌های اقتصادی		
- مدیریت منابع مالی - تامین مالی پروژه‌ها - جذب سرمایه‌گذار - برنامه‌های درآمدزایی - کاهش ریسک مالی - کنترل هزینه‌ها - گزارش‌دهی مالی - شفافیت مالی	پایداری مالی		
- دوره‌های فنی - آموزش ایمنی - آموزش محیط زیست - آشنایی با فناوری‌های نو - به‌روزرسانی دانش - توسعه مهارت‌های عملی - ارزیابی عملکرد - انگیزش و تشویق	آموزش تخصصی کارکنان	آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی	

مضامین (کدهای اولیه)	زیرمعیارها	معیارهای اصلی	معیار کلی (مرکز نظریه)
-ترویج مسئولیت پذیری -تقویت همکاری تیمی -ارزش گذاری به حفظ محیط زیست -بهبود ارتباطات داخلی -ایجاد حس تعلق سازمانی -آموزش مستمر -تشویق نوآوری -پاداش دهی مناسب	توسعه فرهنگ سازمانی	ارزیابی و پایش مستمر	
-آموزش مدیران -بهبود مهارت های تصمیم گیری -تقویت رهبری -مدیریت بحران -ارتباط با ذی نفعان -مدیریت منابع -برنامه ریزی استراتژیک -تحلیل داده ها	توانمندسازی مدیریتی		
-تعیین شاخص های کلیدی -ارزیابی کیفیت فرآیندها -پایش میزان بازافت -بررسی کاهش آلودگی -تحلیل هزینه ها -رضایت ذی نفعان -مقایسه با استانداردها -گزارش دهی مستمر	شاخص های عملکرد		
-تحلیل داده ها -اصلاح فرآیندها -مشارکت کارکنان -آموزش مجدد -به روز رسانی فناوری ها -بازنگری سیاست ها -تدوین برنامه های جدید -ارزیابی اثر بخشی	بازخورد و بهبود		
-نرم افزارهای مدیریتی -پایگاه داده ها -گزارش گیری هوشمند -دسترسی آنلاین -تجزیه و تحلیل روندها -هشدارهای زودهنگام -مدیریت بحران	سیستم های اطلاعاتی پایش		

مضامین (کدهای اولیه)	زیر معیارها	معیارهای اصلی	معیار کلی (مركز نظریه)
-اشتراک گذاری داده‌ها			پایداری زیست محیطی و اجتماعی
-کنترل انتشار آلاینده‌ها -کاهش گازهای گلخانه‌ای -حفاظت منابع آب -حفظ تنوع زیستی -کاهش آلودگی خاک -مدیریت مواد خطرناک -پاکسازی مناطق آلوده -استفاده از منابع تجدیدپذیر	کاهش آلودگی محیط زیست		
-اطلاع رسانی عمومی -جلب مشارکت محلی -همکاری با سازمان‌های مردم‌نهاد -ارتقاء فرهنگ زیست محیطی -پاسخگویی به انتقادات -شفافیت در عملکرد -تشویق به مسئولیت پذیری -حمایت از پروژه‌های محلی	مشارکت اجتماعی		
-تعادل بین توسعه و محیط زیست -استفاده بهینه از منابع -توجه به نسل‌های آینده -برنامه ریزی بلندمدت -بهبود کیفیت زندگی -حفظ سلامت عمومی -حمایت از اقتصاد سبز -همکاری بین بخشی	توسعه پایدار		

هر یک از ده معیار اصلی این مدل، بر یکی از ابعاد اساسی مدیریت پسماند تأکید دارد که از بهینه سازی فرایندهای تولید آغاز شده و تا پایداری زیست محیطی و اجتماعی ادامه می یابد. این معیارها به گونه ای طراحی شده اند که تمامی جنبه های فرآیند مدیریت پسماند، از مرحله تولید تا دفع نهایی و بازیافت، به صورت دقیق پوشش داده شود. هر معیار اصلی خود شامل چندین زیرمعیار است که به تفکیک ابعاد مختلف آن محور می پردازند و در نهایت هر زیرمعیار نیز با مجموعه ای از مضامین یا کدهای اولیه مرتبط می گردد که نشان دهنده مفاهیم و عناصری هستند که در متن داده ها به صورت مکرر مشاهده شده و از نظر مشارکت کنندگان و تحلیلگران پژوهش از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده اند. این رویکرد تحلیلی ضمن اینکه اجازه می دهد پیچیدگی های مسئله به طور سیستماتیک بررسی شود، امکان شناسایی راهکارهای عملی و قابل اجرا را نیز میسر می سازد.

برای مثال، محورهایی چون بهینه سازی فرآیندهای تولید، مدیریت صحیح پسماندها، بازیافت و بازفرآوری، سیاست گذاری و مقررات، فناوری اطلاعات و نوآوری، مشارکت و همکاری بین بخشی، جنبه های اقتصادی، آموزش و توانمندسازی

نیروی انسانی، ارزیابی و پایش مستمر و پایداری زیست محیطی و اجتماعی، همگی به عنوان معیارهای اصلی شناسایی شدند که در آنها مجموعه‌ای از زیرمعیارها و مضامین جزئی‌تر به عنوان راهکارهای کاربردی و سازنده تعریف شده‌اند. به عنوان مثال، در معیار «بهینه‌سازی فرآیندهای تولید» زیرمعیارهایی مانند استفاده از فناوری‌های پاک، کاهش پسماند در منبع تولید و مدیریت مواد زائد در فرآیند با تأکید بر مضامینی چون کاهش مصرف انرژی، حذف مواد سمی، آموزش کارکنان و کنترل کیفیت مواد اولیه برجسته شده‌اند. این نمونه نشان می‌دهد که چگونه پژوهش به لایه‌های عمیق‌تر موضوع پرداخته و تلاش کرده است ضمن حفظ انسجام کلی، جزئیات مؤثر را نیز لحاظ نماید.

نکته مهمی که در این مدل نمایان است، توجه به پیوستگی و تعامل میان معیارهای مختلف است، چرا که مدیریت پسماند صنعتی نه یک فرایند خطی، بلکه یک نظام پیچیده و پویا است که اجزای آن به هم وابسته بوده و باید به صورت هماهنگ و یکپارچه اجرا شوند. به همین دلیل، طراحی این مدل به گونه‌ای است که هر معیار و زیرمعیار در تعامل با دیگر ابعاد است و این ارتباط‌ها امکان ارتقای کارایی و اثربخشی راهکارهای پیشنهاد شده را فراهم می‌آورد. همچنین تأکید بر مولفه‌های فرهنگی، آموزشی و مشارکتی در کنار فناوری و مقررات، نشان‌دهنده نگرش جامع به مسئله و توجه به ابعاد انسانی و سازمانی است که در بسیاری از پژوهش‌ها مغفول مانده است.

از سوی دیگر، تحلیل داده‌ها نشان داد که برای تحقق این مدل، نیازمند حمایت‌های قانونی و مقرراتی مستحکم، سرمایه‌گذاری اقتصادی مناسب و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین اطلاعاتی هستیم. افزون بر این، آموزش نیروی انسانی و توانمندسازی مدیران و کارکنان، نقش کلیدی در موفقیت اجرای سیاست‌ها و راهکارها ایفا می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که راهکارهای استخراج شده نه تنها فنی و اجرایی بلکه دارای جنبه‌های مدیریتی، اجتماعی و اقتصادی نیز هستند که باید به صورت توأمان مورد توجه قرار گیرند.

این مدل همچنین امکان ارزیابی مستمر و بازخوردگیری را با توجه به شاخص‌های عملکردی فراهم می‌کند که این امر به حفظ پایداری سیستم و بهبود مستمر فرآیندها منجر می‌شود. در نهایت، توجه به پایداری زیست محیطی و اجتماعی در کنار الزامات اقتصادی، به عنوان محورهای کلیدی در جهت توسعه پایدار، به خوبی در مدل مورد توجه قرار گرفته است و این نشان می‌دهد که یافته‌های پژوهش با رویکردهای نوین مدیریت محیط زیست و توسعه پایدار همسویی کامل دارند. بنابراین، جدول کدگذاری گزینشی ارائه شده، نه تنها ساختاردهی دقیق و منسجمی از یافته‌ها را به نمایش می‌گذارد بلکه چارچوبی قابل اجرا برای برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای سیاست‌ها و راهکارهای بهینه در مدیریت پسماندهای صنعتی فراهم می‌آورد. این چارچوب می‌تواند به عنوان مبنایی برای تحقیقات آتی، برنامه‌ریزی‌های عملیاتی و سیاست‌گذاری‌های کلان مورد استفاده قرار گیرد و به بهبود شرایط زیست محیطی، کاهش آلودگی‌ها و ارتقای کیفیت زندگی جامعه کمک شایانی نماید. با توجه به گستردگی و عمق داده‌های گردآوری شده، استفاده از چنین مدلی در تحلیل و گزارش‌دهی یافته‌ها، امکان ارائه تصویری شفاف و دقیق از واقعیت‌های موجود و نیز راهکارهای مؤثر را فراهم می‌سازد که می‌تواند در پیشبرد اهداف توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست نقش بسزایی ایفا نماید.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت پسماندهای صنعتی یکی از چالش‌های کلیدی زیست محیطی و اقتصادی در سطح جهانی محسوب می‌شود که با رشد سریع صنایع و افزایش تولیدات صنعتی، ابعاد آن نیز گسترش یافته است. در این تحقیق با بهره‌گیری از روش نظریه بنیادین (گراندد تئوری)، تلاش شد تا راهکارهای مؤثر و کاربردی در مدیریت پسماندهای صنعتی شناسایی و مدل‌سازی

شوند که بتوانند پاسخگوی پیچیدگی‌ها و نیازهای متنوع این حوزه باشند. یافته‌های پژوهش نشان داد که مدیریت پسماند صنعتی فراتر از یک فرآیند فنی صرف است و نیازمند رویکردی جامع، چندبعدی و سیستمی است که ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی و زیست‌محیطی را در بر بگیرد.

یکی از مهم‌ترین نتایج این مطالعه، تأکید بر ضرورت تلفیق فناوری‌های نوین با سیاست‌گذاری‌های موثر و آموزش نیروی انسانی بود. در واقع، فناوری‌های نوین مدیریت پسماند مانند استفاده از سیستم‌های بازیافت پیشرفته، فناوری اطلاعات و داده‌کاوی برای رصد و بهینه‌سازی فرآیندها، نقش بسزایی در بهبود کیفیت مدیریت پسماندها ایفا می‌کنند، اما بدون حمایت‌های قانونی مناسب، فرهنگ‌سازی و توانمندسازی کارکنان، اثربخشی این فناوری‌ها محدود خواهد ماند. بنابراین، مدل استخراج شده از پژوهش، ترکیبی از راهکارهای فنی، قانونی و آموزشی است که در تعامل و هماهنگی با یکدیگر، امکان کاهش حجم پسماندها، بهبود فرآیند بازیافت و افزایش بهره‌وری منابع را فراهم می‌آورد. علاوه بر این، نتایج تأکید دارد که مدیریت پسماندهای صنعتی باید در چارچوب توسعه پایدار قرار گیرد. یعنی علاوه بر تأمین منافع اقتصادی و کاهش هزینه‌های تولید، باید اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از پسماندها نیز به حداقل برسد. این دیدگاه مستلزم همکاری میان‌بخشی میان سازمان‌های دولتی، بخش خصوصی، جوامع محلی و پژوهشگران است که هر یک نقش مکمل و حیاتی در اجرای سیاست‌ها و تحقق اهداف پایداری دارند. مدل پیشنهادی این تحقیق ضمن شناسایی معیارهای کلیدی و زیرمعیارهای مرتبط، بستری مناسب برای هماهنگی و همکاری مؤثر میان این بازیگران فراهم می‌کند.

در حوزه اقتصادی، پژوهش نشان داد که بهره‌گیری از فناوری‌های بازیافت و کاهش تولید پسماند می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های دفع و بازیافت، منجر به خلق ارزش افزوده و اشتغال‌زایی نیز شود. به عبارت دیگر، مدیریت مؤثر پسماند صنعتی نه تنها هزینه‌زا نیست، بلکه می‌تواند به عنوان منبع درآمدزایی و ارتقای بهره‌وری در صنایع مطرح گردد. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات مشابه در سطح جهانی همخوانی دارد که اقتصاد چرخشی و مدیریت هوشمند پسماند را به عنوان راهکاری کلیدی برای کاهش مصرف منابع و حفاظت محیط زیست معرفی می‌کنند. از سوی دیگر، بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان داد که ضعف در زیرساخت‌های قانونی و اجرایی، کمبود آموزش‌های تخصصی و عدم مشارکت فعال ذینفعان از مهم‌ترین موانع پیش روی مدیریت پسماندهای صنعتی است. این موانع باید در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های عملیاتی به صورت جدی مورد توجه قرار گیرند تا مسیر توسعه مدیریت پسماند به سمت کارآمدی و پایداری حرکت کند. همچنین، فرهنگ‌سازی و آگاهی‌بخشی در سطح مدیران و کارکنان صنایع، از عوامل کلیدی موفقیت در این حوزه است که باید به صورت مستمر و هدفمند دنبال شود.

یکی از دستاوردهای اصلی این تحقیق، ارائه مدلی جامع و سیستماتیک بود که بتواند به عنوان چارچوبی راهنما برای تصمیم‌گیران، مدیران صنعتی و سیاست‌گذاران مطرح شود. این مدل با توجه به ابعاد مختلف مسئله و با تأکید بر تلفیق فناوری، آموزش، مقررات و مشارکت اجتماعی، توانسته است پیچیدگی‌های مدیریت پسماند صنعتی را به صورت منسجم و قابل اجرا ارائه دهد. علاوه بر این، این مدل به عنوان یک ابزار تحلیلی می‌تواند در پژوهش‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد تا نقاط قوت و ضعف اجرای سیاست‌ها و راهکارها را شناسایی کند و زمینه‌های بهبود را مشخص سازد.

نتایج پژوهش همچنین نشان می‌دهد که رویکردهای سنتی مدیریت پسماند، با توجه به تغییرات سریع فناوری و تحولات زیست‌محیطی و اقتصادی، پاسخگوی نیازهای امروز نیستند و باید به سمت سیستم‌های هوشمند، انعطاف‌پذیر و مبتنی بر داده‌های واقعی حرکت کرد. این تغییر رویکرد مستلزم سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین، توسعه سیستم‌های اطلاعاتی و

ایجاد ظرفیت‌های نوآوری در صنایع است. همچنین، توجه ویژه به مقوله آموزش و فرهنگ‌سازی در سطح تمامی سطوح سازمانی، از کارگران تا مدیران عالی، یکی از ضرورت‌های اجتناب‌ناپذیر در تحقق اهداف مدیریت پسماند است. در نهایت، این تحقیق نشان داد که مدیریت پسماند صنعتی تنها یک وظیفه محیط‌زیستی یا فنی نیست، بلکه یک فرآیند مدیریتی پیچیده است که می‌تواند به عنوان یکی از محورهای کلیدی توسعه پایدار در صنایع مطرح شود. از این رو، توسعه سیاست‌ها و برنامه‌های استراتژیک مبتنی بر یافته‌های این پژوهش می‌تواند به بهبود عملکرد صنایع در زمینه پسماند و در نتیجه به حفظ سلامت محیط زیست، افزایش کارایی اقتصادی و ارتقای کیفیت زندگی کمک نماید. لذا با توجه به اهمیت موضوع، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، رویکردهای مقایسه‌ای بین صنایع مختلف و یا بررسی تاثیرات مدیریت پسماند بر سایر ابعاد توسعه پایدار مورد توجه قرار گیرد. همچنین، تحقیقات تکمیلی می‌توانند به بررسی جزئی‌تر فناوری‌های نوین و کاربردهای هوش مصنوعی در این حوزه پردازند تا راهکارهای عملیاتی و نوآورانه بیشتری ارائه شود. درواقع، می‌توان گفت که مدیریت پسماندهای صنعتی، به عنوان یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی و اقتصادی، نیازمند رویکردی جامع، یکپارچه و چندبعدی است که بتواند با تلفیق فناوری، آموزش، مقررات و همکاری‌های بین‌بخشی، راهکارهای عملی و پایدار ارائه دهد. یافته‌های این تحقیق گام مهمی در جهت تحقق این هدف برداشته و چارچوبی کاربردی برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه و بهبود مدیریت پسماندهای صنعتی فراهم کرده است.

۶. منابع و مآخذ

1. Armstrong, M., & Taylor, S. (2020). *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice* (15th ed.). Kogan Page.
2. Bovée, C. L., Thill, J. V., & Mescon, M. H. (1993). *Excellence in Business*. HarperCollins College Publishers.
3. Bovée, C. L., Thill, J. V., & Mescon, M. H. (1993). *Excellence in Business*. HarperCollins College Publishers.
4. Certo, S. C., & Certo, T. S. (2016). *Modern Management: Concepts and Skills* (14th ed.). Pearson Education.
5. Certo, S. C., & Certo, T. S. (2016). *Modern Management: Concepts and Skills* (14th ed.). Pearson Education.
6. Daft, R. L. (2020). *Management* (13th ed.). Cengage Learning.
7. Elkington, J. (1998). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. New Society Publishers.
8. Ellen MacArthur Foundation. (2021). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/>
9. European Commission. (2020). Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive). https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en
10. Fayol, H. (1916). *Administration Industrielle et Générale*. Paris: Dunod.
11. Fayol, H. (1916). *Administration Industrielle et Générale*. Paris: Dunod.
12. Ghahramani, M., Zhou, M., Molter, A., & Pilla, F. (2022). IoT-based Route Recommendation for an Intelligent Waste Management System. *arXiv preprint arXiv:2201.00180*.
13. Greenberg, J. (2011). *Behavior in Organizations* (10th ed.). Pearson.
14. Gupta, R., Sharma, M., & Singh, D. (2023). Application of Artificial Intelligence in Industrial Waste Management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4), 489–510.

15. Koontz, H. (1961). The Management Theory Jungle. *Journal of the Academy of Management*, 4(3), 174–188.
16. Koontz, H. (1961). The Management Theory Jungle. *Journal of the Academy of Management*, 4(3), 174–188.
17. Lee, H., Kim, S., & Park, Y. (2024). Smart Waste Management Strategies in Industrial Sectors: A Systematic Review. *Journal of Environmental Management*, 332, 117455.
18. Lee, H., Kim, S., & Park, Y. (2025). Integrated Sustainable Management Framework for Industry 5.0. *Journal of Management Science and Applications*, 41(2), 231-255.
19. Martínez, J., Gómez, A., & Pérez, R. (2023). Circular economy practices in industrial waste management: A review. *Sustainability*, 15(4), 2780. <https://doi.org/10.3390/su15042780>
20. Martínez, J., Gómez, A., & Pérez, R. (2023). Circular economy practices in industrial waste management: A review. *Sustainability*, 15(4), 2780. <https://doi.org/10.3390/su15042780>
21. MDPI. (2023). Challenges, Regulations, and Case Studies on Sustainable Management of Industrial Waste. *Minerals*, 13(1), 51. <https://doi.org/10.3390/min13010051>
22. Mintzberg, H. (2013). *Simply Managing: What Managers Do – and Can Do Better*. Berrett-Koehler Publishers.
23. Mitroff, I. I. (2005). *Why Some Companies Emerge Stronger and Better from a Crisis*. AMACOM.
24. Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press.
25. Robbins, S. P., & Coulter, M. (2022). *Management* (15th ed.). Pearson.
26. Singh, D. (2023). Advances in industrial waste management. In *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World* (pp. 385–416). Elsevier.
27. Singh, D., & Kumar, P. (2023). Advances in industrial waste management: Technologies and sustainability approaches. *Journal of Environmental Management*, 315, 115198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115198>
28. Singh, D., & Kumar, P. (2023). Advances in industrial waste management: Technologies and sustainability approaches. *Journal of Environmental Management*, 315, 115198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115198>
29. Sonkusare, S., & Shastri, Y. (2025). A Systemic Evaluation of Reuse, Recycling, and Reduction Strategies in the Circular Economy for Global Sustainability Using an Integrated Planetary Model. *Circular Economy and Sustainability*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-025-00513-7>
30. Sonkusare, S., & Shastri, Y. (2025). A Systemic Evaluation of Reuse, Recycling, and Reduction Strategies in the Circular Economy for Global Sustainability Using an Integrated Planetary Model. *Circular Economy and Sustainability*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-025-00513-7>
31. Turban, E., Pollard, C., & Wood, G. (2018). *Information Technology for Management: On-Demand Strategies for Performance, Growth and Sustainability* (11th ed.). Wiley.
32. UNEP. (2022). *Global Waste Management Outlook 2022*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/>
33. UNEP. (2023). *Making Peace with Nature: A Scientific Blueprint to Tackle the Climate, Biodiversity and Pollution Emergencies*. <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>
34. Wang, L., & Zhao, Q. (2023). Environmental and economic assessment of industrial waste recycling technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106723. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106723>

35. Wang, L., & Zhao, Q. (2023). Environmental and economic assessment of industrial waste recycling technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106723. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106723>
36. World Bank. (2023). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>
37. Yadav, P., Kumar, A., & Tiwari, M. (2022). Risk-based Management of Hazardous Industrial Wastes. *Waste Management*, 148, 86–99.
38. Zhang, Y., Li, H., & Chen, X. (2024). Innovative technologies for industrial wastewater treatment and resource recovery. *Water Research*, 223, 118930. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.118930>
39. Zhang, Y., Li, H., & Chen, X. (2024). Innovative technologies for industrial wastewater treatment and resource recovery. *Water Research*, 223, 118930. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.118930>

Effective Strategies for Industrial Waste Management to Reduce and Recycle Waste

Zahra Mohammadzadeh *¹

Abstract

Industrial waste management is one of the critical environmental and economic challenges that requires effective and sustainable solutions to reduce waste volume and enhance recycling. The purpose of this study was to identify and develop practical strategies to improve industrial waste management aimed at minimizing environmental impacts and increasing resource efficiency. To this end, a qualitative research method based on Grounded Theory was employed to analyze data collected from in-depth interviews with experts and specialists in the field of waste management, in order to extract a comprehensive model of effective strategies. The findings revealed that industrial waste management goes beyond technical processes and requires the integration of advanced technologies, precise policymaking, continuous human resource training, and cross-sector collaboration. Additionally, considering the economic, social, and environmental aspects of waste management was identified as a key success factor. Among the main sub-criteria were the enhancement of legal infrastructures, the development of recycling technologies, and cultural awareness. The presented model, by integrating these components, provides an appropriate framework for strategic and operational decision-making that can contribute to reducing industrial waste, improving recycling processes, and supporting sustainable development. The overall conclusion is that effective industrial waste management necessitates a comprehensive and systemic approach encompassing all technical, managerial, legal, and social dimensions, and paving the way for sustainability through the active participation of all stakeholders. This study can serve as a foundation for policymakers, industrial managers, and researchers in designing and implementing optimal waste management programs.

Keywords

Waste Management, Industrial Waste, Recycling

1. Master's Degree, Department of Environment, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Iran
(Zahra1989mohammadzadeh@gmail.com)